



UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNIČKI FAKULTET "MIHAJLO PUPIN"
ZRENJANIN



MODEL POUZDANOSTI U PROCESU EKSPLOATACIJE DIZEL MOTORA

MODEL OF RELIABILITY IN THE DIESEL ENGINE EXPLOITATION PROCESS

- DOKTORSKA DISERTACIJA –

Kandidat:
M.Sc. Dejan M. Spasić

Zrenjanin, 2019.



UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNIČKI FAKULTET "MIHAJLO PUPIN"
ZRENJANIN



MODEL POUZDANOSTI U PROCESU EKSPLOATACIJE DIZEL MOTORA

MODEL OF RELIABILITY IN THE DIESEL ENGINE EXPLOITATION PROCESS

- DOKTORSKA DISERTACIJA -

Mentor:
Prof. dr Ljiljana Radovanović

Kandidat:
M.Sc. Dejan M. Spasić

Zrenjanin, 2019.

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNIČKI FAKULTET „MIHAJLO PUPIN” ZRENJANIN
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska publikacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani zapis
Vrsta rada: VR	Doktorska disertacija
Autor: AU	M.Sc. Dejan M. Spasić
Mentor: MN redovni profesor	Prof. dr Ljiljana Radovanović,
Naslov rada: NR	Model pouzdanosti u procesu eksploatacije dizel motora
Jezik publikacije: JP	Srpski (latinica)
Jezik izvoda: JI	Srpski/engleski
Zemlja publikovanja: ZP	Srbija
Uže geografsko područje: UGP	AP Vojvodina
Godina: GO	2019.
Izdavač: IZ	Autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin”, Đure Đakovića b.b., Zrenjanin, Srbija

Fizički opis rada:
FO

Br. Poglavlja	8	Br. Stranica	295	Br. tabela	83	Br. Slika	160	Br. reference	164	Br. priloga	6
---------------	---	--------------	-----	------------	----	-----------	-----	---------------	-----	-------------	---

Naučna oblast:
NO Industrijsko inženjerstvo

Naučna disciplina:
ND Pouzdanost mašina

Predmetna odrednica/ključne reči:
PO Pouzdanost, model, eksploatacija, motor

UDK:
U biblioteci Tehničkog fakulteta „Mihajlo Pupin”, Zrenjanin

Čuva se:
ČU

Važna napomena:
VN

Izvod:
U okviru disertacije je na osnovu teorijske i empirijske analize i korišćenjem podataka iz eksploatacije, formiran model pouzdanosti koji će doprineti povećanju pouzdanosti i sigurnosti funkcionisanja dizel motora u procesu eksploatacije.

Datum prihvatanja teme od strane NN veća:
DP 13.09.2017.

Datum odbrane:
DO

Članovi komisije (titula / ime i prezime / zvanje / naziv organizacije / status)
KO

Predsednik: Prof. dr Branko Škorić, redovni profesor,
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet
tehničkih nauka, Novi Sad

Član: Prof. dr Dragan Milošević, vanredni
profesor, Univerzitet Privredna akademija,
Fakultet za ekonomiju i inženjerski
menadžment, Novi Sad

Član: Doc. dr Jelena Stojanov, docent, Univerzitet
u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo
Pupin“, Zrenjanin

Član: Doc. dr Jasmina Pekez, docent, Univerzitet u
Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo
Pupin“, Zrenjanin

Član - mentor: Prof. dr Ljiljana Radovanović, vanredni
profesor, Univerzitet u Novom Sadu,
Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“,
Zrenjanin

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
TECHNICAL FACULTY „MIHAJLO PUPIN” ZRENJANIN
KEY WORD DOCUMENTATION**

Acdecession number:
ANO

Identification number:
INO

Document type: Monographic documentation
TD

Type of record: Textual printed material
TR

Contents code: Doctoral thesis
CC

Author: M.Sc. Dejan M. Spasić
AU

Menthor: Ph.D. Ljiljana Radovanović
MT professor

Title: Model of reliability in the diesel
TI engine exploitation process

Language of text: Serbian
LT

Language of abstract: English / Serbian
LA

Country of publication : Republica of Serbia
CP

Lacality of publication: AP Vojvodina
LP

Publication Year:: 2019.
PY

Publisher: The author's reprint
PU

Publication place: University of Novi Sad
PP Technical faculty "Mihajlo Pupin",
Đure Đaković b.b., Zrenjanin, Serbia

Physical description:

PD

No. of chap.	No. of pg.	No. of tables	No. of pictures	No. of reference	No. of additional lists
8	295	83	160	164	6

Scientific field:

SF

Industrial engineering

Scientific discipline:

SD

Machine reliability

Subject / KeyWords:

SKW

Reliability, model, exploitation, engine

Holding Data:

HD

In the library of Technical faculty
„Mihajlo Pupin”, Zrenjanin

Note:

N

Važna napomena:

VN

Abstract:

AB

Within this dissertation, on the basis of theoretical and empirical analysis and usage of exploitation data, a reliability model was formed that will contribute to reliability increase and safety of diesel engine operation in the exploitation process.

Accepted by the Scientific Board on:

AS

13.09.2017.

Defended on:

DE

Thesis defend edboard: (Degree / Name and Surename / Title / Faculty)

DB

President:	Ph.D. Branko Škorić, Full professor, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad
Member:	Ph.D. Dragan Milošević, Associate professor, University Business Academy, Faculty of Economics and Engineering Management, Novi Sad.
Member:	Ph.D. Jelena Stojanov, Assistant professor, University of Novi Sad, Technical Faculty „Mihajlo Pupin”, Zrenjanin
Member:	Ph.D. Jasmina Pekez, Assistant professor, University of Novi Sad, Technical Faculty „Mihajlo Pupin”, Zrenjanin
Member: - menthor:	Ph.D. Ljiljana Radovanović, Associate professor, University of Novi Sad, Technical Faculty „Mihajlo Pupin”, Zrenjanin

PREDGOVOR

Eksploataciona istraživanja u okviru ove doktorske disertacije su obavljena u Javnom komunalnom preduzeću u Smederevo i FAM Kruševac od 2008. do 2018. godine. Ona su deo objavljenih naučnih radova sa mentorom Prof. dr Ljiljanom Radovanović i Prof. dr Živoslavom Adamovićem.

Prof. dr Ljiljana Radovanović je u vezi sa disertacijom predložila temu, rukovala radom, davala sugestije i pravce istraživanja, pomogla i nadgledala svaki detalj rada i time omogućila najkraći mogući vremenski put od početka do kraja izrade disertacije koja je iziskivala puno energije, rada, vremena i truda.

Zbog ogromne pomoći koja je uložena u ovu doktorsku disertaciju, zbog neizmerne podrške, zbog mnogo svog ličnog vremena van fakulteta pomagajući mi pri izradi doktorske disertacije, neizmernu zahvalnost dugujem svom mentoru Prof. dr Ljiljani Radovanović, kao i mom dugogodišnjem profesoru Akademiku Živoslavu Adamoviću.

Zahvalnost dugujem i svim ljudima u preduzećima, u kojima su rađena istraživanja i koji su mi omogućili pristup informacijama i sredstvima u ovom teškom vremenu za našu privredu. Takođe, zahvalnost dugujem saradnicima u oblasti nauke koji su mnogo puta priskočili u pomoć pružajući iskustvo, svoje vreme, znanje i energiju.

Zahvalnost dugujem i prijateljima koji su me trpeli ovih prethodnih godina, zahvaljujem i neprijateljima koji su me saplitali na svakom koraku i time mi dali još više inata da istrajem do kraja.

Ogromnu zahvalnost poklanjam svojoj porodici, a najviše svojim ćerkama i supruzi, jer su mi nesebično pomagali, pružali mir, energiju i ogromnu podršku da istrajem, bez čije pomoći ne bih ni završio započeti rad na disertaciji.

Bogu sam zahvalan za zdravlje moje porodice, mog mentora Prof. dr Ljiljane Radovanović, mog profesora Akademika Živoslava Adamovića i moje, jer bez zdravlja ovog istraživanja nebi ni bilo.

Dejan Spasić

SADRŽAJ

REZIME	1
SUMMARY	3
1. UVOD.....	5
1.1. TEHNIČKI SISTEM – SAVREMENI DIZEL MOTOR	6
2. PREGLED LITERATURE O PROUČAVANOM PROBLEMU – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA.....	9
3. METODOLOŠKI KONCEPT ISTRAŽIVANJA.....	12
3.1. PROBLEM ISTRAŽIVANJA	12
3.2. PREDMET ISTRAŽIVANJA.....	13
3.3. CILJ ISTRAŽIVANJA	14
3.4. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	15
3.5. METODE ISTRAŽIVANJA.....	15
3.6. NAUČNA I DRUŠTVENA OPRAVDANOST ISTRAŽIVANJA	17
3.7. ORGANIZACIJA ISTRAŽIVANJA	18
4. TEORIJSKA ISTRAŽIVANJA	19
4.1. ODRŽAVANJE TEHNIČKIH SISTEMA.....	19
4.2. POUZDANOST TEHNIČKIH SISTEMA	23
4.3. MODELI PROGNOZIRANJA POUZDANOSTI SLOŽENIH TEHNIČKIH SISTEMA.....	27
4.4. VRSTE SLOŽENIH TEHNIČKIH SISTEMA I NJHOVA POUZDANOST ...	33
4.5. MODELOVANJE TEHNIČKIH SISTEMA	35
5. EMPIRIJSKO ISTRAŽIVANJE	40
5.1. ANALIZA OTKAZA I POUZDANOST DIZEL MOTORA.....	40
5.1.1. Praćenje vozila i njihovih dizel motora u komunalnom preduzeću.....	40
5.1.2. Eksperimentalno ispitivanje aditiviranja motornog ulja na dizel motorima	81
5.1.3. Dekomponovanje dizel motora, ulazni podaci za izgradnju modela pouzdanosti dizel motora u eksploataciji.....	92
5.2. MODEL KONTROLE STANJA DIZEL MOTORA	100
5.3. RAZVOJ MODELA POUZDANOSTI DIZEL MOTORA.....	114
5.3.1. Model povišenja pouzdanosti dizel motora uvođenjem rezerviranja	115
5.3.2. Metode za smanjenje grešaka kontrole rada dizel motora.....	120
5.3.3. Formiranje modela pouzdanosti u procesu eksploatacije dizel motora pomoću simulacije	129
5.3.3.1. Izrada novog modela pouzdanosti u eksploataciji dizel motora	132
5.4. PRIMENA NOVOFORMIRANOG MODELA POUZDANOSTI	159
5.4.1. Simulacije kretanja pouzdanosti komponenti dizel motora za obe grupe vozila (grafički prikazi pouzdanosti i nepouzdanosti).....	160
5.4.2. Simulacija povišenja nivoa pouzdanosti komponenti dizel motora obe grupe vozila uvođenjem preventivnog održavanja- 4 moguća scenarija	176
5.4.3. Simulacija povišenja nivoa pouzdanosti putem aditiviranja motornog ulja	186
5.4.4. Simulacija povišenja nivoa pouzdanosti smanjenjem greške kontrole putem rezerviranja davača (senzora)	198

5.5. POREĐENJE MODELA POUZDANOSTI U EKSPLOATACIJI SA MODELOM DONOŠENJA ODLUKA O PREPOZNAVANJU TIPA FUNKCIJE POUZDANOSTI DIZEL MOTORA U EKSPLOATACIJI.....	207
6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	235
6.1. REZULTATI ISKUSTVENE ANALIZE NA OSNOVU ANALITIČKIH TABELA	235
6.2. REZULTATI PRIMENE FORMIRANOG MODELA POUZDANOSTI– ANALIZA SIMULACIJA	239
6.3. REZULTATI SIMULACIJE POVIŠENJA POUZDANOSTI DIZEL MOTORA PRI ADITIVIRANJU MOTORNOG ULJA.....	250
6.4. REZULTATI SIMULACIJE POVIŠENJA POUZDANOSTI SMANJENJEM GREŠKE KONTROLE PUTEM REZERVIRANJA DAVAČA (SENZORA)	251
6.5. ZBIRNA ANALIZA REZULTATA SIMULACIJE POVIŠENJA POUZDANOSTI ZA DIZEL MOTORE	254
7. ZAKLJUČCI.....	258
7.1. DOKAZ GLAVNE I POMOĆNIH HIPOTEZA	258
7.2. NAUČNI DOPRINOS	261
7.3. DRUŠTVENI I PRIVREDNI DOPRINOS	263
8. PRAVCI DALJEG ISTRAŽIVANJA.....	266
LITERATURA.....	268
PRILOZI.....	278
PRILOG 1	278
PRILOG 2 – KOREKCIJA PARAMETARA Weibulove raspodele urađena je na osnovu algoritma korekcije parametara raspodele za komponente sistema dizel motora obe grupe vozila u program Visual Basic 6.0 i MS Excel	279
PRILOG 3 – SIMULACIJA POUZDANOSTI na osnovu algoritma simulacije pouzdanosti dizel motora sa kombinovanim održavanjem (uvedene preventivne akcije održavanja) urađena je u Visual Basic 6.0 i MS Excel	280
PRILOG 4 – CENOVNIK USLUGA	282
PRILOG 5 – OČITANE SAOBRAĆAJNE SVIH OPSERVIRANIH SPECIJALNIH KOMUNALNIH VOZILA	283
PRILOG 6 – VELIČINE I KOEFICIJENTI	291
BIOGRAFIJA	295

REZIME

Predmet ove disertacije su istraživanja u oblasti modela pouzdanosti u procesu eksploatacije dizel motora. Od dizel motora u eksploataciji se zahteva zadovoljenje postavljenih kriterijuma (pouzdanost, raspoloživost, gotovost...), a da pri tome ne ugrožavaju radnu okolinu, bezbednost...

Dizel motori nisu konstruisani i izrađeni bez greške, pa postoje delovi ili mesta koji su podložna otkazima. Ta mesta se nazivaju „slaba mesta“ i detektuju se različitim metodama. Mogu se otkriti na početku rada motora na osnovu analize početnih otkaza, ali se mnogo njih otkriva kasnije, u toku procesa rada. Svakako da ona utiču i na nivo pouzdanosti dizel motora, pa je veoma važno da se pronađu i da se utvrde mere prevencije pojave otkaza na njima.

Praćenje stanja dizel motora na komunalnim vozilima u „JKP Zelenilo“, Smederevo ukazalo je na pojavu većeg broja havarijskih stanja, neadekvatno reagovanje softvera dijagnostike stanja i grešaka u očitavanju stanja, koja su dovela do otkaza. To je pokrenulo razmišljanje i ulazak u problematiku modeliranja pouzdanosti dizel motora.

Parametri radnog procesa su uzajamno povezani, tako da je jednoznačno definisanje stanja motora veoma složen zadatak. Motor se sastoji od velikog broja uzajamno povezanih sistema i elemenata. U isto vreme, za svako stanje su karakteristična određena svojstva, koja se pojavljuju u odgovarajućim izmenama parametara radnog procesa. Njihova registracija i apriorno poznavanje zavisnosti vrednosti parametara radnog procesa stanja motora, omogućavaju nam da se modeluje pouzdanost dizel motora. Ovo nam omogućava i da se promenom parametara modela ustanove mogućnosti i poveća pouzdanost komponenti i sistema u celini, a time posledično poveća sigurnost funkcionisanja čitavog sistema dizel motora.

Razvijeni model pouzdanosti zavisi od faktora: broja i vrste otkaza komponenti sistema, da li se radi o korektivnom, preventivnom ili kombinovanom održavanju, da li se nivo pouzdanosti nakon akcije održavanja podiže na vrednost 100% ili manju tj. da li je reč o perfektnim akcijama održavanja (zamena potpuno novim delom tj. savršenim delom) ili imperfektnim akcijama održavanja (zamena remontovanim delom tj. nesavršenim delom).

Razvijeni model pouzdanosti, koji uvažava sve relevantne faktore koji utiču na pouzdanost dizel motora, može da obezbedi donošenje najboljih odluka o akcijama za njegovo održavanje i time obezbedi odgovarajući nivo pouzdanosti dizel motora.

Istraživanje se zasniva na glavnoj hipotezi koja glasi: „Formiranje modela pouzdanosti za dizel motore doprineće povećanju pouzdanosti i sigurnosti funkcionisanja dizel motora u procesu eksploatacije“.

Modelovanje pouzdanosti uključuje i pitanje interakcije delova dizel motora. Ovo se odnosi na posledice koje otkaz pojedinog dela motora može izazvati na drugim delovima motora.

Razvijeni model pouzdanosti obuhvata i opisuje realno stanje dizel motora. Dosadašnji modeli su uglavnom koristili informacije iz eksperimentalnog ispitivanja, a nedovoljno

iz eksploatacije. Sačinjen model koristi i veliki broj podataka iz eksploatacije dobijenih u vremenskom periodu od deset godina, što je životni vek jednog komunalnog specijalnog vozila sa dizel motorom.

Veliki broj dizel motora ugrađenih u industriji transporta direktno su potvrdili praktičan značaj ovog istraživanja. Očigledno je da zbog veličine tržišta i velikog broja ugrađenih dizel motora u savremena vozila, svaki doprinos napretku u pogledu poboljšanja performansi donosi i veliki efekat ušteda u ekonomskom vidu, a time i svakom drugom vidu.

Model je upoređen sa ranije razvijenim modelima, pri čemu je pokazao više prednosti. Pokazao se kao izuzetno fleksibilan. Nedostatak podataka o otkazima nije bila prepreka. Podaci o pouzdanosti celog sistema dizel motora dobijeni ovakvim modelom su kvalitetni i mogu se koristiti kao merodavni, vreme za koje se dobija proračun na platformi personalnog računara i prosečna vrednost pouzdanosti su prihvatljivi. Razvijeni model može analizirati bilo koje preventivne akcije održavanja kao i korektivne za popravljive komponente sistema i to mu daje mogućnost široke primene.

Razvijeni model prikazao je i nekoliko slabosti:

- praćenje dizel motora je zasnovano na pređenoj kilometraži vozila, pa se stacionarni dizel motori ne mogu pratiti,
- neophodno je da se obrada podataka radi na personalnom računaru i
- praćenje otkaza u kratkom vremenskom roku smanjuje verodostojnost dobijenih rezultata.

SUMMARY

The subject of this dissertation is research in the field of reliability model in the process of diesel engine exploitation. Diesel engines in operation require satisfaction of the set criteria (reliability, availability, certainty, ...) without compromising the working environment, safety...

Diesel engines are not designed and constructed without error, so there are parts or places that are vulnerable to failure. These sites are called weak spots and are detected by different methods. They can be detected at the start of the engine on the basis of initial failure analysis, but many are detected later, during the process of operation. Certainly they also affect the level of reliability of diesel engines, so it is very important to find and determine the measures to prevent the failure of them.

Monitoring of the condition of diesel engines on utility vehicles in "JKP Smederevo" indicated the occurrence of a large number of accident situations, inadequate response of the diagnostics of the state and faults in the state reading, which led to the cancellation. This has begun thinking and entering the problem of modeling the reliability of diesel engines.

The working process parameters are interconnected, so that uniquely defining the state of the motor is a very complex task. The engine consists of a large number of interconnected systems and elements, at the same time for each condition are characteristic certain properties that appear in the corresponding changes in the parameters of the working process. Their registration and a priori knowledge of the dependence of the values of the parameters of the working process of the state of the engine enable us to model the reliability of the diesel engines. This enables us to change the parameters of the model and to increase the reliability of the components and the system as a whole, which in turn increases the safety of the entire diesel engine system.

Developed reliability models, depending on the factors: the number and type of failures of the system components, whether it is a corrective, preventive or combined maintenance, whether the level of reliability after the maintenance action is raised to 100% or less, i.e. whether it's perfect maintenance actions (replacement completely new part – perfect part) or imperfect maintenance actions (replacement by overhauled work – imperfect part).

The developed reliability model, which respects all relevant factors that affect the reliability of the diesel engine, can provide the best decision about the maintenance actions and thus ensure the appropriate level of reliability of the diesel engines.

The research is based on the main hypothesis, which reads: "The formation of a reliability model for diesel engines will contribute to raising the reliability and safety of the functioning of the diesel engine in the process of exploitation."

Reliability modeling also involves the interaction of diesel engine parts. This relates to the consequences that a failure of a particular engine may cause on other parts of the engine.

The developed reliability model encompasses and describes the real state of the diesel engine. Previous models used mainly information from experimental testing, and not enough from exploitation. The created model also uses a large number of data from exploitation obtained over a period of ten years, which is the lifetime of a communal special vehicle with a diesel engine.

A large number of diesel engines installed in the transport industry directly confirmed the practical significance of this research. Obviously, due to the size of the market and the large number of embedded diesel engines in modern vehicles, any contribution to progress in terms of improving the performance of the engine brings a great saving effect in the economic vision, and therefore in every other way.

The model was compared with the developed models showing more advantages. It proved to be extremely flexible. Lack of data on failures was not an obstacle to the formation of a reliability model. Reliability data for the entire diesel engine system obtained by this model are high quality and can be used as a valid, time for which a budget is obtained on the personal computer platform and the average reliability value is acceptable, the developed model can analyze any preventive maintenance actions as well as corrective for the repair components of the system, giving it flexibility and the ability to be widely applied.

The developed model also showed several weaknesses that are reflected in the following: the monitoring of the diesel engine is based on the mileage of the vehicle, and the stationary diesel engines (which can not be analyzed in aggregate motors without correction of the developed model), it is necessary that the data processing working on a personal computer, failure tracking in a short period of time reduces the credibility of the results obtained.

1. UVOD

Savremeni dizel motor se koristi u svim prevoznim sredstvima, pa i u nekim letelicama. Koristi se u mnogim postrojenjima kao pogonski deo, ali i u mnogim mašinama i agregatima. Posebno se važnost planiranja pouzdanosti dizel motora ogleda u sistemima gde je od vitalne važnosti za ljudski život, kao što su postrojenja za napajanje svežim vazduhom u rudnicima, dizel električnim agregatima za medicinske ustanove (DEA–Dizel Električni Agregat), ali i kada se dizel motor koristi kao pokretač pumpi za vodu u nuklearnim postrojenjima i mnogim drugim mestima.

Dizel motori su oduvek bili veoma pouzdani, ali se često nakon duže eksploatacije dešava da njihov rad, takt motora, bude poremećen. Dizel motor radi pod veoma visokim pritiskom, koji im obezbeđuje posebna pumpa. Njihov rad je vrlo precizan i brz i od pravilnog ubrizgavanja goriva zavisi rad samog motora. Mehanički kontrolisan rad, koji je bio karakterističan za ovakve agregate sve do pojave elektronskog sistema sa ECU-om (Electronic Control Unit – elektronska kontrolna jedinica), nije uspevao da stalno bude savršen. Dizel motori su, inače, mnogo snažnije konstrukcije od benzinskih motora, dosta su teži, ali i mnogo izdržljiviji. Poremećaji koji su se vremenom javili na starijem dizel agregatu verovatno neće dovesti do nekih velikih otkaza, ali će se javiti veća potrošnja goriva, manjak snage i gust, crni dim iz izduvnog sistema.

Dominantna vrsta motora u industriji i saobraćaju su upravo dizel motori koji su nezaobilazni kod transportnih vozila (kamiona). Jedna grupa transportnih vozila koja je izuzetno opterećena tokom svoje eksploatacije su upravo specijalna komunalna vozila u javnim komunalnim preduzećima. Dizel motori specijalnih komunalnih vozila su u specifičnim režimima rada, u trosmenskom dvadesetčetvoročasovnom radu, u radu gde se menja više vozača, bez rezervnih vozila, odnosno zamene drugim vozilima, pa je svaki ispad komunalnog vozila problem za organizaciju rada preduzeća. Vozila u komunalnim preduzećima su izuzetno važna, obzirom da se bave poslovima od vitalne važnosti za funkcionisanje gradova u Srbiji. Velika većina agregata motora u komunalnim vozilima su dizel motori novije generacije, pa bavljenje temom izrade modela pouzdanosti u eksploataciji dizel motora ovim dobija na značaju.

Praćenjem rada dizel motora na komunalnim vozilima u „JKP Zelenilo“ Smederevo uočena je pojava većeg broja učestalih identičnih otkaza koji su naveli na potrebu izrade modela pouzdanosti dizel motora u eksploataciji. Dijagnostika dizel motora po stanju otkaza je na zavidnom nivou. Ima dovoljno informacija potrebnih za otklanjanje otkaza motora ali nedovoljno informacija otkrivanja i otklanjanja havarijskog stanja motora. Takođe, pitanja interakcije delova tehničkih sistema su nedovoljno istražena, te je naučno istraživanje logično usmereno i na tu stranu.

U Srbiji ima preko 200 opština. Svaka od njih ima barem jedno javno komunalno preduzeće. U svakom preduzeću su na desetine komunalnih vozila sa dizel motorima, što znači da su u pitanju više od 5 hiljada specijalnih komunalnih vozila čiji dizel motori rade u specifičnim i teškim uslovima. Očigledno je da zbog velikog broja ugrađenih dizel motora svaki doprinos napretku u pogledu povišenja pouzdanosti rada dizel motora donosi efekat ušteda.

1.1. TEHNIČKI SISTEM – SAVREMENI DIZEL MOTOR

Dizel motor se, kao agregat, najviše ugrađuje u kamione, građevinske mašine i automobile. U poslednjih petnaestak godina prodaja vozila sa dizel motorima je konstantno rasla. Razlog tome je ogroman napredak tehnologije u ovoj oblasti, koja je uklonila sve nekadašnje nedostatke dizel motora. Svi pokazatelji nas dovode do zaključka da se dizel motor trenutno nalazi u zenitu eksploatacije, barem što se primene u automobilskoj industriji tiče.

Kod dizel motora imamo dvotaktne i mnogo češće četvorotaktne motore. Da bi došlo do paljenja smeše vazduha i goriva, imamo veoma visok kompresioni odnos (od 18:1 do čak 25:1) unutar dizel motora.

Dizel gorivo se u sam cilindar ubrizgava putem specijalnih brizgaljki ili injektora, koji su u stvari jedan od najsloženijih, ali i najznačajnijih delova dizel agregata. Oni se nalaze u glavi motora, po jedan iznad svakog cilindra, i zaduženi su za precizno ubrizgavanje goriva u svaki od cilindara. Pored velikog napretka u koncepciji i samoj izradi brizgaljki, veliki razvitak dizel motora poslednjih godina je uslovljen i primenom elektronike.

Kako je već rečeno, dizel motori se u osnovi dele na dvotaktne i četvorotaktne. To je osnovna podela, ali ne i najvažnija, jer se dvotaktni motori već odavno ne koriste u industriji transporta. Dizel motori sa dva takta nalaze primenu u pokretanju veoma velikih mašina.

Sa druge strane, dizel motori četvorotaktnog tipa su već odavno u primeni i dele se na one sa:

- direktnim ubrizgavanjem
- indirektnim ubrizgavanjem goriva u cilindre.

Indirektni sistemi se danas, takođe, ubrajaju među starije tehnologije, ali su upravo ovi sistemi doprineli prvoj većoj popularnosti primene dizel motora u vozilima. Karakteristike ovakvih motora su bile vrlo slabe performanse, ali je u to vreme bilo vrlo pozitivno to što se nivo buke bitno smanjio. Sa druge strane, motori sa direktnim ubrizgavanjem danas čine apsolutnu većinu ponude dizel motora na tržištu.

Kod direktnog ubrizgavanja goriva postoje tipovi sa:

- klasičnim ubrizgavanjem i
- direktnim ubrizgavanjem.

Razlike između gore nabrojanih varijanti čine oblik i tehnologija same brizgaljke, način dopremanja dizel goriva i pumpe zadužene za stvaranje pritiska pod kojim se gorivo ubrizgava u komoru (cilindar).

Kod klasičnog, direktnog ubrizgavanja goriva, sistem je najjednostavniji, ali i najmanje efikasan. Za dizel motore sa četiri cilindra postoji jedna pumpa visokog pritiska i četiri odvoda goriva povezanih sa ubrizgivačem iznad cilindra, putem kojeg dizel gorivo dospeva u komoru. Veliki uticaj elektronike i mikroprocesorske kontrole čitavog sistema se najbolje ogleda u ovom slučaju. Dizel motor dobija gorivo pod veoma visokim pritiskom koji im obezbeđuje posebna pumpa. Njihov rad vrlo precizan, brz i od pravilnog

ubrizgavanja goriva sve zavisi. Mehanički kontrolisan rad je bio karakterističan za ovakve agregate sve do pojave elektronskog sistema sa ECU-om, odnosno preuzimanja kontrole elektronikom. Dizel motori su, inače, mnogo snažnije konstrukcije od benzinskih motora, teži su, ali i mnogo izdržljiviji. Iz toga proizilazi da je njihovo fizičko oštećenje mnogo teže prouzrokovati, uglavnom zbog činjenice da dizel motor mora da se efikasno izbori sa visokim stepenom kompresije unutar bloka.

Poremećaji koji su se vremenom javili na starijem dizel agregatu verovatno neće dovesti do nekih velikih oštećenja i otkaza, ali će se javiti veća potrošnja goriva, manjak snage i gust, crni dim iz izduvnog sistema. Ako dizel gorivo ne sagori na pravi način, u komori, po pravilu će uvek doći do ovakvog nepravilnog rada celog dizel motora.

Navedeni problemi se odnose na veću potrošnju goriva iz razloga što gorivo sagori van komore i samim tim ima manji uticaj na pokretanje klipa unutar cilindra. Brizgaljka ne ubaci čitavu količinu goriva namenjenu komori, već to čini i van nje, pa se javlja manjak goriva, a samim tim je snaga manja. Pojava crnog dima predstavlja rezultat upravo ovakvog nepravilnog sagorevanja dizel goriva van komore. Sa pojavom elektronskog sistema kontrole ovog procesa (koji je zamenio mehanički), ovakve nepravilnosti su mnogo ređe i manjeg efekta.

Klasični koncept dizel motora sa direktnim ubrizgavanjem je, kroz svoju istoriju, koristio i jedan i drugi vid kontrole, pa je vrlo lako zaključiti i videti koliko se elektronski sistem kontrole pokazao boljim.

Za razliku od klasičnog sistema, singl princip direktnog ubrizgavanja je doneo još neka poboljšanja u radu agregata ovog tipa dizel motora. Pojava koncepta TDI (Turbo Direct Injection) motora je povećala snagu motora. Generalni problem običnog, atmosferskog dizel motora jesu slab izlaz snage i slabe performanse. Pošto su dizel motori vrlo robusne i rezistentne mašine, nije bio nikakav problem nadograditi turbokompresor. Turbokompresor se nalazi na početku izduvne grane i samo turbinsko kolo (koje pospešuje ubacivanje vazduha ka motoru) pokreću izduvni gasovi. Kod ovakvog tipa motora to je daleko od bilo kakvog napora, a boljitak je i više nego uočljiv. Pored spomenutog kompresora, još je bolja varijanta ako je u sistemu prisutan i hladnjak sabijenog vazduha (interkuler) koji hladi vazduh posle izlaska iz kompresora. Dizel motori novije generacije imaju savršeni sistem napajanja motora goriva. Više ne postoji samo jedna pumpa koja se brine za rad svih brizgaljki. Sada svaki injektor ima na sebi jednu malu pumpu za dizel gorivo. Glavni boljitak ovog sistema jeste u mnogo višem nivou pritiska koji se javlja prilikom ubrizgavanja.

Tako se smanjuje kolebanje (gubitak) pritiska, koje je ranije bilo izraženo usled distance koje je gorivo ipak trebalo da pređe od pumpe do cilindra. Ako su kod klasičnog tipa vrednosti pritiska prilikom ubrizgavanja bile između 150 i 400 bara, kod novijeg, singl tipa, one iznose već negde oko 800-1000 bara, dok najnoviji agregati TDI značajno prelaze pritiske od 1000 bara.

To logično upućuje na činjenicu da se sa ovim većim pritiskom u ubrizgivaču postiže i veća preciznost, mogućnost reakcije i sama brzina ubrizgavanja goriva u komoru. Ovo sve je dovelo i do promena samog injektora, koji je sada dosta složeniji, pa podržava i funkciju ubrizgavanja u dva nivoa.

Common-rail tehnologija je vrsta direktnog ubrizgavanja koja je došla kao logičan odgovor na sve strožije EURO norme. Za razliku od svih ostalih sistema ubrizgavanja kod dizel motora, ovaj konkretno koristi jednu cev pod visokim pritiskom, koja gorivom snabdeva sve cilindre istovremeno. Ugrađena je vrlo snažna pumpa koja je zadužena za spomenutu distribuciju, tako da nije ni bilo bitno gde će se i koliko daleko ona nalaziti od samih brizgaljki. O njenoj snazi najbolje govore podaci o pritisku sa kojim common-rail injektor radi, od nekih početnih 1300 bara prve generacije, a sada i preko 2000 bara. Naravno, napravljen je pomak i u samoubrizgavanju. Sada injektori, koji su danas vrlo skupi za opravku i zamenu upravo zbog svoje složenosti i upotrebljenih materijala, mogu da izdrže i ovako visok nivo pritiska i imaju mogućnost do čak tri ubrizgavanja u okviru jednog takta.

Napredak dizel motora doprinosi boljim performansama, mirnijim radom, ali i manjom potrošnjom goriva. Potrošnja je najviše uslovljena činjenicom da čitavim common-rail sistemom u potpunosti upravlja kompjuter, koji u svakom trenutku tačno proračunava preciznu količinu goriva koja će biti ubrizgana.

Imajući u vidu vrlo precizne brizgaljke, čiji se prečnik otvora vrha sada meri mikronima, nema goriva koje ostane neiskorišćeno na bilo koji način. Jedan od najvažnijih uslova pravilnog rada ovakvog tipa motora jeste kvalitetno dizel gorivo. Treća generacija common-rail sistema donosi mnogo više novina nego što su to učinile prethodne. Princip je ostao isti, ali je velika razlika u brizgaljkama. Njihov vrh se sada, za razliku od prethodnih magnetskih pločica, sastoji iz nekoliko stotina vrlo sitnih kristala, čija je glavna karakteristika brzo širenje pri protoku električne energije. Zahvaljujući njima, kontrola protoka goriva nikad nije bila preciznija i lakša. Ako se na to nadoveže i visok pritisak common-rail sistema, dobija se efikasna kombinacija koja doprinosi, pre svega, izuzetno snažnim, novijim dizel motorima. Pored ovih novih brizgaljki, zbog EURO 5 normi o emisiji izduvnih gasova, najnoviji sistemi su morali da poseduju i specijalni partikularni (DPF) filter. On je specifičan, jer bukvalno upija sve nepoželjne hemijske sastave izduvnih gasova, koji se kasnije sami razgrađuju. Dizel motor je vrlo ekološki nastrojen tip motora kada je u pitanju emisija CO₂ štetnih gasova. Problem je u izraženijem ispuštanju nitrooksida i njemu sličnih gasova. Odatle i tolika potreba za ovim novim filterom.

2. PREGLED LITERATURE O PROUČAVANOM PROBLEMU – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Broj primenjivih modela pouzdanosti dizel motora u procesu eksploatacije je mali. Potreba za velikim brojem ispitnih ponavljanja u proračunima, da bi se došlo do preciznijih podataka, ili potreba za eksperimentisanjem kako bi se podesili parametri modela, traže pojednostavljenje i uvođenje važnih uslova koji utiču na pouzdanost dizel motora. Modeli, koji se danas najviše koriste za prognoziranje pouzdanosti tehničkih sistema, kakav je i dizel motor, uglavnom se zasnivaju na statističkim ili stohastičkim analizama, uključujući *Monte Carlo* simulacije, Poasonove procese, Markovljeve lance, modele bazirane prema stanju, i kombinacije ovih modela. Mnogo je radova do sada rađeno na temu prognoziranja pouzdanosti tehničkih sistema, ali je relativno malo radova koji su crpeli osnovu iz eksploatacione analize za izradu modela pouzdanosti dizel motora.

Poseban doprinos izrade modela pouzdanosti tehničkih sistema dali su naučnici sredinom prošlog veka. Neki od radova koji su se bavili problematikom pouzdanosti tehničkih sistema, kakav je dizel motor, dati su kao pregled stavova i dosadašnjih rezultata u oblasti istraživanja.

Autor Berdičevski B.¹, je uradio istraživanje pouzdanosti opreme za automatizaciju. Ovo istraživanje je primenjivo u svim automatizovanim sistemima i pogodno za dalju nadogradnju i usavršavanje u daljim istraživanjima.

Autor Lange O.² je izvršio optimizaciju upravljanja pouzdanosti tehničkih sistema primenjivih i na dizel motorima.

U poslednje vreme se u Evropi, u laboratorijskim uslovima vrše ispitivanja u mnogim automobilskim centrima na samim dizel motorima. Napredak koji je postignut tim istraživanjima se implementira u nove generacije dizel motora.

Autori Niewczas, Kordos i Koszałka u svom radu opisuju novi metod pouzdanosti istraživanja automobilskog dizel motora u laboratorijskim uslovima. Opisana metoda se zasniva na statističkoj prognozi habanja cilindra posle niza ponavljanja ciklusa, koji su obuhvaćeni u radu motora pri stabilizovanoj temperaturi, kratkog trajanja probnog rada bez opterećenja, gašenja motora i hlađenja motora. Pretpostavljeno je da su rezultati merenja habanje cilindra reprezentativni i isti sa tipičnim uslovima korišćenja motora u eksploataciji. Razvijen metod karakteriše pojednostavljenje postupka i skraćenje vremena ispitivanja u odnosu na standardnu pouzdanost istraživanja³.

Prof. dr Lazo Vujović sa Fakulteta za pomorstvo iz Kotora, u svom radu se bavi upotrebom ekspertnih sistema u dijagnostici rada dizel motora, odnosno izgradnjom

¹Бердичевский, В., Е., Оценка надежности аппаратуры автоматики Машиностроение, Moskva, 276. str, 1966.

²Ланге, О., Оптимальные решения Прогрес, (Optimalna rešenja) SSSR, 398.str, 1967.

³Niewczas, A., Kordos, P., Koszałka, G., Laboratory method of reliability research of a diesel automotive engine, Transport and Telecommunication Vol.7, No 2, 2006.

„inteligentnih motora“ koristeći se onlajn povezivanjem sa ekspertom, ako potencijalni otkaz zahteva njegovu intervenciju⁴.

Savremena elektronska dijagnostička sredstva posebno su snažno razvijena za oblast dijagnostike motora i njegove opreme u kamionskoj i automobilskoj industriji. U ovom pogledu se naročito ukazuje na SDS (sistemi sa samodijagnostikom) koji su integrisani u različite elektronske sisteme za motore (npr. ECU – Electronically Controlled Units). Najveća istraživanja, razvoj i napredak u poslednje vreme je upravo u elektronskim sistemima na dizel motorima.

Jedan broj disertacija se bavio problemom povišenja nivoa pouzdanosti složenih sistema primenom odgovarajućih mera. Prof. dr Dragan Milošević je izradio modele obezbeđenja pouzdanosti složenih postrojenja u termoelektranama u okviru doktorske disertacije. U radu je pratio otkaze, analizirao iste i uradio model za povišenje pouzdanosti na osnovu izvršene analize⁵. Doprinos disertacije se ogleda u aplikaciji modela pouzdanosti kroz primenu metoda simulacije za izbor najboljih parametara funkcionisanja komponenata i sklopova, sa aspekta njihove pouzdanosti, što se dokazalo eksperimentalnim metodama (upotrebom sakupljenih podataka i pohranjenih podataka iz prošlosti). Analiza pouzdanosti na bazi formiranih modela treba da doprinese efikasnom i što jednostavnijem određivanju parametara za donošenje relativnih odluka za pouzdanost složenih tehničkih sistema. Ovi parametri mogu vremenski definisati donošenje odluka o akcijama održavanja na bazi potrebnog nivoa pouzdanosti.

Dr Marko Tomašević je u svojoj disertaciji razvio verbalni matematički model ponašanja sistema pomoću signala na izlazu pomoću mernih i separiranih signala. Eksperimentalno, pomoću simulacione metodologije i sistemske dinamike na osnovu dobijenih signala, donošene su odluke na bazi prepoznavanja oblika pouzdanosti. U disertaciji je obrađen dizel motor primenom sistemske dinamike i simulacione tehnologije u eksploatacionom istraživanju⁶. Ovaj model je poželjan za upoređivanje sa modelom koji će biti predstavljen pošto je oslonjen na eksploataciju dizel motora i zasnovan na simulaciji.

Jedan broj istraživanja je rađen na principu ispitivanja pouzdanosti motornih vozila, gde je između ostalog ispitivan i motorni agregat, odnosno dizel motor. Jedno od takvih istraživanja je i analiza pouzdanosti motornih vozila u eksploataciji 45 vozila⁷. Analizirajući otkaze ustanovljeno je da je veći broj otkaza nastupio u početnoj fazi do nekih 30000 km kao rezultat početne slabosti ili propuštenih defekata u toku proizvodnje. U toku stabilizacije rada, odnosno upotrebe praćenih tehničkih sistema-vozila, nastaju otkazi koji se zovu „slučajni propusti“ čije se nastajanje teško može predvideti, ali je utvrđeno da je učestalost njihovog javljanja konstantan. U kasnijim fazama eksploatacije javljaju se otkazi kao rezultat habanja i propadanja. U ovoj fazi je potrebno izvršiti sistemski remont radi produžetka veka upotrebe tehničkog sistema. Ovakva istraživanja su značajna i za proizvođače i za korisnike pogotovo u procesu razvoja proizvodnje i

⁴Vujović, L., Fakultet za pomorstvo iz Kotora, Tehnička dijagnostika (br. 4. 2011), Primjena ekspertnih sistema u dijagnostici dizel motora, UDC: 629.10.02/.07:68-72/-833:641.48, Crna Gora, Kotor, 2011.

⁵Milošević, D., Modeli obezbeđivanja pouzdanosti složenih postrojenja u termoelektranama, doktorska disertacija, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 214 str., 2016.

⁶Tomašević, M., Model za donošenje odluka o procesima prepoznavanja tipova funkcije pouzdanosti postrojenja, doktorska disertacija, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 212 str., Zrenjanin, 2007.

⁷Palinkaš, I., Šikić, B., Radovanović Lj., Desnica E., Pekez, J., Research on Reliability of Motor Vehicle, International Conference on “Modern Trends in Engineering & Technology” (MTET-16) April 18-19, 2016 Istanbul, Turkey, pp. 112-117, 2016.

definisanja održavanja. Takođe, mogu da se koriste za nadogradnju ili promenu odgovarajućih normativa koja regulišu režim eksploatacije, čuvanja i održavanja tehničkih sistema.

U radu „Mogućnost izražavanja karakteristika kvaliteta elektro-opreme pogonskog motora vozila“⁸ analiziran je dizel motor vozila posebne namene. Zadatak istraživanja ovog rada je optimizacija sistema održavanja pogonskih agregata. Radi iznalaženja optimalnog rešenja sistema održavanja pogonskog agregata neophodno je pravilno odrediti zakonitost promene njegovih tehničkih karakteristika, prvenstveno kroz određivanje parametara njegove pouzdanosti. U radu su prikazani rezultati određivanja parametara pouzdanosti pogonskog motora (dizel motora) vozila posebne namene. Na osnovu dobijenih rezultata moguće je odrediti vrednost optimalne periodičnosti njegovog održavanja. U realnim uslovima eksploatacije, izvršena je analiza i na osnovu nje usvajaju se optimalne periodičnosti vremena rada posle kojih treba vršiti preventivne preglede, preventivne zamene, opravke ili generalne revizije, kao i optimalne vrednosti zalih rezervnih delova.

U radu dr Nenada Janjića, „Primena datih parametara stanja na model dijagnostike stanja motornih vozila“⁹ su predstavljeni parametri stanja modela dijagnostike u cilju izbora najpovoljnijih parametara i metoda dijagnostike stanja. Istraživanje se temelji na analizi parametara dijagnostike stanja motornih vozila i formira određene uslove rada komponenata sklopova. Glavni cilj je da se primenom i praćenjem određenih parametara stanja, odredi stanje sastavnih komponenata motornih vozila i da se na osnovu tako dobijenih vrednosti odredi periodičnost provere parametara stanja komponenata kao i vremenski trenutak sprovođenja postupka preventivnog održavanja sklopova motornih vozila odnosno sklopova dizel motora.

U predviđenom periodu ispitivanja (stabilnih, letećih i kliznih ležajeva) na kolenastom i bregastom vratilu motornih vozila, volvo - D7C 275 sa dizel motorom, pri pređenom putu do 1200000 km dolazi do intenzivnog rasta pojave otkaza nastalih zbog pohabanosti ležajeva.

Za ovaj period se može reći da je to vreme njihovog nestabilnog rada. Takođe, može se konstatovati da se sa izborom odgovarajućih parametara stanja izrađeni model može primeniti i na složenije sklopove, bez obzira na gabaritnost komponenata. Na osnovu prethodnog istraživanja Janjić je uradio rad koji analizira pouzdanost ležajeva dizel motora¹⁰. U radu se analizira Volvo dizel motor u eksploataciji i prate temperature na ležajevima kolenastog i bregastog vratila, a sve u cilju prikupljanja dovoljno informacija za analizu i izradu odgovarajućeg modela preventivnog održavanja.

⁸ Krstic, I., Krstić, V., Lazić, V., Krstić, B., Possibility expression characteristics quality of electronic devices motor engine, 42. Nacionalna konferencija o kvalitetu, 4-6. juni, 2015, Kragujevac, Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu, rad br. 10, ISBN: 978 - 86 - 6335 - 016 – 8, 2015.

⁹ Janjić, N., Adamović, Ž., Nikolić, D., Janjić, Z., Josimović, Lj., Primena datih parametara stanja na model dijagnostike stanja motornih vozila, Serbian Technical diagnostic society, „ Naučno - stručni časopis „Održavanje mašina“Godina XI, Broj 1 - 2, str.4-10, 2015.

¹⁰ Janjić, N., Adamović, Ž., Nikolić, D., Istraživanje ekstremnih vrednosti pouzdanosti na ležajevima motornih vozila, časopis „Održavanja mašina“ godina X, broj 3-4, ISSN 1452- 9688 UDK 005, Smederevo, 2014.

3. METODOLOŠKI KONCEPT ISTRAŽIVANJA

3.1. PROBLEM ISTRAŽIVANJA

Problem istraživanja se odnosi na proces eksploatacije savremenih dizel motora odnosno sposobnost dizel motora da izvrši zahtevanu funkciju pod datim uslovima i u datom vremenskom intervalu, što direktno pokazuje stanje dizel motora. Na bazi poznavanja ove veličine, odnosno pouzdanosti, može se direktno uticati na performanse putem preduzimanja pravovremenih akcija održavanja. Ukupna pouzdanost dizel motora može biti određena i poznata ako se razvije adekvatan model pouzdanosti.

Kompleksnost modela pouzdanosti je zavisna od faktora koji na nju utiču: broj i vrsta otkaza komponenti sistema, da li se radi o korektivnom, preventivnom ili kombinovanom održavanju, da li se nivo pouzdanosti nakon akcije održavanja podiže na vrednost 100% ili manju, tj. da li je reč o perfektnim akcijama održavanja (zamena potpuno novim delom - savršenim delom) ili imperfektnim akcijama održavanja (zamena remontovanim delom - nesavršenim delom).

Dobro definisan model pouzdanosti, koji uvažava sve relevantne faktore koji utiču na pouzdanost dizel motora, može da obezbedi donošenje najboljih odluka o akcijama za njegovo održavanje i time obezbedi odgovarajući nivo pouzdanosti dizel motora.

Model pouzdanosti počiva na poznavanju karakteristika pouzdanosti, na bazi kojih se stalno, tokom rada dizel motora, vrše prognoze budućeg stanja, odnosno predviđanja pojava havarijskih stanja i otkaza. Na bazi tih saznanja se donose odluke o postupcima preventivnog održavanja koje treba sprovesti u određenim trenucima vremena, kako bi se sprečila iznenadna pojava otkaza i dodatnih troškova.

Na osnovu masovnosti primene dizel motora, društvenog i naučnog značaja ove problematike, kao i istraživanjem, konstatovano je da se primenom modela pouzdanosti dizel motora u eksploataciji može minimizirati stanje u otkazu.

Problem je po svojoj prirodi kompleksan, povezan sa nizom pojava i procesa, pa samim tim zahteva znanja iz većeg broja različitih naučnih oblasti, kao što su: industrijsko inženjerstvo, informacione tehnologije, mašinstvo, elektrotehnika, tehnologija i slično, što mu daje multidisciplinarni karakter. Pošto su u pitanju savremeni dizel motori, broj primenjivanih modela pouzdanosti dizel motora u eksploataciji je mali, iz razloga njihove komplikovanosti, kompleksnosti i širine problema koji treba sagledati. Potreba za velikim brojem iteracija u proračunima da bi se došlo do preciznijih podataka ili potreba za eksperimentisanjem kako bi se podesili parametri modela traže pojednostavljenje i apstrahovanje bitnih faktora koji utiču na pouzdanost. Na osnovu proučene relevantne međunarodne i domaće literature, zaključeno je da je većina istraživanja vezanih za pouzdanost dizel motora sagledana kroz automatizovane dijagnostičke sisteme, usmerena na izbor odgovarajuće hardverske i softverske konfiguracije, kao i na ekonomske aspekte primene takvih sistema, odnosno troškove i uštede koji se postižu njihovom primenom i sl. Iz iskustva je još ustanovljeno da su u dosadašnjim istraživanjima razmatrani problemi stanja u otkazu, a da nije dovoljno ispitano havarijsko stanje. Primer pojava vibracija kod turbine kompresora dizel motora je znak disbalansa rotora nastalog oštećenjem ležaja.

Neregistrovanje neželjenog nivoa vibracija može dovesti do katastrofalnih mehaničkih oštećenja kompresora i samog dizel motora.

Svako čvrsto telo kao što su delovi lopatica turbokompresora izazvaće katastrofalne posledice po klipove, ventile, stubline, dihtung glave i samu glavu motora, a time u određenim slučajevima i totalnog uništenja motora. Jedno od niza havarijskih stanja kakvo je navedeno, je između ostalog tema analize i potencijalno moguće istraživanje. Analiziranje pouzdanosti dizel motora u eksploataciji otvara širok spektar mogućnosti za analizu i donošenje korisnih zaključaka.

Razmatranje problema smanjenja broja otkaza je veoma značajan prvenstveno zbog masovnosti primene dizel motora u vozilima, kao i primene dizel motora u raznim agregatima. Problem istraživanja je važan sa teorijskog stanovišta i sa aspekta primene rezultata istraživanja u praksi.

3.2. PREDMET ISTRAŽIVANJA

Predmet ovog naučnog istraživanja je izbor ključnih parametara za formiranje modela pouzdanosti u procesu eksploatacije dizel motora kao i izrada modela pouzdanosti za dizel motore radi povišenja pouzdanosti i sigurnosti funkcionisanja dizel motora u procesu eksploatacije.

Modelovanje pouzdanosti može uključiti i pitanje interakcije delova sistema dizel motora. Ovo se odnosi na posledice koje otkaz pojedinog dela motora može izazvati na drugim delovima motora.

Savremeni motorni uređaj poseduje veliki broj agregata, sistema za uključivanje i isključivanje, sistema regulacije parametara, u kojima se dešavaju različiti procesi: termički, mehanički, električni i drugi. Zato je dizel motor prema sastavu složen multifunkcionalni sistem. Složeni sistemi zahtevaju povećanje obima informacija, koje karakterišu stanje sistema, brzinu protoka radnih procesa, što prevazilazi ljudske mogućnosti kontrole radne sposobnosti sistema.

Model mora obuhvatiti i opisati realno stanje dizel motora. Dosadašnji modeli su uglavnom koristili informacije iz eksperimentalnog ispitivanja, a nedovoljno iz eksploatacije. Formiran model će koristiti podatke iz eksploatacije dobijenih u vremenskom periodu od 10 god. (8 - 10 god. je životni vek jednog specijalnog komunalnog vozila sa dizel motorom).

Analiza pouzdanosti na bazi formiranog modela treba da doprinese efikasnom i što jednostavnijem određivanju parametara koji su važni za donošenje odluka za pouzdanost složenih dizel motora. Ovi parametri se odnose na otkaze određenih sklopova, odnosno utvrđena slaba mesta, vremenske trenutke preventivnih akcija održavanja i na praćenje količine čestica čađi u ulju. Naime, pojava nečistoća u ulju za podmazivanje dizel motora je jedan od glavnih uzroka pojave otkaza, pa samim tim se može reći da ovaj parametar veoma utiče na nivo pouzdanosti i da ga treba uzeti u obzir kod formiranja modela pouzdanosti dizel motora.

Na osnovu seta podataka o otkazima, koji se tretira kao statistički validan, dobiće se podaci (gustine raspodele), koji su potrebni za formiranje matematičkog modela. Da bi

se uradila potpuna analiza, upoređiće se sva stanja u otkazu za sva posmatrana i navedena vozila, odnosno njihove dizel motore.

Dobijeni rezultati biće prikazani tabelarno i biće izvršena analiza na osnovu zakona raspodele otkaza. Grafički će biti prikazane funkcije pouzdanosti, učestalosti otkaza, funkcija nepouzdanosti na osnovu funkcije učestalosti otkaza i intenzitet otkaza, kao i promene učestalosti otkaza tokom eksploatacije vozila odnosno njihovih dizel motora. Po izvršenoj analizi predložiće se mere za povišenje pouzdanosti motora u eksploataciji.

Pošto su danas dizel motori sve kompleksniji, produktivniji i skuplji, od njih se zahteva visoka pouzdanost odnosno minimiziranje stanja u otkazu, do gotovo potpunog eliminisanja otkaza. Zbog otkaza samo jednog dela dizel motora, npr. pumpe za ulje, dolazi do otkaza celog motora, a time i velikih troškova. Da bi se to izbeglo, izvršiće se modeliranje pouzdanosti u procesu eksploatacije zasnovano na primeni računara i drugih savremenih modela pouzdanosti.

3.3. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog istraživanja je da se korišćenjem formiranog modela pouzdanosti definišu slaba mesta i utvrdi način otklanjanja otkaza. Zadatak modela pouzdanosti dizel motora je da se bavi kontrolom havarijskih stanja i sistemom kontrole radne sposobnosti dizel motora, što bi omogućilo povišenje pouzdanosti.

Nakon formiranja modela pouzdanosti, cilj je da se softverskom simulacijom dobije moguća slika rada celog sistema dizel motora sa podacima o pouzdanosti svakog pojedinog podsistema tokom pređenog puta kao promenjive. Simulacija formiranog modela pouzdanosti će omogućiti prognoziranje pouzdanosti dizel motora.

U okviru istraživanja potrebno je da se realizuju sledeći zadaci:

- Prikupljanje i obrada podataka iz eksploatacije i eksperimenta o otkazima dizel motora.
- Formiranje tabela na adekvatnom nivou dekomponovanja sistema.
- Povezivanje podataka o otkazima sa dijagramom i na bazi toga definisanje teorijskih zakonitosti.
- Razvijanje modela pouzdanosti u procesu eksploatacije dizel motora primenom korektivnih i/ili preventivnih akcija održavanja.

Cilj istraživanja je formiranje modela pouzdanosti koji treba da obezbedi konkretne podatke o pouzdanosti dizel motora. Takođe, cilj je sprečavanje pojave otkaza, odnosno smanjivanje verovatnoće pojave otkaza u periodu rada dizel motora na kome se model primenjuje kroz akcije preventivnog i/ili korektivnog održavanja. Formirani model pouzdanosti za dizel motore treba da doprinese povećanju pouzdanosti i sigurnosti funkcionisanja dizel motora u procesu eksploatacije.

Sprovedeno eksploataciono istraživanje dizel motora treba da omogući primenu modela pouzdanosti i u uslovima malog broja otkaza ili nepostojanja podataka o otkazima u slučaju hitnosti korektivnih akcija kad se nisu evidentirali otkazi i posebno kod loših evidencija podataka o otkazima.

3.4. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Glavna hipoteza istraživanja glasi: „**Formiranje modela pouzdanosti za dizel motore doprineće povišenju pouzdanosti i sigurnosti funkcionisanja dizel motora u procesu eksploatacije**“.

Istraživanje u polju pouzdanosti dizel motora zadovoljava postavljene kriterijume (a kriterijumi se odnose na povišenje pouzdanosti, efektivnosti, raspoloživosti, gotovosti, itd.), a da pri tome oni ne ugrožavaju radnu okolinu, bezbednost itd. Dizel motori nisu konstruisani i izrađeni bez greške. Kao posledica toga postoje delovi ili mesta koji su podložni otkazima (slaba mesta). Cilj ovog istraživanja je da se pomoću formiranog modela ta slaba mesta pronađu i otklone.

Model će se primenjivati u planiranju servisa i preventivnih akcija održavanja. Model će moći da se primeni i na ostale dizel motore, a ne samo na motore komunalnih vozila. Cilj (primene) formiranog modela je povišenje pouzdanosti, sigurnosti funkcionisanja, ušteda u novcu za održavanje kao i produžetak veka eksploatacije dizel motora.

Osim glavne hipoteze mogu se postaviti i pomoćne hipoteze koje će pomoći potvrdu glavne hipoteze:

PH:

Formirani model pouzdanosti dizel motora može doprineti smanjenju zagađenja u naseljenim mestima nastalog eksploatacijom oštećenih motora.

PH:

Formirani model može povećati (period) eksploatacije vozila, mašina i agregata.

PH:

Formirani model može omogućiti adekvatnije planiranje nabavke novih vozila sa dizel motorima.

3.5. METODE ISTRAŽIVANJA

Metodološki posmatrano, razvoj modela za obezbeđenje pouzdanosti savremenih i složenih dizel motora je tekao na takav način da se ponuđeni modeli mogu primeniti na bilo koje slične tehničke sisteme. Kompleksnost problematike zahteva kombinovanje različitih istraživačkih tehnika i instrumenata. Metodološka osnova za rad na doktorskoj disertaciji se zasniva na kombinovanom metodološkom pristupu.

U okviru ove doktorske disertacije biće korišćene sledeće metode naučno-istraživačkog rada:

- *Analitičko-sintetička metoda* – Metoda analize će biti primenjena u pristupu upoznavanja sa postojećim stanjem u oblasti pouzdanosti sistema u eksploataciji određenog broja dizel motora, na vozilima, i eksperimenata na motoru u

laboratorijskim uslovima. Nakon završenih eksperimenata koristiće se sinteza koja treba da rezultira zaključcima o mogućem planiranju pouzdanosti dizel motora.

- *Metoda logičkih zaključivanja i to dedukcije i indukcije* – Nakon završenog eksperimentalnog ispitivanja i sagledavanja iskustvenih informacija na dizel motorima u eksploataciji u periodu od deset godina, metoda indukcije će biti korišćena za formiranje opštih zaključaka.
- *Matematička metoda* – U disertaciji će biti korišćene sledeće matematičke i numeričke metode za izradu modela pouzdanosti: matematičko modelovanje, teorijske raspodele verovatnoće, Vejbulova troparametarska raspodela itd.
- *Informatička metoda modelovanja* putem algoritama i izrade softvera na toj osnovi. Na bazi definisanja matematičkih modela, radi mogućnosti izvođenja proračuna i povezivanja modela sa empirijskim podacima, potrebno je definisanje računarskih (softverskih) modela koji će biti algoritamski razvijani i prezentovani radi lakšeg razumevanja, a za šta će se upotrebljavati raznoliki softverski paketi, poput MS Excela ili Visual Basica, itd. Simulacije mehanizama otkazivanja biće ostvarene putem pseudo-slučajnih brojeva, odnosno primenom Monte Carlo metode. Softverskim modelovanjem se ubrzava postupak svakog proračuna i stvara mogućnost za lakše korigovanje modela i eventualno brže podešavanje parametara definisanih modela za šta je neophodna primena i statističke metode. Da bi se došlo do validnih modela za obezbeđenje pouzdanosti, potrebno je da se koriste i modelni eksperimenti i simulacijw. Verifikacija će biti izvršena korišćenjem podataka prikupljenih na licu mesta i iz baze podataka.
- *Statistička metoda* – U disertaciji će biti izvršena analiza podataka praćenjem motora u periodu od deset godina. Eksperimentalnim ispitivanjem biće formirani određeni zaključci koji će biti primenjeni u radu. U okviru ove metode, u disertaciji će biti korišćene korelacija, regresija i slučajne promenjive kao osnova za formiranje modela pouzdanosti.
- *Komparativna metoda* – Istraživanje u okviru disertacije obuhvatiće uporedo korišćenje podataka iz eksploatacije dizel motora i eksperimenata na dizel motorima u laboratorijskim uslovima, pa će se pored analitičko-sintetičke i metoda dedukcije i indukcije i ova metoda primeniti u radu.
- *Naučni eksperiment* obuhvata eksperiment koji će biti izveden na motorima, čije će se ulje po korišćenju ispitati u laboratoriji za praćenje nečistoća u ulju. Eksperiment će biti izveden u realnim eksploatacionim uslovima na vozilima sa dizel motorima.
- *Laboratorijski eksperiment* predstavlja ispitivanje na dizel motoru vozila IVECO DAILY 50c 15v SNU FAM Kruševac gde će biti izvršeno praćenje nečistoća u ulju posle aditiviranja.
- *Eksperiment u realnim uslovima* će biti izveden na Mercedesovom i Iveco dizel motoru novije generacije (vozila - kamioni Mercedes Sprinter 511 cdi, 311 cdi i Iveco proizvedeni su 2008. godine) izloženim kontinualnom opterećenju u eksploataciji tokom tromenskog dvadesetčetvoročasovnog rada (rad vozila je praćen deset god).

Za prezentovanje funkcionalnih odnosa među komponentama biće korišćen dijagram pouzdanosti. Statistička obrada podataka će se vršiti grupisanjem informacija od važnosti za dobijanje odgovarajućih zaključaka, potrebnih za izradu modela. Rezultati statističke obrade podataka biće prikazani u Exel-ovim i Word-ovim tabelama i u obliku dijagrama. Jedan deo statističke obrade podataka biće urađen na personalnom računaru, nakon sprovedenog eksperimentalnog dela istraživanja.

3.6. NAUČNA I DRUŠTVENA OPRAVDANOST ISTRAŽIVANJA

Dominantna vrsta motora u industriji i saobraćaju su upravo dizel motori i nezaobilazni su kod transportnih vozila (kamiona).

Istraživanja, u okviru doktorske disertacije, imaju svoju naučnu i društvenu opravdanost. Disertacija se bavi modeliranjem pouzdanosti savremenog dizel motora, što će doprineti povećanju njegove sigurnosti u radu.

Savremeni dizel motor se koristi u svim prevoznim sredstvima, pa čak i u nekim letelicama, koristi se u mnogim postrojenjima kao pogonski deo, u mnogim mašinama i agregatima. Posebno se važnost planiranja pouzdanosti dizel motora ogleda u sistemima gde je od vitalne važnosti za ljudski život, kao što su postrojenja za napajanje svežim vazduhom u rudnicima, dizel električnim agregatima za medicinske ustanove (DEA-Dizel Električni Agregat), dizel motor kao pokretač pumpi za vodu u nuklearnim postrojenjima i mnogim drugim mestima.

Dizel motor u opštem slučaju može da se nalazi u jednom od tri stanja: ispravnom, havarijskom i u stanju potpunog otkazivanja rada – otkaza. Ispravno stanje motora karakteriše se sveukupnim svojstvima koja određuju njegovu eksploataciju, odnosno kada motor zadovoljava sve potrebe zadate osnovnim i drugostepenim parametrima. Stanje otkaza je stanje dizel motora kada on ne zadovoljava potrebe date njegovim osnovnim, i drugostepenim parametrima, ili kada on postaje opasan za eksploataciju. Stanje otkaza određuje nepouzdanost dizel motora. Ova dva stanja su krajnja i ispituju se pri proceni pouzdanosti motora. Havarijsko stanje je prelazno ili središnje, i karakteriše se time što su se u motoru desile neke promene, pojavile su se primarne neispravnosti, smetnje, zbog kojih se menja karakteristika radnog procesa motora, ali on još uvek ima potrebnu radnu efikasnost. Modeliranjem havarijskih stanja motora i pronalaženjem metoda kontrole tih stanja, prati se i pouzdanost motora.

Pouzdan sistem je i ekonomičan sistem. Povećanjem nivoa pouzdanosti utiče se na ekonomičnost koja se uvek uzima u obzir kod opravdanosti konstruisanja svakog sistema. Očigledno je da zbog veličine tržišta i velikog broja ugrađenih dizel motora u savremena transportna vozila svaki doprinos napretku u pogledu povišenja pouzdanosti rada dizel motora donosi efekat uštede.

Predmet disertacije je veoma je aktuelan i multidisciplinaran i u direktnoj je sprezi sa kompleksnošću tehničkih sistema, koji se koriste u svim sferama ljudskih delatnosti.

Veliki broj dizel motora ugrađenih u industriji transporta direktno su potvrdili praktičan značaj istraživanja. Očigledno je da zbog veličine tržišta i velikog broja ugrađenih dizel motora u savremena vozila svaki doprinos napretku u pogledu poboljšanja performanse motora donosi i veliki efekat ušteda u ekonomskom vidu.

Metodologija istraživanja, pregled modela i detaljan opis metoda korišćenih u izradi disertacije, kao i rezultati u eksperimentalnom radu u laboratoriji i u realnim eksploatacionim uslovima, koji će biti prezentovani u disertaciji, biće korisna literatura za buduća istraživanja u ovoj oblasti, pogotovo za mlađe istraživače i stručnjake koji se odluče da za sopstvene potrebe razvijaju nove modele za povišenje pouzdanosti nekog tehničkog sistema.

3.7. ORGANIZACIJA ISTRAŽIVANJA

Istraživanje u okviru disertacije obuhvata sledeće faze:

- detaljno proučavanje literature iz oblasti pouzdanosti,
- upoznavanje sa savremenim tendencijama razvoja dizel motora u svetu,
- analiza istraživanja u okviru službe održavanja "JKP Zelenilo", Smederevo za neke dizel motore (date u poglavlju 5.1.) koji su radili u otežanim uslovima eksploatacije, gde je havarijsko stanje izraženo. Period praćenja podataka iznosi deset godina,
- definisanje metodologije istraživanja u cilju formiranja modela pouzdanosti dizel motora u procesu eksploatacije,
- koncipiranje eksperimentalnih istraživanja tokom ispitivanja ulja u laboratorijskim uslovima (u FAM Kruševac), kod praćenja nečistoća u aditiviranom ulju za podmazivanje dizel motora ,
- izbor metode, vozila, ulja i aditiva za ispitivanja, priprema za laboratorijska ispitivanja, realizacija eksperimentalnih ispitivanja po sačinjenom programu i analiza rezultata eksperimenta,
- sačinjavanje tabela sa podacima iz desetogodišnjeg praćenja otkaza kod jednog broja odabranih vozila potrebnih za analiziranje,
- identifikacija ključnih parametara koji će se uvrstiti u model,
- formiranje modela,
- softverska simulacija modela.

Model treba da obezbedi rešenja koja su optimalna po pojedinim kriterijumima, koji treba da ukažu na najbitnije faktore pouzdanosti savremenih dizel motora.

Izbor uzorka je zasnovan na realnoj potrebi, a time je posledično definisana i veličina uzorka. Kao uzorci za ispitivanje su se koristili dizel motori iz "JKP Zelenilo" Smederevo specijalnih komunalnih vozila sa dizel agregatima, a od toga većina vozila je sa Mercedesovim i Iveco motorima.

U FAM-u je izvršeno ispitivanje aditiviranja ulju na Iveco dizel motorima 2008. godišta. Optimalni vek eksploatacije specijalnih vozila u složenim i otežanim uslovima, odnosno motora koji su uzeti kao uzorci, je oko deset godina. Izabrana vozila sa dizel motorima za uzorak su 2008. godišta, a na njima se analiziraju sistemi na motorima (komponente), havarijska stanja, stanje motora kao agregata specijalnog komunalnog vozila i stanja u otkazu dizel motora kao celine i svih komponenti dizel motora pojedinačno.

4. TEORIJSKA ISTRAŽIVANJA

4.1. ODRŽAVANJE TEHNIČKIH SISTEMA

Održavanje tehničkih sistema je skup svih administrativnih i tehničkih radnji koji se tokom života tehničkog sistema preduzimaju s ciljem sprečavanja pojave otkaza, kao i vraćanja sistema po pojavi otkaza ponovo u stanje „u radu“, u što kraćem vremenu i sa što manjim troškovima, u datim uslovima okoline i organizacije rada[109]. Održavanje tehničkih sistema se predstavlja odnosima između pojedinih postupaka održavanja i vremena u kojima se ti postupci izvode¹¹.

Metodologijom održavanja se obuhvata njegovo obeležje, koje utiče na sveobuhvatni kvalitet sistema održavanja, tj. određuju se principi na osnovu kojih se donose odluke o vremenu kada se izvode postupci održavanja i načinu izvođenja postupaka održavanja¹².

U situacijama kada se dese havarijski otkazi nastaju velika oštećenja na čitavom tehničkom sistemu što uvećava troškove popravke. Česta je situacija da havarijski otkaz uzrokuje značajna prateća oštećenja na tehničkom sistemu, čime se značajno povećavaju troškovi popravke. Eliminisanje otkaza nije moguće u potpunosti sprovesti, ali se broj otkaza može značajno smanjiti, sistematičnim pristupom održavanju.

U okviru sprovođenja aktivnosti održavanja treba da se izvrši:

- eliminisanje otkaza;
- predviđanje i planiranja održavanja (što uključuje optimizaciju zaliha rezervnih delova i smanjenje dodatnog i nepotrebnog rada);
- povećanje spremnosti tehničkog sistema (smanjenjem mogućnosti pojave otkaza tokom eksploatacije);
- podizanje operativnosti sistema (smanjenjem perioda otkaza delova tehničkog sistema);
- obezbeđenje normalnog rada ljudi u održavanju.

Koncepcije održavanja tehničkih sistema su¹³ :

- korektivno održavanje,
- preventivno održavanje,
- održavanje prema stanju,
- održavanje prema pouzdanosti,
- totalno održavanje,
- održavanje na bazi rizika,
- totalno dijagnostičko održavanje i
- samoodržavanje...

¹¹ Adamović, Ž., Ilić, B., Nauka o održavanju tehničkih sistema, Srpski akademski centar, Novi Sad, 2013.

¹² Meza, S., Adamović, Ž., Spasić, D., Nikolić, N., Upravljanje procesom eksploatacije i praćenje ponašanja tehničkog sistema, XV konferencija »Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja« Serbian Technical diagnostic society, Vrnjačka Banja, 30. 10. 2015., ISBN 978-86-83701-38-4

¹³ Adamović, Ž., Radojević, M., Uvod u tehnologiju održavanja, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2006.

Kod savremenih koncepcija održavanja intenzitet otkaza je manji pa bi ih trebalo maksimalno koristiti.

Prilikom izbora koncepcije održavanja, potrebno je voditi računa o:

- značaju tehničkog sistema, jer od toga zavisi npr. kako treba sprovesti dijagnostičku kontrolu, treba li je provoditi neprekidno ili povremeno,
- konstrukcionim karakteristikama tehničkih sistema, jer od toga zavisi npr. koji će se tip dizne (injektora) za dizel gorivo koristiti.

a) Korektivno održavanje

Korektivno održavanje su aktivnosti održavanja, koje se primenjuju tek nakon pojave otkaza, sa ciljem da se sastavni deo i/ili sistem iz stanja „u otkazu“ vrati u stanje „u radu“, u što kraćem vremenu i sa što manjim troškovima¹⁴.

Korektivno održavanje se sprovodi hitno i bez planiranja, zato što se otkazi dešavaju neplanirano, a često u najnepovoljnijem trenutku, kad tehnički sistem treba da odradi neki važan posao. Korektivno održavanje nije preporučljivo primenjivati kod složenih i skupih tehničkih sistema, gde otkazi mogu uzrokovati duge zastoje, visoke troškove održavanja i ugrožavanje tehnoloških procesa, ljudi i okoline. Tada treba primenjivati savremenije metode održavanja. Obim korektivnog održavanja zavisi od toga da li je oprema u prethodnom periodu eksploatacije bila preventivno održavana ili ne, i ako jeste, da li je održavanje bilo adekvatno. U situacijama kada uopšte nema održavanja, otkazi su najčešće nepopravljivi, pa se otklanjanje otkaza vrši ugradnjom nove opreme.

b) Preventivno održavanje

Preventivno održavanje obuhvata aktivnosti koje se preduzimaju sa ciljem da se spreči ili odloži pojava otkaza, odnosno da se sastavni deo i/ili sistem zadrži u radnom stanju što duže¹⁵. Preventivno održavanje se zasniva na izvođenju aktivnosti održavanja na tehničkom sistemu prema unapred utvrđenim vremenskim ili nekim drugim intervalima, na čiju dužinu ne utiče pravo stanje sistema. Karakteristika klasičnog preventivnog održavanja je u tome što se primenjuje bez obzira na stanje tehničkog sistema, što dovodi do nepotrebnih troškova, iziskuje redovne zastoje i veći broj radno angažovanih radnika, što otvara mogućnosti pojave otkaza zbog faktora održavaoca odnosno ljudi.

Preventivno održavanje je bolje od korektivnog održavanja, ali je jako skupo, jer se obično zamenjuju i delovi koji nisu problem i koji su u dobrom stanju, ali i zbog dužine zastoja pri ovakvom održavanju. Ovo održavanje se radi u zadato vreme u cilju prevencije.

c) Prediktivno ili održavanje prema stanju

Održavanje prema stanju se sprovodi u odnosu na neki interval nezavisno od stanja tehničkog sistema putem dijagnostičke kontrole sistema tokom eksploatacije, pa na osnovu rezultata, donose se odluke o neophodnom roku i obimu planskih aktivnosti održavanja. Prediktivnim održavanjem se omogućava stalno planiranje aktivnosti

¹⁴ Adamović, Ž., Petrović, Lj., Malić, D., Modeli održavanja tehničkih sistema, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 2000.

¹⁵ Stefanović, S., Adamović, Ž., Nikolić, D., Janjić, N., Zarev, M., Preventivno održavanje mašina u tekstilnoj i duvanskoj industriji, TEHDIS, Beograd, 2008. ISBN 978-86-83701-18-6

održavanja, koje se bazira na tehničkom stanju sistema, čime se produžava vreme rada tehničkog sistema i istovremeno eliminišu nepotrebni zastoji.

Jedan od osnovnih zadataka održavanja prema stanju je da se otkriju otkazi tehničkog sistema u što ranijoj fazi nastanka i preduzmu mere da se spreči njegova pojava.

Održavanje prema stanju je planska aktivnost održavanja koja se bazira na stvarnim potrebama, a sve sa ciljem eliminisanja nepotrebnih popravki, sprečavanja katastrofalnih otkaza i smanjenju troškova održavanja. Održavanje prema stanju je najekonomičniji sistem održavanja. Ovakvo održavanje omogućava praćenje stanja tehničkog sistema, popravke sumnjivih delova, pre nego što dođe do otkaza, a popravke se izvode samo onda kada je to zaista neophodno. Korist od održavanja prema stanju su smanjeni troškovi za rezervne delove i radnu snagu.

Održavanje prema stanju ili proaktivno održavanje može biti:

- sa povremenom kontrolom parametara, kada se dijagnostičke kontrole vrše nakon određenog vremena rada ili posle intervencije na tehničkom sistemu i
- sa kontinualnom kontrolom parametara, kada je dijagnostička oprema konstruktivno ugrađena u složeni sistem koji se dijagnostikuje.

Proaktivno održavanje je nadogradnja održavanja prema stanju gde se utvrđuje uzrok zbog koga je tehnički sistem u otkazu. Proaktivno održavanje se bazira na utvrđivanju osnovnog uzroka otkaza, odnosno utvrđivanju mehanizama koji su doveli do pojave otkaza na tehničkom sistemu.

d) Održavanje prema pouzdanosti

Održavanje prema pouzdanosti se zasniva na skupljanju, analizi i obradi podataka o stanju pouzdanosti osnovnih delova tehničkog sistema i predlogu aktivnosti održavanja koje treba učiniti pošto nivo pouzdanosti padne ispod dozvoljenih granica. Preventivne aktivnosti održavanja prema pouzdanosti se izvode prvenstveno na osnovu informacija o pouzdanosti, odnosno raspodelom vremena rada do pojave otkaza za posmatrani tehnički sistem¹⁶.

Održavanje prema pouzdanosti koristi obradu statističkih podataka u toku celog veka eksploatacije, a obrada podataka zahteva primenu računara.

Zadatak kod ovog održavanja jeste operativna ocena pouzdanosti sastavnih delova i/ili sistema u eksploataciji¹⁷.

Operativna ocena pouzdanosti proizlazi iz neophodnosti upravljanja kvalitetom eksploatacije tehničkog sistema i popravke sastavnih delova i/ili tehničkog sistema¹⁸.

¹⁶ Vulović, M., Adamović, Ž., Sajfert, Z., Spasić, D., Implementacija proaktivnog održavanja u industriji, XVI konferencija, Vibrodijagnostičko i tribodijagnostičko proaktivno održavanje mašina, Vrnjačka Banja, 30.09.2016., ISBN 978-86-83701-45-2, Vrnjačka Banja, 2016.

¹⁷ Paunjorić, P., Vulović, M., Spasić, D., Meza, S., Adamović, Ž., Pouzdanost i proaktivno održavanje, XXXIX Majska konferencija »Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja« Serbian Technical diagnostic society, rad br.88, Vrnjačka Banja, 20. 05. 2016, ISBN 978-86-83701-43-8, Vrnjačka Banja, 2016.

¹⁸ Alargić, P., Spasić, D., Kaurin, T., Održavanje prema pouzdanosti, na bazi rizika i totalnog održavanja, XXXIX Majska konferencija »Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja« Serbian Technical diagnostic society, rad br.76, Vrnjačka Banja, 20. 05. 2016., ISBN 978-86-83701-43-8, Vrnjačka Banja, 2016.

Održavanje prema pouzdanosti se zasniva na poznavanju karakteristika pouzdanosti, na osnovu kojih se stalno, tokom rada tehničkog sistema vrše predikcije budućih stanja, odnosno predviđaju otkazi. Odluke o postupcima preventivnog održavanja donose se u određenom vremenu kako bi se sprečila iznenadna pojava otkaza.

e) Totalno održavanje

Totalno održavanje je prenelo održavanje na sektor proizvodnje, a služba održavanja postaje savetodavno telo za konsultacije i organizaciju generalnih remonta. Za totalno održavanje dr Tokutaro Suzuki je izjavio: „Konceptija totalnog održavanja je da radnik mora održavati svoju mašinu. Održavanje koje sprovodi sektor proizvodnje je osnova totalnog održavanja. Stručnjaci održavanja mogu vršiti periodične preglede i obavljati generalne remonte“¹⁹.

f) Održavanje na bazi rizika

Održavanje na bazi rizika, osim što prati stanja same mašine, sagledava i značaj potencijalnog otkaza sistema, odnosno razmatraju se posledice samog otkaza²⁰.

Rizik je kvantitativni i kvalitativni opis opasnosti, tj. mera opasnosti ili nivo opasnosti. Rizik i analiza rizika može da nam posluži kao orijentir za donošenje odluka o aktivnostima održavanja.

Za određivanje održavanja, pored posledica, bitna je i verovatnoća pojave otkaza. Ukoliko je verovatnoća pojave nekog lošeg događaja veoma mala, onda je rizik pojave otkaza manji, ali većom verovatnoćom pojava otkaza je veća.

g) Totalno dijagnostičko održavanje

Ako postoji mogućnost da se rizik pojave otkaza tehničkog sistema može smanjiti na prihvatljivu meru kontrolom, obukom i pravilnim postupcima radnika, onda je potrebno izraditi i propisati procedure kojima se smanjuje rizik.

Kada imamo praćenja i merenja urušavanja elemenata tehničkog sistema radi iskorišćenja rezerve pouzdanosti i ako se rešenja primenjuju, onda se problem adekvatnog održavanja svodi na izbor dijagnostičkih metoda i propisivanje procedura. Često se pojava otkaza može otkloniti periodičnim merenjima, posmatranjima, obukom korisnika i pravilnom eksploatacijom.

i) Samoodržavanje

Samoodržavanje podrazumeva održavanje visokoautomatizovanih tehničkih sistema i fabrika („fabrika bez ljudi“) konstruisanih na visokoj integraciji programa i opreme pod zajedničkim upravljačkim sistemom uz učešće automatizovanih uređaja i robota²¹.

¹⁹Spasić, D., Malić, D., Meza, S., Jeftić, N., Značaj total productive maintenance TPM, Treći naučnostručni skup „Energiska efikasnost“ Visoka tehnička škola strukovnih studija, Beograd, 25. oktobar, 2015, str.316-320, ISSN 2334-914X, Beograd, 2015.

²⁰Malić, D., Adamović, Ž., Meza, S., Stojiljković, P., Spasić, D., Menadžment rizika u proizvodno poslovnim sistemima, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, 172 str.. Beograd, 2016.

²¹ Adamović, Ž., Radovanović, Lj., Ambrozi, M., Kompjuterski integrisano održavanje, TEHDIS, Beograd, 2004.

4.2. POUZDANOST TEHNIČKIH SISTEMA

Teorija pouzdanosti izučava zakonitosti nastajanja otkaza tehničkih sistema i njihovih komponenti, kao i način otklanjanja tih otkaza. Cilj teorije pouzdanosti je da ustanovi uticaj otkaza komponenti na funkcionalnost sistema u celini, sa ciljem preduzimanja potrebnih i pravovremenih mera za održavanje zahtevanog nivoa pouzdanosti²².

Nivo pouzdanosti ima direktan uticaj na održavanje sistema, posebno na troškove. Pouzdanost tehničkih sistema se posmatra tokom čitavog eksploatacionog veka. Pouzdan je onaj tehnički sistem koji uspešno, bez otkaza, obavlja funkciju za koju je predviđen.

Prvi pojam definicije pouzdanosti je verovatnoća. Pouzdanost poprima numeričke vrednosti od 0 do 1, ili procentualne radi jednostavnijeg opisivanja (od 0 do 100%).

Pouzdanost se može definisati i preko drugih veličina, osim vremena, na primer prema pređenoj kilometraži²³. Pouzdanosti se često izjednačava sa pojmom verovatnoće rada bez otkaza.

Pouzdanost možemo predstaviti kao površinu ispod krive koja označava radnu sposobnost sistema u granicama $t = 0$ kad sistem počinje da vrši funkciju cilja, i trenutka vremena $t = t_{grs}$ kad sistem gubi radnu sposobnost (vreme gubitka radne sposobnosti – t_{grs}), tj. kad više nije u mogućnosti da vrši funkciju prema datim kriterijumima²⁴.

Pouzdanost se definiše kao verovatnoća da će sistem uspešno ispunjavati funkciju cilja prema datom kriterijumu, pod datim uslovima, u datom vremenu²⁵.

Funkcija raspodele verovatnoće $F(a)$, tj. funkcija nepouzdanosti je:

$$F(a) = \int_0^a f(t) dt \quad (4.1.)$$

a funkcija pouzdanosti $R(a)$ je:

$$R(a) = 1 - F(a) = \int_a^{+\infty} f(t) dt \quad (4.2.)$$

Pouzdanost se može izraziti i kao odnos između broja uspešnih zadataka i ukupnog broja zadataka u vremenu specifičnom za funkcionisanje sistema²⁶ [9]:

$$\underline{R}(t) = \frac{n_1(t)}{n(t)} \quad (4.3.)$$

²²Adamović, Ž., Stanković, N., Savić, B., Pouzdanost mašina i postrojenja, Stylos art, Novi Sad, 2011.

²³Jevtić, N., Adamović, Ž., Jovanov, G., Dijagnostika putničkih automobila, TEHDIS, Beograd, 2006.

²⁴Adamović, Ž., Tomić, M., Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 2006.

²⁵Adamović, Ž., "Pouzdanost mašina", Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 2006.

²⁶Adamović, Ž., Jovanović, R., Pouzdanost i dijagnostika mašina, OMO, Beograd, 2002.

pri čemu je:

- $\underline{R}(t)$ – procena (statistička vrednost) pouzdanosti,
- $n_1(t)$ – broj uspešnih zadataka u vremenu t ,
- $n(t)$ – ukupan broj izvedenih zadataka u vremenu t ,
- t – vreme specificirano za funkcionisanje sistema.

Vrednost $\underline{R}(t)$ predstavlja procenjenu vrednost pouzdanosti, jer je broj zadataka kao i vreme t konačno.

Na bazi vremenske slike stanja sistema, osnovna statistička jednačina ima oblik²⁷:

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (4.4.)$$

gde je:

- $R(t)$ – pouzdanost,
- $F(t)$ – nepouzdanost.

Diferencijal ovog izraza u vremenu dat je u jednačini 4.5:

$$\frac{dF(t)}{dt} + \frac{dR(t)}{dt} = 0 \quad (4.5.)$$

pri čemu izraz:

$$\frac{dF(t)}{dt} = f(t) [\text{otkaz/jed. vremena}] \quad (4.6.)$$

predstavlja diferencijal funkcije raspodele odnosno verovatnoću pojave stanja „u otkazu“ $p(t)$, sagledavanog tehničkog sistema:

$$\frac{dR(t)}{dt} = p(t) \quad (4.7.)$$

Dobijeni izvod predstavlja diferencijalnu funkciju raspodele ili verovatnoću stanja „u radu“ $f(t)$, odnosno verovatnoću bezotkaznog sagledavanog tehničkog sistema, u skladu sa jednačinom 4.8²⁸:

$$f(t) = -p(t) \quad (4.8.)$$

Za prekidne promene je:

²⁷Adamović, Ž., Tomić, M., Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 2006..

²⁸ Adamović, Ž., Pouzdanosti, Tehdis, Beograd, 1998.

$$\underline{p}(t) = \frac{N - n}{N \cdot \Delta t} [\text{pojava } s^{-1}] \quad (4.9.)$$

gde je:

$\underline{p}(t)$ – procena (statistička vrednost) frekvencija pojave stanja „u radu“,

n – broj stanja „u otkazu“,

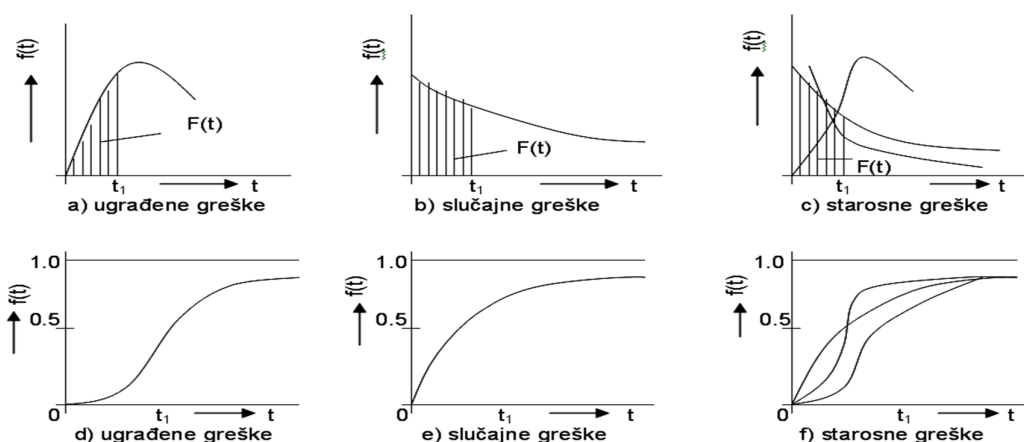
N – ukupan broj stanja (događaja, sastavnih delova),

Δt – interval vremena posmatranja.

Funkcija gustine pojava stanja „u otkazu“ sistema je²⁹:

$$F(t) = \int_0^{t_1} f(t) dt \quad (4.10)$$

i predstavlja površinu ispod krive funkcije gustine pojava „u otkazu“ (Slika 4.1.) koja obuhvata određeno područje u granicama $0-t_1$ promenljive t .



Slika 4.1. Funkcije gustine pojava stanja u otkazu i to:

a, b i c – funkcija gustine pojava stanja „u otkazu“

d, e i f – kumulativne funkcije gustine pojava stanja „u otkazu“.

Izvor: Adamović, Ž., Savić, B., Pouzdanost mašina i postrojenja, Stilos, Novi Sad, 2011.

Na Slici 4.1. predstavljena je kumulativna funkcija „u otkazu“ i može se prikazati jednačinom 4.11.

$$F(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt = 1 \quad (4.11.)$$

Kumulativna funkcija gustine pojava stanja „u radu“ ili funkcija bezotkaznog rada se, za slučaj neprekidnih promena stanja, dobija na osnovu³⁰:

$$F(t) = \int_0^{t_1} f(t) dt \quad (4.12.)$$

²⁹ Adamović, Ž., Tomić, M., Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 2006.

³⁰ Adamović, Ž., Brkić M., Inženjerstvo pouzdanosti, Akademija inženjerstva održavanja, Beograd, 2008.

odnosno:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^{t_1} f(t)dt \quad (4.13.)$$

Sada se pouzdanost može izraziti kao:

$$R(t) = \int_{t_1}^{\infty} f(t)dt \quad (4.14.)$$

Izraz je predstavljen kao komplementarna funkcija kumulativnoj funkciji gustine pojava stanja „u otkazu“ (nepouzdanosti). Kod prekidnih promena stanja tehničkih sistema statistička vrednost kumulativne funkcije bezotkaznog rada predstavlja izraz:

$$\underline{R}(t) = \frac{N - n(t)}{N} \quad (4.15.)$$

gde je:

$\underline{R}(t)$ – procena (statistička vrednost) kumulativne funkcije bezotkaznog rada,

$n(t)$ – ukupan broj elemenata sistema koji su otkazali u toku vremena t

(tj. u vremenu od 0 do t),

$N - n(t)$ – ukupan broj ispravnih elementa sistema u toku vremena t ,

N – ukupan broj elemenata sistema koji se posmatra $t_0 = 0$.

Intenzitet otkaza $\lambda(t)$ kao karakteristika pouzdanosti je uslovna gustina verovatnoće otkaza u određenom vremenskom intervalu³¹:

$$\lambda(t) = \frac{-\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} [\text{pojava stanja u otkazu } s^{-1}] \quad (4.16.)$$

pa intenzitet otkaza predstavlja odnos funkcije gustine pojava stanja „u otkazu“ i kumulativne gustine pojava stanja „u radu“.

Očigledno je da je $\lambda(t) \geq f(t)$,

a pri $R(t) = 1$,

$$\lambda(t) = f(t) \quad (4.17.)$$

Za prekidne promene stanja intenzitet otkaza se određuje na bazi istog prilaza kao i kod kontinualnih promena, to jest³²:

$$\underline{\lambda}(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{n(\Delta t)}{N(\Delta t)}}{\frac{N - n(\Delta t)}{N}} = \frac{n(\Delta t)}{[N - n(\Delta t) \cdot \Delta t]} \quad (4.18.)$$

³¹ Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika u mašinstvu, Naučna knjiga, Beograd, 1991.

³² Šćepanović S., Vujović L., Inženjerstvo pouzdanosti, Visoka tehnička škola Beograd, Beograd, 2011.

gde je:

$\lambda(t)$ – statistička ocena intenziteta otkaza $\lambda(t)$,
 N – ukupan broj posmatranih elemenata,
 $n(\Delta t)$ – ukupan broj elemenata koji su otkazali u vremenskom intervalu Δt ,
 $N - n(\Delta t)$ – broj elemenata „u radu“

$$[N - n(\Delta t)]_{sr} = \frac{[N - n(\Delta t)]_i + [N - n(\Delta t)]_{i+1} + 1}{2};^{33} \quad (4.19.)$$

gde:

$[N - n(\Delta t)]_{sr}$ – srednji broj elemenata „u radu“ u intervalu vremena Δt ,
 $[N - n(\Delta t)]_i$ – predstavlja broj elemenata „u radu“ na početku intervala
 $[N - n(\Delta t)]_{i+1}$ – predstavlja broj elemenata „u radu“ na početku intervala $i + 1$,
odnosno na kraju i -tog intervala.

Srednje vreme do otkaza je matematičko očekivanje slučajnog vremena rada do prvog otkaza³⁴[18]:

$$T_{ur} = M[T] = \int_0^{\infty} t f(t) dt = - \int_0^{\infty} t R'(t) dt = -t R(t)|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt; \quad (4.20.)$$

Srednje vreme rada do otkaza je:

$$T_{ur} = \int_0^{\infty} R(t) dt; \quad (4.21.)$$

Srednje vreme rada do otkaza T_{ur} jednako je površini koja je ograničena krivom $R(t)$ i apscisnom osom.

4.3. MODELI PROGNOZIRANJA POUZDANOSTI SLOŽENIH TEHNIČKIH SISTEMA

Pouzdanost, kako je ranije rečeno se može definisati kao sposobnost sistema da obavlja zahtevanu funkciju pod navedenim uslovima za dati period vremena³⁵ [53]. Pouzdanost se izražava kroz funkciju pouzdanosti $R(t)$ koja se, takođe, naziva i funkcijom opstanka (preživljavanja)³⁶. Druga funkcija koja se koristi da izrazi pouzdanost je funkcija distribucije otkaza $F(t)$ odnosno funkcija gustine otkaza $f(t)$.

³³ Adamović, Ž., Nestorović, G., Josimović, Lj., Veljković, D., Paaunjarić, P., Savić, N., Adamović, M., Milošević, D., Stanojević, M., Teorija pouzdanosti, Akademija inženjerstva i održavanja, s. 151, Beograd, 2008.

³⁴ Adamović, Ž., Voskresenski, V., Sigurnost funkcionisanja mašina, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2008.

³⁵ Hoyland, A., Rausand, M., System reliability Theory: Models and Statistical Methods, New York: John Wiley & Sons, Inc. 1994.

³⁶ Cox, D.R., Oakes, D., Analysis of Survival Data, London: Chapman & Hall, 91-113, 1984.

Pojam otkaza znači da sistem ili komponenta sistema koja je otkazala ne ispunjava funkciju cilja za koju je projektovana. Modeli i tehnike za procenu i analizu pouzdanosti mogu se podeliti na matematičke i konceptualne³⁷.

Analitički modeli se odnose na sisteme koji se mogu popraviti. Popravljivi sistemi se obično definišu kao oni koji će biti popravljani posle otkaza, a sa ciljem njihovog vraćanja u rad.

Složen sistem je sastavljen od više komponentata koje mogu biti povezane serijski, paralelno ili na neki drugi složen način³⁸.

a) Modeli zasnovani na principu verovatnoće

Pomoću principa verovatnoće moguće je prognozirati pouzdanost popravljivih sistema, pa se, na osnovu toga, koriste modeli za prognoziranje pouzdanosti. Često se koristi Vejbulova distribucija³⁹. Normalna i eksponencijalna distribucija, kao specijalni slučajevi Vejbulove raspodele, su takođe često u upotrebi⁴⁰. Postoji metod gde se vrši zamena delova nakon određenog vremena – model starosne zamene⁴¹ kao i metode po pojavi otkaza⁴². U modelu periodičnog preventivnog održavanja se određuje tačno određeno vreme izvršavanja održavanje sklopova, ali ne obavezno i zamenom. S obzirom na to da se intenzitet otkaza komponente uvek povećava tokom vremena i sistem često ne može biti „dobar kao nov“ nakon popravke, fiksno vreme opravke je zamenjeno varijabilnim, a takvo održavanje nazvano „sekvencijalno preventivno održavanje“, a promovisano je od strane Nguyen-a i Murthy-ja⁴³. Neka od istraživanja su načinjena da prošire model na kompleksni popravljivi sistem⁴⁴.

Vremenski zavisno održavanje je prvo razvijeno za jednu komponentu sistema, pa su se pojavili modeli sa imperfektnim popravkama, Fontenot i Proschan⁴⁵[49]. Potom se pojavio model za prognoziranje pouzdanosti popravljivih sistema sa periodičnim izmenama, Gurov i Utkin⁴⁶.

Model obnove procesa se pokazao kao jako prihvatljiv model. Koristi se kada komponenta sistema koja otkaze biva zamenjena novom, istom koja je „dobra, kao nova“

³⁷ Sun, Y., "Reliability Prediction Of Complex Repairable Systems: An Engineering Approach", Thesis submitted in total fulfilment of requirements of the degree of Doctor of Philosophy, Faculty of Built Environment and Engineering, University of Technology, Queensland, 2006.

³⁸ Crow, L.H., Reliability analysis for complex repairable systems, in Reliability and Biometry, Philadelphia, Pennsylvania: SIAM,379-410., 1974.

³⁹ Artana, K. B., Ishida, K., Spreadsheet modeling of optimal maintenance schedule for components in wear-out phase, Reliability Engineering & System Safety, 77(1), 81-91, 2002.

⁴⁰ Clausius, R., Ueber die mittlere lange der wege, Ann. Phy. Lpzg, 1858, 105, 239-258

⁴¹ Barlow, R. E., Hunter, L. C., Optimum preventive maintenance policies, Operations Research, 8, 90-100, 1960.

⁴² Wang, H. Z., A survey of maintenance policies of deteriorating systems, European Journal of Operational Research, 139(3), 469-489, 2002.

⁴³ Nguyen, D.G., Murthy, D.N.P, Optimal preventive maintenance policies for repairable systems, Operations research, 29, 1181-1194., 1981.

⁴⁴ Hoyland, A., Rausand, M., System reliability Theory: Models and Statistical Methods, New York: John Wiley & Sons, Inc. 1994.

⁴⁵ Fontenot, R.A., Proschan, F., Some imperfect maintenance models, in Reliability Theory and Models, M.S,Abdel-Hameed, E. Cinlar, and J. Quinn, Editors, Academic Press, Inc: Orland, 83-101, 1984.

⁴⁶ Gurov, S.V., Utkin, L.V., Reliability of repairable systems with periodic modifications, Microelectronics Reliability, 36(1), 27-35, 1996.

⁴⁷. Pouzdanost popravljivih standby sistema Narmada i Jacob⁴⁸ su izgradili model 1-otkaz-od-2-komponente (1-out-of-2) a zatim Dey i Sarmah⁴⁹ 1-otkaz-od- N -komponenti i na kraju Wang i Ke⁵⁰ W -otkaza-od- $W+M$ -komponenti. Zbog složenih matematičkih operacija mnogi od navedenih modela se veoma retko primenjuju.

b) Modeli na bazi dijagnostike stanja

Razvojem dijagnostike stanja, došlo je do unapređenja održavanja prognoziranjem pouzdanosti. Trenutno je najprimenljiviji model na bazi dijagnostike stanja model Proporcionalnog rizika (PHM), koji je razvio Cox⁵¹. Postoji model proporcionalnog intenziteta (PIM), premda je (PHM) model fleksibilniji. PHM se dosta koristi pri opisivanju pojave otkaza, ali nije dobar kao metod optimizacije akcija održavanja⁵². Roberts i Mann tvrde da se klasični PHM ne može iskoristiti za prognoziranje pouzdanosti popravljivog višekomponentnog sistema⁵³.

Mnogo je novih modela razvijeno na bazi dijagnostike stanja, na primer, Barbera, Schneider i Watson⁵⁴. Oni su predstavili model na bazi blok dijagrama pouzdanosti za sistem sa dve komponente sa serijskom vezom dok je Al-Najjar⁵⁵ razvio mehanički model za predikciju nivoa vibracija kotrljajućih ležajeva. Markovljevi simulacioni model se koristi u proceni efektivnosti modela na bazi dijagnostike stanja⁵⁶.

c) Model dijagnostike stanja i otkaza

Nova tehnička rešenja čine da dijagnostika stanja i otkaza ima sve veći značaj u istraživanju održavanja⁵⁷ – održavanje prema stanju. Model dijagnostike stanja i otkaza je trenutno najbolji u domenu preventivnog održavanja jer se odluke o održavanju donose na osnovu trenutnog stanja sistema⁵⁸.

⁴⁷ Noortwijk, J.M., Weide, J.A.M., Applications to continuous-time processes of computational techniques for discrete-time renewal processes, *Reliability Engineering & System Safety*, 93(12), 1853–1860, 2008.

⁴⁸ Narmada, S., Jacob, M., Reliability analysis of a complex system with a deterioration standby unit under common-cause failure and critical human error, *Microelectronics Reliability*, 36(9), 1287-1290., 1996.

⁴⁹ Dey, S., Sarmah, P., Estimation of parameters of a model of a complex repairable system, *Microelectronics Reliability*, 37(4), 673-676, 1997.

⁵⁰ Wang, K.H., Ke, J.C., Probabilistic analysis of a repairable system with warm standbys plus balking and renegeing, *Applied Mathematical Modelling*, 27(3), 327-336, 2003.

⁵¹ Cox, D.R., Oakes, D., *Analysis of Survival Data*. London: Chapman & Hall, 91-113., 1984.

⁵² Ebeling, C.E., *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, New York: The McGraw-Hill Company, 124-128, 1997.

⁵³ Roberts, J.W.T., Mann, Jr.L., Failure predictions in repairable multi-component systems, *International Journal of Production Economics*, 29(1), 103-110, 1993.

⁵⁴ Barbera, F., Schneider, H., Watson, E., A condition based maintenance model for a two-unit series system, *European Journal of Operational Research*, 116(2), 281-290, 1999.

⁵⁵ Al-Najjar, Prediction of the vibration level when monitoring rolling element bearings in paper mill machines, *International Journal of COMADEM*, 4(2), 19-26, 2001.

⁵⁶ Asadzadeh, S.M., Salehib, N., Firoozic, M., Condition-based maintenance effectiveness for series-parallel power generation system—A combined Markovian simulation model, *Reliability Engineering & System Safety*, 142, 357–368, 2015.

⁵⁷ Rao, B.K.N., *Handbook of Condition Monitoring*, UK: Elsevier Advanced Technology, 1996.

⁵⁸ Shina, J., Junb, H., On condition based maintenance policy, *Journal of Computational Design and Engineering*, 2(2), 119-127, 2015.

d) Modeli stabla otkaza i analize uzroka

Stablo otkaza i analiza uzroka su modeli koji se prilično primenjuju. Analiza uzroka otkaza se koristi da se otkrije uzrok otkaza⁵⁹. Tu su još: model stablo otkaza (Fault Tree Analysis - FTA) i model analiza događaja (Event Tree Analysis - ETA)⁶⁰. Stablo otkaza prevodi fizički sistem u logički dijagram, odnosno u različite kombinacije mogućih događaja. FTA metod je dobar za kvalitativnu ili kvantitativnu analizu, pa se koristi za otkrivanje uzroka otkaza. Pomoću Bulove logike iskazuju se međustanja poznavanjem samo dva stanja potpuno ispravnog i potpuno neispravnog.

e) Monte Carlo metoda

Monte Carlo metoda se često koristi kada ne mogu da se koriste druge matematičke metode, posebno za rešavanje fizičkih i matematičkih problema, obično uz pomoć računara. Monte Carlo metoda je bazirana na simulaciji slučajnih brojeva⁶¹. Monte Carlo metoda rešava tri vrste problema: numeričku integraciju, optimizaciju i generisanje grafika teorijskih raspodela verovatnoće⁶². Kod pouzdanosti Monte Carlo metoda koristi se u prognoziranju jer iz mnoštva mogućih događaja, simulacijom dolazimo do približno najverovatnijih ishoda. Prvo je primenio ovaj metod Conte de Buffon-a 1777. godine⁶³, ali ova metoda dobija na značaju sa razvojem računara. Najveći problem ove metode je teža izrada adekvatnih algoritama.

f) Blok dijagram pouzdanosti

Blok dijagram pouzdanosti je grafička metoda. Sistem je u ovoj tehnici podeljen na blokove koji predstavljaju različite elemente, delove, sklopove, komponente ili podsisteme⁶⁴. Kada se formira dijagram pouzdanosti za određeni sistem, moguće je tražiti i identifikovati „puteve“ uspešnog funkcionisanja ili otkaza sistema.

g) Markovljeva teorija

Markovljev proces opisuje buduće stanje sistema na osnovu sadašnjih parametara. Ova teorija je dobra za procenu pouzdanosti složenih sistema i složenih popravki⁶⁵. Model se često koristiti za modeliranje problema prognoziranja pouzdanosti popravljivog sistema⁶⁶.

⁵⁹ Ekanathan, M., Yeldose, B., Kallanickal, P., Mangalath, G., Root Cause Analysis to Identify the Problem Causing Turbine Failure, International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), 2(2), 527-535, 2013.

⁶⁰ Marhavidas, P., Koulouriotis, D., Gemeni, V., Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 24, 477-523, 2011.

⁶¹ Adamović, Ž., Jevtić, M., Računar u procesu održavanja tehničkih sistema, klub "Nikola Tesla", Beograd, 1994.

⁶² Adamović, Ž., Malić, D., Malić, M., Računar u funkciji upravljanja procesima održavanja, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2005.

⁶³ Kalos, M. H., Whitlock, P. A., Monte Carlo Methods, New York: John Wiley & Sons, 1986.

⁶⁴ Villemeur, A., Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment, Vol. 1. Chichester: John Wiley & Sons, 1992.

⁶⁵ Fiems, D., Steyaert, B., Bruneel, H., Analysis of a discrete-time GI-G-1 queuing model subjected to burst interruptions, Computers & Operations Research, 30 (1), 139-153, 2003.

⁶⁶ IEC 61165, Application of Markov techniques.

Kod diskretnih veličina imamo Markovljeve lance. Oni se primenjuju kada otkaz ili popravke zavise od stanja sistema, obično kada održavanje ne može biti obuhvaćeno drugim tehnikama osim ove⁶⁷. Loša strana je kad matematička rešenja jednačina u nekim slučajevima budu nejasna, pa je nemoguće primeniti ih.

i) Poasonov proces

Poasonovi procesi su poseban slučaj Markovljevih lanaca. Ovaj model pretpostavlja da su otkazi nezavisni jedan od drugog i da broj otkaza u svakom vremenskom intervalu podleže Poasonovoj distribuciji⁶⁸. Log-linearni NHPP model i power law NHPP model su dva dosta korišćena modela za popravljive sisteme. Power law NHPP model je baziran na Weibulovoj distribuciji⁶⁹.

Poasonov proces je podoban za analizu popravljivih sistema sa više rednih otkaza sa tačkastom stohastičkom prirodom procesa. Modeli na bazi Poasonovih procesa su pogodni za male popravke, ali su problematični za popravke kao što su remont.

j) Statističke metode

- Bajesova teorija

Bajesova teorija ima mnogo modela kao na primer Bajesov faktor, Bajesova igra, Bajesova multivarijantna linearna regresija, Bajesova mreža, Bajesov empirijski metod itd. Bajesov model se koristi i u modelovanju pouzdanosti s mogućnošću implementacije iskustava održavalaca. Mazzuchi i Soyer⁷⁰ su proširili ovaj model na politiku zamene na bazi vremena i politiku zamene bloka sa minimalnim popravkama. Kod slučajnih i nepoznatih otkaza analizirajući troškove istih, Shue⁷¹ je razvio model neophodnih zamena koristeći Bajesov pristup. Percy⁷² pomoću Bajesovog modela je istraživao mogućnosti poboljšanja preventivnog održavanja. Apeland⁷³ je, takođe, koristio Bajesov pristup za donošenje odluka o održavanju kada su objektivni podaci nedovoljni. Kod otkaza sa zajedničkim uzrokom možemo, takođe, koristiti Bajesov pristup⁷⁴.

Najveća prednost Bajesovog modela je kombinovanje sa teorijskim raspodelama verovatnoće da bi se što bolje opisale pojave otkaza sistema.

⁶⁷ Spasić, D., Vulović, S., Meza, S., Adamović, Ž., Višedimenzionalni markovljevi procesi u sistemu održavanja tehničkih sistema, XVI konferencija, Vibrodijagnostičko i tribodijagnostičko proaktivno održavanjemšina« Vrnjačka Banja, 30.09.2016., ISBN 978-86-83701-45-2, VrnjačkaBanja, 2016.

⁶⁸ Sun, Y., "Reliability Prediction Of Complex Repairable Systems: An Engineering Approach", Thesis submitted in total fulfilment of requirements of the degree of Doctor of Philosophy, Faculty of Built Environment and Engineering, University of Technology, Queensland, 2006.

⁶⁹ Finkelstein, M. S., A point-process stochastic model for software reliability, Reliability Engineering & System Safety, 63(1), 67-71, 1999.

⁷⁰ Vukadinović, S.,: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1986.

⁷¹ Sheu, S. H., Yeh, R. H., Lin, Y.B., Yuang, M.G., A Bayesian approach to an adaptive preventive maintenance model. Reliability Engineering & System Safety, 71(1), 33-44, 2001.

⁷² Percy, D.F., Kobbacy, K.A.H., Fawzi, B.B., Setting preventive maintenance schedules when data are sparse. International Journal of Production Economics, 51(3), 223-234.,1997.

⁷³ Apeland, S., Scarf, P.A., A fully subjective approach to modeling inspection maintenance. European Journal of Operational Research, 148(2), 410-425, 2003.

⁷⁴ Liu, Z., Liu, Y., Cai, B., Zhang, D., Zheng, C., Dynamic Bayesian network modeling of reliability of subsea blowout preventer stack in presence of common cause failures, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 38, 58-66, 2015.

- Fazi logika u prepoznavanju oblika

Osim navedenih modela koriste se i mnoge druge metode kao što su: fazi logika⁷⁵, neuronske mreže, genetski algoritmi, fuzija podataka, kombinacije⁷⁶ itd.

- Primena simulacionih metoda za prepoznavanje oblika

Problematika prepoznavanja pouzdanosti tehničkog sistema kao što je dizel motor može se ostvariti i prepoznavanjem oblika simulacionom metodom. Odnosno prepoznavanje tipa funkcije pouzdanosti može se razmatrati i kroz metode statističkog prepoznavanja, linearne transformacije slučajnih vektora, Bajesovim pravilima kako je već rečeno, Neyman-Pearsonov testom, minimax testom, testom više hipoteza, opcijom odbacivanja, metodom grane i granice, kompozitni test hipoteze itd.

k) Ostali modeli i analiza

Metode koje smo opisali, naveli i sve druge koje nisu spomenute, koriste se za prognožiranje pouzdanosti tehničkih sistema kao što je i dizel motor. Najveći tehnološki napredak je nastao upotrebom i korišćenjem kompjutera i kompjuterskih tehnika. Na taj način povećana je analitička sposobnost i nivo istraživanja je podignut na mnogo viši nivo. Jedna od mogućnosti je i kombinovanje više metoda tako da se dobiju potpuno nove metode sa širim mogućnostima, boljih performansi i koje su upotrebljivije, a time se pouzdanost podiže na mnogo viši nivo.

Mnogi modeli se zasnivaju na imperfektnom održavanju i pokušajima predikcije pouzdanosti sistema, na pretpostavci nezavisnosti otkaza, na opisivanju realnosti putem interakcije otkaza⁷⁷, na konceptu zavisnih otkaza, na konceptu kaskadnih otkaza, odnosno višestruko sekvencijalnih otkaza^{78,79,80}, na pretpostavci otkaza sa zajedničkim uzrokom odnosno višestruko povezanim događajima sa zajedničkim uzrokom^{81,82}.

⁷⁵ Spasić, D., Meza, S., Vulović, M., Otić, G., Fuzzy logika kao tehnika u dijagnostici ispitivanja elektroenergetskih elemenata, Naučno stručni časopis „Održavanje Mašina“, godina XII, broj 3-4, Str. 4-10, ISSN 1452-9688, Smederevo, 2015.

⁷⁶ Spasić, D., Meza, S., Adamović, Ž., Kaizen i šest sigma u lean pristupu održavanja tehničkih sistema stilovi, vrste i alati, Naučno stručni časopis „Održavanje Mašina“, godina XI, broj 1-2, str.11-17, ISSN 1452-9688, Smederevo, 2015.

⁷⁷ He, Z., Gong, W., Xie, W., Zhang, J., Zhang, G., Hong, Z., NVH and reliability analyses of the engine with different interaction models between the crankshaft and bearing, Applied Acoustics, 101(1), 185–200., 2016.

⁷⁸ Jovanov, G., Adamović, Ž., Radovanović, R., Spasić, D., Metode ocenjivanja funkcije održavanja, XVI konferencija, Vibrodijagnostičko i tribodijagnostičko proaktivno održavanje mašina, Vrnjačka Banja, 30.09.2016, ISBN 978-86-83701-45-2, Vrnjačka Banja, 2016.

⁷⁹ Spasić, D., Meza, S., Vulović, M., Otić, G., Fuzzy logika kao tehnika u dijagnostici ispitivanja elektroenergetskih elemenata, Naučno stručni časopis „Održavanje Mašina“, godina XII, broj 3-4, Str. 4-10, ISSN 1452-9688, Smederevo, 2015.

⁸⁰ Duan, D., Ling, X., Wu, X., Ou Yang, D., Zhong, B., Critical thresholds for scale-free networks against cascading failures, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 416, 252–258., 2014.

⁸¹ Cupac, V., Lizier, J. T., Prokopenko, M., Comparing dynamics of cascading failures between network-centric and power flow models, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 49, 369–379, 2013.

⁸² Spasić, D., Meza, S., Adamović, Ž., Implementacija računarskih sistema za upravljanje održavanjem (Computerized Maintenance Management System – CMMS), Naučno stručni časopis „Tehnička dijagnostika“, godina XV, broj 2, Srbija, ISSN 1451-1975, str.40-46, Beograd, 2016.

Većina dosadašnjih modela prognoziranja pouzdanosti se oslanja na teoriju verovatnoće. Nasuprot tome, izuzetno malo oslikavaju iskustva iz prakse ili eksploataciono istraživanja.

Naziv ove doktorske disertacije je „Model pouzdanosti u procesu eksploatacije dizel motora“ pa je motor kao tehnički sistem ovde predstavnik jednog konkretnog i celovitog eksploatacionog istraživanja, odnosno kroz iskustva iz prakse u kombinaciji sa dostupnim modelima, izgrađujemo nov model na osnovu koga potvrđujemo mere za povišenje pouzdanosti, odnosno smanjenje otkaza.

Razvoj modela iz eksploatacionog istraživanja je zasnovan na slučaju malog broja dostupnih podataka o sistemu, u našem slučaju dizel motoru, a naročito malog broja otkaza, pa je neophodna primena modela sa upotrebom računarskih sistema radi obrade dostupnih podataka.

Modeli prognoziranja pouzdanosti, koji se odnose na kompleksne tehničke sisteme kao što je dizel motor, nedovoljno su precizni, primenljivi i nedovoljno su realni. Da bi se problem pouzdanosti tehničkih sistema, kakav je dizel motor, podigao na viši nivo, neophodan je dalji rad, posebno u pravcu analize eksploatacionih istraživanja zato što su podaci dobijeni iz eksploatacije najmerodavniji i najrealniji.

4.4. VRSTE SLOŽENIH TEHNIČKIH SISTEMA I NJIHOVA POUZDANOST

Složeni tehnički sistemi dele se na: brojevno složene sisteme i strukturno složene sisteme.

- Brojevno složeni sistemi imaju veliki broj istih elemenata.
- Strukturno složeni sistemi imaju raznorodne elemente i oni podležu različitim uzrocima pojava otkaza.

Za brojevno složene tehničke sisteme problem je vreme kalkulacije pouzdanosti zbog velikog broja elemenata sistema.

Kod strukturno složenih sistema problem je prezentovanja strukture sistema i povezivanje velikog broja elemenata sa različitim raspodelama verovatnoće pojave otkaza.

Druga podela složenih tehničkih sistema odnosi se na popravljivost tehničkih sistema pa postoje popravljive i nepopravljive tehničke sisteme.

- Popravljivi sistem se može vratiti u radno stanje akcijom održavanja bilo da je u pitanju zamena i/ili popravka dela sistema. Kod popravljivih sistema postoji termin intenzitet pojave otkaza ili „intenzitet popravke“.
- Kod pojave otkaza u nepopravljivom sistemu svaki pojedinačni sistem koji otkáže mora se ukloniti i na njegovo mesto postaviti novi.

U suštini složeni tehnički sistemi su popravljivi, te može se govoriti o popravljivim i nepopravljivim komponentama sistema.

Pouzdanost složenih tehničkih sistema zavisi od tačnosti rezultata pouzdanosti u odnosu na formirani model. Složeniji modeli podrazumevaju adekvatno prikupljanje podataka i

adekvatan unos prikupljenih podataka, tačno predstavljanje strukture i stanja sistema, predstavljanje uticaja popravki na pouzdanost i drugo.

Markovljevi modeli su često primenjivani modeli, ali se koristi i blok dijagram pouzdanosti pomoću koga se vrši dekomponovanje sistema.

Kod binarnih kompleksnih sistema, postoje strukturne relacije između sistema i njegovih komponenti. Ovde se uočavaju međusobno nezavisni otkazi komponenata koji nemaju uticaja jedni na druge po pitanju pouzdanosti. Ako se razmotri sistem od n komponenti obeleženih od 1 do n (Slika 4.2.), mogu se razlikovati dva stanja komponenti sistema: u radu i u otkazu. Da bi se objasnila ova stanja svakoj i -toj komponenti sistema dodaće se varijabla x_i ⁸³:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{ako je komponenta u stanju "u radu"} \\ 0, & \text{ako je komponenta u stanju "u otkazu"} \end{cases}$$

Slika 4.2. pretstavlja serijsku strukturu.



Slika 4.2. Serijska struktura

Izvor: Avent, T., Jonson, U., *Stochastic Models in Reliability*, Springer – Verlar, New York, 1999.

Uvodi se binarna varijabla za celi sistem koja može imati vrednosti 0 ili 1:

$$\Phi = \begin{cases} 1, & \text{ako je sistem u stanju "u radu"} \\ 0, & \text{ako je sistem u stanju "u otkazu"} \end{cases}$$

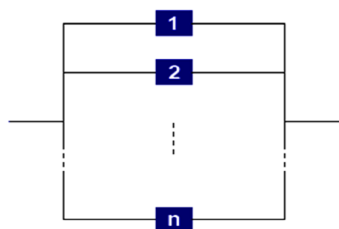
gde je jasno da je $\Phi = \Phi(\mathbf{x})$, (strukturna funkcija sistema tj. struktura sistema), a $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ te je stanje sistema u potpunosti definisano stanjem komponenata. Tako je struktura sistema u rednoj vezi elemenata data kao [17]:

$$\Phi(\mathbf{x}) = x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n = \prod_{i=1}^n x_i; \quad (4.22.)$$

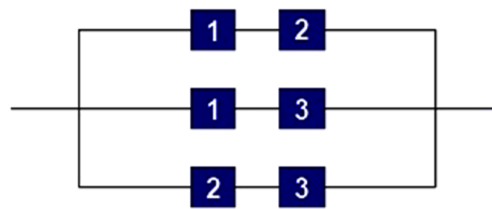
Kada je u pitanju paralelna struktura sistema (Slike 4.3 i 4.4.) tada važi [17]:

$$\Phi(\mathbf{x}) = 1 - (1 - x_1) \cdot (1 - x_2) \cdot \dots \cdot (1 - x_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_i) = \prod_{i=1}^n x_i \quad (4.23.)$$

⁸³ Adamović, Ž, Golubović, D, Totalno održavanje tehničkih sistema, Pronalazaštvo, Beograd, 2000.



Slika 4.3. Paralelna struktura



Slika 4.4. Otkaz 2 od 3 komponente dovodi do otkaza sistema (kompleksni sistem)

Izvor: Avent, T., Jonson, U., *Stochastic Models in Reliability*, Springer – Verlag, New York, 1999.

- Proračun pouzdanosti kompleksnog sistema.

Neka je X_i binarna slučajna varijabla koje reprezentuje stanje i -te komponente sistema

u datom trenutku vremena, gde je $i = 1, 2, \dots, n$ i neka je⁸⁴: $p_i = P(X_i = 1)$,

$q_i = P(X_i = 0)$, $h = h(p) = P(\Phi(X) = 1)$ i $g = g(q) = P(\Phi(X) = 0)$

Gde je $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ i $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$.

Verovatnoće p_i i q_i odgovaraju pouzdanosti i nepouzdanosti komponente sistema i , a h i g odgovaraju pouzdanosti i nepouzdanosti celog sistema. Izračunavanje pouzdanosti h je dato preko pouzdanosti komponenta p_i .

- Pouzdanost serijske strukture je [8]:

$$h = P(\phi(X) = 1) = P\left(\prod_{i=1}^n X_i = 1\right) = \prod_{i=1}^n P(X_i = 1) = \prod_{i=1}^n p_i \quad (4.24.)$$

a pouzdanost paralelne strukture je [8]:

$$h = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i) = \prod_{i=1}^n p_i \quad (4.25.)$$

4.5. MODELOVANJE TEHNIČKIH SISTEMA

Da bi bio izabran pravi model potrebno je stvoriti sliku o karakteristikama sistema, održavanju, parametrima koji će se koristiti i o ostalim faktorima koji utiču na model. Moguće je uzeti i neki postojeći model i prilagoditi ga konkretnom tehničkom sistemu⁸⁵. Olakšavajući mehanizmi su primena računara i kompjuterska tehnologija.

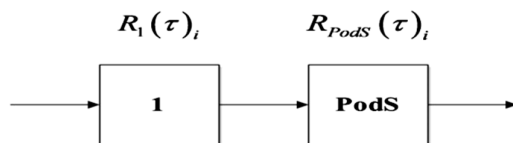
⁸⁴ Avent, T., Jonson, U., *Stochastic Models in Reliability*, Springer – Verlag, New York, 1999.

⁸⁵ Alargić, P., Adamović, Ž., Spasić, D., Meza, S., Nikolić, N., *Technical diagnostic maintenance of the situation with the control of level of reliability*, zbornik rada ova Vrnjacka banja, 2015.

Kompjuterska tehnologija olakšava rad kod velikih proračuna posebno gde postoji veliki broj ulaznih podataka. Kompjuterska tehnologija se koristi i kod simulacija, posebno kada tražimo pravila po kojima će se postupiti⁸⁶. Monte Carlo simulacija⁸⁷ se često koristi kao polazna osnova za modelovanje.

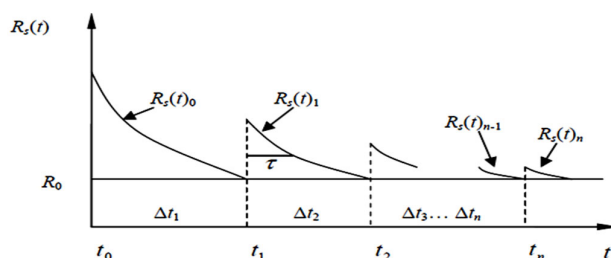
Model koji se primenjuje u nekim istraživanjima je SSA (Split System Approach) model. Ovaj model ne posmatra celovito tehnički sistem već ga dekomponuje. Takođe, SSA poznaje razliku između popravljivih i nepopravljivih komponenti sistema.

Kada sistem dođe na nivo R_0 popravljiva komponenta se održavanjem podiže na nivo koji se želi održavati. Kod slučaja da je komponenta 1 najsklonija otkazima kao popravljiva komponenta, vrši se analiziranje redne veze između komponente 1 i ostatka sistema (Slika 4.5). $R_1(\tau)_i$ je pouzdanost komponente 1 posle vremena τ proteklog od poslednje i -te preventivne akcije održavanja. Obično tehnički sistem nakon akcije održavanja nije „dobar, kao nov“, odnosno nema pouzdanost $R_S = 1$, zato što postoje popravljive i nepopravljive komponente što se može videti na Slici 4.6.⁸⁸



Slika 4.5 Redna veza popravljive komponente i nepopravljivih komponenata kompleksnog sistema

Izvor: Hoyland, A., Rausand, M., *System reliability Theory: Models and Statistical Methods*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1994.



Slika 4.6. Kretanje pouzdanosti imperfektno popravljanog kompleksnog Sistema

⁸⁶ Jovanov, G, Radovanović, R, Spasić, D, Arhitektura hibridnih sistema Zbornik radova Vrnjačka Banja oktobar 2015, rad br. 33, Vrnjačka banja, 2015.

⁸⁷ Dekker, R, Groenendijk, W, Availability assessment methods and their application in practice, Microelectron, Reliab. 35, 1257–1274,1995.

⁸⁸ Hoyland, A., Rausand, M., *System reliability Theory: Models and Statistical Methods*, New York: John Wiley & Sons, Inc. 1994.

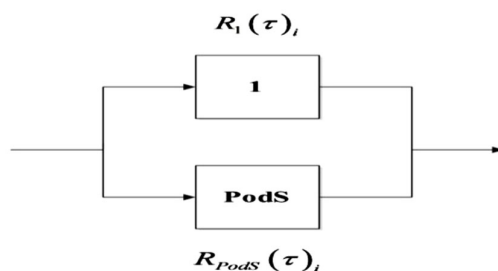
Izvor: Hoyland, A., Rausand, M., *System reliability Theory: Models and Statistical Methods*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1994.

Preventivna akcija održavanja se preduzima onog trenutka kada pouzdanost sistema dođe na minimalno potrebnu:

$$R_S(\tau)_i = R_0 \quad (4.26.)$$

Preventivnom opravkom na popravljivim komponentama 1 pouzdanost sistema se povećava, dok druge – nepopravljive komponente sistema, ostaju na istom nivou pouzdanosti. $R_S(t)$ je pouzdanost sistema nakon n preventivnih akcija održavanja.

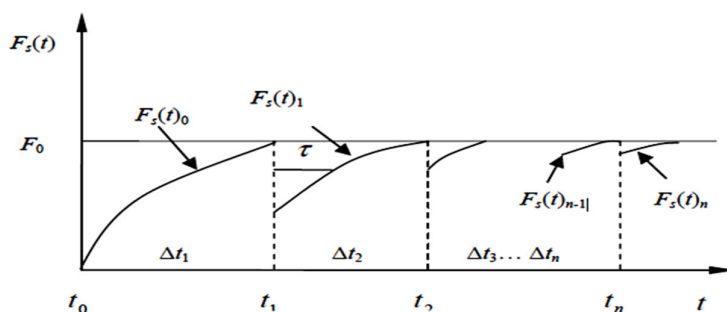
Paralelna veza između komponente 1 i ostatka sistema nepopravljivih komponenti kompleksnog sistema (PodS) (Slika 4.7).



Slika 4.7. Paralelna veza popravljive komponente i nepopravljivih komponenata kompleksnog sistema

Izvor: Hoyland, A., Rausand, M., *System reliability Theory: Models and Statistical Methods*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1994.

$F_S(\tau)_n$ i $F_S(t)$ je nepouzdanost sistema nakon n -te preventivne akcije održavanja date preko relativne vremenske skale i apsolutne vremenske skale (Slika 4.8.).



Slika 4.8. Kretanje nepouzdanosti imperfektno popravljanog kompleksnog Sistema tokom vremena

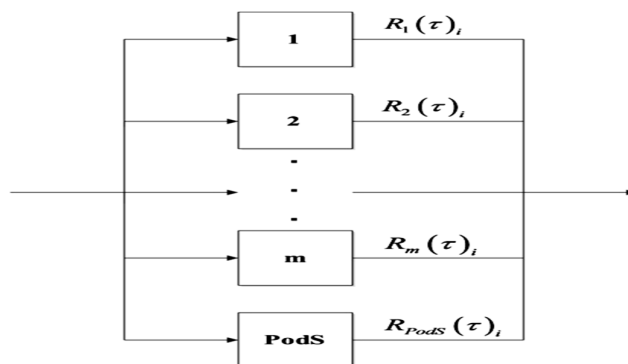
Izvor: Hoyland, A., Rausand, M., *System reliability Theory: Models and Statistical Methods*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1994.

Više serijskih vezanih popravljivih komponenti, (m popravljivih komponenti), prikazan je na Slici 4.9. Sistem sa m paralelnih popravljivih komponenti je prikazan na Slici 4.10.



Slika 4.9. Sistem sa m serijskih popravljivih komponenti

Izvor: Hoyland, A., Rausand, M., *System reliability Theory: Models and Statistical Methods*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1994.



Slika 4.10. Sistem sa m paralelnih popravljivih komponenti

Izvor: Hoyland, A., Rausand, M., *System reliability Theory: Models and Statistical Methods*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1994.

Kod složenih struktura tehničkih sistema, koja se sastoji od redno ili paralelno vezanih komponentata sistema, proračun pouzdanosti je složen. Upravo ona usložnjava i otežava izvodljivost proračuna.

Radi olakšavanja izrade proračuna pouzdanosti problem se može opisati u nekoliko koraka:

1. Prikupljanje podataka o otkazima.
2. Dekomponovanje sistema tehničkog sistema.
3. Određivanje odgovarajućeg perioda za proračun.
4. Određivanje perioda preventivnih akcija održavanja.
5. Određivanje pouzdanosti svake komponente posebno, i celog sistema.
6. Proračun pouzdanosti svih komponenti i celokupnog sistema.
7. Ponavljanje postupka do dobijanja odgovarajućeg traženog rešenja.

Prednosti ovog modela su:

- model je prilagodljiv za duži period eksploatacije tehničkog sistema i primenu preventivnih akcija održavanja;
- model je sposoban da da uvid u kretanje pouzdanosti pojedinačnih komponenti i njihov uticaj na ukupnu pouzdanost sistema;
- model je moguće implementirati za različite tehničke sisteme;
- nije ograničen u odnosu na raspodelu otkaza.

Nedostaci ovakvog modela su:

- veoma teška primena modela za slučaj velike složenosti sistema po broju komponenata, kao i u slučaju malog broja otkaza;
- kod interakcije komponenata sistema kad otkaz jedne utiče na pouzdanost druge komponente sistema, otežava primenu modela.

5. EMPIRIJSKO ISTRAŽIVANJE

5.1. ANALIZA OTKAZA I POUZDANOST DIZEL MOTORA

5.1.1. Praćenje vozila i njihovih dizel motora u komunalnom preduzeću

Analizirani su otkazi dizel motora komunalnih vozila sa savremenim dizel motorima u JKP „Zelenilo” u Smederevu. Vozila u komunalnim preduzeću su u otežanom radu, obzirom da njima upravlja više vozača. Veći broj vozila voznog parka JKP „Zelenilo“ koji ima 30 vozila (Tabela 5.1.) je sa dizel motorima novije generacije. Izabrana su vozila sa dizel motorima novije generacije koja su praćena deset godina. Jedan broj otkaza na dizel motorima ovih vozila se ponavljao: začepljenje EGR ventila, propadanje i otkaz turbo punjača, začepljenje DPF filtera, smanjen vek trajanja maziva i usled toga loše podmazivanje koje je u više navrata prouzrokovalo da motor izgubi potpuno podmazivanje na radilici, začepljenje injektora (brizgaljki za gorivo), začepljenje povratnog voda za gorivo i curenje goriva po instalaciji te pretvaranje isparenog goriva u smolu i oštećenja instalacije za injektore, pregorevanje dihtunga glave motora, razne greške praćenja stanja prikazane na displeju, kao greške na motoru koje su u većini slučajeva posle restartovanja sistema prestale da se prikazuju na displeju.

Prateći vozila došlo se do zaključka da se u odnosu na poslove koje vozila obavljaju određen broj otkaza ponavlja⁸⁹. Specifičnost rada jednog broja komunalnih vozila je da više od 80% vremena motor radi na malom broju obrtaja i u leri, gde vozilo provede više od 50% vremena u stajanju.

Poslovi koji se uglavnom obavljaju u JKP “Zelenilo” su:

- Celodnevni trosmenski rad 24 sata, obilazak ulica brzinom kretanja do 30 km/h, stajanje na svakih desetak metara i skupljanje smeća, čišćenje žardinjera, utovar smeća od uličnih čistača. U suštini preko 80% vremena dizel motori vozila rade na malom broju obrtaja i u leri.
- Tokom skupljanja smeća u kontejnerima od 1,1 m³, vozilo se kreće od lokacije do lokacije uglavnom u užem centru grada, lokacije su prilično blizu, same lokacije su sa više kontejnera, te je vreme zadržavanja na svakoj lokaciji minimum dvadeset minuta. Vozilo radi u leri i prilikom punjenja tovarnog dela (nadgradnje) broj obrtaja motora je ispod 1000 o/min.
- Pranje ulica – kretanje vozila lagano na malom broju obrtaja, kod rada pumpe za pranje ograničenje obrtaja motora na maksimum 1200 o/min (zbog pumpe za vodu), normalniji rad, odlazak do lokacije za pranje.
- Sakupljanje otpada u kontejnerima od 5 m³, kraći rad na leri prilikom utovara kontejnera, odvoženje i dovoženje kontejnera u normalnom radu.
- Rad pauka je na ograničenom broju obrtaja zbog hidraulične pumpe (ograničenje maksimum 1100 o/min) prilikom utovara i normalan rad u obilasku i odvozu.
- Zimska služba vozila su u normalnom radu; najmanje problema na samim motorima.

⁸⁹ Spasić D, Radovanović Lj, Milošević D, Adamović Ž, Jovanov, G, Neki tipovi havarijskih stanja dizel motora, XVIII konferencija Vrnjačka Banja – Goč »Tehnička dijagnostika motornih vozila«, Vrnjačka Banja Goč, ISBN 978-86-83701-53-7, COBISS.SR-ID 264496140, Goč, 2018.

Odlukom menadžmenta zabranjeno voženje preko 50 km/h. GPS praćenjem je svako prekošenje sankcionisamo, zabrana prekoračenja je čak i na magistralnom putu, što onemogućava da se motori u nekom dužem vremenskom periodu „izduvaju“ i zaostali produkti sagorevanja izbace iz motora posebno iz DPF filtera. U Tabeli 5.1 su prikazana vozila JKP “Zelenilo” koja su bila na raspolaganju za analizu odnosno eksploataciono istraživanje.

Tabela 5.1. Vozila JKP “Zelenilo” koja su bila na raspolaganju za analizu odnosno eksploataciono istraživanje

R. br.	Vozilo	God. proizvodnje	Registar-ski broj	Kategorija Vozila	Snaga motora	Nosivost u kg
1.	Volkswagen Crafter 2.0 tdi 4x2 (autoplatforma)	2012	SD049ZD	Teretno	105 KW	150
2.	Cisterna Mercedes Benz ECONIC 2628L(NLA 6x2)4	2002	SD 050 ŽK	Teretno	205 KW	16510
3.	Autosmečar FAP 2023 BD42	2008	SD 016 GY	Teretno	170 KW	8840
4.	Autosmečar FAP 2023 BD42	2008	SD 018 VC	Teretno	170 KW	8840
5.	Autopodizač FAP 1921/36	1997	SD 005 FJ	Teretno	151 KW	10220
6.	Autopodizač FAP 1318 B36	2008	SD 002 AI	Teretno	130 KW	7900
7.	Kiper FAP 1418 BSKS	1997	SD 020 ĐE	Teretno	134 KW	7750
8.	Autosmečar IVECO EURO CARGO ML90E 17	2005	SD 025 AĆ	Teretno	125 KW	2600
9.	IVEKO New CargoML 120 EL 18	2008	SD 016 VG	Teretno	130 KW	3470
10.	Autosmečar FAP 1317 resor 36 4x2	2004	SD 017 DČ	teretno	125 KW	4480
11.	Autosmečar FAP 1721 BD	2000	SD 046 XI	teretno	151 KW	5860
12.	Autopodizač FAP 1213	2005	SD 022 UJ	teretno	96 KW	8005
13.	Zastava New Turbo Rival 49.12 HNPk Kiper	2012	SD 028 LG	teretno	92 KW	2600
14.	Zastava New Turbo Rival 49.12 HNPk	2012	SD 028 LE	teretno	92 KW	2450
15.	Mercedes benz Sprinter 311 CDI New Doka Kiper	2008	SD 005 SS	teretno	80 KW	1250
16.	Autosmečar FAP 1317/36KK	2003	SD 019WO	teretno	125 KW	4200
17.	Autočistilica Johnson Sweeters CX200	2007	SD 046 ĐX	teretno	55 KW	0
18.	Autočistilica Johnston Sweepers compact 50	2005	SD 035 MŠ	teretno	55 KW	0
19.	Zastava New Turbo Rival 49.10 Kiper	2005	SD 035 ML	teretno	76 KW	2370
20.	Autosmečar MERCEDES BENZ ECONIC 1828 LL/4X2	2003	SD 045 ZW	teretno	205 KW	6800
21.	Zastava 49-12H New Turbo Rival 49.10HN(specijalne namene)	2014	/	teretno	92 KW	1825
22.	Zastava 49.12 New Turbo Rival sa specijalnom nadgradnjom	2014	/	teretno	92 KW	1425
23.	Zastava New Turbo Rival 49.12 HNPk Kiper	2012	SD 027 XŠ	teretno	92 KW	2450
24.	Zastava New Turbo Rival 49.10 HNPk	2008	SD 014 GČ	teretno	76 KW	2370
25.	Palazzani Patoad PT (Radna mašina)	2003	SD AAB 86	radna	75 KW	0
26.	Belarus 1025	2016	SD AAH 38	traktor	76 KW	0
27.	Kubota STW 34 D	2016	SD AAH 39	traktor	24,5 KW	0
28.	IMT 539	2001	SD AAA 87	traktor	28,5 KW	0

29.	Autopodizač FAP 1414	1990	SD 025 ČČ	teretno	107 KW	8500
30.	Autopodizač Mercedes 1213/36	1990	SD 023 DK	teretno	96 KW	5000

Pošto je veći broj vozila voznog parka JKP-a sa dizel motorima novije generacije, vozila imaju EGR ventil, turbo punjač, elektronsku regulaciju ubrizgavanja goriva, senzorsko praćenje radnih parametara, dijagnostiku stanja i upozorenja na pojavljeni problem kao i blokade rada kad stanje iz upozorenja pređe u havarijsko.

Da bi veza pojave otkaza sa radom na malom broju obrtaja mogla biti objašnjena, prvo se mora objasniti nekoliko sistema i podsistema koji su direktno ugroženi ovakvim radom.

EGR ventil savremenog dizel motora, svrha i princip rada

Kod modernih dizel motora EGR ventil (ventil za recirkulaciju izduvnih gasova) koristi se za preciznu regulaciju sagorevanja smeše kako bi se povećala ekonomičnost i smanjila količina azotnih oksida i ugljovodonika. Takođe, kod savremenih dizel motora se smanjuje buka detonacije prilikom rada na leri i manjeg broja obrtaja motora.

EGR ventil služi da u smešu svežeg vazduha i goriva uvede određenu količinu izduvnih gasova pomoću kojih se reguliše sagorevanje. Prevelika količina kiseonika stvara topao plamen i brzo sagorevanje smeše. Kao reakcija na povećanje temperature u komori za sagorevanje, dolazi do neželjene hemijske reakcije između kiseonika i azota iz usisanog vazduha prilikom čega se stvaraju azotni oksidi koji su otrovni. Otrovni azotni oksidi zagađuju životnu sredinu. Usled neželjene hemijske reakcije između kiseonika i azota u smeši, u motoru ostaje manje kiseonika za sagorevanje goriva, čime se smanjuje snaga i povećava nivo ugljovodonika. Kada se pregrejanoj smeši doda odgovarajuća količina sagorelih izduvnih gasova, koji ne sadrže kiseonik, dolazi do snižavanja temperature sagorevanja i do vođenja parametara rada dizel motora u normalan rad, posebno prilikom rada u leri i na manjim obrtajima. Kod savremenih dizel motora, EGR ventil prilikom rada na minimumu potpuno je otvoren i može da obezbedi i do 50% prisustva sagorelih gasova u komori za sagorevanje. Prilikom povećanja snage i obrtaja motora, on se u potpunosti zatvara.

EGR ventil otkazuje zbog začepljenja usled taloženja čestica čađi. EGR ventil može da ostane potpuno otvoren, potpuno zatvoren ili može da ima sporu reakciju. Ako zaglavi u otvorenom položaju, kod dizel motora će izazvati smanjenje snage i crn dim iz auspuha. Ako je EGR ostao zatvoren, izazvaće preterano lupanje koje, pak, može izazvati druga oštećenja. EGR ventil posredno hladi motorno ulje i time produžava vek turbo punjača. Problemi sa EGR ventilom nastaju kada se on zaprlja od čađi iz izduva i prestane da funkcioniše kako treba. Dugotrajan rad motora u leri i na manjem broju obrtaja dovodi velike količine sagorelih izduvnih gasova u dužem vremenskom periodu u komoru za sagorevanje. Posledice ove povećane količine sagorelih gasova izazivaju određene probleme u radu motora kao što su: pojava čađi i nečistoća u sistemu za podmazivanje, smanjenje trajnosti ulja zbog čađi i nečistoća, začepljenje samog EGR ventila, nepravilan rad sa povećanim vibracijama, povećanje potrošnje goriva, problem sa turbo punjačem....

Turbo punjač savremenog dizel motora, svrha i princip rada

Turbo punjač služi za dodatno unošenje vazduha u motor odnosno kompresiju (smanjenje zapremine) vazduha koji ulazi u motor. Prednost smanjivanja zapremine vazduha koji ulazi u motor kroz usisnu granu je da dozvoljava motoru da ima više vazduha u cilindru,

a samim tim treba više goriva da bi se napravila odgovarajuća smeša. Ovim se dobija više snage iz svake eksplozije unutar svakog cilindra motora. Motor sa turbo punjačem proizvodi više snage od motora koji nema turbo punjač, a to značajno poboljšava odnos snaga/težina motora. Turbo punjač koristi izduvne gasove motora da bi zavrteo svoju turbinu koja opet ubrzava unos vazduha. Turbina turbo punjača se obično vrti od 100000 do 150000 o/min, a kako je direktno povezana na izduvnu granu motora, temperature na kojima turbina radi su veoma visoke. Turbo punjač omogućava motoru da sagori više goriva i vazduha tako što u postojeću zapreminu motora sabijanjem ubacuje više goriva i vazduha. Turbo punjač je pričvršćen na izduvnu granu motora, a ti izduvni gasovi okreću turbinu. Turbina je osovinom povezana sa kompresorom koji se nalazi između filtera za vazduh i usisne grane motora i taj kompresor sabija vazduh koji se ubacuje u cilindre.

Produkti sagorevanja iz cilindra prolaze preko lopatica turbine i time pokreću samu turbinu. Što više sagorele materije prolazi, turbina se brže okreće. Sa druge strane osovine na koju je prikačena turbina nalazi se kompresor koji pumpa vazduh u cilindre. Kompresor uvlači vazduh i gura ga dalje kako se okreće. Da bi izdržala 150000 o/min, osovina turbine mora biti pričvršćena veoma pažljivo. Većina ležaja bi pri ovoj brzini okretanja verovatno eksplodirala. Turbo punjači koriste fluid (ulje), koji je nanešen u veoma tankom sloju između lagera i osovine i tako smanjuje trenje, a istovremeno hladi osovinu i druge delove turbo punjača. Sa jedne strane je kompresor koji sabija vazduh, a sa druge strane je turbina koja pomoću izduvnih gasova pokreće kompresor pomoću osovine koja ih povezuje.

Kako su ležajevi turbo punjača u filmu ulja koje osim za podmazivanje služi i za hlađenje ležaja, oštećenjem ulja zbog čađi iz EGR ventila dospеле u sistem za podmazivanje javljaju se problemi zbog rada na leru, odnosno ulje gubi potrebne karakteristike te se turbo punjač lošije podmazuje i slabije hladi.

je lošije, ležajevi se više zagrevaju, radna temperatura ležaja je veća pa samim tim dolazi do oštećenja ležaja i kompresor gubi funkcionalnost, zaptivenost, pojavljuje se ulje u kompresoru, pojava oscilacija (koje su u jednom slučaju kod komunalnog vozila, JKP "Zelenilo" Mercedes Sprintera 511 cdi izazvali zakačinjanje lopatica za kućište (Slika 5.1.) i ubacivanja metala u prostor za sagorevanje. Oštećenje ležajeva turbokompresora prouzrokovalo je zadiranje lopatice o kućište. Opiljci grebanja lopatica o kućište dospeli su u kompresioni prostor i izazvali velika oštećenja kompresionog dela i otkaz motora. Ovakva havarija izazvala je oštećenje prvog i trećeg klipa, siceva ventila, oštećenje samih ventila.

Oštećenja samih turbo punjača su se desila više puta kod vozila koja su duže radila na malom broju obrtaja iako se turbo punjač uključuje samo u radu na većem broju obrtaja kada je potrebna veća snaga.



Slika 5.1. Oštećenje ležajeva turbokompresora

Izvor: arhiva JKP "Zelenilo"

Filter čestica DPF

DPF filter (skraćeno Diesel Particulate Filter) (Slika 5.2.), koji je namenjen za dizel motore, standardna je komponenta kod vozila novije generacije dizel motora, a služi za smanjenje emisije štetnih gasova koji se stvaraju sagorevanjem dizela za čak i do 80%.

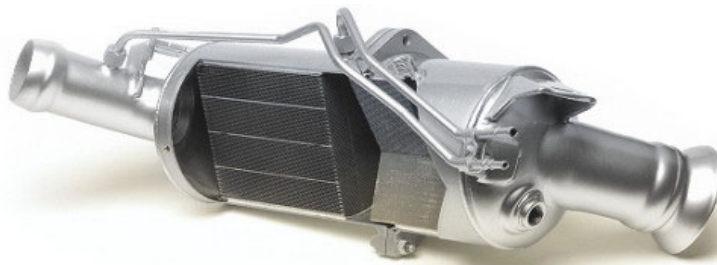
Sagorevanjem dizel goriva nastaju nusproizvodi najrazličitijih vrsta. Direktno vidljiva komponenta izduvnih gasova kod motora koji su tek startovani jeste beli dim sastavljen od neoksidisanih ili delimično oksidisanih ugljovodonika u obliku kapljica. Kod dizel motora, pored gasovitih štetnih materija, nalaze se i čvrste materije u obliku prašine koje imaju izuzetno štetan uticaj na životnu sredinu.

Katalitički oslojen filter čestica smešten je u delu izduvne grane nakon turbo punjača. Sam filter se u suštini sastoji od dve komponente, oksidacionog katalizatora i filtera čestica. Te dve komponente kombinovane u jednu celinu čine katalitički oslojen filter čestica. Sam filter se sastoji od keramičkog tela saćastog oblika napravljenog od silicijum-karbida, smeštenog u metalno kućište. Keramičko telo je podeljeno na veliki broj paralelno smeštenih malih kanala koji su naizmenično zatvoreni. Na ovaj način dobijeni su ulazni i izlazni kanali koji su odvojeni zidovima filtera. Zidovi filtera od silicijum-karbida su porozni. Telo od silicijum-karbida je oslojeno smesom od aluminijum-oksida i ceroksida. Ova smesa je nanescena u funkciji nosećeg sloja za katalizator. Noseći sloj je oplemenjen platinom koja služi kao katalizator (katalizator je materijal koji izaziva ili sprečava hemijsku reakciju, a sam se pri tome ne menja i ne troši).

Pošto su kanali naizmenično zatvoreni kao ulazni i izlazni, izduvni gas, koji sadrži čađ kroz porozne zidove filtera, struji iz silicijum-karbida. Tom prilikom se čestice čađi zadržavaju u ulaznim kanalima dok komponente koje su u gasovitom stanju prolaze. Potrebno je da filter bude određene dužine, kako bi se omogućila velika zapremina akumulacije čađi. U toku radnog veka filtera sve više se talože ostaci sagorevanja i time se smanjuje katalitička vrednost platine, a samim tim i funkcionisanje filtera.

DPF filter (Slika 5.2.) pripada sistemu za smanjenje štetnih gasova i u sistemu za izbacivanje sagorelih produkata van motora vozila, te mu je funkcija da zarobi čestice

čadi koje bi se inače ispustile iz motora. Svaki filter, kako bi dobro radio i vršio optimalno filtriranje, potrebno je redovno čistiti kako ne bi došlo do zagušenja motora. U slučaju DPF filtera proces čišćenja naziva se „regeneracija“, a izvodi se tako da se pod visokim temperaturama tretira sakupljena čađ, te se na taj način pretvori u malu količinu pepela koja se odbaci iz sistema za izduv.



Slika 5.2. DPF filter ili Diesel Particulate Filter

Izvor: <http://www.trgomat.ba/saveti/pdf>

U praksi postoje dve vrste regeneracije DPF filtera: pasivna i aktivna. Pasivna se odvija u samom automobilu kada se temperatura podigne na više vrednosti, a čestice čađi počnu same da gore. Problem je što ne možekod svih vozila da se stvori ovakav režim vožnje, pa je iz tog razloga izmišljena aktivna regeneracija.

Kod aktivne regeneracije kontrolna jedinica motora, ECU (Engine Control Unit), preuzima kontrolu nad procesom regeneracije. On deluje kada čađ u izduvnom sistemu postigne određenu vrednost, odnosno od 45% i tada pokreće ubrizgavanje kako bi se povećala temperatura u izduvnom sistemu te se tako pokreće regeneracija.

Međutim, ovo se može odvijati kod stabilne vožnje, a ukoliko je vožnja sa zaustavljanjima odnosno rad na malom broju obrtaja i u leru, proces će se zaustaviti, te će se upaliti signalna lampica koje će dojaviti kako je filter začepljen.

Zbog DPF filtera mnogi vlasnici vozila obraćaju se servisima pošto se javljaju problemi kod pokretanja procesa regeneracije. Regeneracija se može obaviti u servisu, a, takođe, je može obaviti i sam vozač, samo je bitno da pri tome ispuni nekoliko uslova i da zna kako je obaviti za vreme gradske vožnje.

Za pokretanja regeneracije DPF filtera, potrebno je da se vozilo kreće 15 do 20 min minimalnom brzinom od 60 km/h, kod nekih vozila i većom brzinom i ne sme padati ispod nje, te broj obrtaja na motoru mora biti minimalno 3000 i ne sme padati ispod tog broja. Ako su ovi uslovi zadovoljeni, pokrećese regeneracija ovog filtera. Ukoliko se problem začepljenja javlja duže vreme, a lampica DPF filtera duže svetli, njegova zapušenost može doseći i visokih 75%, pa se može upaliti i lampica koja signalizuje grešku na motoru, a takođe, može doći i do većih otkaza na samom motoru ukoliko se problem javlja duže. Životni vek DPF-a jednak je životnom veku dizel motora ukoliko se dobro održava. Međutim, ako ga treba menjati, to je veoma skupa investicija, pa je jako važno redovno ga regenerisati.

Pošto jedan broj kamiona u JKP „Zelenilo“, Smederevo ima poseban režim rada, rad na leru, i na jako malom broju obrtaja, javilo se zapušenje DPF filtera više puta, a zbog

nemogućnosti pasivne regeneracije zapušnja prelaze nivo kada se javlja signalna lampica za problem na motoru. Odlukom menadžmenta zabranjeno je kretanje vozila preko 50 km/h uz praćenje GPS-om, te nije moguće vršiti ni aktivnu regeneraciju pa je čišćenje odnosno regeneracija pri veoma velikim začepljenjima servisno rađena.

Interkuler – hladnjak sabijenog vazduha

Interkuler je hladnjak koji služi da ugrejani vazduh koji izlazi iz turbokompresora rashladi i smanji njegovu zapreminu, a sve sa ciljem povećanja količine kiseonika koja se ubacuje u motor. Kada je vazduh kompresovan (po zakonima termodinamike), on se greje, a kada se vazduh greje, on se širi. Tako se jedan deo vazduha zapreminski poveća zbog zagrevanja vazduha u turbo punjaču pre nego on uđe u motor. Da bi se povećala snaga motora, cilj je povećati broj molekula vazduha, a ne neophodno povećati pritisak vazduha. Interkuler je dodatna komponenta sistema, koja liči na hladnjak, samo što vazduh prolazi kako kroz interkuler tako i oko njega. Vazduh koji treba da uđe u motor prolazi kroz interkuler i time se hladi, dok se spoljašnji vazduh pomoću ventilatora duva preko interkulera. Interkuler povećava snagu automobila tako što hladi vazduh pod pritiskom koji izlazi iz turbine pre nego što uđe u motor.

Problem koji se javljao kod komunalnih vozila u JKP „Zelenilo“, Smederevo na interkuleru je da se u njemu skupljalo ulje koje je isticurelo u turbokompresoru.

Veća količina ulja smanjuje sposobnost interkulera da dovoljno rashladi komprimovani vazduh, a sama pojava ulja u interkuleru može izazvati posledice po rad motora jer se iz interkulera može u motor ubaciti motorno ulje i izazvati havarija i otkaz motora.

Sistem za podmazivanje

Vek trajanja ulja kod vozila sa opisanim radom je kraći. Zamenjena ulja su izrazito tamna, snažnog mirisa na gorenje, vodenastog osećaja pod prstima, iako se zamena ulja radila po uputstvu proizvođača vozila i predlogu samih proizvođača ulja. Vozila koja su radila na leru su unosila više čađi u sistem za podmazivanje i time pogoršavala kvalitet maziva. Stajanje tokom rada u leru i sa malim brojem obrtaja je uticalo na kvalitet ulja, a produžavalo dužinu korišćenja ulja nekretanjem vozila jer je servis meren u odnosu na pređenu kilometražu.

Otkazi motora koji su analizirani, u odnosu na način navedene eksploatacije vozila, naveli su da se analiziraju i proneme koji su doveli do otkaza.

Vozila sa dizel motorima novije generacije koja su analizirana u eksploataciji su iz JKP “Zelenilo”, Smederevo, i iz eksperimentalnog istraživanja u FAM Kruševac.

a) Odabir komunalnih vozila sa dizel motorima

U javnom komunalnom preduzeću JKP “Zelenilo” praćena su vozila sa motorima novije generacije euro tri norme i mlađa. Urađena je analiza prvo po poslovima koje obavljaju i u odnosu na poslove koje rade. Tako imamo tri grupe poslova koje rade vozila:

Za prvu grupu poslova koriste se vozila koja najveći deo vremena rade na malom broju obrtaja i u leru gde vozilo provede najviše vremena u stajanju odnosno mirovanju. Poslovi koji se uglavnom obavljaju u JKP “Zelenilo” kod ovih vozila su: celodnevni trosmenski rad 24 h, obilazak ulica gde je brzina kretanja do 30 km/h, stajanje na svakih desetak

metara i skupljanje smeća, čišćenje žardinjera, utovar smeća od uličnih čistača - u suštini preko 80% vremena, vozila rade na malom broju obrtaja i u leru.

Druga grupa poslova vozila sa dizel motorima:

- skupljanje smeća kontejnerima od 1,1 m³, vozilo se kreće od lokacije do lokacije uglavnom užim centrom grada, lokacije su prilično blizu, same lokacije su sa više kontejnera, te je vreme zadržavanja na svakoj lokaciji do 20 min. Vozilo radi u leru prilikom punjenja tovarnog dela (nadgradnje), broj obrtaja je oko 1000 u min.
- pranje ulica, kretanje vozila lagano na malom broju obrtaja, kod rada pumpe za pranje, ograničenje je maksimum 1200 o/min (zbog pumpe za vodu), normalniji rad je kod odlaska do lokacije za pranje. Kod ovih poslova motor je jedan deo rada rasterećen normalnim radom, pa je rad na leru u znatno manjoj meri prisutan, pa za ovu grupu poslova, rad dizel motora kod ovih vozila, možemo reći, ima „kombinovan“ rad.

Treća grupa poslova koja se obavlja u komunalnom preduzeću gde su zastupljeni dizel motori novije generacije, a gde je vršeno praćenje otkaznih stanja dizel motora su:

- sakupljanje otpada u kontejnerima od 5 m³, kraći rad na leru prilikom utovara kontejnera, odvoženje i dovoženje kontejnera u normalnom radu.
- rad pauka na ograničenom broju obrtaja zbog hidraulične pumpe (ograničenje maksimum 1100 o/min) prilikom utovara i normalan rad u obilasku i odvozu.
- Kod zimske službe vozila su u normalnom radu i imaju najmanje problema na samom motoru.

Kod ove grupe vozila koja obavlja navedene poslove prigušeni rad na leru je zanemariv i spada u normalan rad koji bi svako vozilo u svojoj eksploataciji radilo u leru.

Prilikom analize, odnosno praćenjem otkaza sklopova i delova sklopova dizel motora ove tri praćene grupe poslova, odnosno vozila koja su radila te poslove, uočeno je da se izdvaja prva grupa vozila koja obavlja većinski deo rada u leru, te se tu pojavljuju i učestalo isti otkazi sklopova i delova sklopova dizel motora. Druga i treća grupa vozila ima približno slične otkaze, koji se podudaraju sa otkazima ostalih teretnih vozila koja ne rade u komunalnoj delatnosti.

Pošto su uočene dve grupe teretnih specijalnih komunalnih vozila u odnosu na posao koji obavljaju i na pojavu određenih otkaza na motorima, analiza će biti rađena na dve grupe vozila. U grupi vozila gde je izražen rad na malom broju obrtaja i u leru, drugoj grupi vozila gde imamo rad motora „kombinovan“ (rad u leru odnosno mali broj obrtaja motora i normalan rad dizel motora) .

U prvoj grupi vozila su obuhvaćena odabrana komunalna vozila koja će biti analizirana i koja rade u režimu malog broja obrtaja, vozila proizvedena ili ušla u upotrebu kao nova 2008. god. zbog vremenskog praćenja od 10 god. i to su:

1. MCD Sprinter 511 CDI registarskih oznaka SD-001-TM, ušao u upotrebu 2008. god. (mcd dizel motor);
2. MCD Sprinter 311 CDI registarskih oznaka SD-005-SS, ušao u upotrebu 2008. god. (mcd dizelmotor);

3. INVECO NEW CARGO registarskih oznaka SD-016-VG, ušao u upotrebu 2008. god. (Iveco dizel motor);
4. NEW TURBO RIVAL 49.10, registarskih oznaka SD-014-GČ, ušao u upotrebu 2008. god. (Iveco dizel motor).

U drugu grupu ulaze takođe komunalna vozila koja nisu opterećena radom na malom broju obrtaja, takođe, proizvedena 2008. god:

1. FAP 2023, registarskih oznaka SD-016-GY, (Mercedesov dizel motor);
2. FAP 2023, registarskih oznaka SD-018-VC, (Mercedesov dizel motor);
3. FAP 1318, registarskih oznaka SD-002-AI, (Mercedesov dizel motor),
4. FAP 1418, registarskih oznaka SD-021-WB, (Mercedesov dizel motor).

Posebno je izvršena analiza dva vozila u Fabrici maziva „FAM“ u Kruševcu pri aditiviranju motornog ulja. Eksperiment je imao cilj produženje veka trajanja ulja. To su takođe vozila koja su proizvedena 2008. god:

1. IVECO DAILY 50 C 15V, registarskih oznaka KŠ030-WZ, (Iveco dizel motor);
2. IVECO DAILY 50 C 15V SN, registarskih oznaka KŠ030-WŽ, (Iveco dizel motor)

Podela dizel motora na sklopove - komponente

Radi lakše obrade otkaznih stanja na dizel motorima, izvršena je podela na deset celina odnosno grupa elemenata tj. sistema motora. Te iste grupe podeljene su na elemente po principu uočljivosti prilikom kontrole u radionici pri vremenskim kontrolnim pregledima. Svi elementi, koji nisu navedeni, smatraće se sastavnim delom prirodno povezanih sa sistemima na koje je podeljem motor i biće pri uočavanju otkaznog stanja uvršteni u tu grupu (u modelovanju grupe, sistemi će biti nazvani „komponente motora“).

1. Pokretni delovi motora - *komponenta 1 - K1* (11 elementa pokretnih delova motora):
 - klipna grupa: klip, klipni prstenovi, osovinice i osigurači (4 elementa),
 - klipnjača, klizni ležajevi u maloj pesnici i klizni ležajevi u velikoj pesnici (3 elementa),
 - kolenasto vratilo (radilica) sa kontra tegovima, zamajcem, zupčasti venci zupčanik za pogon razvodnog mehanizma (4 elementa).
2. Nepokretni delovi motora - *komponenta 2 - K2* (6 elemenata nepokretnih delova motora):
 - poklopac cilindarske glave,
 - cilindarska glava sa zavrtnjevima za njeno pričvršćivanje za blok,
 - blok motora,
 - zaptivke (zaptivka poklopca glave motora, bloka motora, korita motora i ostale zaptivke na motoru) i zaptivni prsteni,
 - donja polutka gnezda glavnog ležaja,
 - korito motora (karter).
3. Sistem razvoda radne materije - *komponenta 3 - K3* (5 elemenata):
 - bregasto vratilo,
 - mehanizam ventila,
 - prenosni zupčanici (remenici),
 - lanac (remen),

- španeri.
4. Sistem napajanja motora gorivom - *komponenta 4 - K4* (6 elemenata):
 - rezervoar goriva,
 - instalacija cevi do dovodne pumpe (pumpa niskog pritiska),
 - filteri za prečišćavanje goriva,
 - pumpa visokog pritiska,
 - cevovod visokog pritiska,
 - brizgaljke.
 5. Sistem paljenja i startovanja- *komponenta 5 - K5* (5 elemenata):
 - akumulator,
 - anlaser,
 - grejači,
 - automat grejača,
 - vakum pumpa.
 6. Sistem podmazivanja - *komponenta 6 - K6* (7 elemenata):
 - prostor u karteru gde se sliva ulje za podmazivanje,
 - usisna korpa sa grubim prečistačem,
 - zupčasta pumpa,
 - prečistači (filteri),
 - sigurnosni ventili,
 - izmenjivač toplote za hlađenje ulja,
 - glavna razvodna magistrala i ostale razvodne cevi.
 7. Sistem za hlađenje motora - *komponenta 7 - K7* (9 elemenata):
 - vodena pumpa,
 - ventilator za hlađenje (npr: visko, elektro ventilator,..),
 - hladnjak (izmenjivač toplote),
 - termostat,
 - termo davač,
 - sistem cevi i creva za razvod rashlađene tečnosti,
 - PK kaiš,
 - roleri,
 - španeri.
 8. Sistemi elektronske kontrole pojedinih procesa - *komponenta 8 - K8* (1 element):
 - Integrisani sistemi kontrole motora.
 9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj izduvnoj instalaciji - *komponenta 9 - K9* (3 elementa):
 - uređaji za smanjenje emisije štetnih gasova (izduvni sistem (auspuh) i DPF filter),
 - uređaj za unos dodatnog vazduha, turbo punjač sa interkulerom i filterima,
 - uređaji za preciznu regulaciju sagorevanja smeše goriva i vazduha, smanjenje buke i radne temperature u kompresionom delu motora (EGR ventil).
 10. Elektro elementi - *komponenta 10 - K10* (5 elemenata):
 - alternator,
 - davači (senzori): protokomer, senzor radne temperature motora, davač nivoa ulja, roto senzor, senzor radilice, lamda sonda, davač svežeg vazduha, davač nivoa goriva, davač nivoa rashladne tečnosti, ostali senzori i davači,
 - razvodna elektro instalacija,
 - elektro prekidači isključivači,

- elektro ventili.

b) Praćenje otkaznih stanja dizel motora i servisa specijalnih komunalnih vozila u JKP „Zelenilo“ Smederevo (period od 2008. god. do 2018. god.)

Radi lakšeg analiziranja i verodostojnih rezultata odabrana su vozila za praćenje proizvedena 2008. god. ili vozila koja su ušla u upotrebu 2008. god. Kako je navedeno, postoje tri praćene grupe vozila. Podela komunalnih vozila izvršena je u odnosu na način na koji se posao obavlja, vremena rada motora i broju obrtaja motora. Na Slici 5.3. je prikazano specijalno komunalno vozilo za prikupljanje smeća u kontejnerima 1,1 m³.



*Slika. 5.3. Specijalno komunalno vozilo za prikupljanje smeća u kontejnerima 1.1 m³
Izvor: arhiva JKP “Zelenilo”*

Prva grupa vozila koja je praćena („opterećen rad“)

U prvu grupu poslova vozila koja je praćena, spadaju vozila čiji motori najveći deo vremena rade na malom broju obrtaja i u leru, gde vozilo provede najviše vremena u stajanju, odnosno mirovanju. Za tu grupu biće prikazani detaljno sakupljeni podaci kroz servisno praćenje i praćenje otkaza sklopova motora OM646.985 Mercedes.

Za vozilo Mercedes Sprinter 311 cdi DOKA registarskih oznaka SD-005-SS, 2008. godišta sa dizel motorima OM 646.985 tabelarno je dato:

- Servisno praćenje vozila Mercedes Sprinter 311 cdi DOKA, registarskih oznaka SD-005-SS sa dizel motorom – (tip motora OM 646.985.). Servis do 100000 km je rađen u ovlašćenom Mercedesovom servisu u Beogradu. Nastavak servisiranja u servisu Dunav Auto, radionici održavanja JKP “Zelenilo” kao i dijagnostika sa ugovorenim dijagnostičkim servisom u Smederevu. Praćenje je vršeno 10 god. i dato u Tabeli 5.2.,
- Praćenja otkaza dizel motora sa opisom otkaza, uzorkom nastanka otkaza, intervencijom popravke i vremenom za koje je intervencija popravke urađena. Praćeni dizel motor je iz vozila Mercedes Sprinter 311 cdi DOKA registarskih oznaka SD-005-SS. Praćenje je vršeno 10 god. i dato je u Tabeli 5.3.,
- Analiza otkaza sa rangom kritičnosti elemenata na dizel motoru OM 646.985 mercedes iz vozila Mercedes sprinter 311 cdi DOKA registarskih oznaka SD-005-SS. Praćenje otkaza na elementima motora je vršeno u razdoblju od 10 god. i dato je u Tabeli 5.4.,

- Tabela otkaza mercedesovog dizel motora OM 646.985, praćenje otkaza na elementima motora vršeno u intervalu 50000 km u razdoblju od 10 god. Praćenje je predstavljeno u Tabeli 5.5. i
- Tabela otkaza elementima dizel motora datih u procentima, praćenje otkaza na motoru OM 646.985 Mercedes vršeno u razdoblju od 10 god. (Tabela 5.6.).

Tabela 5.2. Servisno praćenje dizel motora Mercedes Sprinter 311 cdi DOKA

Servisno praćenje dizel motora Mercedes Sprinter 311 cdi DOKA, registarskih oznaka SD-005-SS. Servisno praćenje vršeno 10 god.						
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora:	Broj motora : 64698551520444 ; Snaga: 80 kW; radna zap.: 2148 god. proizvod. 2008.,Vozilo u vlasništvu JKP "Zelenilo" Smederevo; Namena : prevoz smeća; Oznaka Motora OM 646					
Datum servisa	Pređeni kilometri	Zame na ulja	Zamena filtera	Količina ulja (L)	Dijagnostika rest. Sistema	Vreme, mesto i trajanja servisa
14.03. 2008. god.	Vozilo kao novo ušlo u upotrebu					JKP „Zelenilo“
29.10.2008. god.	17493 km	x	/	11 L	X	N.Beog. servis 8 h
30.03.2009. god.	27643 km	x	X	11 L	X	N.Beog. servis 8 h
28.07.2009. god.	40889 km	x	/	11 L	X	N.Beog. servis 8 h
22.12.2009. god.	51123 km	x	X	11 L	X	N.Beog. servis 8 h
14.05.2010. god.	62089 km	x	X	11 L	X	N.Beog. servis 8 h
17.11.2009. god.	72218 km	x	/	11 L	X	N.Beog. servis 8 h
30.03.2010. god.	82153 km	x	X	11 L	X	N.Beog. servis 8 h
22.10.2010. god.	92272 km	x	X	11 L	X	N.Beog. servis 8 h
01.06.2011. god.	102954 km	x	X	11 L	X	N.Beog. servis 8 h
16.12.2011. god.	113420 km	x	X	11 L	X	Dunav Auto 8h
21.03.2012. god.	122710 km	x	x	11 L	X	Dunav Auto 8h
20.11.2012. god.	140200 km	x	x	11 L	X	Dunav Auto 8h
11.02.2013. god.	147001 km	x	x	11 L	X	Dunav Auto 8h
24.05.2013. god.	159326 km	x	x	11 L	X	Dunav Auto 8h
26.07.2013. god.	170223 km	x	x	11 L	X	Dunav Auto 8h
30.10.2013. god.	181214 km	x	x	11 L	X	Dunav Auto 8h
25.12.2014. god.	192432 km	x	x	11 L	X	Dunav Auto 8h
22.2.2014. god.	210002 km	x	x	11 L	X	Dunav Auto 8h
01.05.2014. god.	221124 km	x	x	11 L	X	Dunav Auto 8h
16.07.2014. god.	231925 km	x	x	11 L	X	Dunav Auto 8h
12.12.2014. god.	253023 km	x	x	11 L	X	JKP „Zelenilo“
24.04.2015. god.	273013 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“, Vanredni remont motora - havarija na radilici, okrenuo ležaj radilice.
14.09.2015. god.	294002 km	x	x	11 L	X	JKP „Zelenilo“
16.02.2016. god.	313986 km	x	x	11 L	X	JKP „Zelenilo“
30.07.2016. god.	333998 km	x	x	11 L	X	JKP „Zelenilo“
28.12.2016. god.	354005 km	x	x	11 L	X	JKP „Zelenilo“
22.05.2017. god.	374131 km	x	x	11 L	X	JKP „Zelenilo“
12.07.2017. god.	381127 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“, Vanredni remont motora sa servisom Otkaz - havarija na klipnjači drugi klip oštećena klipnjača i radilica.
27.12.2017. god.	400077 km	x	x	11 L	X	JKP „Zelenilo“

Radne karakteristike dizel motora u eksploataciji na vozilu Mercedes Sprinter 311 cdi; registrarskih oznaka SD-005-SS, na osnovu podataka iz Tabele (5.3.). U tabeli su dati svi veći otkazi koji su se desili od startovanja u rad vozila 14.03.2008. god. gde se motor OM 646.985 pokazao kao izuzetno pouzdan i prve dve godine nije bilo nekih većih intervencija na motoru osim redovnog servisa. Problemi na motoru su se pojavili začepljenjima EGR ventila i otkazima turbokompresora koja su se više puta ponavljali. Pretpostavka ponavljanja ovih otkaza je rad dizel motora na malim brojevima obrtaja i na leri zbog poslova koje ovo vozilo obavlja.

Tabela 5.3. Otkazi dizel motora sa opisom otkaza, uzorkom otkaza, intervencijom popravke i vremenom popravke u razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza dizel motora Mercedes Sprintera 311 cdi DOKA, registrarskih oznaka SD-005-SS						
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora:			Broj motora : 64698551520444 ; Snaga: 80 KW; radna zap.: 2148; Godina proizvodnje 2008 god; Vozilo u vlasništvu JKP "Zelenilo"; Namena: prevoz smeća ; Oznaka Motora OM 646.985 MERCEDES			
	Datum otkaza	Pređeni km	Opis otkaza: sklopa, podsklopa, sistema,	Predpostavka mogućeg uzorka otkaza	Intrvenција sanacija	Vreme popravke
1.	30.03. 2010. god.	81988 km	Začepljenje filtera za gorivo. Loš rad motora, teško pali.	Sipanje goriva iz kanti, ostajanje vozila bez goriva.	Zamena filtera goriva.	Vozilo van rada 2 h
2.	17.06. 2011. god.	103 421 km	Pojava signalne greške motora na kontrolnoj table.	Velika kiša u smeni pre pojave greške, moguće da je zbog vlage na instalaciji uzrok kratak spoj davača i greške motora.	Zamena davača temperature i restart sistema u servisu.	Vozilo van rada 8 sati (1.smena)
3.	27.02. 2012. god.	120421 km	Lupanje motora (pojačana buka motora), EGR ventil zaprljan od čađi, upaljena lampica indikatora izduvnih gasova.	Rad na malom broju obrtaja i u leri duže vreme.	Čišćenje EGR ventila Restart sistema u servisu.	Vozilo van rada 8 h (jedna smena)
4.	13.12. 2012. god.	141117 km	Pukao PK kais.	Moguće oštećenje kaiša zbog loših rolera.	Zamena PK kaiša rolera i španera.	Vozilo van rada 8 h (1.smena)
5.	11.03. 2013. god.	150018 km	Otkaz alternatora (ne puni alternator, gubi struju, ne pali), otišla plivajuća remenica alternatora.	Česta startovanja i gašenja motora, prolazak kroz deponiju i prljanje donjeg postroja motora blatnjavom vodom.	Servisiranje-remont alternatora u servisu, (zamena plivajuće remenice) Zamena akumulatora.	Vozilo van rada 48 h (van rada šest smena)
6.	21.06. 2013. god.	161218 km	Lupanje motora (bučan) EGR ventil zaprljan od čađi, upaljena lampica indikatora izdov. gasova.	Rad na malom broju obrtaja i u leri duže vreme.	Čišćenje EGR ventila Restart sistema u servisu.	Vozilo van rada 8 h (1.smena)
7.	04.09. 2013. god.	173098 km	Gubitak vuče, postroj trese, lupanje u zamajcu, oseća se miris spaljene lamele.	Preoptrećenje težinom – teretom, rad na uzbrdicama i najveća pretpostavka rad kreni-stani.	Zamena plivajućeg zamajca, seta korpa lamele druk ležaja.	Vozilo van rada 48 h (6.smena)

8.	10.01. 2014. god.	185214 km	Loš rad motora (motor se trese, seca, jako je bučan), dijagnostikovano kvar na motoru elektro instalacija drugi injektor, loši spojevi instalacije na injektorima nastali prolaskom kompresije pored dizni i pri tome oštećena el. Instalacija.	Loši spojevi instalacije na injektorima prouzrokovani prolaskom kompresije pored brizgaljki, koje je dovelo do oštećenja elektro instalacije.	Čišćenje na mestu curenja i zamena elektro instalacija do injektora. Dihtovanje injektora. Pranje čitavog motora. Sanacija oštećenja u ovlašćenom servisu.	Vozilo van rada 48 h (van rada šest smena)
9.	22.02. 2014. god.	210002 km	Lupanje motora (pojačana buka motora), EGR ventil zaprljan od čađi. Upaljena lampica indikatora izduv. gasova.	Rad na malom broju obrtaja i u leri duže vreme.	Zamena EGR ventila, servis, zamena filtera i ulja.	Vozilo van rada 8 h (jedna smena)
10.	30.05. 2014. god.	224091 km	Otkaz alternatora (ne puni alternator, gubi struju, ne pali motor).	Prolazak kroz deponiju i prljanje donjeg postroja motora blatnjavom vodom.	Zamena alternatora u radionici.	Vozilo van rada 24 h
11.	24.04. 2015. god.	273013 km	Motor počeo da gubi ulje, teže pali, gubi snagu, plavičasti dim na auspuhu. Povećana potrošnja goriva.	Pretpostavka povećali se zazori na karikama izgorele gumice i zbog gareži loše naleganje ventila. Uzrok rad na leri i na malim obrtajevima, dospela čađ kroz EGR ventil u ulje, visoke temperature pri sagorevanju smeše goriva i vazduha u kompresionom prostoru dovele su do oštećenja na glavi motora ventili gumice kao i oštećenja karika u kompresionom prostoru. Veća količina čađi u ulju izazvala oštećenje i na ležajevima radilice.	Remont glave motora nove gumice i ventili, obrada ravnjanje glave i siceva glave motora. Zamena zaptivki motora i zaptivnih prstenova klipova, obrada radilice i zamena ležajeva. Zamenjeni lančanici i lanac. Zamenjena uljna pumpa. EGR ventil očišćen. Zamenjeni filteri, kaiš, roleri i španer. Zamena ulja i filtera servis motora.	Vozilo van rada 168 h (van rada sedam radnih dana , odnosno iz rada izuzeto vozilo 21. smenu).
12.	26.02. 2016. god.	313986 km	Gubitak vuče, postroj trese, lupanje u zamajcu, oseća se miris spaljene lamele.	Preopterećenje težinom – teretom, rad na uzbrdicama i najveća pretpostavka uzorka rad kreni-stani.	Zamena plivajućeg zamajca, seta kvačila. Urađen servis motora ulje, filteri.	Vozilo van rada 48 h (šest smena)
13.	22.05. 2016. god.	324732 km	Nedostatak snage, gušenje motora, dijagnostikovano otkaz na turbo punjaču.	Predpostavka lošije podmazivanje ležajeva turbokompresora, a samim tim i hlađenje kompresora, moguće istrošenost ulja, moguće da je i problem zbog DPF filtera izduvnih gasova. Zbog malog broja obrtaja nema dovoljnog zagrevanja izduvnog sistema pa je nemoguća pasivna regeneracija PDF filtera, a nije na vreme izvršena aktivna regeneracija filtera.	Remont turbo punjača u ovlašćenom servisu i aktivna regeneracija DPF filtera. EGR ventil očišćen.	Vozilo van rada 48 h (van rada šest smena)

14.	09.01. 2017. god.	356218 km	Curenje vodene pumpe, upaljena lampica za tečnost, gubitak rashladne tečnosti. Otkaz vodene pumpe i oštećen PK kaiš.	Vibracije na motoru, odnosno nepravilan rad izazvan oštećenjima na EGRu, kompresoru, rolerima, elektro instalaciji.	Zamena vodene pumpe i zamena PK kaiša, rolera i španera.	Vozilo van rada 48 h (van rada šest smena)
15.	12.07. 2017. god.	381127 km	Došlo do oštećenja radilice na drugom klipu, okrenuti ležajevi, oštećena radilica.	Zbog rada na malom broju obrtaj putem EGR ventila ubacuju se prevelike nečistoće u kompresioni deo, a one se karikom za brisanje spiraju u karter sa uljem, te iste mikro nečistoće zbog malog radnog broja obrtaja, jer se ne zadrže u filteru za ulje zbog usporenog ciklusa protoka ulja kroz filter dolaze na mazajući deo radilice te svojom abrazijom u dužem vremenskom periodu oštećuju ležajeve radilice.	Zamena zaptivki motora i zaptivnih prstenova klipova, obrada radilice i zamena ležajeva. Zamenjena klipnjača na drugom klipu, zamenjena konzola radilice i trnovan blok. EGR ventil očišćen. Zamenjeni filteri, kaiš, roleri i španer. Zamena ulja servis motora.	Vozilo van rada 168 h (van rada sedam radnih dana, odnosno iz rada izuzeto vozilo 21. smenu).

Tabela 5.4. Otkazi elemenata dizel motora OM646.985 sa rangom kritičnosti praćeni 10 god.

Praćenja otkaza dizel motora Mercedes Sprinter 311 cdi DOKA, reg. ozn. SD-005-SS							
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora:	Broj motora: 64698551520444; Snaga: 80 KW; radna zap.: 2148; godina proizvodnje 2008. godište; vlasništvo JKP „Zelenilo“; Namena: prevoz smeća; Oznaka Motora OM 646.985 Mercedes						
Delovi motora	Broj elemenata	Broj otkaza:	Broj otkaza po elementu	Broj ponovljenih otkaza po elementu	% ponavljanje otkaza	%	Rang kritičnosti
1. Pokretni delovi motora (jedanaest elemenata pokretnih delova motora).	11	7	(0,64)	2	9,26%	21,21%	9
2. Nepokretni delovi motora (šest elemenata nepokretnih delova motora):	6	4	(0,67)	2	9,69%	12,12%	7
3. Sistem razvoda radne materije (pet elemenata):	5	1	(0,2)	1	2,89%	3,03%	2
4. Sistem napajanja motora gorivom (osam elemenata):	8	2	(0,25)	1	3,62%	6,06%	5
5. Sistem paljenje i startovanje (pet elemenata)	5	1	(0,2)	1	2,89%	3,03%	3
6. Sistem podmazivanja (sedam elemenata):	7	1	(0,143)	1	2,06%	3,03%	1
7. Sistem za hlađenje motora (devet elemenata):	9	5	(0,55)	3	7,96%	15,14%	8
7. Sistemi elektronske kontrole procesa (Integrirani sistemi kontrole motora),	1	1	(1)	1	14,46%	3,03%	4

8. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno izduvnoj instalaciji (tri elementa):	3	8	(2,66)	5	38,48%	24,24%	10
10. Elektro elementi (pet elemenata):	5	3	(0,6)	1	8,68%	9,09%	6
	60	33	(6,913)	/	100%	100%	1-10

Tabela 5.5. Otkazi elementa motora u intervalu 50000 km i razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza dizel motora Mercedes Sprinter 311 cdi DOKA, reg.ozn. SD-005-SS										
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora		Broj motora: 64698551520444; Snaga: 80 KW; radna zapremr: 2148 cm ³ ; godina proizvodnje 2008.; vlasništvo JKP „Zelenilo“; Namena: prevoz smeća; Oznaka Motora OM 646.985 Mercedes								
Interval od 50000 kilometara	0	50000	100000	150000	200000	250000	300000	350000	400000	405000
	- 5000 0 km	- 100000 km	- 150000 km	- 200000 km	- 250000 km	- 300000 km	- 350000 km	0 - 40000 0 km	- 405000 km	
1. Pokretni delovi motora	/	/	/	1	/	2	1	3	/	7
2. Nepokretni delovi motora	/	/	/	/	/	2	/	2	/	4
3. Sistem razvoda radne materije	/	/	/	/	/	1	/	/	/	1
4. Sistem napajanja motora gorivom	/	1	/	1	/	/	/	/	/	2
5. Sistem paljenja i startovanja	/	/	/	1	/	/	/	/	/	1
6. Sistem podmazivanja	/	/	/	/	/	1	/	/	/	1
7. Sistem za hlađenje motora	/	/	1	/	/	1	/	3	/	5
8. Sistemi elektronske	/	/	1	/	/	/	/	/	/	1
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno izduvnoj instalaciji	/	/	1	1	1	1	3	1	/	8
10. Elektro elementi	/	/	/	2	1	/	/	/	/	3
\sum 60el.	/	1	3	6	2	8	4	9	0 (5000 km)	33

U odnosu na posmatrani vremenski interval, broj otkaza se povećavao po isteku prve dve godine, takođe, u odnosu na pređenu kilometražu vidno je da se broj otkaza naglo povećava posle pređenih 250000 km. Pošto je urađen generalni servis motora i zamenjeni su kritični delovi, broj otkaza se smanjio u periodu od oko 100000 km i po novo naglo povećao posle pređenih 350000 km.

Tabela 5.6. Otkazi na elementima dizel motora prikazani u procentima i praćeni u razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza elemenata dizel motora Mercedes Sprinter 311 cdi DOKA, registarskih oznaka SD-005-SS		
Motor i podsistemi	Broj otkaza	%
1. Pokretni delovi motora	7	21,21%
2. Nepokretni delovi motora	4	12,12%
3. Sistem razvoda radne materije	1	3,03%
4. Sistem napajanja motora gorivom	2	6,06%
5. Sistem paljenja i startovanja	1	3,03%
6. Sistem podmazivanja	1	3,03%
7. Sistem za hlađenje motora sa rolerima, PK kaišem i španerom	5	15,14%
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	1	3,03%
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno izduvnoj instalaciji	8	24,24%
10. Elektro elementi	3	9,09%
Σ	33	100%

Najveći procenat otkaza elemenata motora je u sistemu za prečišćavanje izduvnih gasova i na dodatnim uređajima na usisno-izduvnoj instalaciji motora, koji je doživeo najviše otkaza i koji je bio bez posledica od strane drugih sistema i elemenata, odnosno EGR ventil i kompresor. Ovde postoji pokazatelj problema koji treba obraditi.

Za vozilo Mercedes Sprinter 511 cdi DOKA registarskih oznaka SD-001-TM, 2008. godišta sa dizel motorima OM 646.985 tabelarno je dato:

- Servisno praćenje vozila 10 god. (Tabela 5.7.),
- Praćenja otkaza dizel motora 10 god. sa opisom otkaza, uzorkom nastanka otkaza, intervencijom popravke i vremenom popravke. (Tabela 5.8.),
- Analiza otkaza elemenata dizel motora, razdoblje 10 god. (Tabela 5.9.),
- Tabela otkaza u intervalu 50000 km i razdoblju od 10 god. (Tabela 5.10.),
- Tabela otkaza elementima dizel motora datih u procentima, u razdoblju od 10 god. (Tabela 5.11.).

Tabela 5.7 Servisno praćenje vozila mercedes sprinter 511 cdi reg. oznake SD-001-TM

Servisno praćenje dizel motora Mercedes Sprinter 511 cdi DOKA, reg. ozn.SD-001-TM						
Osnovni podaci vozila, posmatran dizel motora:	Broj motora: 64698551520436; Snaga: 80 KW; radna zap.: 2148 cm ³ Godina proizvodnje 2008. Vozilo u vlasništvu JKP „Zelenilo“; Namena: prevoz smeća ; Oznaka Motora OM 646					
Datum servisa	Pređeni kilometri	Zamena ulja	Zamena filtera	Količina ulja (L)	Dijagnostika restart sistema	Vreme, mesto i trajanje servisa
14.03. 2008. god.	Vozilo kao novo ušlo u upotrebu					JKP „Zelenilo“
10.07.2008.	21121 km	x	/	11 L	x	N.Beograd mcd servis 8 h
15.10.2008.	37 026 km	x	x	11 L	x	N.Beograd mcd servis 8 h

16.12.2008.	48274 km	x	/	11 L	x	N.Beograd mcd servis 8 h
09.02.2009.	58708 km	x	x	11 L	x	N.Beograd mcd servis 8 h
23.04.2009.	68288 km	x	/	11 L	x	N.Beograd mcd servis 8 h
02.09.2009.	86153 km	x	x	11 L	x	N.Beograd mcd servis 8 h
05.01.2010.	106164 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
15.06.2010.	125926 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
06.01.2011.	145330 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
22.07.2011.	165130 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
25.02.2012.	184631 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
01.08.2012.	204231 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
29.12.2012.	223702 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
24.04.2013.	243254 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
21.09.2013.	262695 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
13.03.2014.	282206 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
11.10.2014.	301902 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
02.04.2015.	321287 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
14.09.2015.	340787 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
09.01.2016.	360747 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
13.06.2016.	380595 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
27.11.2016.	400463 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“
22.06.2017	420021 km	x	x	11 L	x	JKP „Zelenilo“

Tabela 5.8. Tabela otkaza na dizel motoru sa opisom otkaza, uzorkom otkaza, intervencijom popravke i vremenom popravke u razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza dizel motora Mercedes Sprintera 511 cdi DOKA, reg. ozn. SD-001-TM						
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora:			Broj motora : 64698551520436 ; Snaga: 80 kW; radna zapremina: 2148 cm ³ ; Godina proizvodnje 2008.; Vozilou vlasništvu JKP „Zelenilo“; Namena : prevoz smeća ; Oznaka Motora OM 646.985 Mercedes			
	Datum otkaza	Pređenikm	Opis otkaza: sklopa, podsklopa, sistema,	Predpostavka mogućeg uzorka otkaza	Intrvencija sanacija	Vreme popravke
1.	23.07.2010. god.	130916 km	Lupanje motora (pojačana buka motora), EGR ventil zaprljan od čađi, upaljena lampica indikatora izduv. gasova.	Rad na malom broju obrtaj i u leri duže vreme	Čišćenje EGR ventila	Vozilo van rada 8 h (1.smena)
2.	20.01.2011. god.	147463 km	Otkaz plivajuće remenice na alternatoru, (zbog remenice oštećeni roleri i španer)	Česta startovanja i gašenja motora	Servisiranje-remontalternatora, (zamena ležajeva i plivajuće remenice), zamena rolera, španera, PK kaiš.	Vozilo van rada 48 h (6. smena)
3.	23.08.2011. god.	170184 km	Otkaz vakum pumpe (nemogućnost gašenja , motor trese, lupa) Upaljena lampica indikatora izduv. gasova.	Lošije podmazivanje vakum pumpe	Zamena vakum pumpe	Vozilo van rada 8 h (1.smena)

4.	11.02. 2013. god.	228379 km	Lupanje motora (pojačana buka motora), EGR ventil zaprljan od čađi, upaljena lampica indikatora izduv. gasova.	Rad na malom broju obrtaja i u leri duže vreme	Čišćenje EGR ventila	Vozilo van rada 8 h (1. smena)
5.	25.12. 2013. god.	275332 km	Otkaz anlasera (nemogućnost startovanja)	Česta startovanja i gašenja motora	Servisiranje-remont anlasera u servisu, (zamena četkica i ležajeva)	Vozilo van rada 48 h (6. smena)
6.	18.05. 2014. god.	290984 km	Nedostatak snage , gušenje motora , dijagnostikovani kvar na turbo punjaču	Pretpostavka lošije podmazivanje ležajeva turbo punjača, a samim tim i hlađenje turbo punjača, moguće istrošenost ulja	Remont turbo punjača-kompresora u ovlašćenom servisu	Vozilo van rada 48 h (van rada 6. smena)
7.	10.10. 2014. god.	301902 km	Puko PK kaiš	Moguće oštećenje kaiša zbog loših rolera	Zamena PK kaiša rolera i španera, ujedno i urađen servis i zamena ulja	Vozilo van rada 8 h (1.smena)
8.	30.05. 2015. god.	328671 km	Loš rad motora (motor tresе, seca, jako je bučan), dijagnostikovani otkaz na motoru elektro instalacijatreći injektor, Loši spojevi instalacije na injektorima prouzrokovani curenjem nafte na povratnom vodu.	Loši spojevi instalacije na injektorima prouzrokovani curenjem nafte na povratnom vodu, Usled curenja stvorila se katranasta masa koja je dovela do oštećenja elektro instalacije	Čišćenje nastale katranaste mase na mestu curenja i zamena elektro instalacija do injektora.Sanacija povratnog voda goriva. Pranje čitavog motora. Sanacija oštećenja u ovlašćenom servisu.	Vozilo van rada 48 h (van rada 6. smena)
9.	27.11. 2015. god.	348368 km	Lupanje motora (pojačana buka motora), EGR ventil zaprljan od čađi. Upaljena lampica indikatora izduv. gasova.	Rad na malom broju obrtaj i u leri duže vreme	Zamena EGR ventila	Vozilo van rada 8 h (1. smena)
10.	03.04. 2016. god.	372451 km	Otkaz akumulatora (nemogućnost startovanja)	Vek trajanja, česta startovanja i gašenja motora, rad na malom broju obrtaj	Zamena akumulatora drugim odgovarajućim	Vozilo van rada 4 h

11.	06.06. 2016. God.	380595 km	Havarija na motoru izazvana turbo punjačem (rotor turbokompresora izašao iz balansa zbog oštećenja ležajeva vratila kompresora, lopatice kompresora zapele o kućište kompresora, došlo do struganja i otkidanja komada tvrdog legiranog metala sa lopaticom koji je dospao u kompresioni prostor. Pre otkaza motor nepravilno radio, bučnije radio, i nije bilo nikakvih dijagnostičkih upozorenja na displeju kokpita).	Predpostavka uzorka havarije zaprljanost ulja te nedovoljna mazajuća svojstva ulja kao i loše odvođenje temperature iz tuba kompresora. Rad na lelu i na malim obrtajevima, dospela čađ kroz EGR ventil u ulje, visoke temperature pri sagorevanju smeše u kompresionom prostoru	Zbog oštećenja vratila, ležajeva i kućišta kompresora zamena novim turbo punjačem. Reomont glave motora novi ventili, gumice obrada ravnjanje glave i siceva glave motora. Zamena zaptivnih prstenova klipova obrada radilice i zamena lažajeva. EGR venti, očišćen u servisu. Zamenjeni filteri kaiš, roleri i španer.	Vozilo van rada 168 h (van rada sedam radnih dana, odnosno iz rada izuzeto vozilo 21. smenu).
12.	23.12. 2016. god.	403788 km	Curenje vodene pumpe, upaljena lampica za rashladnu tečnost, gubitak rashladne tečnosti. Otkaz vodene pumpe i oštećen PK kaiš.	Vibracije na motoru, odnosno nepravilan rad izazvan oštećenjima na EGRu, kopresoru, rolerima, elektro instalaciji.	Servis – remont vodene pumpe u servisu, zamena PK kaiša, rolera i španera.	Vozilo van rada 48 h (van rada 6. smena)
13.	07.08.2017. god.	419219 km	Loš rad motora (motor se tresu, seca, jako je bučan), dijagnostikovani otkaz na motoru elektro inastalacija treći injektor i povremeno drugi injektor, kada oba otkazu dolazi do izražajnog lupanja i gašenja motora. Loši spojevi instalacije i prilično loša instalacija ispućali vodovi koji vode do injektorima prouzrokovani curenjem nafte na povratnom vodu.	Loši spojevi instalacije na injektorima prouzrokovani curenjem nafte na povratnom vodu, Usled curenja stvorila se katranasta masa koja je dovela do oštećenja elektro instalacije, a visoka temperatura i hemijsaka reakcija nafte i izolacije vodova dovela je do ispućalosti vodova.	Čišćenje nastale katranaste mase na mestu curenja i zamena elektro instalacija do injektora. Sanacija povratnog voda goriva. Pranje čitavog motora. Sanacija oštećenja u ovlašćenom servisu. Restartovanje motornog računara i brisanje greški u sistemu.	Vozilo van rada 48 h (van rada 6. smena)

Radne karakteristike dizel motora u eksploataciji na vozilu Mercedes Sprinter 511 cdi, registarskih oznaka SD-001-TM, na osnovu podataka iz Tabele 5.8. U tabeli su dati svi veći otkazi koji su se desili od startovanja u rad vozila 14. 03. 2008. godine, gde se Mercedesov motor OM 646.985 pokazao kao izuzetno pouzdan. Prve dve godine nije bilo nekih većih intervencija na motoru osim redovnog servisa. Problematika se pojavila začepljenjima EGR ventila i otkazima turbokompresora koja se više puta ponavljala.

Pretpostavka ponavljanja ovih otkaza je rad dizel motora na malim brojevima obrtaja i na leri zbog poslova koje ovo vozilo obavlja.

Tabela 5.9. Otkazi elemenata dizel motora sa rangom kritičnosti praćeni 10 god.

Praćenja otkaza dizel motora Mercedes Sprinter 511 cdi DOKA, reg. ozn. SD-001-TM							
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora:	Broj motora : 64698551520436 ; snaga: 80 KW; radna zap.: 2148; godina proizvodnje 2008. god.; vlasništvo JKP „Zelenilo“; namena: prevoz smeća; oznaka motora OM 646.985 Mercedes						
Delovi motora	Broj elemenata:	Broj otkaza:		Broj ponovljenih otkaza po elementu:	% ponavljanja otkaza:	% otkaza:	Rang kritičnosti:
1. Pokretni delovi motora	11	2	(0,18)	1	2,76%	6,1%	4
2. Nepokretni delovi motora	6	2	(0,33)	1	5,1%	6,1%	5
3. Sistem razvoda radne materije	5	2	(0,4)	1	6,15%	6,1%	6
4. Sistem napajanja motora gorivom	8	1	(0,125)	1	1,92%	3%	1
5. Sistem paljenja i startovanja	5	3	(0,5)	1	7,68%	9%	8
6. Sistem podmazivanja	7	1	(0,143)	1	2,2%	3%	2
7. Sistem za hlađenje motora	9	13	(1,44)	4	22,15%	39,4%	10
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	1	1	(1)	1	15,38%	3%	3
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj izduvnoj instalaciji	3	6	(2%)	4	30,77%	18,2%	9
10. Elektro elementi	5	2	(0,4)	1	6,15%	6,1%	7
Ukupno	60	33	6,518	/	100%	100%	1-10

Rang kritičnosti kaže da je sistem za hlađenje najkritičniji sklop, međutim, većina zamenjenih delova na sistemu za hlađenje zamenjeni su kao produkt generalnog sređivanja motora ili su bili zamenjeni sa remontom nekog drugog sklopa. Po rangu kritičnosti drugi sklop je sistem za prečišćavanje izduvnih gasova i dodatni uređaji na izduvno-usisnoj instalaciji. Broj elemenata na ovom sistemu je mali, a veliki broj ponovljenih otkaza nam kaže da treba da se posvetimo otkazima na ovom sistemu.

Tabela 5.10. Otkazi elementa motora u intervalu 50000 km i razdoblju od 10 god.

Praćenje otkaza dizel motora marke Mercedes Sprinter 511cdi DOKA, reg.ozn.SD-001-TM										
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora		Broj motora : 64698551520436 ; snaga: 80 kW; radna zap.: 2148; godina proizvodnje 2008.god. vlasništvo JKP "Zelenilo"; Namena: prevoz smeća; Oznaka Motora OM 646.985 Mercedes								
Interval od 50.000 km	0 - 50000 km	50000 - 100000 km	10000 - 15000 0 km	15000 - 20000 0 km	20000 - 25000 0 km	25000 - 30000 0 km	30000 - 35000 0 km	35000 - 40000 0 km	400000 - 405000 km	Broj otkaza
1. Pokretni delovi motora	/	/	/	/	/	/	/	2	/	2
2. Nepokretni delovi motora	/	/	/	/	/	/	/	2	/	2
3. Sistem razvoda radne materije	/	/	/	/	/	/		2	/	2
4. Sistem napajanja motora gorivom	/	/	/	/	/	/	1	/	/	1
5. Sistem paljenje i startovanje	/	/	/	1	/	1	/	1	/	3
6. Sistem podmazivanja	/	/	/	/	/	/	/	1	/	1
7. Sistem za hlađenje motora	/	/	3	/	/	/	3	3	4	13
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj instalaciji	/	/	1	/	1	1	1	2	/	6
10. Elektro elementi	/	/	1	/	/	/	1	/	1	3
\sum 60 elemenata	/	/	5	1	1	2	6	13	5 (5000 km)	33

Tabela 5.11. Otkazi na elementima dizel motora prikazani u procentima i praćeni u razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza elemenata dizel motora mercedes Sprintera 511 cdi DOKA, registarskih oznaka SD-001-TM		
Motor i podsistemi	Broj otkaza:	%
1 Pokretni delovi motora	2	6,1%
2 Nepokretni delovi motora	2	6,1%
3 Sistem razvoda radne materije	2	6,1%
4 Sistem napajanja motora gorivom	1	3%
5 Sistem paljenja i startovanja	3	9%
6 Sistem podmazivanja	1	3%
7 Sistem za hlađenje motora sa rolerima, PK kaišem i španerom	13	39,4%
8 Sistemi elektronske kontrole procesa	1	3%
9 Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno-izduvnoj instalaciji	6	18,2%
10 Elektro elementi	2	6,1%
Σ	33	100%

Najveći procenat otkaza elemenata motora je u sistemu za hlađenje motora zbog oštećenja na PK kaišu, rolerima i španeru, a koji su, pak oštećeni prilikom otkaza drugih elemenata kao što su oštećenja alternatora, vodene pumpe, havarije na kompresoru, odnosno većina zamenjenih delova na sistemu za hlađenje zamenjeni su kao produkt generalnog sređivanja motora ili su bili zamenjeni sa remontom nekog drugog sklopa.

Sledeći sistem koji je doživeo najviše otkaza i koji je bio bez posledica od strane drugih sistema i elemenata, odnosno nije bilo uticaja drugih elemenata na njegov otkaze je sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno-izduvnoj instalaciji, odnosno EGR ventil i turbo punjač-kompresor. Ovde postoje pokazatelji problema koji treba obraditi.

Druga grupa vozila koja je praćena („kombinovan“ rad)

Kod ovih vozila motor je jedan deo rada rasterećen normalnim radom pa je rad na leru u znatno manjoj meri prisutan. U ovoj grupi poslova, za rad dizel motora može se reći da ima „kombinovan“ rad.

Za vozilo FAP 2023 BD 42, registarskih oznaka SD-016-GY, 2008. godišta sa dizel motorom OM 906LA III/00906964-00-714020 – mercedes tabelarno je dato:

- Servisno praćenje vozila 10 god. Servis do 100000 km je rađen u ovlašćenom servisu, nastavak servisiranja u radionici održavanja JKP "Zelenilo" kao i dijagnostika sa ugovorenim servisom u Smederevu (Tabela 5.12.),
- Praćenja otkaza dizel motora 10 god. sa opisom otkaza, uzorkom nastanka otkaza, intervencijom popravke i vremenom popravke. (Tabela 5.13.),
- Analiza otkaza elemenata na dizel motoru, za period od 10 god. (Tabela 5.14.),
- Tabela otkaza, interval 50000 km u razdoblju od 10 god. (Tabela 5.15.),
- Tabela otkaza elementima dizel motora datih u procentima, u razdoblju od 10 god. (Tabela 5.16.).

Tabela 5.12 Servisno praćenje dizel motora mercedes na vozilu FAP 2023 BD42

Servisno praćenje dizel motora mercedes na vozilu FAP 2023 BD42, regi.oznake SD-016-GY						
Osnovni podaci vozila		Broj motora : OM 906LA III/00906964-00-714020 – Mercedes Broj šasije :120478 ; Vlasnik JKP "Zelenilo"; snaga: 170 kW				
Datum servisa	Pređeni km	Zamena ulja, filtera	Količina ulja (L)	Dijagnostika restart po servisu	Vreme, mesto i trajanje servisa	
01.08.2008. god.	Vozilo kao novo ušlo u upotrebu					JKP "Zelenilo"
09.02.2009. god	5755 km	x /	*Castrol Tection 15W-40; kol: 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h	
09.05.2009. god.	14806 km	x x	Castrol Tection 15W-40; kol: 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h	
01.09.2009. god.	25556 km	x /	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h	
05.01.2010. god.	36262 km	x x	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h	
06.04.2010. god.	47023 km	x /	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h	
10.08.2010. god.	57141 km	x x	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h	
11.02.2011. god.	67202 km	x /	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h	
29.05.2011. god.	77298 km	x x	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h	
08.11.2011. god.	87389 km	x /	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h	
20.04.2012. god.	97275 km	x x	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h	
21.02.2013. god.	113301 km	x x	* 30 L	x	JKP "Zelenilo" 8 h	
03.02.2014. god.	130335 km	x x	* 30 L	x	JKP "Zelenilo" 8 h	
08.07.2014. god.	135845 km	x /	* 30 L	Vanredni servis (pokidan čep kartera)	JKP "Zelenilo" 8 h.	
05.05.2015. god.	156928 km	x x	* 30 L	x	JKP "Zelenilo" 8 h	
17.01.2016. god.	177021 km	x x	* 30 L	x	JKP "Zelenilo" 8 h	
24.09.2016. god.	197004 km	x x	* 30 L	x	JKP "Zelenilo" 8 h	
28.04.2017. god.	217112 km	x x	* 30 L	x	JKP, "Zelenilo" 8 h	
17.12.2017. god.	237101 km	x x	* 30 L	x	JKP, "Zelenilo" 8 h	

Tabela 5.13. Otkazi dizel motora sa opisom otkaza, uzorkom otkaza, intervencijom popravke i vremenom popravke u razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza Mercedesovog dizel motora na vozilu: FAP 2023 BD42, registarskih oznaka SD-016-GY						
Osnovni podaci vozila			Broj motora :OM 906LA III/00906964-00-714020 - Mercedesov motor posmatranog dizel motora:			
			Broj šasijske: 023BD/120478;Vlasnik JKP "Zelenilo"; snaga: 170 kW			
	Datum otkaza	Pređenih km	Opis otkaza: sklopa, podsklopa, sistema,	Predpostavka mogućeg uzorka otkaza	Intrvenција sanacija	Vreme popravke
1.	11.03. 2009. god.	12994 Km	Zakazali akumulatori, motor ne može da upali.	Vek trajanja, lošiji kvalitet akumulatora,zamenski deo.	Zamena dva akumulatora	Vozilo van rada 4 h
2.	10.03. 2010. god.	43987 km	Motor nepravilno radi, izgubio snagu, teško upali, svetli signalna lampica.	Sipanje goriva iz kanti , ostajanje vozila bez goriva, dobavljač goriva jedno vreme isporučivao dizel cisternom	Zamena filtera goriva,	Vozilo van rada 4 h (pola smene)
3.	11.11. 2010. god.	63452 km	Gubitak vuče, lamela proklizava, oseća se miris spaljene lamele.	Preopterećenje kamiona teretom, linije na kojima vozilo radi su sa velikim usponom, loše rukovanje izvršioca.	Obrada zamajca i zamena ležaja zamajca, zamena seta kvačila, vozilo oterano u servis garantni rok.	Vozilo van rada 48 h (priznat garancija)
4.	13.02.. 2012. god.	93214 km	Gubitak vuče , lamela proklizava.	Preopterećenje kamiona teretom, linije na kojima vozilo radi su sa velikim usponom.	Zamena zamajca, seta kvačila, vozilo u garantnom roku.	Vozilo van rada 48 h (6. smena)
5.	03.04. 2012. god.	96808 km	Gubitak rashladne tečnosti, curenje na vodenoj pumpi.	Loši ležajevi vodene pumpe izazvali otkaz semeringa i zbog toga curenje na vodenoj pumpi.	Zamena vodene pumpe.	Vozilo van rada 8 h (1. smena)
6.	30.09. 2013. god.	120022 km	Motor neće da upali, ne može alnaser da zavrti motor.	Povećali se zazaori na ležajevima alnaser, potrošile se četkice.	Čišćenje i pranje alnaser. Izrada novih ležajeva i zamena četkica.	Vozilo van rada 8 h (1. smena)
7.	25.11. 2013. god.	129499 km	Otkaz alternatora, ne puni alternator , gubi struju, ne pali.	Česta startovanja i gašenja motora, prolazak kroz deponiju prljanje donjeg postroja motora.	Zamena alternatora.	Vozilo van rada 24 h (tri smene)
8.	08.07. 2014. god.	135845 km	Curenje na karteru motora, čim je upaljena signalna lampica nivoa ulja vozilo ugašeno.	Mehaničko oštećenje čepa kartera motora, na deponiji mehanički zakačen čep i pritom nastalo oštećenje, (karter plastičan).	Skidanje kartera motora, narezivanje novog navoja, izrada novog čepa, urađen vanredni servis zamena ulja, filteri.	Vozilo van rada 16 h (dve smene)
9.	15.08. 2014. godine.	136993 km	Motor nepravilno radi, izgubio snagu, teško upali, svetli signalna lampica.	Sipanje goriva iz kanti , ostajanje vozila bez goriva, dobavljač goriva jedno vreme isporučivao dizel cisternom	Zamena filtera goriva.	Vozilo van rada 4 h (pola smene)
10.	10.11. 2014. godine	141332 km	Curi rashladna tečnost iz bloka motpra.	Istruleli čepovi na bloku motora.	Zamena čepova na bloku motora.	Vozilo van rada 8 h (1. smena)
11.	24.02. 2015. godine	149420 km	Gubitak rashladne tečnosti, curenje na vodenoj pumpi.	Loši ležajevi vodene pumpe izazvali otkaz semeringa i zbog toga curenje na vodenoj pumpi.	Zamena vodene pumpe. Zamena kaiša.	Vozilo van rada 8 h (1. smena)
12.	29.03. 2015. godine	152387 km	Gubitak rashladne tečnosti, curenje na hladnjaku.	Verovatno mehaničko oštećenje hladnjaka na lokaciji deponije.	Krpljenje hladnjaka u servisu, dopuna rashladne tečnosti	Vozilo van rada 8 h (1. smena)
13.	18.12. 2016. god	204016 km	Zakazali akumulatori, motor nemože da upali.	Vek trajanja, lošiji kvalitet akumulatora, zamenski deo.	Zamena dva akumulatora	Vozilo van rada 4 h
14.	24.03. 2017. godine	214628 Km	Gubitak vuče, lamela proklizava, oseća se miris lamele.	Preopterećenje kamiona teretom, linije na kojima vozilo radi su sa velikim usponom.	Zamena zamajca, zamena ležaja zamajca, zamena seta kvačila.	Vozilo van rada 48 h (6. smena)

Radne karakteristike dizel motora u eksploataciji na vozilu FAP 2023 BD 42 registarskih oznaka SD-018-VC, na osnovu podataka iz Tabele 5.13. U tabeli su dati svi veći otkazi koji su se desili od startovanja u rad vozila 01.08.2008. godine gde se Mercedesov motor OM906LA III/00906964-00-714020 pokazao kao izuzetno pouzdan (Tabela 5.14). Ako zanemarimo otkaze nastale uticajem ljudskog faktora, nije bilo većih intervencija na ovom motoru osim redovnog servisa. Otkazi koji su se ponavljali su na delovima koji su zamenski, kao što je set kvačila, pa je lošijim rukovanjem prouzrokovan problem sa delom motora kao što je zamajac. Ostali otkazi, koji su se dešavali su na delovima agregatskog tipa: alternator, anlaser i vodena pumpa. U suštini, motor se izuzetno dobro pokazao za period od deset godina. Ovo vozilo je bilo u kombinovanom režimu rada gde se zahtevalo premeštanje sa lokacije na lokaciju i izvesno vreme rad u mestu prilikom utovara kontejnera od 1,1 m³. Kombinovani rad omogućio je da se ne pojavljuju problemi kod grupe devet, odnosno sistema za prečišćavanje izduvnih gasova i dodatnih uređaja na usisno-izduvnoj instalaciji kao kod prve grupe posmatranih vozila.

Tabela 5.14. Otkazi elemenata dizel motora sa rangom kritičnosti praćeni 10 god.

Praćenja otkaza mercedesovog dizel motor na vozilu: FAP 2023 BD42, registarskih oznaka SD-016-GY							
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora:		Broj motora : OM 906LA III/00906964-00-714020 - Mercedesov motor Broj šasije: 023BD/120478; Vlasnik JKP "Zelenilo"; snaga: 170 kW					
Delovi motora	Broj elemenata	Broj otkaza:	Broj otkaza po elementu	Broj ponovljenih otkaza po elementu	% ponavljanje otkaza	%	Rang kritičnosti
1. Pokretni delovi motora	11	3	(0,27)	3	12,92%	20,04%	8
2. Nepokretni delovi motora	6	2	(0,33)	1	15,79%	13,33%	7
3. Sistem razvoda radne materije	5	0	(0)	0	0%	0%	1
4. Sistem napajanja motora gorivom	8	2	(0,25)	2	11,96%	13,33%	6
5. Sistem paljenja i startovanja	5	3	(0,6)	2	28,70%	20,04%	9
6. Sistem podmazivanja	7	0	(0)	0	0%	0%	1
7. Sistem za hlađenje motora	9	4	(0,44)	2	21,05%	26,92%	10
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	1	0	(0)	0	0%	0%	1
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj izduvnoj instalaciji	3	0	(0)	0	0%	0%	1
10. Elektro elementi	5	1	(0,2)	1	9,57%	6,61%	5
Σ	60	15	(2,09)	/	100%	100%	1-10

Najveći procenat otkaza elemenata motora je u sistemu za hlađenje motora gde se pokazalo da je vodena pumpa element sa najvišim stepenom rizika. Posle toga ide sistem za paljenje - startovanje, gde je zahvaljujući akumulatorima koji su zamenski deo sledeći rang kritičnosti, u tom nivou rizika su i pokretni delovi motora gde je zamajac. U Tabeli 5.15. su prikazani otkazi elementa motora OM 906LA III/00906964-00-714020u

intervalu 50000 km i razdoblju od 10 god. U Tabeli 5.16. su prikazani otkazi na elementima dizel motora prikazani u procentima i praćeni u razdoblju od 10 god.

Tabela 5.15. Otkazi elementa motora u intervalu 50000 km i razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza Mercedesovog dizel motora na vozilu: FAP 2023 BD42, registar. oznaka SD-018-GY							
Osnovni podaci vozila		Broj motora : OM 906LA III/00906964-00-714020 - Mercedesov motor					
posmatranog dizel motora:		Broj šasije: 023BD/120478; Vlasnik JKP "Zelenilo"; snaga: 170 kW					
Interval od 50.000 km	0	50000	100000	150000	200000	250000	250000
	50000 km	100000 km	150000 km	200000 km	250000 km	300000 km	
1. Pokretni delovi motora	1	1	/	/	1	/	3
2. Nepokretni delovi motora	/	/	2		/	/	2
3. Sistem razvoda radne materije	/	/	/	/	/	/	0
4. Sistem napajanja motora gorivom	1	/	1	/	/	/	2
5. Sistem paljenja i startovanja	1	/	1	/	1	/	3
6. Sistem podmazivanja	/	/	/	/	/	/	0
7. Sistem za hlađenje motora	/	1	2	1	/	/	4
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	/	/	/	/	/	/	0
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj instalaciji	/	/	/	/	/	/	0
10. Elektro elementi		/	1	/		/	1
\sum 60 elemenata	3	2	6	1	2	/	15

Tabela 5.16. Otkazi na elementima dizel motora prikazani u procentima i praćeni u razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza Mercedesovog dizel motora na vozilu FAP 2023 BD42, registar. oznaka SD-016-GY		
Motor i podsistemi	Broj otkaza	%
1. Pokretni delovi motora	3	20,04%
2. Nepokretni delovi motora	2	13,33%
3. Sistem razvoda radne materije	0	0%
4. Sistem napajanja motora gorivom	2	13,33%
5. Sistem paljenja i startovanja	3	20,04%
6. Sistem podmazivanja	0	0%
7. Sistem za hlađenje motora sa rolerima, PK kaišem i španerom	4	26,92%
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	0	0%
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj instalaciji	0	0%
10. Elektro elementi	1	6,61%
\sum	15	100%

Za vozilo FAP 2023 BD42, registarskih oznaka SD-018-VC, 2008. godišta sa dizel motorom OM 906LA III/00906964-00-714020 – mercedes tabelarno je dato:

- Servisno praćenje vozila 10 god. Servis do 100 000 km je rađen u ovlašćenom servisu, nastavak servisiranja u radionici održavanja JKP „Zelenila“ kao i dijagnostika sa ugovorenim dijagnostičkim servisom u Smederevu (Tabela 5.17.),
- Praćenja otkaza dizel motora 10 god. sa opisom otkaza, uzorkom nastanka otkaza, intervencijom popravke i vremenom popravke. (Tabela 5.18.),
- Analiza otkaza elemenata na dizel motoru 10 god. (Tabela 5.19.),
- Tabela otkaza, interval 50000 km u razdoblju od 10 god. (Tabela 5.20.),
- Tabela otkaza elementima dizel motora datih u %, u razdoblju od 10 god. (Tabela 5.21.).

Tabela 5.17. Servisno praćenje dizel motora vozilu FAP 2023BD42

Servisno praćenje Mercedesovog dizel motora na vozilu FAP 2023BD42, registar. oznaka SD-018-VC						
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora:		Broj motora : OM 906LA III/2 00906.964-0071-4028- mercedes Br. šasije: 023BD/42120 479;Vlasnik JKP „Zelenilo“; snaga: 170 kW				
Datum servisa	Pređeni km	Zamena ulja, filtera	Količina ulja	Dijagnostika restart po servisu	Vreme, mesto i trajanje servisa	
01.08.2008. god.	Vozilo kao novo ušlo u upotrebu					JKP „Zelenilo“
08.01.2009. god.	5505 km	x	/	*Castrol Tecton 15W-40; kol: 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
13.04.2009. god.	15441 km	x	x	* Castrol Tecton 15W-40; kol: 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
28.07.2009. god.	25452 km	x	/	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
12.10.2009. god.	36002 km	x	x	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
24.03.2010. god.	45987 km	x	/	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
09.07.2010. god.	55891 km	x	x	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
24.10.2010. god.	65872 km	x	/	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
08.02.2011. god.	75302 km	x	x	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
01.05.2011. god.	85498 km	x	/	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
09.08.2011. god.	95507 km	x	x	* 30 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
08.11.2011. god.	105605 km	x	x	* 30 L	x	JKP „Zelenilo“ 8 h
13.05.2012. god.	126114 km	x	x	* 30 L	x	JKP „Zelenilo“ 8 h
15.12.2012. god.	146203 km	x	/	* 30 L	/	JKP „Zelenilo“ 8 h
11.07.2013. god.	166626 km	x	x	* 30 L	x	JKP „Zelenilo“ 8 h
20.03.2014. god.	187002 km	x	x	* 30 L	x	JKP „Zelenilo“ 8 h
21.11.2014. god.	207218 km	x	x	* 30 L	x	JKP „Zelenilo“ 8 h
24.07.2015. god.	227414 km	x	x	* 30 L	x	JKP „Zelenilo“ 8 h
17.02.2016. god.	248321 km	x	x	* 30 L	x	JKP „Zelenilo“ 8 h
11.10.2016. god.	269124 km	x	x	* 30 L	x	JKP „Zelenilo“ 8 h
21.06.2017. god.	290001 km	x	x	* 30 L	x	JKP „Zelenilo“ 8 h

Tabela 5.18. Otkazi dizel motora sa opisom otkaza, uzorkom otkaza, intervencijom popravke i vremenom popravke u razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza Mercedesovog dizel motora na vozilu: FAP 2023 BD42, registar. oznaka SD-018-VC						
Osnovni podaci vozila			Broj motora : OM 906LA III/2 00906.964-0071-4028 - Mercedesov br. šasije: 023BD/42120 479; Vlasnik JKP"Zelenilo"; snaga: 170 kW			
	Datum otkaza	Pređeni km.	Opis otkaza: sklopa, podsklopa, ssistema,	Predpostavka mogućeg uzorka otkaza	Intrvenција - sanacija	Vreme popravke
1.	30.11. 2009. god.	37994 km	Vozilo ne prima gas radi do 1.000 obrtaja	Otkaz elektro papučice gasa , vozilo u garanciji.	Zamena papučice gasa , vozilo u garanciji. Serviseri na licu mesta .	Vozilo van rada 8 h (1. smena)
2.	23.03. 2010. god.	45987 km	Gubitak vuče , lamela proklizava, oseća se miris spaljene lamele.	Preopterećenje kamiona teretom, linije na kojima vozilo radi su sa velikim usponom, loše rukovanje izvršioca.	Zamena ležaja zamajca , zamena seta kvačila, vozilo oterano u servis garantni rok (priznato).	Vozilo van rada 48 h (6. smena)
3.	02.10. 2011.g od.	103215 km	Zakazali akumulatori, motor ne može da upali.	Vek trajanja, lošiji kvalitet akumulatora, zamenski deo.	Zamena dva akumulatora	Vozilo van rada 4 h
4.	15.10. 2011. God.	103683 km	Gubitak vuče , lamela proklizava.	Preopterećenje kamiona teretom, linije na kojima vozilo radi su sa velikim usponom.	Zamena zamajca, seta kvačila, vozilo u garantnom roku (prizato).	Vozilo van rada 48 h (6. smena)
5.	05.04. 2012. god.	124008 km	Loše vuče, trokira , nema snagu.	Zaprljan filter vazduha, izuzetno prašnjav prilazni put do deponije.	Zamena filtera vazduha, pranje kućišta filtera, pranje hladnjaka,motora.	Vozilo van rada 4 h
6.	21.12. 2012. god.	146499 km	Gubitak rashladne tečnosti, curenje na hladnjaku.	Verovatno mehaničko oštećenje hladnjaka na lokaciji deponije.	Krpljenje hladnjaka u servisu, dopuna rashladne tečnosti.	Vozilo van rada 8 h (1. smena)
7.	14.06. 2013. god.	164887 km	Motor nepravilno radi, izgubio snagu, teško upali, svetli signalna lampica.	Sipanje goriva iz kanti , ostajanje vozila bez goriva, dobavljač goriva jedno vreme isporučivao dizel cisternom	Zamena filtera goriva.	Vozilo van rada 4 h (pola smene)
8.	15.07. 2013. god.	166973 km	Motor neće da upali, ne može da uzubi alnaser.	Bendeks alternatora otkazao.	Zamena bendeksa alnaser. Čišćenje i pranje alnaser.	Vozilo van rada 8 h (1. smena)
9.	15.08. 2013. god.	167124 km	Vozilo se ugasio u radu, pre gašenja motor izgubio snagu i nepravilno radio.	Zaprljan filter za gorivo, nastalo zbog nečistoća u rezervoaru. Sipanje goriva iz kanti , ostajanje vozila bez goriva.	Skidanje rezervara za gorivo i pranje, pranje instalacije za dovod gorivom , zamena filtera.	Vozilo van rada 8 h (1. smena)
10.	23.01. 2014. god.	181 947 km	Gubitak rashladne tečnosti, curenje na vodenoj pumpi.	Loši ležajevi vodene pumpe izazvali otkaz semeringa i zbog toga curenje na vodenoj pumpi.	Zamena vodene pumpe.	Vozilo van rada 8 h (1. smena)
11.	17.06. 2014. god.	192224 km	Kapljanje ulja na karteru, gubitak ulja, pojava barice ispod motora u stajanju.	Mehaničko oštećenje kartera (karter plastičan). Deponija neuređena zbog otkaza buldožera (havarija na istovaru na deponiji)	Skidanje kartera motora , zamena novim.	Vozilo van rada 16 h (2. smene)
12.	20.11. 2015. god.	238231 km	Otkaz alternatora, nepuni alternator, gubimotor, prolazak kroz deponiju struju, nepali.	Česta startovanja i gašenja motora, prolazak kroz deponiju prljanje donjeg postroja motora.	Servisiranje-remont alternatora u servisu.	Vozilo van rada 24 h (3. smene)
13.	24.12. 2015. god.	238641 km	Zakazali akumulatori, motor nemože da upali.	Vek trajanja, lošiji kvalitet akumulatora, zamenski deo.	Zamena dva akumulatora.	Vozilo van rada 4 h
14.	22.05. 2016. god.	253754 km	Gubitak vuče, lame-la proklizava, oseća se miris lamele.	Preopterećenje kamiona teretom, linije na kojima vozilo radi su sa velikim usponom.	Zamena ležaja zamajca , zamena seta kvačila.	Vozilo van rada 48 h (6. smena)
15.	22.02. 2017. god.	280023 km	Gubitak rashladne tečnosti, curenje na vodenoj pumpi.	Loši ležajevi vodene pumpe izazvali otkaz semeringa i zbog toga curenje na vodenoj pumpi.	Zamena vodene pumpe.	Vozilo van rada 8 h (1. smena)

Radne karakteristike dizel motora u eksploataciji su date u Tabeli 5.18. (vozilo FAP 2023 BD42 registarskih oznaka SD-018-VC). U tabeli su dati svi veći otkazi koji su se desili od startovanja u rad vozila 01.08.2008. godine gde se Mercedesov motor OM 906LA III/2 00906.964-0071-4028 pokazao kao izuzetno pouzdan. Ako zanemarimo otkaze nastale uticajem ljudskog faktora nije bilo većih intervencija na motoru osim redovnog servisa. Otkazi koji su se ponavljali su na delovima koji su zamenski kao što je set kvačila, pa je lošijim rukovanjem prouzrokovan problem sa delom motora, kao što je zamajac. Ostali otkazi koji su se dešavali su na delovima koji su agregatskog tipa: alternator, alnaser i vodena pumpa. U suštini motor se izuzetno dobro pokazao za period od deset godina uz adekvatno dobar servis. I ovo vozilo je bilo u kombinovanom režimu rada gde se zahtevalo premeštanje sa lokacije na lokaciju i izvesno vreme rad u mestu prilikom utovara kontejnera od 1,1 m³. Kombinovani rad omogućio je da se ne pojavljuju problemi kod grupe devet odnosno sistema za prečišćavanje izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno-izduvnoj instalaciji kao kod prve grupe vozila koja je praćena.

Tabela 5.19. Otkazi elemenata dizel motora sa rangom kritičnosti praćeni 10 god.

Praćenja otkaza Mercedesovog dizel motora na vozilu FAP2023BD42, registarskih oznaka SD-018-VC							
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora		Broj motora : OM 906LA III/2 00906.964-0071-4028- Mercedesov motor Broj šasije: 023BD/42120 479; Vlasnik JKP "Zelenilo"; snaga: 170 kW					
Delovi motora	Broj elemenata	Broj otkaza	Broj otkaza po elementu	Broj ponovljenih otkaza po elementu	% ponavljan otkaza	%	Rang kritičnosti
1. Pokretni delovi motora	11	3	(0,27)	2	10,9%	18,75%	7
2. Nepokretni delovi motora	6	1	(0,17)	1	6,87 %	6,25 %	4
3. Sistem razvoda radne materije	5	0	(0)	0	0%	0%	1
4. Sistem napajanja motora gorivom	8	3	(0,375)	2	15,15%	18,75%	9
5. Sistem paljenja i startovanja	5	3	(0,6)	2	24,24%	18,75%	10
6. Sistem podmazivanja	7	0	(0)	0	0%	0%	1
7. Sistem za hlađenje motora	9	3	(0,33)	2	13,33%	18,75%	8
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	1	0	(0)	0	0%	0%	1
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno izduvnoj instalaciji	3	1	(0,33)	1	13,33%	6,25%	5
10. Elektro elementi	5	2	(0,4)	2	16,16 %	12,5%	6
Σ	60	16	(2,475)	/	100%	100%	1-10

Tabela 5.20. Otkazi elementa motora u intervalu 50000 km i razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza Mercedesovog dizel motora na vozilu FAP 2023 BD42, registarskih oznaka SD-018-VC							
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora:		Broj motora : OM 906LA III/2 00906.964-0071-4028 - Mercedesov motor Broj šasijske: 023BD/42120 479;Vlasnik JKP "Zelenilo"; snaga: 170 kW					
Interval od 50.000 km	0 - 50000 km	50000 - 100000 km	100000 - 150000 km	150000 - 200000 km	200000 - 250000 km	250000 - 300000 km	
1. Pokretni delovi motora	1	/	1	/	/	1	3
2. Nepokretni delovi motora	/	/	/	1	/	/	1
3. Sistem razvoda radne materije	/	/	/	/	/	/	/
4. Sistem napajanja motora gorivom	/	/	/	2	1	/	3
5. Sistem paljenja i startovanja	/	/	1	1	1	/	3
6. Sistem podmazivanja	/	/	/	/	/	/	/
7. Sistem za hlađenje motora	/	/	1	/	/	1	2
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	/	/	/	1	/	/	1
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj izduvnoj instalaciji	/	/	1	/	/	/	1
10. Elektro elementi	1	/	/	/	1	/	2
\sum 60 elemenata	2	/	4	5	3	2	16

Tabela 5.21. Otkazi na elementima dizel motora prikazani u procentima i praćeni u razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza Mercedesovog dizel motor na vozilu FAP 2023 BD42, registarskih oznaka SD-018-VC		
Motor i podsistemi (elementi motora)	Broj otkaza	%
1. Pokretni delovi motora	3	18,75%
2. Nepokretni delovi motora	1	6,25 %
3. Sistem razvoda radne materije	0	0%
4. Sistem napajanja motora gorivom	3	18,75%
5. Sistem paljenja i startovanja	3	18.75%
6. Sistem podmazivanja	0	0%
7. Sistem za hlađenje motora sa rolerima, PK kaišem i španerom	2	18,75%
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	1	0%
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj izduvnoj instalaciji	1	6.25%
10. Elektro elementi	2	12,5%
\sum	16	100%

Za vozilo FAP 2023 BD 42, registarskih oznaka SD-018-VC najveći procenat otkaza i najviši rang kritičnosti elemenata motora je u sistemu paljenja i startovanja (zahvaljujući akumulatorima, koji su zamenski deo). Sledeći je sistem za napajanje motora gorivom,

sistem za hlađenje i pokretni delovi motora gde su zamajac i ležaj zamajca bili najopterećeniji.

Treća grupa vozila koja je praćena (sa normalnim radom)

Kod ove grupe vozila koja obavlja komunalne poslove prigušeni rad dizel motora na leru je zanemariv i spada u normalno vreme rada koje bi svako drugo vozilo sa dizel motorom u svojoj eksploataciji radilo sa minimalnim brojevima obrtaja motora.

Za vozilo FAP 1318 B/36, registarskih oznaka SD-002-AI, 2008. godišta sa dizel motorom OM 904 LA III/5 904.951-00/714147- mercedes tabelarno je dato:

- Servisno praćenje vozila deset godina. Servis do 100000 km je rađen u ovlašćenom servisu, nastavak servisiranja u radionici održavanja JKP “Zelenila“ kao i dijagnostika sa ugovorenim dijagnostičkim servisom u Smederevu (Tabela 5.22.),
- Praćenja otkaza dizel motora deset godina sa opisom otkaza, uzorkom nastanka otkaza, intervencijom popravke i vremenom popravke. (Tabela 5.23.),
- Analiza otkaza elemenata dizel motora – 10 god. rada. (Tabela 5.24.),
- Tabela otkaza, interval 50000 km u razdoblju od 10 god. (Tabela 5.25.),
- Tabela otkaza elementima dizel motora datih u procentima, u razdoblju od 10 god. (Tabela 5.26.).

Tabela 5.22. Servisno praćenje Mercedes na vozilu FAP1318 B/36

Servisno praćenje dizel motora Mercedes na vozilu FAP1318 B/36, registarskih oznaka SD-002-AI						
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora:		Broj motora : OM 904 LA III/5 904.951-00/714147- mercedes Broj šasije: 120448; Vlasnik JKP “Zelenilo”, snaga: 133 kW, autopodizač				
Datum servisa	Pređeni km	Zamena ulja, filtera	Količina ulja	Dijagnostika restart po servisu	Vreme, mesto i trajanje servisa	
24.12.2008. god.	Vozilo kao novo ušlo u upotrebu					JKP Smederevo
27.04.2009. god.	5105 km	x	/	*Castrol Tecton 15W-40; kol: 16 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
21.10.2009. god.	14441 km	x	x	* Castrol ection 15W-40; kol: 16 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
06.04.2010. god.	23575 km	x	/	* 16 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
13.10.2010. god.	36675 km	x	x	* 16 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
25.02.2011. god.	46272 km	x	/	* 16 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
03.07.2011. god.	56004 km	x	x	* 16 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
12.12.2011. god.	65680 km	x	/	* 16 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
24.04.2012. god.	76202 km	x	x	* 16 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
03.05.2012. god.	85763 km	x	/	* 16 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h

11.12.2012. god.	95814 km	x	x	* 16 L	x	Zastava promet AD Beograd 8 h
19.07.2013. god.	106002 km	x	x	* 16 L	x	JKP "Zelenilo" 8 h
23.02.2014. god.	116521 km	x	x	* 16 L	x	JKP "Zelenilo" 8 h
08.08.2014. god.	127948 km	x	x	* 16 L	x	JKP "Zelenilo" 8h
02.10.2015. god.	148098 km	x	x	* 16 L	x	JKP "Zelenilo" 8 h
30.11.2016. god.	167996 km	x	x	* 16 L	x	JKP „Zelenilo“ 8h
03.12.2017. god.	188214 km	x	x	* 16 L	x	JKP „Zelenilo“ 8h

Tabela 5.23. Otkazi dizel motora sa opisom otkaza, uzorkom otkaza, intervencijom popravke i vremenom popravke u razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza Mercedesovog dizel motora na vozilu FAP 1318 B/36, registarskih oznaka SD-002-AI						
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora:			Broj motora : OM 904 LA III/5 904.951-00/714147- mercedes Broj šasije: 120448; Vlasnik JKP "Zelenilo", snaga: 133 kW, namena: Auto podizač			
	Datum otkaza	Pred. km	Opis otkaza: sklopa, podsklopa, sistema,	Predpostavka mogućeg uzorka otkaza	Intrvenција sanacija	Vreme popravke
1.	04.09.2012. god.	91653 km	Gubitak vuče, lamela proklizava, oseća se miris spaljene lamele.	Preopterećenje kamiona teretom, linije na kojima vozilo radi su sa velikim usponom, loše rukovanje izvršioa.	Zamena ležaja zamajca, obrada zamajca, zamena seta kvačila.	Vozilo van rada 48 h. (6 smena)
2.	07.03.2013. god.	100324 km	Motor nepravilno radi, izgubio snagu, teško upali, svetli signalna lampica.	Sipanje goriva iz kanti, ostajanje vozila bez goriva, dobavljač goriva jedno vreme isporučivaodizel cisternom	Zamena filtera goriva.	Vozilo van rada 4 h (polu smene)
3.	30.05.2013. god.	103215 km	Gubitak vuče, lamela proklizava.	Preopterećenje kamiona teretom, linije na kojima vozilo radi su sa velikim usponom.	Zamena zamajca, seta kvačila.	Vozilo van rada 48 h (6 smena)
4.	20.01.2014. god.	115022 km	Gubitak vuče, lamela proklizava, oseća se miris spaljene lamele.	Preopterećenje kamiona teretom, linije na kojima vozilo radi su sa velikim usponom, loše rukovanje izvršioa.	Obrada zamajca, zamena seta kvačila.	Vozilo van rada 48 h smena)
5.	08.11.2014. god.	132563 km	Zakazali akumulatori, motor ne može da upali.	Vek trajanja, lošiji kvalitet akumulatora, zamenski deo.	Zamena dva akumulatora.	Vozilo van rada 4 h
6.	08.01.2015. god.	135243 km	Motor neće da upali, nemože da uzubi alnaser.	Bendeks alternatora otkazao.	Zamena bendeksa alnaser. Čišćenje i pranje alnaser.	Vozilo van rada 8 h (1 smena)
7.	21.09.2015. god.	138003 km	Nereaguje pedala gasa, izbacuje grešku motora.	Velike kiše, na deponiji na prilaznom putu prolazak kroz mnogo bara, okvašena instalacija	Restart sistema motora u servisu u Osipaonici.	Vozilo van rada 8 h (1 smena)
8.	14.03.2016. god.	155634 km	Gubitak rashladne tečnosti, curenje na vodenoj pumpi.	Loši ležajevi vodene pumpe izazvali otkaz semeringa i zbog toga curenje na vodenoj pumpi.	Zamena vodene pumpe. Zamena kaiša.	Vozilo van rada 8 h (1 smena)
9.	16.01.2017. god.	170379 km	Otkaz alternatora, nepuni alternator, gubi struju, nepali.	Česta startovanja i gašenja motora, prolazak kroz deponiju prljanje donjeg postroja motora.	Servisiranje-remont alternatora zamena rotora.	Vozilo van rada 24 h

Radne karakteristike dizel motora u eksploataciji na vozilu FAP 1318 B registarskih oznaka SD-002-AI, a na osnovu podataka iz Tabele 5.23. U tabeli su dati svi veći otkazi na dizel motoru koji su se desili od startovanja u rad vozila 24.12. 2008. god. gde se motor OM 904 LA pokazao kao izuzetno pouzda. Ako zanemarimo otkaze nastale uticajem ljudskog faktora, nije bilo većih intervencija na motoru. Otkazi koji su se ponavljali su na delovima kod kojih se vrši zamena, kao što je set kvačila. Ostali otkazi koji su se dešavali

na delovima koji su agregatskog tipa: alternator, alnaser i vodena pumpa. U suštini motor se izuzetno dobro pokazao za period od 10 god. Ovo vozilo je bilo u normalnom režimu rada gde se zahtevao mali broj zaustavljanja sa kratkim vremenom rad u mestu prilikom utovara i istovara kontejnera od 5 m³. Normalan rad omogućio je da se ne pojavljuju problemi kod delova u grupi devet, kao kod prve grupe vozila koja je praćena.

Tabela 5.24. Otkazi elemenata dizel motora sa rangom kritičnosti praćeni 10 god.

Praćenja otkaza Mercedesovog dizel motora na vozilu FAP 1318 B/36, registarskih oznaka SD-002-AI							
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora:		Broj motora : OM 904 LA III/5 904.951-00/714147 Mercedesov motor Broj šasije: 120448; Vlasnik JKP "Zelenilo"; snaga: 133 kW, autosmečar					
	Broj elemenata	Broj otkaza	Broj otkaza po elementu	Broj ponovljenih otkaza po elementu	% ponavljanja otkaza	%	Rang kritičnosti
1. Pokretni delovi motora	11	3	(0,27)	3	12,19%	30%	10
2. Nepokretni delovi motora	6	0	(0)	0	0%	0%	1
3. Sistem razvoda radne materije	5	0	(0)	0	0%	0%	1
4. Sistem napajanja motora gorivom	8	1	(0,125)	1	5,64%	10%	5
5. Sistem paljenje i startovanje	5	2	(0,4)	1	18,06%	20%	9
6. Sistem podmazivanja	7	0	(0)	0	0%	0%	1
7. Sistem za hlađenje motora	9	2	(0,22)	1	9,93%	20%	8
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	1	1	(1)	1	45,15%	10%	7
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj izduvnoj instalaciji	3	0	(0)	0	0%	0%	1
10. Elektro elementi	5	1	(0,2)	1	9,03%	10%	6
Σ	60	10	(2,215)	/	100%	100%	1-10

Najveći procenat otkaza elemenata motora je u sistemu pokretnih delova motora gde su zamajac i ležaj zamajca bili najopterećeniji, odnosno set lamele, uglavnom zbog ljudskog faktora, odnosno izvršioca. Sledeći je paljenje motora (startovanje), gde je zahvaljujući akumulatorima koji su zamenski deo (vek trajanja akumulatora uglavnom zavisi od kvaliteta samih akumulatora, odnosno od proizvođača), dobili viši rang kritičnosti. Treći po redu je sistem za hlađenje gde je uzročnik otkaza u startu bez neke detaljnije analize teže tačno definisati.

Tabela 5.25. Otkazi na elementima dizel motora prikazani u procentima i praćeni u razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza Mercedesovog dizel motora na vozilu FAP 1318 B/36, registarskih oznaka SD-018-VC		
Motor i podsistemi	Broj otkaza	%
1. Pokretni delovi motora	3	30%
2. Nepokretni delovi motora	0	0%
3. Sistem razvoda radne materije	0	0%
4. Sistem napajanja motora gorivom	1	10%
5. Sistem paljenja i startovanja	2	20%
6. Sistem podmazivanja	0	0%
7. Sistem za hlađenje motora sa rolerima, PK kaišem i španerom	2	20%
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	1	10%
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj instalaciji	0	0%
10. Elektro elementi	1	14,29%
Σ	10	100%

Tabela 5.26. Otkazi elementa motora u intervalu 50000 km i razdoblju od 10 god.

Praćenja otkaza Mercedesovog dizel motor na vozilu FAP 1318 B/36, registarskih oznaka SD-002-AI					
Osnovni podaci vozila posmatranog dizel motora:	Broj motora : OM 904 LA III/5 904.951-00/714147 mercedesov motor				
	Broj šasije: 120448; Vlasnik JKP "Zelenilo"; snaga: 133 kW, autosmečar				
Interval od 50000 km	0 - 50000 km	50000 - 100000 km	100000 - 150000 km	150000 - 200000 km	
1. Pokretni delovi motora	/	1	2	/	3
2. Nepokretni delovi motora	/	/	/		0
3. Sistem razvoda radne materije	/	/	/	/	0
4. Sistem napajanja motora gorivom	/	/	1		1
5. Sistem paljenja i startovanja	/	/	2	/	2
6. Sistem podmazivanja	/	/	/	/	0
7. Sistem za hlađenje motora	/	/	/	2	2
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	/	/	1	/	1
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj instalaciji	/	/	/	/	0
10. Elektro elementi	/	/	/	1	1
Σ 60 elemenata	0	1	6	3	10

c) Empirijska analiza otkaza dizel motora na specijalnim komunalnim vozilima u JKP "Zelenilo"

Prilikom empirijskog istraživanja izdvaja se prva grupa vozila koja obavlja većinski deo rada u leri na malom broju obrtaja i u mestu, te se tu pojavljuju učestalo isti otkazi sklopova, odnosno komponenti i delova sklopova dizel motora.

Radi lakše empirijske analize problem otkaza delova dizel motora biće sagledan dalje kroz dve grupe komunalnih vozila, grupu „I“ (G1) koja se izdvaja uslovima eksploatacije i nastalim otkazima u tim uslovima eksploatacije i grupu „II“ (G2) koju obuhvataju sva ostala vozila (u prethodnoj podeli druga i treća grupa nastala iz uslova rada, vozila koja imaju približno slične otkaze dizel motora koji se podudaraju sa otkazima ostalih teretnih vozila koja ne rade u komunalnoj delatnosti).

Pošto su uočene dve grupe teretnih specijalnih komunalnih vozila, u odnosu na posao koji obavljaju i na pojavu određenih otkaza na motorima, dalja analiza biće rađena, kako je navedeno, u dve grupe:

- grupa „I“ gde je izražen rad na malom broju obrtaja i rad u mestu (rad u leri),
- grupa „II“ su ostala komunalna vozila, gde je normalan rad motora .

Grupa „I“ obuhvata odabrana komunalna vozila proizvedena tj. ušla u upotrebu kao nova 2008. god. (zbog vremenskog praćenja od 10 god.):

1. MCD SPRINTER 511 CDI, registarskih oznaka SD-001-TM, proizveden 2008. god. (Mercedesov dizel motor);
2. MCD SPRINTER 311 CDI, registarskih oznaka SD-005-SS, proizveden 2008. god. (Mercedesov dizel motor);
3. INVECO NEW CARGO, registarskih oznaka SD-016-VG, proizveden 2008. god. (Iveco dizel motor);
4. NEW TURBO RIVAL 49.10, registarskih oznaka SD-014-GČ, ušao u upotrebu 2008. god. (Iveco dizel motor).

U grupu „II“ spadaju komunalna vozila koja nisu opterećena radom na malom broju obrtaja, takođe proizvedena 2008 god.:

1. FAP 2023, registarskih oznaka SD-016-GY, proizveden 2008. god. (Mercedesov dizel motor)
2. FAP 2023, registarskih oznaka SD-018-VC, proizveden 2008. god. (Mercedesov dizel motor)
3. FAP 1318, registarskih oznaka SD-002-AI, proizveden 2008. god. (Mercedesov dizel motor)
4. FAP 1418, registarskih oznaka SD-021-WB, proizveden 2008. god. (Mercedesov dizel motor)

Uporedne analize grupe „I“ i grupe „II“ komunalnih vozila sa dizel motorima novije generacije

Kreiranim modelom pouzdanosti u procesu eksploatacije dizel motora kod komunalnih vozila biće urađeno upoređivanje grupe „I“ i grupe „II“ komunalnih vozila sa dizel motorima novije generacije proizvedenih 2008. god.

Za grupu „I“ koja obuhvata komunalna vozila sa dizel motorima novije generacije, praćenje otkaza za sva četiri odabrana vozila će biti predstavljeno:

- Analizom otkaza elemenata na dizel motorima sa rangom kritičnosti u razdoblju 10 god. (Tabela 5.27.),
- Zbirnom tabelom otkaza, za interval 50000 km u razdoblju od 10 god. (Tabela 5.28.),
- Zbirno tabelom otkaza elemenata dizel motora datih u procentima, u razdoblju od 10 god. (Tabela 5.29.).

Tabela 5.27. Zbirna tabela otkaza elemenata motora Grupe „I“ komunalnih vozila gde je praćenje otkaza izvršeno za period od 10 god.

Praćenje otkaza četiri dizel motora Grupe „I“ komunalnih vozila koja su proizvedena 2008. god.							
Zbirna tabela za vozila	MCD SPRINTER 511 CDI registarske oznake SD-001-TM, (Mercedes dizel motor), MCD SPRINTER 311 CDI registarske oznake SD-005-SS, (Mercedes dizel motor), INVECO NEW CARGO registarske oznake SD-016-VG, (Iveco dizel motor), NEW TURBO RIVAL 49.10, SD-014-GČ, (Iveco dizel motor).						
Delovi motora	Broj elemenata	Broj otkaza:	Broj otkaza po elementu	Broj ponovljenih otkaza po elementu	% ponavljanja otkaza	%	Rang kritičnosti
1. Pokretni delovi motora	11	18	(1,636)	2	6,67%	15,13%	8
2. Nepokretni delovi motora	6	10	(1,667)	2	6,79%	8,40%	6
3. Sistem razvoda radne materije	5	5	(1)	1	4,07%	4,20%	3
4. Sistem napajanja motora gorivom	8	7	(0,875)	2	3,56%	5,88%	4
5. Sistem paljenja i startovanja	5	8	(1,6)	2	6,52%	6,72%	5
6. Sistem podmazivanja	7	3	(0,428)	1	1,74%	2,52%	1
7. Sistem za hlađenje motora	9	27	(3)	6	12,22%	22,68%	9
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	1	3	(3)	1	12,22%	2,52%	2
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno-izduvnoj instalaciji	3	28	(9,333)	9	38,03%	23,53%	10
10. Elektro elementi	5	10	(2)	2	8,15%	8,40%	7
Σ	60	119	(24,539)		100%	100%	1-10

Tabela 5.28. Zbirna tabela otkaza elemenata motora Grupe „I“ komunalnih vozila, praćenje u intervalu 50000 km, za razdoblje od 10 god.

Interval od 50000 km	0 - 50000 km	50000 - 100000 km	100000 - 150000 km	150000 - 200000 km	200000 - 250000 km	250000 - 300000 km	300000 - 350000 km	350000 - 400000 km	
1. Pokretni delovi motora	/	/	/	2	/	5	1	10	18
2. Nepokretni delovi motora	/	/	/	/	/	2	1	7	10
3. Sistem razvoda radne materije	/	/	/	/	/	1	1	3	5
4. Sistem napajanja motora gorivom	/	1	/	1	1	/	3	1	7
5. Sistem paljenja i startovanja	/	/	1	2	1	1	2	1	8
6. Sistem podmazivanja	/	/	/	/	/	1	1	1	3
7. Sistem za hlađenje motora			4	0	1	2	5	15	27
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	/	/	1	/	/	1	/	1	3
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno-izduvnoj instalaciji	/	/	2	1	3	5	9	8	28
10. Elektro elementi	/	/	1	2	1	1	2	3	10
\sum 60 elemenata	0	1	9	8	7	19	25	51	119

U odnosu na posmatrani vremenski interval, broj otkaza se povećavao po isteku prve dve godine. Takođe, se u odnosu na pređenu kilometražu vidno i naglo povećao broj otkaza posle pređenih 250000 km. U Tabeli 5.29, posmatrajući grupu 9, odnosno komponentu sa najviše otkaza, primetno je kako se povećavala kilometraža, tako se progresivno povećavao i broj otkaza. U prethodnoj Tabeli 5.28. je, takođe, primetno da se grupa 9 izdvojila, pa otkazi koji su u grupi 9 se direktno se vezuju za način rada dizel motora i uslove u kome komunalna vozila rade. Očigledno je da grupa „I“ komunalnih vozila ima problem sa pouzdanošću sistema za prečišćavanje izduvnih gasova i dodatnih uređaja na usisno-izduvnoj instalaciji.

Tabela 5.29. Zbirna tabela otkaza elemenata motora Grupe „I“ komunalnih vozila, praćenje otkaza dato u procentima za razdoblje od 10 god.

Otkazi na motoru Grupe „I“ komunalnih vozila, praćenje otkaza na elementima motora dato je u %		
Motor i podsistemi	Broj otkaza	%
1. Pokretni delovi motora	18	15,13%
2. Nepokretni delovi motora	10	8,40%
3. Sistem razvoda radne materije	5	4,20%

4.	Sistem napajanja motora gorivom	7	5,88%
5.	Sistem paljenja i startovanja	8	6,72%
6.	Sistem podmazivanja	3	2,52%
7.	Sistem za hlađenje motora sa rolerima, PK kaišem i španer.	27	22,68%
8.	Sistemi elektronske kontrole procesa	3	2,52%
9.	Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno-izduvnoj instalaciji	28	23,53%
10.	Elektro elementi	10	8,40%
	Σ	119	100%

Najveći procenat otkaza elemenata motora je u sistemu za prečišćavanja izduvnih gasova i dodatnih uređaja na usisno-izduvnoj instalaciji. Svi ovi otkazi su bili bez posledica od strane drugih sistema i elemenata. Otkazi su se javljali na EGR ventilu, turbo punjaču i DPF filteru. Pretpostavka je da je jedan deo ostalih otkaza direktno povezan sa otkazima ove grupe elemenata motora. Povišenjem nivoa pouzdanosti sistema za prečišćavanje izduvnih gasova i dodatnih uređaja na usisno-izduvnoj instalaciji znatno će se povisiti pouzdanost čitavog dizel motora.

Za grupu „II“ koja obuhvata komunalna vozila sa dizel motorima novije generacije, praćenje otkaza za sva četiri odabrana vozila će biti predstavljeno:

- Analizom otkaza elemenata na dizel motoru sa rangom kritičnosti u razdoblju 10 god. (Tabela 5.30.),
- Zbirno tabelom otkaza, interval 50000 km u razdoblju od 10 god. (Tabela 5.31.),
- Zbirno tabelom otkaza elemenata dizel motora datih u procentima, u razdoblju od 10 god. (Tabela 5.32.).

Tabela 5.30. Zbirna tabela otkaza elemenata motora Grupe „II“ komunalnih vozila, gde je praćenje otkaza izvršeno za 10 god.

Praćenje otkaza dizel motora Grupe „II“ komunalnih vozila koja su proizvedena 2008. god.							
Zbirna tabela za vozila	FAP 2023 registarske oznake SD-016-GY, (Mercedesov dizel motor), FAP 2023 registarske oznake SD-018-VC, (Mercedesov dizel motor), FAP 1318 registarske oznake SD-002-AI, (Mercedesov dizel motor), FAP 1418 registarske oznake SD-021-WB, (Mercedesov dizel motor).						
Delovi motora	Broj elemenata	Broj otkaza:	Broj otkaza po elementu	Broj ponovljenih otkaza po elementu	% ponavljanje otkaza	%	Rang kritičnosti
1. Pokretni delovi motora	11	10	(0,91)	3	10%	20%	8
2. Nepokretni delovi motora	6	4	(0,67)	1	7,37%	8%	5

3. Sistem razvoda radne materije	5	1	(0,2)	1	2,2%	2%	2
4. Sistem napajanja motora gorivom	8	7	(0,875)	2	9,62%	14%	7
5. Sistem paljenja i startovanja	5	10	(2)	2	21,99%	20%	10
6. Sistem podmazivanja	7	0	(0)	0	0	0	1
7. Sistem za hlađenje motora	9	10	(1,11)	2	12,2%	20%	9
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	1	2	(2)	1	21,99%	4%	4
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno-izduvnoj instalaciji	3	1	(0,33)	1	3,63%	2%	3
10. Elektro elementi	5	5	(1)	2	10,99%	10%	6
Σ	60	50	(9,095)	/	100%	100%	1-10

Tabela 5.31. Zbirna tabela otkaza elemenata motora Grupe „II“ komunalnih vozila, praćenje u intervalu 50000 km, za razdoblje od 10 god.

Interval od 50000 km	0 - 50000 km	50000 - 100000 km	100000 - 150000 km	150000 - 200000 km	200000 - 250000 km	250000 - 300000 km	
1. Pokretni delovi motora	2	2	3	1	1	1	10
2. Nepokretni delovi motora	/	/	2	1	1	/	4
3. Sistem razvoda radne materije	/	/	1	/	/	/	1
4. Sistem napajanja motora gorivom	1	/	2	2	1	1	7
5. Sistem paljenja i startovanja	1	1	4	1	2	1	10
6. Sistem podmazivanja	/	/	/	/	/	/	0
7. Sistem za hlađenje motora	/	1	3	3	1	2	10
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	/	/	1	1	/	/	2
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno-izduvnoj instalaciji	/	/	1	/	/	/	1
10. Elektro elementi	1	1	1	1	1	/	5
Σ 60el.	5	5	18	10	7	5	50

U odnosu na posmatrani vremenski interval, broj otkaza se povećavao po isteku prve godine. Takođe, u odnosu na pređenu kilometražu, vidno je da se broj otkaza naglo povećava posle pređenih 100000 km. Veći broj otkaza se desio na zamenskim delovima kao što su akumulatori, vodena pumpa, roleri i španeri, filteri goriva. Kritični interval kod ovih vozila je 100000 do 150000 km, kada je osim na zamenskim delovima došlo do otkaza na alternatorima i anlaserima (agregatima motora). Svi ostali otkazi su 100% vezani za ljudski faktor: hladnjaci za rashladnu tečnost (mehanička oštećenja hladnjaka) i set kvačila, (preopterećenje vozila, česta zamena vozača, rad u ulicama sa većim nagibom i nedovoljno edukovanje vozača za rad na specijalnim komunalnim vozilima).

Tabela 5.32. Zbirna tabela otkaza elemenata motora Grupe „II“ komunalnih vozila, praćenje otkaza dato u procentima za razdoblje od 10 god.

Praćenje otkaza dizel motora Grupe „II“ komunalnih vozila za period od 10 god.		
Motor i podsistemi	Broj otkaza	%
1. Pokretni delovi motora	10	20%
2. Nepokretni delovi motora	4	8%
3. Sistem razvoda radne materije	1	2%
4. Sistem napajanja motora gorivom	7	14%
5. Sistem paljenja i startovanja	10	20%
6. Sistem podmazivanja	0	0
7. Sistem za hlađenje motora sa rolerima, PK kaišem i španerom	10	20%
8. Sistemi elektronske kontrole procesa	2	4%
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno-izduvnoj instalaciji	1	2%
10. Elektro elementi	5	10%
Σ	50	100%

Za razliku od grupe „I“ vozila, u ovoj grupi ne postoje otkazi vezani za sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatnih uređaja na usisno-izduvnoj instalaciji. Otkazi grupe „II“ su uobičajeni za sve dizel motore kod teretnih vozila. U Tabeli 5.32. izdvojile su se tri grupe delova dizel motora:

1. sistem paljenja (startovanja) gde su za veći procenat otkaza elemenata dizel motora zaslužni delovi kod kojih se vrši zamena (akumulatori) i agregati (anlaseri),

2. pokretni delovi motora, gde je za visok procenat otkaza zaslužen zamajac i ležaj zamajca, a otkazi su vezani za ljudski factor,
3. kod sistema za hlađenje motora sa rolerima, španerima i kaišem visok procenat otkaza izazvala su mehanička oštećenja hladnjaka i servisne zamene španera i rolera.

Aktivnost za povišenje eksploatacionog nivoa pouzdanosti dizel motora kod komunalnih vozila, koja su u posebno opterećenom režimu rada, razdvojicemo u dva dela:

Prvi deo se odnosi na određene radnje i postupke u organizaciji održavanja i rada komunalnih vozila koje su uvedene na bazi iskustvenih zaključaka:

1. uvođenje aditiviranja ulja za dizel motore grupe „I“ komunalnih vozila sa dizel motorima koji rade na malom broju obrtaja, a vozila duže vreme rade u mestu,
2. promena formacijskih mesta vozila gde god je to moguće; vozila koja su opterećena radom u grupi „I“ potrebno je zameniti sa vozilima iz grupe „II“ tako da se, u vremenskom intervalu od tri meseca, vozila izrotiraju,
3. preventivno čišćenje EGR ventila za vreme svakog redovnog servisa,
4. preventivna aktivna regeneracija DPF filtera posle svakog redovnog servisa,
5. ukidanje odluke menadžmenta o zabrani kretanja vozila preko 50 km/h, i dalje sa praćenjem GPS-om, uz pridržavanje saobraćanih propisa i ograničenja u saobraćaju,
6. preventivni periodični pregledi agregata i čitavog dizel motora.

Drugi deo se odnosi na formiranje modela pouzdanosti pomoću koga se simulacijama određuje pouzdanost, pronalaze matematičke zakonitosti, organizuje održavanje dizel motora i time podiže pouzdanost dizel motora na viši nivo.

5.1.2. Eksperimentalno ispitivanje aditiviranja motornog ulja na dizel motorima

Iz prethodne analize je zaključeno da jedan broj vozila ima specifičan rad, odnosno rad motora na malim brojevima obrtaja zbog prirode posla koji ta komunalna vozila obavljaju. Kako je u analizi zaključeno, kod te grupe vozila najopterećeniji sistem motora je sistem za prečišćavanje izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno-izduvnoj instalaciji motora, koji su doživeli i najviše otkaza (kompresor, EGR ventil, DPF,...). Mali broj obrtaja je učinio i da se kvalitet ulja ozbiljno naruši što je, takođe, ostavilo posledice na motoru. Kvalitet ulja direktno je uticao na oštećenje radilice, kompresione karike klipova, ventila... Vek trajanja ulja kod vozila analizirane prve grupe sa opisanim radom je „kraći“. Zamenjena ulja su izrazito tamna, snažnog mirisa na sagorevanje, vodenastog osećaja pod prstima, i pri pridžavanju uputstava proizvođača vozila o zameni ulja i predlogu samih proizvođača ulja. Vozila koja su radila na leru su unosila više čađi u sistem za podmazivanje i time pogoršavali kvalitet maziva. Stajanje tokom rada u leru i sa malim brojem obrtaja uticalo je na kvalitet ulja, a produžavalo dužinu korišćenja ulja nekretanjem vozila (radom u leru tokom stajanja), jer je servis praćen u odnosu na pređenu kilometražu.

Otkazi motora koji su nastali načinom eksploatacije vozila, naveli su na analiziranje otkaza i uslova koji su doveli do nastanka otkaza. Jedna od analiza koja je urađena, a sa ciljem povišenja pouzdanosti dizel motora u eksploataciji, je i analiza aditiviranja motornog ulja. Pošto je vek trajanja ulja skraćen zbog uslova rada na malom broju obrtaja,

a zamena ulja u odnosu na pređenu kilometražu, zbog rada motora vozila u stajanju, nepouzdana, tražen je način da se spreči problem gubitka kvaliteta ulja za motore.

Nastali problem moguće je rešiti na više načina:

- skraćanjem pređene kilometraže na kojoj se vrši zamena ulja,
- zamenom ulja u odnosu na vreme rada motora,
- korišćenjem izuzetno kvalitetnih i skupih ulja za dizel motore,
- uzorkovanjem ulja iz motora i analiziranjem u laboratorijama i
- aditiviranjem motornog ulja odgovarajućim aditivima.

Skraćenje pređene kilometraže na kojoj se vrši zamena ulja, na recimo 15000 pređenih km, dovodi do situacije da se troškovi zamene ulja povećaju za minimum 20% zato što bi bilo rađeno, umesto četiri, minimum pet zamena ulja godišnje. Broj zamena ulja u odnosu na vreme rada motora (rada dizel motora u stajanju) bi se povećale za još jednu zamenu na godišnjem nivou. Korišćenje skupih i izuzetno kvalitetnih ulja je jedno od rešenja koje bi sigurno doprinelo da se smanji broj otkaza nastalih degradacijom kvaliteta ulja, a samim tim i poveća pouzdanost rada dizel motora. Ovaj način zahteva prilična materijalna sredstva. Uzrokovanje ulja je komplikovan proces kada se radi na više vozila jer zahteva vreme angažovanja za tu aktivnost, novac za ispitivanje, nemogućnost planiranja servisa, pa zato ovaj način nije bio prihvatljiv. Najmanja sredstva zahteva aditiviranje koje bi se radilo u toku zamene ulja, a zamena bi se radila kao i ranije u odnosu pređene kilometre.

1. Aditiviranje ulja u cilju povišenja pouzdanosti dizel motora

Motorno ulje se sastoji od baznog ulja (potrebnih karakteristika), paketa aditiva (koji motornom ulju obezbeđuju potrebne performanse) i indikatora viskoznosti.

Dijagnostika stanja motornog ulja i motora u eksploataciji je od veoma velikog značaja za ocenu stanja ulja, a takođe i za ocenu stanja vitalnih delova dizel motora, odnosno celog motora. Na osnovu rezultata dobijenih laboratorijskom analizom motornog ulja, mogu se blagovremeno predvideti nastanci otkaza na vozilima i preventivno delovati na otklanjanje potencijalnih otkaza.

Takođe, laboratorijskom analizom korišćenog aditiva i motornog ulja utvrđuje se nivo njegove degradacije, a sve u cilju određivanja optimalnog intervala zamene ulja u motoru. Ovo je od velikog uticaja na visinu troškova održavanja dizel motora. Da bi troškovi održavanja bili što niži, potrebno je, u praksi, koristiti kvalitetni nivo motornog ulja propisanog od strane proizvođača motora, kvalitetno pogonsko gorivo, a sa tim u vezi menjati motorno ulje u optimalnim intervalima u zavisnosti od tehničkog stanja motora i uslova eksploatacije motora.

Laboratorijska analiza korišćenog motornog ulja ukazuje na stepen njegove degradacije. Na degradaciju motornog ulja imaju uticaja kvalitet korišćenog pogonskog goriva, tehničko stanje motora, režim rada motora, uslovi eksploatacije, kao i vrsta i kvalitet motornog ulja.

Da bi dizel motor radio svojim maksimalnim kapacitetom, uz što manju potrošnju goriva, sa što manje tehničkih otkaza, pored svih potrebnih mera i postupaka pravilne eksploatacije, potrebno je voditi računa o izvođenju plansko preventivnog održavanja, a

sa tim u vezii o pravilnom odabiru vrste, viskoznosti, kvalitetnog nivoa motornog ulja, kao i optimalnom intervalu njegove zamene u motoru.

Cilj ispitivanja je proveriti kroz eksploataciona ispitivanja uticaj nove generacije aditiva na kvalitet ulja i dužinu eksploatacije motornog ulja. Rad na malom broju obrtaja utiče na degradaciju motornog ulja, a rad u stajanju vozila produžava dužinu korišćenja motornog ulja.

Dokazivanjem da se aditivirano motorno ulje može koristiti duži vremenski interval, obezbediće se siguran kvalitet ulja u standardnom roku zamene i samim tim će biti povišena pouzdanost rada motora.

Aditiviranim uljem se podiže u startu kvalitet motornog ulja tako da osim produžetka veka trajanja motornog ulja, podiže se kvalitet podmazivanja i hlađenja ležajeva turbokompresora, koji se pokazao kao jedan od kritičnih delova motora u prethodnoj analizi.

2. Potrebne komponente za izvođenje aditiviranja

FAM aditiv

Odabrani aditiv proizveden je u laboratorijama Fabrike maziva „FAM“ u Kruševcu. Domaći je proizvod, ima povoljnu cenu i može se koristiti za sva domaća ulja i inostrane proizvodnje.

Osobine FAM aditiva

FAM aditiv za motorna ulja je aditiv koji produžava vek motornog ulja i motora. Upotrebom višeslojnih nano čestica WS2 smanjuje se trenje i habanje motora. Pogodan je za sve tipove motora (benzinske i dizel motore). Pogodan je i za sve tipove ulja (sintetička, polusintetička, kao i mineralna).

Prednosti FAM aditiva

Dodatkom ovog aditiva u motorno ulje obezbeđuje se:

- smanjenje habanja i trenja,
- produžen period zamene motornog ulja,
- bolja efikasnost i zaštita motora,
- lakši start motora u zimskim uslovima,
- smanjenje buke i potrošnje goriva,
- smanjenje količine čađi i gareži.

Sve navedene pogodnosti koje proizvođač predstavlja za odabrani FAM aditiv su potrebne za prevazilaženje problema koje je rad na malom broju obrtaja i rad u mestu komunalnih vozila izazvao. U navedenom eksploatacionom istraživanju prati se vek trajanja motornog ulja, fizičko-hemijske karakteristike ulja, količina metala (kao posledica habanja), gubitak motornog ulja, količina gareži, izgled ulja, gustina ulja, kinematička viskoznost (na 40 °C), indeks viskoznosti, tačka stinjavanja, količina čađi, oksidacija, nitracija, sulfatacija, gorivo u ulju i sadržaj elemenata (P, S, Zn, Fe, Ca u %).

Karakteristike FAM aditiva u odnosu na domaće standard, date su u Tabeli 5.33.

Tabela 5.33. Karakteristike FAM aditiva

	JEDINICA	TIPIČNA VREDNOST	METODA
Izgled na 20°C		Tamno siva tečnost	vizuelno
Gustina na 15°C	g/ml	1.00	SRPS EN ISO 3675
Kinematička viskoznost na 40°C	mm ² /s	110	SRPS ISO 3104
Tačka paljenja	°C	min 240°C	SRPS EN ISO 2592

Primena FAM aditiva

FAM aditiv za motorna ulja se primenjuje u svim četvorotaktnim tipovima motora sa unutrašnjim sagorevanjem, benzinskim, TNG i dizel, uključujući automobile, kamione, industrijske motore, čamce i motocikle. Preporučeni nivo aditiviranja je 2-7%. Jedna boca od 100 ml je dovoljna za 5L motornog ulja. Ne preporučuje se primena kod dvotaktnih motora.

Motorno ulje

Osobine motornog ulja

FENIX UNIVERZAL SAE 15W-40 je visoko efikasno motorno ulje izrađeno od specijalno odabranih i visoko kvalitetnih solvent neutralnih baznih ulja. Obezbeđuje dobra detergentno disperzantna svojstva, efikasnu zaštitu motora od habanja i najveću čistoću motora. Tipične karakteristike FENIX UNIVERZAL SAE 15W-40 ulja date su u Tabeli 5.34.

Nivo kvaliteta motornog ulja

Tipične karakteristike motornog ulja u koga se dodaje FAM aditiv su prikazane u Tabeli 5.34.

Tabela 5.34. Tipične karakteristike motornog ulja API CF-4 /CF/SG ACEA E2, MAN 271MB228.1, AllisonC3/C4, MB 227.1, MTU tip 1

Fizička svojstva	JEDINICA	TIPIČNA VREDNOST	METODA
Gustina na 15°C	g/ml	0,88	SRPS EN ISO 3675
Kinematička viskoznost na 40°C	mm ² /s	100	SRPS ISO 3104
Kinematička viskoznost na 100°C	mm ² /s	14	SRPS ISO 3104
Indeks viskoznosti		135	SRPS ISO 2909
Tačka paljenja	°C	220	SRPS EN ISO 2592
Tačka stinjanja	°C	-33	SRPS ISO 3016
TBN	mg KOH/g	11	SRPS ISO 3771
Sulfatni pepeo	%	1,4	SRPS ISO 3987

Primena motornog ulja za aditiviranje

FENIX UNIVERZAL SAE 15W-40 je višenamensko motorno ulje mineralne osnove. Koristi se za podmazivanje četvorotaktnih dizel motora putničkih i komercijalnih vozila sa i bez turbo punjača pri različitim režimima upotrebe. Ovo ulje je pogodno za primenu u mešovitim voznim parkovima.

Vozila na kojima je vršeno ispitivanje

Ispitivanje je rađeno na dva identična vozila IVECO Model: DAILY 50C 15V SN proizvedena 2008. godine (vlasništvo FAM AD „Kruševac“ u restrukturiranju), sa Ivecovim motorima euro 3 standarda. Radna zapremina dizel motora Iveco je 2818 cm³, a snaga motora 107 kW. Vozila su imala oko 180000 pređenih kilometara, servisno su redovno održavana. Na vozilima dizel motori su održavani i očuvani. Oba vozila su bila osam godina stara kada je eksperiment izvođen. Od zamene do zamene utrošak ulja je bio u granicama koje je proizvođač dao.

Eksploatacija vozila tokom osam godina radnog veka je bila identična (oba vozila su obavljala iste poslove). Takođe, prilikom izvođenja eksperimenta oba vozila su obavljala identične poslove. Radi objektivnosti svakog dana su se na vozilima vozači menjali (tokom eksperimenta su učestvovala dva vozača).

Vozilo I:

Registarska oznaka: KS 030-WZ

PU u Kruševcu, Ministarstvo Unutrašnjih Poslova Republike Srbije

Broj saobraćajne: 1401027

Serijski broj: 674300144d2257

Podaci o vlasniku: FAM a.d. Kruševac u restrukturiranju

Adresa vlasnika: Kruševac, Kruševac, Jug Bogdanova, 042

JMBG vlasnika: 20047852

Podaci o vozilu:

Datum prve registracije: 09.09.2009.

Godina proizvodnje: 2008.

Marka: IVECO Model: DAILY 50C 15V SN Tip:–

Homologacijska oznaka: –

Boja: 0M BELA

Broj šasijske: ZCFC50A2005756901

Broj motora: F1CE481FA0030829556

Kategorija: TERETNO VOZILO

Pogonsko gorivo: EVRO DIZEL

Broj mesta za sedenje: 3

Broj osovine: 2

Zapremina motora: 2998 Masa: 2382

Snaga motora: 107

Nosivost: 2818

Ukupna masa: 5200

Vozilo II:

Registarska oznaka: KS030-WŽ

PU u Kruševcu, Ministarstvo Unutrašnjih Poslova Republike Srbije

Broj saobraćajne: 2655042

Serijski broj: 674300144c1a32

Podaci o vlasniku: FAM a.d. Kruševac u restrukturiranju

Adresa vlasnika: Kruševac, Kruševac, Jug Bogdanova, 042

JMBG vlasnika: 20047852

Podaci o vozilu:

Datum prve registracije: 09.09.2009 Godina proizvodnje: 2008.
 Marka: IVECO Model: DAILY 50C 15V SN Tip: –
 Homologacijska oznaka: – Boja: 0M BELA
 Broj šasije: ZCFC50A2005771359 Broj motora: F1CE481FA0030886070
 Kategorija: TERETNO VOZILO Pogonsko gorivo: EVRO DIZEL
 Broj mesta za sedenje: 3 Broj osovina: 2
 Zapremina motora: 2998 Masa: 2382 Snaga motora: 107
 Nosivost: 2818 Ukupna masa: 5200

Gorivo koje je korišćeno u ispitivanju

Osnovni preduslov za dostizanje optimalnog rada motora, dužine veka eksploatacije motora i njegovog ekonomičnog održavanja jeste korišćenje kvalitetnog goriva. Kvalitet goriva predstavlja ograničavajući faktor dužine intervala zamene motornog ulja. Fizičko-hemijske karakteristike euro dizel goriva - euro dizel NIS (Naftna Industrija Srbije), koje je korišćeno prilikom eksploatacionog ispitivanja aditiviranog motornog ulja FAM Fenix UNIVERZAL15W-40 prikazane su u Tabeli 5.35.

Tabela 5.35. Prikaz fizičko-hemijskih karakteristika euro dizel goriva NIS

Rb	Karakteristika	Metoda	Uzorak 1	Uzorak 2
1.	Gustina na 15 C		0.8371	0.8416
2.	Viskoznost na 20 C	ASTM D 445	3.567	4.033
3.	Sadržaj vode %	MI 67	0.00	77 (ppm)
4.	Tačka paljenja C	ASTM D 93	55	69
5.	Sadržaj sumpora, ppm	XRY	<50	1350

Eksploatacija aditiviranog motornog ulja

Nivo aditiviranja: 2,5%

Preporučeni nivo aditiviranja je 2-7 %.

Jedna boca od 100 ml je dovoljna za 5L motornog ulja.

Način aditiviranja:

- Potrebna količina ulja za zamenu mešana sa odgovarajućom količinom aditiva u laboratoriji pre nalivanja ulja u motor,
- Drugim načinom je izvršena zamena (nalivanjem) ulja u motor, pa nakon toga dodavanje odgovarajuće količine aditiva direktno u motor.

3. Metod rada i izvođenje eksperimentalnog aditiviranja

Eksploataciono ispitivanje motornog ulja FAM UNIVERZAL 15W-40 odvijalo se tokom 2016.g.

Kako je rečeno u istraživanju, motorno ulje koje je korišćeno za aditiviranje FAM-ovim aditivom je UNIVERZAL 15W-40.

Vozilo na kome je ispitivanje rađeno je kamion IVECO DAILY 50C 15V SN, a za pogonsko gorivo smo koristili EURO DIZEL.

Nakon uzimanja uzoraka, oni su prosleđivani u akreditovanu laboratoriju Fabrike maziva FAM u Kruševcu radi utvrđivanja fizičko-hemijskih karakteristika.

U Tabelama 5.36. i 5.37. dat je prikaz fizičko-hemijskih karakteristika ulja bez aditiviranja kao početno stanje za konačnu analizu ⁹⁰.

Vozilo KŠ 030 WZ

Tabela 5.36. Stanje (kilometraža / uzrokovanje) broj na pređenih km (neaditivirano ulje)

Rb	metoda	karakteristika	185.670	190.612	193.135	195.684	198.273	200.500	202.429	203.394
			0	4.942	7.465	10.014	12.603	14.830	16.759	17.724
1.	Vizuelno	Izgled na 20 °C	crno	crno	crno	crno	crno	crno	crno	crno
2.	ISO 3675	Gustina na 15 °C, g/cm ³	0,887	-	-	-	-	-	-	-
3.	ASTM D 445	Kinematička viskoznost na 40 °C, mm ² /s	108,8	105,5	106,1	102,8	101,3	99,67	102,4	105,7
4.	ASTM D 445	Kinematička viskoznost na 100 °C, mm ² /s	14,51	13,42	13,55	13,32	13,16	13,35	13,23	13,42
5.	ISO 2909	Indeks viskoznosti	137	125	126	128	127	133	127	125
6.	ASTM D 97	Tačka stinjanja, °C	-33	-30	-36	-33	-	-33	-	-33
7.	ASTM D 2896	TBN, mg KOH/g	13,2	13,3	13,4	13,5	13,16	13,3	13,3	13,3
8.	ASTM D 664	TAN, mg KOH/g	1,73	1,92	1,81	2	1,9	1,65	2,3	2,1
9.	MI-3	FTIR								
		Čađ, A/mm	0,14	0,32	0,36	0,48	0,53	0,67	0,73	0,72
		Oksidacija, A/mm	0,047	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,08
		Nitracija, A/mm	0	0,06	0,07	0,09	0,09	0,12	0,13	0,13
		Sulfatacija, A/mm	0,05	0,09	0,09	0,13	0,13	0,17	0,18	0,18
		Voda %	0	0	0	0	0	0	0	0
		Dizel/Benzin %	0	0	0	0	0	0	0	0
		Zn DTP, A/mm	0	0	0	0	-0,03	-0,03	-0,04	-0,03
10	ASTM D 6481	Sadržaj elemenata, %								
		P	0,118	0,119	0,116	0,116	0,12	0,119	0,114	0,12
		S	0,595	0,582	0,602	0,6	0,615	0,614	0,605	0,628
		Ca	0,292	0,293	0,29	0,29	0,295	0,294	0,29	0,295
		Zn	0,135	0,134	0,132	0,137	0,136	0,135	0,13	0,132
		Fe (ppm)	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	33	39	38

Gubitak baznog potencijala je normalna pojava u toku korišćenja motornog ulja. Granične vrednosti su:

- upozoravajuća vrednost predstavlja pad vrednosti do 50% od početne vrednosti
- kritična vrednost predstavlja pad vrednosti od 75% od početne vrednosti.

⁹⁰ Spasić, D, Radovanović, Lj, Obradović, A, Janjić, N, Aditiviranje motornog ulja kod dizel motora radi povišenja pouzdanosti u eksploataciji, Naučno stručni časopis „Održavanje Mašina“, godina XIV, broj 1-2, str.27-32, ISSN 1452-9688, Smederevo, 2017.

Na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja korišćenog motornog ulja, vidi se da pad baznog potencijala iznosi do max. 8%.

U toku eksploatacije motornog ulja dešava se da dođe do povećanja kinematske viskoznosti ulja, a najčešći razlozi su prisustvo povećane količine čadi u motornom ulju, oksidacija i polimerizacija pojedinih ugljovodoničnih struktura prisutnih u ulju.

Takođe, u toku eksploatacije motornog ulja, može da se pojavi pad vrednosti viskoznosti, a mogući razlozi su razređenje motornog ulja gorivom zbog nepodešenosti sistema za ubrizgavanje ili zbog povećanih zazora u području klipnih prstenova, destrukcija upotrebljenog impruvera viskoznosti usled delovanja mehaničkih sila.

Kritičnim vrednostima viskoznosti smatraju se sve vrednosti viskoznosti koje pređu prag tolerancije koji se kreće od -10% do +20% u odnosu na početnu viskoznost.

VOZILO KŠ 030 WŽ

Tabela 5.37. Stanje (kilometraža /uzorkovanje) na broj pređenih km (neaktivirano ulje)

Rb	metoda	karakteristika	172.320	177.947	179.833	182.840	185.066	187.482	189.211
			0	5.627	7.513	10.520	12.746	15.162	16.891
1.	Vizuelno	Izgled na 20 °C	crno	crno	crno	crno	crno	crno	
2.	ISO 3675	Gustina na 15 °C, g/cm ³	0,889		-	-			
3.	ASTM D 445	Kinematička viskoznost na 40 °C, mm ² /s	117,4	109,7	109,8	106,9	106,5	108,4	109,7
4.	ASTM D 445	Kinematička viskoznost na 100 °C, mm ² /s	15,51	14,08	13,59	13,79	13,72	13,67	14,14
5.	ISO 2909	Indeks viskoznosti	139	129	122	129	128	125	130
6.	ASTM D 97	Tačka stinjanja, °C	-33	-36	-36	-	-36	-39	-36
7.	ASTM D 2896	TBN, mg KOH/g	13,5	13,6	13,6	13,7	13,3	13,2	13,1
8.	ASTM D 664	TAN, mg KOH/g	1,87	1,45	0,97	2	2,6	2,3	2,4
9.	MI-3	FTIR							
		Čađ, A/mm	0,14	0,35	0,53	0,55	0,62	0,66	0,73
		Oksidacija, A/mm	0,04	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07
		Nitracija, A/mm	0,02	0,08	0,1	0,1	0,11	0,11	0,12
		Sulfatacija, A/mm	0,05	0,11	0,14	0,14	0,16	0,16	0,18
		Voda %	0	0	0	0	0	0	0
		Diztel/Benzin %	0	0	0	0	0	0	0
		Zn DTP, A/mm	0	0	0	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03
10	ASTM D 6481	Sadržaj elemenata, %							
		P	0,125	0,126	0,127	0,125	0,129	0,133	0,131
		S	0,743	0,736	0,741	0,736	0,744	0,75	0,752
		Ca	0,275	0,286	0,283	0,29	0,293	0,285	0,281
		Zn	0,136	0,131	0,133	0,133	0,135	0,138	0,136
		Fe (ppm)	≤ 10	≤ 10	35	42	45	47	50

Na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja, koji su prikazani u Tabelama 5.36 i 5.37, vidi se da se kinematička viskoznost na 40° C i 100° C, kretala od 10% do 20%, što znači da su se svi uzorci nalazili u okviru viskozne gradacije i da nije došlo do značajnijih promena u ulju, a takođe ni do destrukcije polimera.

Voda u motornom ulju može biti znak unutrašnjeg curenja (oštećena zaptivka glave motora, napuknuće glave motora) ili spoljašnjeg zagađenja (kondenzat stvoren usled povećane vlage u atmosferi). Iako voda obično isparava iz motora na normalnim radnim temperaturama, ako motor radi na suviše niskim radnim temperaturama, čija je vrednost niska za isparenje vode, deo vode ostaje u ulju.

Nesagorelo gorivo dovodi do razređenja motornog ulja u karteru motora. Razređeno motorno ulje dovodi do smanjenja jačine mazivog filma i povećava rizik od povećanog habanja. Kada količina goriva u ulju dostigne vrednost od 2,5 do 5,0%, potrebno je intervenisati.

Na osnovu dobijenih rezultata analize korišćenog motornog ulja, prikazanih u tabelama 5.36 i 5.37, vidi se da u uzorcima nije bilo utvrđeno prisustvo vode kao i nesagorelog goriva, što ukazuje na dobro tehničko stanje motora.

Analiza sadržaja metala i hemijskih elemenata aditiva upotrebljava se za određivanje veličine habanja metalnih delova motora, kao i na prisustvo hemijskih elemenata aditiva (P, Ca i Zn).

Sadržaj metala ukazuje na veličinu habanja metalnih delova motora, te ova analiza predstavlja najbolji pokazatelj ocene tehničkog stanja motora. Takođe, količina metala u ulju ukazuje na nivo antihabajuće zaštite koju pruža korišćeno motorno ulje.

Sadržaj i količina hemijskih elemenata koji ulaze u sastav aditiva od direktnog je uticaja na dužinu eksploatacionog veka motornog ulja. Na količinu hemijskih elemenata veliki uticaj ima tehničko stanje motora.

Na osnovu prikazanih rezultata ispitivanja, vidi se da se količina hemijskih elemenata u korišćenom motornom ulju nalazila u predviđanim granicama za ove tipove motora.

Gubitak ulja između dve zamene, u granicama koje predviđa proizvođač, uobičajena je i normalna pojava. Do pojave smanjenja količine ulja u motoru dolazi zbog prirodne karakteristike ulja da isparava i sagoreva. Na visokim temperaturama ulje isparava, pa je količina pare u zavisnosti od kvaliteta dizel motora i uslova eksploatacije. Povećana potrošnja ulja, koja je veća od predviđene, predstavlja prvi indikator gubitka pogonskih i konstrukcionih karakteristika motora, jer se procenjuje, da se više od 95% ukupnih gubitaka ulja, odvija u sklopovima klip-cilindar.

Osnovni problem kod podmazivanja sklopa cilindar-klipni prstenovi su debljina uljnog filma i temperatura. Ako je debljina uljnog filma veća od potrebne, u zonu sagorevanja se unosi veća količina ulja, koja sagoreva, a produkti sagorevanja se izbacuju u okolinu. U klipnim prstenovima se stvaraju čvrsti koksni ostaci koji kontaminiraju ulje i lepe se na čelo klipa. U slučaju da je uljni film tanji od dozvoljene debljine, povećava se intenzitet habanja. Ovo se javlja kada je niska viskoznost ulja kao i u slučaju termičke nestabilnosti ulja.

Aditiviranje ulja

Ispitivanje aditiviranog ulja vršeno je u istim vozilima kamionima IVECO Model: DAILY 50C 15V SN sa dizel motorima, rezultati praćenja uzrokovanja ulja u odnosu na pređene kilometre data su u Tabelama 5.38 i 5.39.

Aditivirano ulje - mešano ulje u laboratoriji**VOZILO KŠ 030WZ**

Tabela 5.38. Stanje (kilometraže / uzrokovanje) na broj pređenih km

Rb	metoda	karakteristika	203690	209217	214506	216340	221330	222680	224000	225500	227400	229300	230715	231735
1.	Vizuelno	Izgled na 20 °C	crno	crno	crno	crno	crno	crno	crno	crno	crno	crno	crno	crno
2.	ISO 3675	Gustina na 15 °C, g/cm ³												
3.	ASTM D 445	Kinematički viskozitet na 40 °C, mm ² /s	106,7	103	100	101,1	104,1	104,8	103,3	102,9	103,9	104,6	105,6	105,1
4.	ASTM D 445	Kinematički viskozitet na 100 °C, mm ² /s	13,72	13,42	13,36	13,32	13,77	13,5	13,77	13,51	13,52	13,58	13,68	13,57
5.	ISO 2909	Indeks viskoznosti	128	129	132	130	133	128	134	130	129	129	129	128
6.	ASTM D 97	Tačka stinjanja, °C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.	ASTM D 2896	TBN, mg KOH/g	12,6	11,3	11,3	11,2	11,3	11	11,2	11,1	11	11,4	11,2	11,6
8.	ASTM D 664	TAN, mg KOH/g	2,04	2,08	4,1	4	2,88	3,53	4,36	3,4	3,58	3	4,1	5,4
9.	MI-3	FTIR												
		Čađ, A/mm	0,12	0,27	0,42	0,44	0,5	0,54	0,56	0,6	0,72	0,79	1,06	0,87
		Oksidacija, A/mm	0,02	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,1
		Nitracija, A/mm	0	0,05	0,08	0,09	0,13	0,15	0,12	0,13	0,15	0,16	0,2	0,18
		Sulfatacija, A/mm	0	0,04	0,07	0,08	0,12	0,15	0,1	0,12	0,15	0,16	0,24	0,18
		Voda %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
		Diztel/ Benzin %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
		Zn DTP, A/mm	0	0	-0,05	-0,05	-0,07	-0,08	-0,06	-0,07	-0,08	-0,08	-0,09	-0,09
10.	ASTM D 6481	Sadržaj elemenata, %												
		P	0,112	0,112	0,118	0,113	0,115	0,115	0,112	0,114	0,116	0,109	0,118	0,11
		S	0,61	0,6	0,606	0,6	0,59	0,593	0,592	0,595	0,598	0,587	0,589	0,58
		Ca	0,06	0,056	0,058	0,056	0,056	0,057	0,045	0,048	0,049	0,053	0,054	0,056
		Zn	0,146	0,149	0,149	0,148	0,149	0,151	0,15	0,154	0,155	0,15	0,16	0,151
		Fe (ppm)	≤ 10	≤ 10	37	45	63	66	53	73	83	81	91	85

Proizvođač aditiva u izjavi tvrdi da se FAM-ovim aditivom produžava vek trajanja, podiže kvalitet i smanjuje čađ i nečistoće ulja. Svi ovi pozitivni efekti aditiva izuzetno su važni za prvu grupu posmatranih komunalnih vozila, pošto se problemi, kao što je produžavanje korišćenja ulja zbog rada u mestu, anulira produžetkom veka aditiviranog

ulja, pojava čađi u ulju zbog rada na malom broju obrtaja i unosa izduvniha gasova kroz eger ventil, takođe, smanjuju aditivom⁹¹.

Aditivirano ulje – dodat aditiv direktno u motor

VOZILO KŠ 030 WŽ

Tabela 5.39. Stanje (kilometraža/uzorkovanje) na broj pređenih km

			189640	195404	200200	202500	205443	206934	209320	211311	213500	214950
Rb	metoda	karakteristika	<u>0</u>	<u>5.764</u>	<u>10.560</u>	<u>12.860</u>	<u>15.803</u>	<u>17.294</u>	<u>19.680</u>	<u>21.671</u>	<u>23.860</u>	<u>25.310</u>
1.	Vizuelno	Izgled na 20 °C	crno	crno	crno	crno	crno	crno	crno	crno	crno	crno
2.	ISO 3675	Gustina na 15 °C, g/cm ³										
3.	ASTM D 445	Kinematički viskozitet na 40 °C, mm ² /s	117,7	111,5	116,9	110	110,2	117,3	107,7	106,4	109,5	106,7
4.	ASTM D 445	Kinematički viskozitet na 100 °C, mm ² /s	14,7	14,01	14,65	14,18	13,86	13,71	13,87	14,24	13,7	13,4
5.	ISO 2909	Indeks viskoznosti	128	126	128	130	128	128	129	136	124	123
6.	ASTM D 97	Tačka stinjanja, °C	-36	-	-							
7.	ASTM D 2896	TBN, mg KOH/g	12,1	12	12,9	12,6	12,8	12,8	12,6	12,6	12,7	12,8
8.	ASTM D 664	TAN, mg KOH/g	1,46	2,1	2,7	2,4	2,19	2,46	2,3	2,8	2,5	3
9.	MI-3	FTIR										
		Čađ, A/mm	0,12	0,23	0,35	0,37	0,45	0,54	0,6	<u>0,82</u>		
		Oksidacija, A/mm	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07		
		Nitracija, A/mm	0	0,02	0,05	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12		
		Sulfatacija, A/mm	0,03	0,05	0,08	0,08	0,1	0,12	0,13	0,19		
		Voda %	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Dizel/Benzin %	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Zn DTP, A/mm	-0,12	-0,12	-0,05	-0,13	-0,14	-0,14	-0,15	-0,15		
10.	ASTM D 6481	Sadržaj elemenata, %										
		P	0,138	0,12	0,123	0,126	0,128	0,126	0,126	0,124	0,127	0,127
		S	0,799	0,776	0,77	0,781	0,774	0,776	0,766	0,766	0,761	0,765
		Ca	0,26	0,253	0,259	0,254	0,268	0,265	0,271	0,272	0,272	0,274
		Zn	0,133	0,128	0,126	0,127	0,135	0,134	0,132	0,135	0,135	0,134
		Fe (ppm)	≤ 10	≤ 10	28	34	43	52	54	72	85	<u>104</u>

⁹¹ Veljković, D., Savić, N., Petrov, T., Spasić, D., Optimizacija modela tehničke dijagnostike motornih vozila, XXXX Majska konferencija » Buka, vibracije i proaktivno održavanje mašina«, Vrnjačka Banja, 26. i 27. 05. 2017.,« Serbian Technical diagnostic society, rad br.29, COBISS.SR-ID 234593036, ISBN 978-86-83701-47-6, Vrnjačka Banja, 2017.

4. Zaključak analize aditiviranja ulja za dizel motore

Ispitivanjem motornog ulja, čiji su rezultati laboratorijskih analiza prikazani, mogu se doneti sledeći zakljuci.

Eksploataciono ispitivanje motornog ulja nivo kvaliteta CI-4, viskozitetne gradacije SAE 15W-40, pokazalo je njegov visok kvalitet, što je rezultat kvalitetnog baznog ulja i dobar izbor dodatog aditiva.

Sve fizičko-hemijske karakteristike ulja, kao i metali kao posledica habanja, nalaze se u predviđenim granicama za ove tipove motora i kvalitet ispitivanog ulja.

Utvrđeno je da i nakon prekoračenja dozvoljenog roka eksploatacije, motorno ulje poseduje određenu rezervu i da se može koristiti duže od planiranog perioda zamene. Sa planiranih 15000 km, period zamene je produžen na 20000 do 21000 km.

Gubitak motornog ulja se kretao u donjim granicama.

Za rad u otežanim uslovima, kakav imaju specijalna komunalna vozila, gde se pojavljuje veća količina gareži u motornom ulju, a koja može da dovede do višestrukih oštećenja motora i pratećih sklopova, kao što su oštećenja ležajeva radilice, radilice, ventila, zaptivnih prstenova klipa i turbo punjača, aditiviranje FAM-ovim aditivom može sprečiti pojavu gareži i samim tim povisiti pouzdanost u eksploataciji. Ono što je izuzetno važno je činjenica da se aditivirano ulje dodavanjem aditiva direktno u motor pokazalo izuzetno dobrim što pojednostavljuje proceduru primene aditiva. Čađ se, kao faktor koji podiže rizik pojave havarijskih stanja, posebno u tankom filmu mazajućeg sloja na turbo punjaču, i posle više od 5000 pređenih km od preporučene upotrebe proizvođača ulja nije pojavljivala.

Kod ispitivanog ulja je preporučeni period zamene pre mešanja 15000 km. Produžena je upotreba pri mešanju sa aditivom za minimum 25%. Kod ulja (Castrol magnetik) koja se koriste u komunalnim vozilima koja se proučavaju, gde je preporučeni period zamene od strane proizvođača 20000 km, verovatno bi produženje upotrebe bilo i veće od 25%.

Aditiviranjem ulja FAM aditivom, dodavanjem prilikom zamene ulja preporučenog procenta 2,5% za deo voznog parka vozila koja su u posebnom režimu rada, kakav je u našem slučaju grupa jedan G1, utiče se na povišenje eksploatacionog nivoa pouzdanosti rada dizel motora, odnosno neutrališu se nus produkti rada u mestu i na malom broju obrtaja. FAM aditiv je jedan iz spektra aditiva na tržištu, domaći je proizvod i laboratorijska analiza je bila dostupna.

Zaključeno je da se aditiviranjem ulja aditivima za produžetak veka trajanja motornih ulja i smanjenje habanja motora, direktno utiče na povišenje pouzdanosti rada dizel motora.

5.1.3. Dekomponovanje dizel motora, ulazni podaci za izgradnju modela pouzdanosti dizel motora u eksploataciji

Tokom 10 god. eksploatacije komunalnih vozila u JKP "Zelenilo" desili su se otkazi na dizel motorima posle kojih su vozila bila kraće ili duže isključena iz redovnog rada. Svi ti otkazi ostavili su posledice po normalan rad čitavog sistema iznošenja i deponovanja smeća jer je nepostojanje rezervnih vozila uvek komplikovalo kombinatoriku za prevazilaženje problema nedostatka specijalnog vozila. Specijalna komunalna vozila su

obično duplo skuplja od identičnog teretnog vozila istih karakteristika pošto nadgradnja obično košta koliko i samo vozilo, pa je planska rezerva za komunalnim vozilima retka i kod jakih preduzeća.

U prethodnoj analizi, iz dobijenih rezultata, došlo se do nekih zaključaka o uvođenju određenih radnji u sistemu održavanja radi povišenja eksploatacionog nivoa pouzdanosti dizel motora kao ključnog dela komunalnog vozila.

Pošto je dizel motor kompleksan tehnički sistem, modelovanje njegove pouzdanosti je prilično zahtevan zadatak, prvenstveno zbog dosta komponenti dizel motora kao i većeg broja delova komponenti. Složeni tehnički sistemi pri modelovanju uvek zahtevaju pronalaženje balansa između složenosti i promenljivosti. Aproksimacije moraju biti pažljivo izvedene, a matematički proračun ne sme biti previše složen, odnosno treba biti izvodljiv pomoću računara zbog velikog broja proračuna.

Modeliranje koristi teorijske postulate, ali i praktično iskustvo za aproksimaciju i validnost modela. Računar se koristi u svrhu skraćanja vremena proračuna, a simulacije kao što je Monte Carlo pomažu da se u nekim slučajevima, gde se ne može otkriti egzaktna zakonitost, prevaziđe problem.

Proces modelovanja je urađen analizom sistema po nekim ključnim pitanjima:

- Da li sistem može biti dekomponovan u set nezavisnih podsistema (komponenti)?
- Koje je stanje komponenti nakon opravki?
- Koji su resursi dostupni za sprovođenje opravki?
- Da li se primenjuju neki načini preventivnog održavanja?
- Da li je stanje sistema praćeno kontinuiranom dijagnostikom ili je neophodno vršiti povremene preglede?
- Da li su dostupne i druge informacije o stanju sistema?
- Kako prezentovati sistem i komponente?
- Da li uključiti dinamiku vremena u model ili ga pratiti kroz neki drugi parametar (npr. km)?
- Kako će se određivati parametri modela?
- Koja vrsta ulaznih podataka je potrebna za izradu modela?

U zavisnosti od odgovora na ova pitanja, stvoren je odgovarajući model sa odgovarajućim akcijama održavanja koji će biti razrađen u simulaciji izgrađenog modela.

Kako je u prethodnoj eksploatacionoj analizi urađena podela na dve grupe vozila sa dizel motorima i objašnjeno zašto je izvršena podela na te dve grupe: Grupa „I“ – G1 i Grupa „II“ –G2, će, i u nastavku, biti izvršena simulacija povišenja eksploatacionog nivoa pouzdanosti dizel motora po komponentama u odnosu na te dve grupe.

Grupa „I“ – G1. U grupu jedan ulaze vozila koja su proizvedena ili ušla u upotrebu 2008. godine tako da se njihovo vreme praćenja može gledati kao isti vremenski period eksploatacije. Motori u vozilima se poklapaju generacijski, dizel motori su euro 3 norme, sa istim sklopovima i sistemima (poseduju: turbo punjač, EGR ventil, DPF filter, interkuler, isti sistem za napajanje goriva, računarski sistem za praćenje rada motora iste generacije; upotreba agregata dizel motora u vozilima je ista...) i dovoljno drugih parametara koji dizel motore iz ove grupe dovode u isti nivo, potreban za analizu.

Grupa „II“– G2. Druga grupa je, takođe, zasebna celina, koja će biti posebno analizirana. U tu grupu ulaze vozila proizvedena iste godine sa Mercedesovim motorima iste euro 3 norme (dizel motori su istog tipa).

Dizel motor će se u daljem tekstu dekomponovati na deset komponenti (celine, sisteme, odnosno grupe elemenata motora):

1. Pokretni delovi motora – komponenta 1 – **K1**
(Komponenta 1 odnosno – K1 ima 11 elemenata pokretnih delova motora),
2. Nepokretni delovi motora – komponenta 2 – K2
(Komponenta 2 odnosno – K2 ima 6 elemenata nepokretnih delova motora),
3. Sistem razvoda radne materije – komponenta 3 – K3
(Komponenta 3 odnosno – K3 ima 5 elemenata),
4. Sistem napajanja motora gorivom – komponenta 4 – K4
(Komponenta 4 odnosno – K4 ima 6 elemenata),
5. Sistem paljenje i startovanje – komponenta 5 – K5
(Komponenta 5 odnosno – K5 ima 5 elemenata) ,
6. Sistem podmazivanja – komponenta 6 – K6
(Komponenta 6 odnosno – K6 ima 7 elemenata),
7. Sistem za hlađenje motora – komponenta 7 – K7
(Komponenta 7 odnosno – K7 ima 9 elemenata):
8. Sistemi elektronske kontrole pojedinih procesa – komponenta 8 – K8
(Komponenta 8 odnosno – K8 ima 1 element),
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj izduvnoj instalaciji – komponenta 9 – K9
(Komponenta 9 odnosno – K9 ima 3 elementa),
10. Elektro elementi – komponenta 10 – K10
(Komponenta 10 odnosno – K10 ima 5 elemenata).

Dekomponovanje dizel motora, četiri vozila grupe I – G1.

Motori koji su dekomponovani su kod sledećih vozila koji su proizvedeni 2008. god.:

- Vozilo V1 - MCD SPRINTER 511 CDI registarskih oznaka SD-001-TM, (Mercedesov dizel motor),
- Vozilo V2 - MCD SPRINTER 311 CDI registarskih oznaka SD-005-SS, (Mercedesov dizel motor),
- Vozilo V3 - NEW TURBO RIVAL 49.10, registarskih oznaka SD-014-GČ, (Iveco dizel motor),
- Vozilo V4 -INVECO NEW CARGO r.o.SD-016-VG, (Iveco dizel motor).

U Tabelama 5.40. i 5.41. su dati podaci preventivne ili korektivne mere održavanja, da li je održavanje perfektno (izvršena zamena delova komponente sa novim delovima) ili imperfektno (urađena reparacija). Prikaz predstavlja na koliko je procenata podignuta pouzdanost komponente aktivnostima održavanja (viđenje inženjera održavanja koji je organizovao održavanje i vodio evidenciju), odnosno da li je ugrađen novi deo (n) ili reparirani deo (r). Komponente su praćene u periodu od 10 god., a prikazane u odnosu na pređenu kilometražu (km).

Pri prikazu G predstavlja grupu, V vozilo, K komponentu.

Tabela 5.40. Praćenje otkaza komponenti dizel motora Grupe „I“ komunalnih vozila u period od deset godina (u odnosu na km)

Vozilo V1- MCD SPRINTER 511 CDI registarske oznake SD-001-TM god.(mcd dizel motor), Vozilo V2 - MCD SPRINTER 311 CDI registarske oznake SD-005-SS god.(mcd dizel motor), Vozilo V3 -NEW TURBO RIVAL 49.10, r.o. SD-014-GČ.,(Iveco motor). Vozilo V4 -INVECO NEW CARGO reg.oz.SD-016-VG, (Iveco dizel motor),										
Rb.	vozilo iz grupe I (V)	kilometraža (km)	komponenta (K)	preven-tivne mere	korek-tivne mere	perfektno održava-nje(100%)	imperfek-tno održa-vanje (x%)	nov deo (n)	remont-ovan deo (r)	Vreme popravke (rad.sati)
0.	V1/G1	0	vozilo ušlo u upotrebu, prva registracija 14.03.2008.god.							
1.	V1/G1	81988 km	K4	/	x	/	90%	N	/	2 h
2.	V1/G1	103421 km	K8	/	x	95%	/	N	/	8 h
3.	V1/G1	120421 km	K9	/	x	/	80%	/	r	8 h
4.	V1/G1	141117 km	K7	/	x	/	90%	N	/	8 h
5.	V1/G1	150018 km	K10	/	x	/	80%	/	r	40 h
6.	V1/G1	150018 km	K5	x	/	/	90%	N	/	8 h
7.	V1/G1	161218 km	K9	x	/	/	80%	/	r	8 h
8.	V1/G1	173098 km	K1	/	x	/	80%	N	/	48 h
9.	V1/G1	185214 km	K10	/	x	/	90%	N	/	48 h
10.	V1/G1	185214 km	K4	/	x	/	90%	N	/	48 h
11.	V1/G1	210002 km	K9	x	/	/	90%	N	/	8 h
12.	V1/G1	224091 km	K10	/	x	/	90%	N	/	24 h
13.	V1/G1	273013 km	K2	x	/	/	90%	N	/	168 h
14.	V1/G1	273013 km	K2	/	x	/	90%	N	/	
15.	V1/G1	273013 km	K1	/	x	/	90%	N	/	
16.	V1/G1	273013 km	K1	/	x	/	80%	/	r	
17.	V1/G1	273013 km	K3	/	x	/	95%	N	/	
18.	V1/G1	273013 km	K6	x	/	/	90%	N	/	
19.	V1/G1	273013 km	K9	x	/	/	90%	N	/	
20.	V1/G1	273013 km	K7	x	/	/	90%	N	/	
21.	V1/G1	313986 km	K1	/	x	/	90%	N	/	48 h
22.	V1/G1	324732 km	K9	/	x	/	80%	/	r	48 h
23.	V1/G1	324732 km	K9	/	x	/	80%	/	r	
24.	V1/G1	324732 km	K9	/	x	/	80%	/	r	
25.	V1/G1	356218 km	K7	/	x	/	90%	N	/	48 h
26.	V1/G1	356218 km	K7	x	/	/	90%	N	/	
27.	V1/G1	381127 km	K2	/	x	/	90%	n	/	84 h
28.	V1/G1	381127 km	K1	/	x	/	90%	n	/	
29.	V1/G1	381127 km	K1	/	x	/	90%	n	/	
30.	V1/G1	381127 km	K1	/	x	/	90%	n	/	

31.	V1/G1	381127 km	K2	/	x	/	85%	n	/	42 h
32.	V1/G1	381127 km	K9	x	/	/	80%	/	r	
33.	V1/G1	381127 km	K7	x	/	/	90%	n	/	
0.	V2/G1	0	vozilo ušlo u upotrebu, prva registracija 14.03.2008. god.							
1.	V2/G1	130916 km	K9	/	x	/	80%	/	r	8 h
2.	V2/G1	147463 km	K10	/	x	/	80%	/	r	48 h
3.	V2/G1	147463 km	K7	x	/	/	90%	n	/	
4.	V2/G1	147463 km	K7	x	/	/	90%	n	/	
5.	V2/G1	147463 km	K7	x	/	/	90%	n	/	
6.	V2/G1	170184 km	K5	/	x	/	90%	n	/	8 h
7.	V2/G1	228379 km	K9	/	x	/	80%	/	r	8 h
8.	V2/G1	275332 km	K5	/	x	/	80%	/	r	48 h
9.	V2/G1	290984 km	K9	/	x	/	80%	/	r	48 h
10.	V2/G1	301902 km	K7	/	x	/	90%	n	/	8 h
11.	V2/G1	301902 km	K7	x	/	/	90%	n	/	
12.	V2/G1	301902 km	K7	x	/	/	90%	n	/	
13.	V2/G1	328671 km	K10	/	x	/	90%	n	/	48 h
14.	V2/G1	328671 km	K4	/	x	/	80%	/	r	
15.	V2/G1	348368 km	K9	/	x	/	90%	n	/	8 h
16.	V2/G1	372451 km	K5	/	x	/	80%	n	/	4 h
17.	V2/G1	380595 km	K3	/	x	/	80%	/	r	84 h
18.	V2/G1	380595 km	K3	/	x	/	95%	n	/	
19.	V2/G1	380595 km	K9	/	x	/	90%	n	/	
20.	V2/G1	380595 km	K9	/	x	/	90%	n	/	
21.	V2/G1	380595 km	K1	/	x	/	90%	n	/	
22.	V2/G1	380595 km	K1	/	x	/	90%	n	/	
23.	V2/G1	380595 km	K9	/	x	/	80%	/	r	
24.	V2/G1	380595 km	K7	/	x	/	90%	n	/	
25.	V2/G1	380595 km	K7	/	x	/	90%	n	/	
26.	V2/G1	380595 km	K6	/	x	/	90%	n	/	
27.	V2/G1	380595 km	K7	/	x	/	90%	n	/	
28.	V2/G1	380595 km	K2	/	x	/	80%	/	r	
29.	V2/G1	403788 km	K7	/	x	/	80%	/	r	24 h
30.	V2/G1	403788 km	K7	/	x	/	90%	n	/	
31.	V2/G1	403788 km	K7	/	x	/	90%	n	/	
32.	V2/G1	403788 km	K7	/	x	/	90%	n	/	24 h
33.	V2/G1	419219 km	K10	/	x	/	90%	n	/	48 h
0.	V3/G1	0	teretno vozilo proizvedeno 2008.god. nadogradnja uradena u Nišu 2009.god.							
1.	V3/G1	132842 km	K1	/	x	/	90%	n	/	24 h

2.	V3/G1	211432 km	K4	/	x	/	80%	/	r	8 h
3.	V3/G1	228325 km	K7	/	x	/	90%	n	/	16 h
4.	V3/G1	239112 km	K5	/	x	/	90%	n	/	8 h
5.	V3/G1	244728 km	K9	/	x	/	80%	/	r	24 h
6.	V3/G1	255728 km	K1	x	/	/	90%	n	/	16 h
7.	V3/G1	264737 km	K1	/	x	/	80%	/	r	16 h
8.	V3/G1	279283 km	K10	/	x	/	80%	/	r	8 h
9.	V3/G1	288489 km	K9	/	x	/	80%	/	r	8 h
10.	V3/G1	292211 km	K9	/	x	/	90%	n	/	16 h
11.	V3/G1	301988 km	K2	/	x	/	80%	/	r	24 h
12.	V3/G1	309129 km	K4	/	x	/	90%	n	/	24 h
13.	V3/G1	312223 km	K7	/	x	/	80%	/	r	8 h
14.	V3/G1	320004 km	K9	/	x	/	90%	n	/	16 h
15.	V3/G1	328211 km	K3	/	x	/	95%	n	/	24 h
16.	V3/G1	329942 km	K9	/	x	/	80%	/	r	16 h
17.	V3/G1	331197 km	K5	/	x	/	90%	n	/	8 h
18.	V3/G1	340902 km	K9	/	x	/	90%	n	/	24 h
19.	V3/G1	348488 km	K10	/	x	/	80%	/	r	8 h
20.	V3/G1	350997 km	K1	x	/	/	90%	n	/	16 h
21.	V3/G1	362926 km	K3	/	x	/	90%	n	/	8 h
22.	V3/G1	367284 km	K2	/	x	/	90%	n	/	24 h
23.	V3/G1	371238 km	K7	/	x	/	90%	n	/	2 h
24.	V3/G1	371238 km	K7	x	/	/	90%	n	/	2 h
25.	V3/G1	371238 km	K7	x	/	/	90%	n	/	2 h
26.	V3/G1	380034 km	K9	/	x	/	80%	/	r	8 h
27.	V3/G1	389243 km	K10	/	x	/	90%	n	/	4 h
28.	V3/G1	394134 km	K2	/	x	/	80%	/	r	24 h
29.	V3/G1	396261 km	K9	/	x	/	90%	n	/	8 h
0.	V4/G1	0	teretno vozilo proizvedeno kraj 2005.god. ušlo u eksploataciju 2008.g.							
1.	V4/G1	110201 km	K1	/	x	/	90%	n	/	16 h
2.	V4/G1	269904 km	K9	/	x	/	90%	n	/	8 h
3.	V4/G1	272321 km	K1	/	x	/	90%	n	/	16 h
4.	V4/G1	281309 km	K7	/	x	/	70%	/	r	8 h
5.	V4/G1	297426 km	K8	/	x	95%	/	/	r	8 h
6.	V4/G1	301928 km	K4	/	x	/	75%	/	r	4 h
7.	V4/G1	314723 km	K7	/	x	/	90%	n	/	16 h
8.	V4/G1	326819 km	K6	/	x	/	90%	n	/	12 h
9.	V4/G1	330414 km	K9	/	x	/	80%	/	r	24 h
10.	V4/G1	339017 km	K10	/	x	/	80%	/	r	4 h
11.	V4/G1	342299 km	K5	/	x	/	90%	n	/	4 h

12.	V4/G1	349181 km	K9	/	x	/	80%	/	r	8 h
13.	V4/G1	350916 km	K10	/	x	/	80%	/	r	16 h
14.	V4/G1	359424 km	K9	/	x	/	90%	n	/	8 h
15.	V4/G1	360218 km	K7	/	x	/	90%	n	/	8 h
16.	V4/G1	360218 km	K7	x	/	/	90%	n	/	8 h
17.	V4/G1	368848 km	K1	/	x	/	90%	n	/	8 h
18.	V4/G1	368848 km	K1	x	/	/	90%	n	/	8 h
19.	V4/G1	372823 km	K4	/	x	/	90%	n	/	4 h
20.	V4/G1	377845 km	K9	/	x	/	80%	/	r	24 h
21.	V4/G1	382736 km	K10	/	x	/	90%	n	/	16h
22.	V4/G1	388275 km	K5	/	x	/	90%	n	/	4 h
23.	V4/G1	390991 km	K2	/	x	/	90%	n	/	20 h
24.	V4/G1	392003 km	K9	/	x	/	90%	n	/	8 h

Dekoponovanje dizel motora četiri vozila grupe 2 - (G2), koji su proizvedeni 2008. god., dati su u Tabeli 5.41.

Tabela 5.41. Praćenje otkaza komponenti dizel motora Grupe „II“ komunalnih vozila u period od deset godina (u odnosu na km)

V1/G2 - FAP 2023 registarske oznake SD-016-GY, (Mercedesov dizel motor) V2/G2 - FAP 2023 registarske oznake SD-018-VC, (Mercedesov dizel motor) V3/G2 - FAP 1318 registarske oznake SD-002-AI, (Mercedesov dizel motor) V4/G2 - FAP 1418 registarske oznake SD-021-WB, (Mercedesov dizel motor)										
Rb.	vozilo iz grupe I (V)	Kilometža (km)	komponenta (K)	preven- tivne mere	korek- tivne mere	perfektno održavanje (100%)	imperfektno održavanje (x%)	nov deo (n)	remont- ovan deo (r)	Vreme popravke (radni.sati)
0.	V1	0	vozilo ušlo u upotrebu, prva registracija 18.08.2008. god.							
1.	V1/G2	12994 km	K5	/	x	/	90%	n	/	4 h
2.	V1/G2	43987 km	K4	/	x	/	90%	n	/	4 h
3.	V1/G2	63452 km	K1	/	x	/	80%	/	r	48 h
4.	V1/G2	93214 km	K1	/	x	/	90%	n	/	48 h
5.	V1/G2	96808 km	K7	/	x	/	90%	n	/	8 h
6.	V1/G2	120022 km	K5	/	x	/	80%	/	r	8 h
7.	V1/G2	129499 km	K5	/	x	/	90%	n	/	24 h
8.	V1/G2	135845 km	K2	/	x	/	80%	/	r	16 h
9.	V1/G2	136993 km	K4	/	x	/	90%	n	/	4 h
10.	V1/G2	141332 km	K2	/	x	/	80%	/	r	8 h
11.	V1/G2	149420 km	K7	/	x	/	90%	n	/	8 h
12.	V1/G2	149420 km	K7	x	/	/	90%	n	/	8 h
13.	V1/G2	152387 km	K7	/	x	/	80%	/	r	8 h
14.	V1/G2	204016 km	K5	/	x	/	90%	n	/	4 h
15.	V1/G2	214628 km	K1	/	x	/	90%	n	/	48 h

0.	V2/G2	0	vozilo ušlo u upotrebu, prva registracija 05.09.2008. god.							
1.	V2/G2	37994 km	K10	/	x	/	90%	n	/	8 h
2.	V2/G2	45987 km	K1	/	x	/	90%	n	/	48 h
3.	V2/G2	103215 km	K5	/	x	/	90%	n	/	4 h
4.	V2/G2	103683 km	K1	/	x	/	90%	n	/	48 h
5.	V2/G2	124008 km	K9	/	x	/	90%	n	/	4 h
6.	V2/G2	146499 km	K7	/	x	/	80%	/	r	8 h
7.	V2/G2	164887 km	K4	/	x	/	90%	n	/	4 h
8.	V2/G2	166973 km	K5	/	x	/	90%	n	/	8 h
9.	V2/G2	167124 km	K4	/	x	/	80%	/	r	8 h
10.	V2/G2	167124 km	K4	x	/	/	90%	n	/	
11.	V2/G2	181 947 km	K7	/	x	/	90%	n	/	8 h
12.	V2/G2	192224 km	K2	/	x	/	90%	n	/	16 h
13.	V2/G2	238231 km	K10	/	x	/	85%	/	r	24 h
14.	V2/G2	238641 km	K5	/	x	/	90%	n	/	4 h
15.	V2/G2	253754 km	K7	/	x	/	85%	n	/	48 h
16.	V2/G2	280023 km	K7	/	x	/	90%	n	/	8 h
0.	V3/G2	0	teretno vozilo proizvedeno 2008.god. prva registracija 01.09. 2009.god.							
1.	V3/G2	91653 km	K1	/	x	/	90%	n	/	48 h
2.	V3/G2	100324 km	K4	/	x	/	90%	n	/	4 h
3.	V3/G2	103215 km	K1	/	x	/	90%	n	/	48 h
4.	V3/G2	115022 km	K1	/	x	/	80%	/	r	48 h
5.	V3/G2	132563 km	K5	/	x	/	90%	n	/	4 h
6.	V3/G2	135243 km	K5	/	x	/	80%	/	r	8 h
7.	V3/G2	138003 km	K8	/	x	95%	/	/	r	8 h
8.	V3/G2	155634 km	K7	/	x	/	90%	n	/	
9.	V3/G2	155634 km	K7	x	/	/	90%	n	/	8 h
10.	V3/G2	170379 km	K10	/	x	/	85%	/	r	24 h
0.	V4/G2	0	teretno vozilo proizvedeno 2008.god. ušlo u eksploataciju 13.11. 2008.g.							
1.	V4/G2	98761 km	K10	/	x	/	90%	n	/	8 h
2.	V4/G2	137532 km	K5	/	x	/	90%	n	/	8 h
3.	V4/G2	142628 km	K3	/	x	/	90%	n	/	16 h
4.	V4/G2	156734 km	K1	/	x	/	80%	/	r	8 h
5.	V4/G2	200659 km	K7	/	x	/	80%	/	r	16 h
6.	V4/G2	212322 km	K2	/	x	/	90%	n	/	24 h
7.	V4/G2	212987 km	K5	/	x	/	90%	n	/	4 h
8.	V4/G2	219609 km	K4	/	x	/	90%	n	/	4 h
9.	V4/G2	220908 km	K7	/	x	/	80%	/	r	24 h

5.2. MODEL KONTROLE STANJA DIZEL MOTORA

Havarijsko stanje dizel motora

Dizel motori su složeni dinamički sistemi koji se sastoje iz velikog broja uzajamno povezanih delova i elemenata u kojima se dešavaju heterogeni procesi. Savremeni motori imaju mnogo parametara radnog procesa koji se konstantno prate. Pored toga savremeni dizel motori rade u složenim uslovima tokom širokog dijapazona spoljne temperature, u uslovima visoke vlažnosti, u otežanim uslovima rada kao kod specijalnih vozila, pod dejstvom agresivnih sredina kada rade u agregatima u blizini hemijskih postrojenja itd. Sve je to dovelo do toga da na konstrukciju motora utiču velika statička i dinamička opterećenja i elementi motora se eksploatišu do granice radne efikasnosti. Kako motori ispunjavaju važne funkcije, prekid u njihovom radu dovodi do velikih ekonomskih, tehničkih i moralnih gubitaka. Na primer otkazivanje elementa motora koji košta pet evra može izazvati nesreću gde će biti izgubljeni ljudski životi. Zato je veoma važno znati odrediti stanje motora i doneti blagovremene mere da ne dođe do prekida rada ili da se lokalizuje sam prekid.

Sva unutrašnja svojstva motora, određena uzajamno vezanim procesima koji se dešavaju u agregatu (u ovom slučaju dizel motoru), u nekom momentu vremena τ nazivaju se stanje.

U opštem slučaju dizel motor može da se nalazi u jednom od tri stanja:

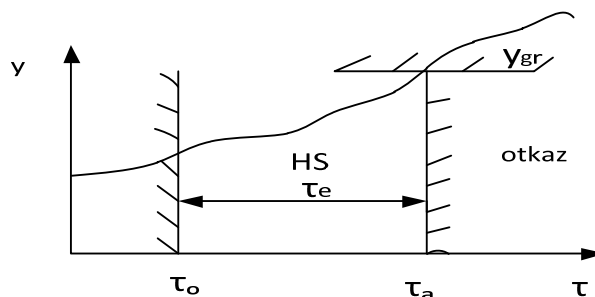
- ispravnom,
- havarijskom,
- stanju potpunog otkazivanja rada – otkaza.

Ispravno stanje dizel motora karakteriše se sveukupnim svojstvima koja određuju njegovu eksploataciju, odnosno kada dizel motor zadovoljava sve potrebe zadate osnovnim i drugostepenim parametrima.

Stanje otkaza je stanje motora kada on ne zadovoljava potrebe date njegovim osnovnim i drugostepenim parametrima ili kada on postaje opasan za eksploataciju. Stanje otkaza određuje nepouzdanost motora.

Ova dva stanja su krajnja i ispituju se pri proceni pouzdanosti motora.

Havarijsko stanje je prelazno ili središnje i karakteriše se time što su se u motoru desile neke promene, pojavile su se primarne neispravnosti, smetnje zbog kojih se menja karakteristika radnog procesa motora, ali on još uvek ima potrebnu radnu efikasnost. Ipak, ako se ne preduzmu specijalne mere to havarijsko stanje će neizbežno preći u stanje otkaza. Povezanost prelaza motora iz jednog stanja u drugo prikazana je na Slici 5.4.



Slika 5.4. Prelaz u stanje neispravnosti

Izvor: Volkov, E.B., Sudokov, R.S., Siricin, T.A., Osnove teorije pouzdanosti raketnih motora, Mašinogradnja, Moskva, 1974.

gde su:

- y – parametri radnog procesa;
- I – period ispravnog stanja;
- HS – period havarijskog stanja;
- H – stanje otkaza (havarije);
- y_{gr} – granične vrednosti parametara radnog procesa kod kojih nastupa otkaz;
- τ_e – vreme ekspozicije (vreme havarijskog stanja).

U nekom trenutku vremena τ_0 zbog konstrukcijskih, tehnoloških ili eksploatacionih razloga pojavila se primarna neispravnost (neispravnost voda napajanja goriva, neispravnost u dovodu vazduha i dr.) zbog čega su počeli da se menjaju parametri radnog procesa. Ukoliko se ne preduzmu određene mere parametri će dostignuti svoje granične vrednosti y_{gr} , koje su određene uslovima radne sposobnosti i dizel motor će preći u stanje otkaza. Otkaz može da se javi u različitim vidovima. Različiti vidovi otkaza se najčešće manifestuju kao spontano gašenje motora, odstupanje parametra radnog procesa od dozvoljenih granica ili kao otkaz samog dizel motora.

Havarijska stanja se mogu podeliti po sledećim svojstvima:

- vreme ekspozicije - τ_e ,
- koeficijent pokrivenosti,
- vrsta prvobitne neispravnosti ili otkaza.

Za kontrolu stanja dizel motora može da se primeni sistem, koji uz pomoć senzora prima informacije o izmenama parametara radnog procesa⁹² i u slučaju približavanja njihovih vrednosti graničnim, uz pomoć automatike prevodi motor na bezopasan režim rada ili ga isključuje pre momenta otkaza⁹³.

Koeficijent opsega havarijskih stanja (α) je jednak verovatnoći prognoziranih otkaza (P_k):

$$\alpha = P_k \quad (5.1.)$$

⁹² Spasić, D., Adamović, Ž., Meza, S., Alargić, P., Nikolic, N., Tehnička dijagnostika i analiza korelacije u dijagnostici, XV konferencija »Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja« Serbian Technical diagnostic society, rad br.19, Vrnjačka Banja, 30. 10. 2015, ISBN 978-86-83701-38-4

⁹³ Spasić, D., Adamović, Ž., Meza, S., Otić G., Automatizacija tehničke dijagnostike, ekspertni sistemi u dijagnostici i roboti u održavanu, XV konferencija »Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja« Serbian Technical diagnostic society, Vrnjačka Banja, 30. 10. 2015., ISBN 978-86-83701-38-4

Učestalost havarijskih stanja $\tilde{\alpha}$:

$$\tilde{\alpha} = n_k/n \quad (5.2.)$$

n_k – broj prognoziranih i
 n – opšti broj havarijskih stanja.

$$P_{nk} = \prod_{j=1}^m P(\tau_{ej} - \tau_{sj} \leq 0) \quad (5.3.)$$

P_{nk} – verovatnoća nekontrolisanih havarijskih stanja;

$$P_k = \prod_{j=1}^m P_j \quad (5.4.)$$

P_k – verovatnoća da se sva havarijska stanja kontrolišu;

Neki tipovi havarijskih stanja dizel motora

U eksploataciji dizel motora može se javiti beskonačni broj havarijskih stanja. Neka havarijska stanja koja se češće pojavljuju biće predstavljena. Karakter pojave havarijskih stanja i otkaza kod jednih te istih primarnih neispravnosti određuje se pre svega šemom dizel motora i vrednošću parametara radnog procesa. Kao primer će biti uzeta havarijska stanja dizel motora sa turbo punjačem.

Narušavanje hermetičnosti magistrale dotoka goriva

Razlozi narušavanja mogu biti različiti. Uglavnom se hermetičnost narušava zbog vibracija i mehaničkih oštećenja. Najpre se u cevovodima pojavljuju mikroskopske pukotine čija se površina vremenom povećava zbog mehaničkih i erozivno-korozivnih dejstava. Kod pojave nehermetičnosti dolazi do kolebanja pritiska.

Vrednost curenja (gubitka) dizel goriva se može približno odrediti zavisnošću:

$$G_{cu} = \mu F \sqrt{2\rho \Delta p} \quad (5.5.)$$

gde je:

G_{cu} – vrednost curenja (gubitka) dizel goriva;
 F – površina pukotine;
 μ – koeficijent utroška (potrošnje);
 $\Delta p = p_{pu} - p_{mag}$ – kolebanje pritiska;
 p_{mag} – pritisak u cevovodu, magistrali;
 p_{pu} – pritisak pumpe visokog pritiska.

Pad pritiska Δp može da se stvara u cevovodima dizel motora. Posebno je problem u cevovodu od pumpe visokog pritiska do dizni, curenje dizel goriva čak i kod pukotina izuzetno malih prečnika utiče na rad motora (oseća se podrhtavanje i nepravilan rad).

Narušavanje dotoka vazduha

Dotok vazduha u dizel motor je izuzetno važan zbog kvalitetnog procesa sagorevanja. Problem sa dotokom može da se javi u čitavom sistemu od filtera za vazduh, cevovoda do turbo punjača, u turbo punjaču, interkuleru, EGR ventilu, pa i usamoj glavi motora. Svaka neadekvatna isporuka svežeg vazduha izaziva kolebanja u radu i nepravilan rad dizel motora. Problem u dotoku s vazduhom (kiseonika za sagorevanje) može biti prouzrokovan i problematičnim radom automatike elektro ventila ili pneumatskom regulacijom ventila prigušenja i slično. Rad sa narušenim dotokom vazduha može da izazove i havarijsko stanje motora pa se sistemom zaštite motor može prevesti u bezopasni režim rada ili da isključi motor, a sve u cilju zaštite od većih havarija. Dobar primer problema sa dotokom vazduha u motor desio se na jednom komunalnom vozilu Mercedes sprinter 511 CDI kad je zbog nereagovanja sistema zaštite zajedno sa komprimovanim vazduhom iz turbo punjača dospela i određena količina opiljaka od lopatica turbo punjača u komoru za sagorevanje i izazivala havariju i otkaz celog dizel motora. Posledice ove havarije su bile velike, veliko oštećenje motora, skupa popravka i duži vremenski interval ispada vozila iz upotrebe.

Neispravnosti elemenata automatike

U osnovne neispravnosti elemenata automatike spadaju: nepotpuno otvaranje ili spontano aktiviranje ventila, oštećenja i kočenje pokretnih delova i drugo. Neispravnosti elemenata automatike, u zavisnosti od njihove namene i mesta montiranja, dovode do dva oblika havarijskih stanja:

- razaranje agregata motora zbog ubrzanog režima rada;
- prigušivanje režima rada i spontano isključivanje motora.

Nepravilan rad pumpe visokog pritiska

Nepravilan rad pumpe izaziva:

- nedovoljan dotok goriva do dizni i nepravilan rad motora,
- prestanak dotoka goriva do dizni i gašenje motora i
- curenje goriva zbog oštećenja pumpe.

Neispravnosti turbo punjača

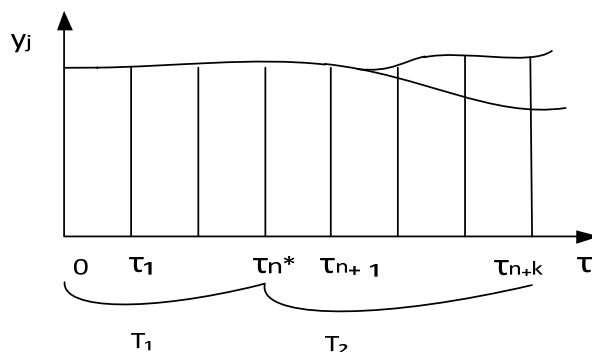
Neispravnosti turbo punjača se javljaju zbog konstruktorskih i tehnoloških propusta i defekata materijala. U neispravnosti turbo punjača spadaju: narušavanje hermetičnosti kompresije, pucanje, kočenje ležajeva, kidanje posebnih montažnih delova i drugo. Ove neispravnosti dovode po pravilu do brzog razaranja turbo punjača i imaju karakter razaranja pod teretom. Vreme ekspozicije ovakvih havarijskih stanja je veoma kratko pa su ona nekontrolisana, a otkazi su neprognozirani.

Prognoziranje stanja dizel motora

Formiranje metoda i sredstava kontrole stanja dizel motora je delom opštetehtički problem povećanja pouzdanosti. Motor se sastoji od velikog broja uzajamno povezanih agregata i elemenata. Direktna kontrola stanja agregata i motora u potpunosti je nemoguća. U isto vreme za svako stanje su karakteristična određena svojstva koja se pojavljuju u odgovarajućim izmenama parametara radnog procesa. Njihova registracija i apriorno poznavanje zavisnosti parametara radnog procesa od stanja motora

omogućavaju da se ustanove razlozi njihove izmene, a shodno tome i da se prognozira radna sposobnost dizel motora. Parametri radnog procesa su uzajamno povezani, tako da je jednoznačno definisanje stanja dizel motora veoma složen zadatak. Za povećanje tačnosti prognoze neophodno je očitati one osobine po kojima bi se moglo razlikovati jedno havarijsko stanje dizel motora od drugog⁹⁴.

Svakoj klasi stanja potrebno je dati određeni znak (signal) o promenama parametara radnog procesa, koji će se razlikovati od znakova drugih stanja (Slika 5.5). Određivanje takvog skupa parametara, koji karakterišu havarijsko stanje, je polazni trenutak prognoziranja.



Slika 5.5. Primena kontrolnog parametra u vremenu (statističko prognoziranje)

Izvor: Spasić, D., Adamović, Ž., Josimović, Lj., Osnove prognoziranja pouzdanosti dizel motora, Društvo za tehničku dijagnostiku, Smederevo, 2016.

Prognoziranje se može raditi pomoću⁹⁵:

- Analitičkog prognoziranja,
- Statističkog predviđanja.

Za analitičko prognoziranje važno je znati koristiti Lagranžov polinom^{96,97}, Njutnove polinome^{98,99}, metodu najmanjih kvadrata¹⁰⁰, polinome Čebiševa¹⁰¹ i različite empirijske izraze. Kod kontrole više parametara u cilju prognoziranja može se iskoristiti i Boks-Vilsonov¹⁰² metod.

⁹⁴ Spasić, D., Adamović, Ž., Josimović, Lj., Osnove prognoziranja pouzdanosti dizel motora, Društvo za tehničku dijagnostiku i Akademija inženjerstva Srbije, ISBN 978-86-83701-43-8, Smederevo, 2016.

⁹⁵ Беляев., Ю.К., Новые результаты и обобщения задач типа пересечений, кн. Г. Крамера и М.Литбеттера, Стационарные случайные процессы, М. Мир с341-388., Москва, СССР, 1969.

⁹⁶ Paunović, R., Omočjan, R., Osnove numeričke metode u hemijskom inženjerstvu, Tehnički Fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, 2011.

⁹⁷ Radunović, D., "Numeričke metode", Građevinska knjiga, Beograd, treće (dopunjeno) izdanje: Akademska misao, Beograd, 2004.

⁹⁸ Stoer, J., Bulirsch, R., Introduction to Numerical Analysis, Springer, 1992.

⁹⁹ Wolberg, J., Data Analysis Using the Method of Least Squares, Springer, 2006.

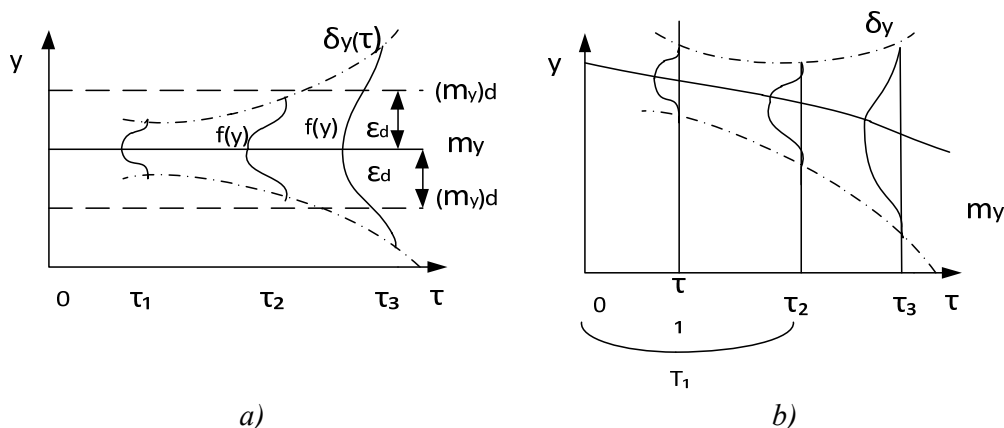
¹⁰⁰ Березиков, В., Буров., Конструкция управляемых ракет. М. Воениздат. 449 с, Москва, СССР, 1969.

¹⁰¹ Abramowitz, Milton; Stegun, Irene A., eds. (1965), Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables, New York: Dover, 1965.

¹⁰² Vojinović, N., Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojno izdavački i novinski centar, Beograd, 1990.

Nije uvek moguće primeniti analitičke metode, jer su kontrolisane funkcije složene, pa se ne može sa dovoljnom preciznošću odabrati prognozirani polinom. Pored toga sve kontrolisane funkcije su slučajne, a i njihove vrednosti kod svakog argumenta su slučajne. U tim slučajevima se koristi statističko predviđanje¹⁰³.

Tendencija izmene kontrolisane funkcije određuje se karakterom promena njenih m_y i σ_y (Slika 5.6). Kod statističkog predviđanja poseban uticaj na tačnost ima broj merenja. Za male izvode ($n < 20$) najbolji rezultati se dobijaju ako se umesto normalne raspodele koristi Studentova¹⁰⁴ raspodela.



Slika 5.6. Statističke karakteristike $y(\tau)$; a) - $y(\tau) = \text{const.}$; b) - $y(\tau) = \text{varira}$
Izvor: Dunin, V., Smirnov, V., Teorija matematičke verovatnoće u tehnici, Gostehizdat, Moskva, 1955.

Modeliranje havarijskih stanja dizel motora

Parametri radnog procesa kod havarijskih stanja dizel motora menjaju se po određenim zakonima, koji zavise od primarnih neispravnosti. Ako imamo dva načina promene parametara radnog procesa, za ispravno stanje i za havarijsko, onda možemo njihovim upoređivanjem da ustanovimo, ne samo činjenicu pojave otkaza, već i njegove uzroke. Za dijagnozu i prognoziranje stanja dizel motora neophodno je znati karakter promena parametara u različitim primarnim neispravnostima i odabrati od njih one na osnovu kojih se može ostvariti kontrola¹⁰⁵ [147]. Nomenklatura kontrolnih parametara se može odrediti na osnovu rezultata ispitivanja motora i to onih kada su se javila havarijska stanja završena otkazom. Kako broj havarijskih ispitivanja može biti mali i po pravilu ne obuhvata sva moguća stanja i primarne neispravnosti motora, tako nije moguće eksperimentalno odrediti kontrolisane parametre. Reakciju motora odnosno izmene parametara radnog procesa u različitim havarijskim stanjima, možemo odrediti rešavanjem diferencijalnih jednačina (koje opisuju radne procese pri pojavi primarnih neispravnosti) uz pomoć računara tj. matematičkim modeliranjem. U osnovi ove metode se nalazi pretpostavka da je motor determinisani sistem tj. da svakom stanju motora odgovara konkretna spoljašnja manifestacija u vidu određenog karaktera izmena

¹⁰³ Marinković, J, Statističko modelovanje odnosa – regresivni model i problemi predviđanja SAS i DS, Statistika za istraživače, Beograd, 2012.

¹⁰⁴ Дунин-Барковский, И.В, Смирнов, Н.В, Теория вероятностей и математическая в технике, М. Гостехиздат 511с, Москва, СССР, 1955.

¹⁰⁵ Veljković, D, Spasić, D, Savić, N, Vulović, M, Petrov, T, Sistemi dijagnoze za određivanje stanja motornih vozila, Majski skup održavaoca, Zbornik radova, Vrnjačka Banja, 2017.

parametara radnog procesa. U realnim uslovima motor nije determinisan sistem zato što primarne neispravnosti koje dovode do havarijskih stanja mogu biti zavisne i slučajne.

Ako je poznato da matematički funkcionalni model motora sadrži veliki broj nelinearnih diferencijalnih jednačina, tada se modeliranje havarijskih stanja svrsishodno obavlja uz pomoć računara. Polazni podaci za modeliranje su: šema dizel motora, vrednosti parametara radnog procesa u ispravnom stanju i primarne neispravnosti koje dovode motor u havarijsko stanje.

Za modeliranje havarijskih stanja dizel motora koriste se računarski programi. Kako je poznato, računarski programi se, po principu rešavanja, dele na dve klase: diskretnog i neprekidnog dejstva (diskontinuiranog i kontinuiranog dejstva)¹⁰⁶. U radu sa računarskim programima neophodno je sa fizičkih veličina u jednačini preći na binarne veličine¹⁰⁷.

Parametri radnog procesa se mere dok motor radi, i dobijaju se njihove promene kako u normalnom radu, tako i kod havarijskih stanja. Može se desiti da je poznat fizički prikaz promena parametara pri nekom havarijskom stanju, ali uzrok tog havarijskog stanja motora nije određen. Uzrok havarijskog stanja motora se može ustanoviti upoređivanjem fizičkog prikaza promena parametara u havarijskom stanju sa slikama koje su dobijene pri modeliranju. Ukoliko se ukazane slike (prikazi) podudaraju, može se sa određenim stepenom sigurnosti utvrditi da se radi o havarijskom stanju koje je zabeleženo u memoriji. Za modeliranje havarijskih stanja potrebno je imati analitičke prikaze (slike) prvobitnih neispravnosti koje izazivaju havarijska stanja. Moguće neispravnosti kod nekih elemenata komponenata dizel motora na kojima se mogu pojaviti otkazi tih elemenata odnosno komponenata.

Prepoznavanje havarijskih stanja dizel motora

Zadatak prepoznavanja tipova (slika) se formuliše prema rezultatima ograničenog broja merenja parametara datog stanja. Neophodno je primeniti optimalno rešenje o njegovoj pripadnosti određenoj klasi opšteg skupa stanja¹⁰⁸. Pod terminom „slika“ podrazumeva se sveukupnost dobijenih osobina (parametara) pojava, koji pripadaju jednoj klasi. Svojstva (parametri) slika (tipa) se mogu menjati u izvesnim granicama. U isto vreme, kako sama slika (tip) pripada jednoj određenoj klasi, to je potrebno znati statističke karakteristike svojstava. Određeni zadatak klasifikacije stanja je u suštini zadatak prepoznavanja tipa (slike)¹⁰⁹. Da bi se rešio taj zadatak, moraju biti poznati parametri: dužina, širina, masa, temperatura, pritisak i drugi, kao i granice njihove izmene, koje određuju pripadnost pojave određenoj klasi. Automati koji sortiraju metalne novčiće (novac), takođe, pripadaju sistemima prepoznavanja¹¹⁰.

Prilikom izvođenja ispitivanja motora u eksploataciji, bez obzira na veliki broj telemetrijskih merenja, nije moguće uvek odrediti vid otkaza i šta ga je izazvalo, a tako ni napraviti program popravki. Zato je za utvrđivanje razloga i vidova otkaza motora, bez

¹⁰⁶ Janošević, B., Spasić, D., Otić, G., Petrijeve mreže u tehničkoj dijagnostici, Zbornik radaova Vrnjačka Banja, Majski skup održavaoc, Nove koncepcije održavanja, vibrodijagnostičko održavanje tehničkih sistema u kompanijama, rad 41, ISBN978-86-89087-12-3, Vrnjačka Banja, 2014.

¹⁰⁷ Otić, G., Stanković, M., Vulović, M., Spsić, D., Dijagnosis of balance circuitis, Zbornik radaova Vrnjačka Banja, Majski skup održavaoc, Vrnjačka Banja, 2016.

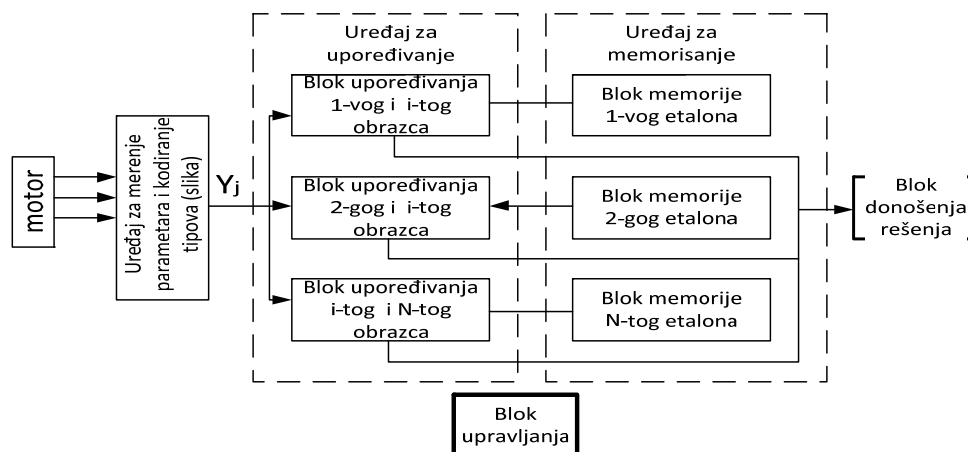
¹⁰⁸ Spasić, D., Radovanović, LJ., Adamović, Ž., Modeli pouzdanosti dizel motora kontrolni parametri, Časopis, Održavanje mašina, god.XIV, broj 1-2, ISSN 1452-9688, st 54-59, Smederevo, 2017.

¹⁰⁹ Левин, Б., Теоретические основы статистической радиотехники. М. Советскиерадио. 324 с., Москва, СССР, 1968.

¹¹⁰ Пересада, В., Автоматическое распознавание образов. МЭнергия.90 с, Москва, СССР, 1970.

spvođenja detekcije materijalnog dela, moguće primeniti statističku teoriju prepoznavanja pojave. Znači, prema rezultatima merenja parametara radnog procesa donosi se odluka o pripadnosti otkaza (koji se dogodio prilikom ispitivanja) nekoj određenoj klasi. Parametri radnog procesa se kontrolišu u tehničkom sistemu. Izmereni parametri se obrađuju po nekom algoritmu da bi se dobilo rešenje kojoj slici (tipu) pripadaju vrednosti datih parametara¹¹¹. Zbog toga se razrađuje pravilo koje zavisi od načina predstavljanja karakteristika parametara. Uređaj za prepoznavanje svake konkretne klase tipa (slika) ima svoje odlike, ali one uvek imaju opšte funkcije i blokove.

Na Slici 5.7. data je principijelna šema sistema raspoznavanja tipova (slika). Uloga svakog funkcionalnog bloka se sastoji od uređaja za merenje parametara i kodiranja tipova (slika) koji meri parametre radnog procesa i grupiše ih po svojstvima tipova (slika), odnosno tipovima otkaza, iz čega se dobijaju funkcionalne $Y_j(y_1, y_2, \dots, y_n)$ gde je $j = 1, 2, \dots, N$. U memoriji uređaja, u memorijskim blokovima (MB), čuvaju se opisi svih tipova (slika), etaloni, za svaki tip otkaza, koji su dobijeni u procesu „obuke“ sistema. Opis tipa (slika) je predstavljen kvantitativnim karakteristikama parametara. U uređaju za poređenje sva svojstva tipova (slika), dobijena mernim uređajem, upoređuju se u parovima u blokovima poređenja sa etalonima koji se čuvaju u blokovima memorije. Tako se rešava zadatak prepoznavanja, kao pojedinačni slučaj statističkog zadatka provere hipoteze, čime se dobija aposteriorna verovatnoća otkaza. U uređaju za rešenja, u skladu sa kriterijumima prepoznavanja, dobija se zaključak o tipu otkaza i određuje se verovatnoća ispravnosti rešenja¹¹². Ovako realizovan sistem raspoznavanja, ugrađen u softver računara motora, dozvoljava da se operativno odredi mesto i razlog otkaza u procesu eksploatacije bez sprovođenja defektacije materijalnog dela. Tačnost rada ovakvog sistema je u osnovi određena tačnošću opisa svojstava i klasifikacije tipova otkaza, tj. izborom kontrolisanih parametara i kriterijuma prepoznavanja¹¹³.



Slika 5.7. Principijelna šema sistema raspodele tipova (slika)

Izvor: Spasic, D., *Osnove prognoziranja pouzdanosti dizel motora*, Društvo za TD Srbije, Smederevo, 2016.

¹¹¹ Мошкин, Е., Нестационарные режимы работы ЖРД . М.Машиностроение. 218 с, Москва, СССР, 1965.

¹¹² Харкевич, А., Очерки общей теории связи. М. Физматгиз. 278 с, Москва, СССР, 1955.

¹¹³ Spasic, M. D., Radovanovic, Lj., Ilic, D., Bursac, Z., Tolmac, J., Palinkas, I., Application of the model recognition emergency sheet in orderto increase the reliability of the plant in the energy sector, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 12:7, 635-645, DOI:10.1080/15567249.2016.1252810, ISSN: 1556-7249 (Print) 1556-7257 (Online) Journal homepage: VOL. 12, NO. 7, 2017.

Izradi sistema prepoznavanja treba da prethodi rešenje sledećih zadataka:

- klasifikacija mogućih havarijskih stanja i tipova otkaza;
- „obuka“ sistema prepoznavanja, odnosno izbor svojstava i određivanje njihovih karakteristika i apriornih verovatnoća klasa havarijskih stanja;
- izračunavanje aposteriornih verovatnoća klasa;
- izbor kriterijuma prepoznavanja i donošenja rešenja.

Sva havarijska stanja je potrebno na odgovarajući način podeliti i opisati njihova obeležja. Havarijska stanja istog naziva i oblika pripadaju jednoj klasi. Podela na klase se vrši prema: vidu havarije/otkaza, mestu havarije/otkaza, komponenti i stepenu havarije. Havarijska stanja se klasifikuju na osnovu obrade podataka o otkazima, koji se dešavaju u toku eksploatacije, ili prema rezultatima logičke analize konstrukcije.

Informacija o havarijskim stanjima je realizacija izvesnih parametara radnog procesa, koji se uzimaju kao obeležja (svojstva). Realizacija obeležja i verovatnoće havarijskih stanja određuju apriorne podatke o stanju dizel motora. Broj havarijskih stanja i njihovih klasa je beskonačno veliki. Kako bi se formulisao i rešio zadatak raspoznavanja dopušteno je poći od toga da se sva havarijska stanja mogu grupisati u određen broj klasa koje se odlikuju određenim brojem obeležja. Obeležja klasa, odnosno kontrolni parametri se određuju uz moguće dve metode:

- Metoda statističke obrade podataka ispitivanja motora u kojima se javljaju otkazi. Ipak, zbog ograničenosti podataka o havarijskim stanjima ova metoda nije racionalna.
- Metoda modeliranja havarijskih stanja, gde se biraju kontrolni parametri koji su obeležja. Za svaku klasu havarijskih stanja se određuju obeležja koja zavise od stepena primarne neispravnosti (povišena radna temperatura, nehermetičnosti, visina nivoa ulja i drugi).

Za rešenje zadatka raspoznavanja nedovoljno je imati samo nomenklaturu obeležja, već se moraju imati statističke karakteristike obeležja kako bi se dobio uređaj za memorisanje parametara etalona tj. kako bi se „obučio“ sistem.

Prepoznavanje havarijskih stanja motora je moguće uz pomoć specijalizovanih računskih sistema ili pomoću motornog računara korišćenjem telemetrijskih informacija po specijalno razrađenim algoritmima.

Metode kontrole radne sposobnosti dizel motora i klasifikacija sistema kontrole

Razvoj tehnike, povećanje stepena automatizacije procesa upravljanja, povećanje uloge i značaja računara su doveli do stvaranja složenih multifunkcionalnih sistema¹¹⁴. Savremeni dizel motori poseduju veliki broj agregata, sistema za uključivanje i isključivanje, sistema regulacije parametara, u kojima se dešavaju različiti procesi – termički, mehanički, električni i drugi. Zato je dizel motor prema sastavu složen multifunkcionalni sistem. Složeni sistemi zahtevaju i novi pristup njihovoj eksploataciji i novi pristup rešavanju zadataka eksploataciono – tehničke kontrole.

¹¹⁴ Романенко, А., Сергеев, Г., Вопросы прикладного анализа процессов . М. Советское радио. 285 с. 1968.

Novi pristup diktira i značajno povećanje obima informacija, koje karakterišu stanje sistema, brzinu protoka radnih procesa, što prevazilazi ljudske mogućnosti kontrole radne sposobnosti sistema. Novi pristup se u prvom redu odražava na metode ostvarivanja kontrole. On zahteva razradu novih sistema, koji će obezbediti objektivnu kontrolu stanja objekata (dizel motora) bez mešanja čoveka, odnosno automatsku kontrolu. Sistem koji podleže automatskoj kontroli zovemo objekat kontrole (u ovom slučaju to je dizel motor) ili jednostavno objekat. Automatska kontrola je izvršavanje operacija za određivanje radne sposobnosti, otkrivanje neispravnosti, raspoznavanje otkaza i prognoziranje izmena stanja kontrolisanog objekta, bez učešća čoveka. Za rešavanje zadataka automatske kontrole stvaraju se specijalni sistemi kontrole. Automatski sistem kontrole se zasniva na pretpostavci da su objekti determinisani, odnosno da svakom stanju objekta odgovaraju njegove, u potpunosti određene spoljašnje manifestacije, i obrnuto svakom dijagnostičkom signalu odgovara u potpunosti određeno tehničko stanje objekta. U zavisnosti od zadataka koji se rešavaju, automatske sisteme kontrole možemo klasifikovati po njihovoj nameni.

a) Sistemi kontrole radne sposobnosti dizel motora

Radna sposobnost je stanje dizel motora u kojem on odgovara svim zahtevima, koji su utvrđeni odnosima osnovnih parametara. Sistem kontrole radne sposobnosti konstatuje činjenicu postojanja radne sposobnosti ili njenog gubitka. Kontrola radne sposobnosti objekta (dizel motora) se principijelno može ostvariti raznim metodama:

- *Prema stanju komponenata dizel motora.* Stanje zasebnih komponenata se određuje kao rezultat svih merenja parametara, koji karakterišu rad komponenata, i analiza rezultata tih merenja.
- *Prema reakciji dizel motora na radne ili specijalne signale.* Na ulaz objekta kontrole dobijaju se određeni signali i njegovo stanje se određuje po stepenu odstupanja statističkih i dinamičkih karakteristika u periodu kontrole od normalnih.

b) Sistemi otkrivanja neispravnosti

Pri otkrivanju neispravnosti rešava se zadatak pojave uzroka gubitka radne sposobnosti tehničkog sistema. Metode otkrivanja neispravnosti se dele u tri grupe: metode indikacije, metode traženja neispravnosti i metode dijagnostike.

- Metodom indikacije se u kontrolisanom objektu (dizel motoru) postavlja određeni broj (davača) senzora koji obezbeđuju indikaciju neispravnosti ako se ona pojavi. Senzori (davači) se mogu konstruktivno uključivati u kontrolisani dizel motor ili sistem kontrole. U prvom slučaju senzori su ugrađeni, a u drugom neugrađeni. Ponekad se primenjuju senzori koji ispunjavaju radne funkcije u kontrolisanom objektu i takvi se senzori nazivaju moduli indikacije neispravnosti.
- U metodi traženja neispravnosti, neispravnosti se otkrivaju u procesu izvođenja niza kontrolnih operacija, ostvarivanih po razrađenoj strategiji. Strategija traženja zasniva se na poznatim statističkim karakteristikama sastavnih delova dizel motora ili na podacima analize strukture kontrolisanog dizel motora. Statistički podaci omogućavaju da se istraživanja sprovedu na nivou pouzdanosti kontrolisanih delova dizel motora i po maksimalnom dobijanju informacija.

Analiza strukture dizel motora može biti izvedena na osnovu istraživanja metoda matematičke statistike ili metodama inženjersko logičke analize sa evidencijom osobnosti konstrukcije i uslova eksploatacije.

- Kod dijagnostičke metode o stanju motora može se govoriti o stalnoj dijagnostici sistema tokom rada. Zbog toga se vrši stalna analiza dijagnostike tehničkog sistema i određuju se autokorelacione funkcije. Prema karakteristikama korelacione funkcije može se odrediti stanje sistema.

c) Sistem prepoznavanja otkaza

Automatski sistem prepoznavanja otkaza mora uključivati: ulazni „uređaj“ koji prima sve parametre radnog procesa; „uređaj“ za donošenje rešenja koji upoređuje postojeću situaciju sa ranije fiksiranom i donosi rešenja o prisustvu te ili druge pojave; „uređaj“ za „obučavanje“ koji upravlja podešavanjem sistema za prepoznavanje¹¹⁵.

Sistem prepoznavanja tipova rešava sledeći zadatak: prema rezultatima ograničenog broja merenja parametara potrebno je doneti optimalno rešenje o pripadanju prepoznatog stanja.

d) Sistemi prognoziranja stanja

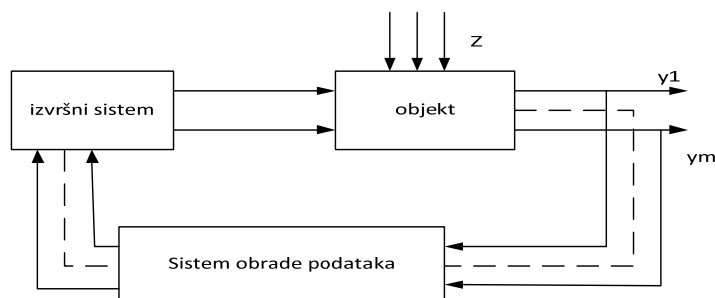
U cilju da se spreči gubitak radne sposobnosti dizel motora mogu se prema rezultatima kontrole prognozirati promene njegovog stanja, odnosno da se predvidi karakter promena radne sposobnosti u budućnosti.

e) Sistemi havarijske zaštite

U slučaju kada prilikom havarijskog stanja sistema, pored prognoziranja stanja objekta, treba uticati i na njega radi prestanka rada ili prelaska na bezbedan režim, primenjuju se specijalni sistemi koje nazivamo sistemi havarijske zaštite. Sistemi havarijske zaštite predstavljaju sveukupnost sistema prognoziranja sa uređajima koji utiču na objekat prilikom pojave havarijskog stanja.

Informacija o stanju objekta (dizel motora) u vidu signala $\bar{y}_j (j = 1, 2, \dots, m)$ prenosi se u sistem kontrole (Slika 5.8.). Sistem primanja i obrade informacija čija struktura zavisi od namene sistema kontrole, obrađuje dobijenu informaciju i izrađuje rešenje u vidu signala upravljanja X_i . Izvršni sistem transformiše signale upravljanja u upravljačka dejstva, koja deluju na objekat (dizel motor) u slučaju primene sistema zaštite ili se prosleđuju operativnom bloku kako bi primenio rešenje o stanju objekta (dizel motora). Svi sistemi kontrole su informacioni sistemi, u čijem radu se javljaju greške.

¹¹⁵ Ордынацев, В., Математическое описание объектов автоматизации, М. Машиностроение, 218 с, 1965.



Slika 5.8. Šema sistema kontrole

Izvor: Spasic, D., *Osnove prognoziranja pouzdanosti dizel motora*, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Smederevo, 2016.

Sistemi kontrole u svom sastavu imaju senzore (davače) parametara, uređaje za transformaciju i rešavanje, lance upravljanja¹¹⁶. Iz toga sledi da izvori grešaka u radu mogu biti:

- tačnost algoritma kontrole,
- strukturna pouzdanost,
- tačnost regulacije i brzine dejstva sistema.

Kao što je poznato za sve sisteme kontrole važe dve vrste grešaka¹¹⁷:

1. Greške I tipa. Sistem kontrole ne utvrđuje havarijsko stanje objekta. U teoriji pouzdanosti takve greške se nazivaju rizik naručioca, kada se objekat koji je izgubio radnu sposobnost, uzima kao radno sposoban.
2. Greške II tipa. Sistem kontrole formira lažni signal za upravljanje te se radno sposobni objekat priznaje kao objekat bez radne sposobnosti što predstavlja rizik isporučioaca.

Ukazane greške kontrole se javljaju usled:

- ograničene tačnosti kontrole parametara radnog procesa,
- zbog grešaka u radu senzora sistema,
- nepouzdanost sistema kontrole kao tehničkog uređaja,
- završno brzo dejstvo sistema kontrole,
- greške u izboru parametara kontrole.

Struktura i funkcionisanje sistema havarijske zaštite

Svi savremeni dizel motori imaju sistem upravljanja i sistem zaštite kako bi normalno funkcionisali. U zadatak sistema upravljanja ulazi održavanje parametara objekta u skladu sa zadatom tačnošću u okviru ustanovljenih granica. Ako otkazi sistema upravljanja ili objekta (dizel motora) izazivaju pojavu takvog procesa kojim se ne može upravljati čiji razvoj može da dovede do opasnih stanja, onda se taj proces mora prekinuti

¹¹⁶ Nikolić, D., Adamović, Ž., Spasić, D., Cukić, D., Uticaj modela dijagnostike stanja na pouzdanost motornih vozila, Naučno stručni časopis „Održavanje mašina“, godina XIV, broj 1-2, str.27-32, ISSN 1452-9688, Smederevo, 2017.

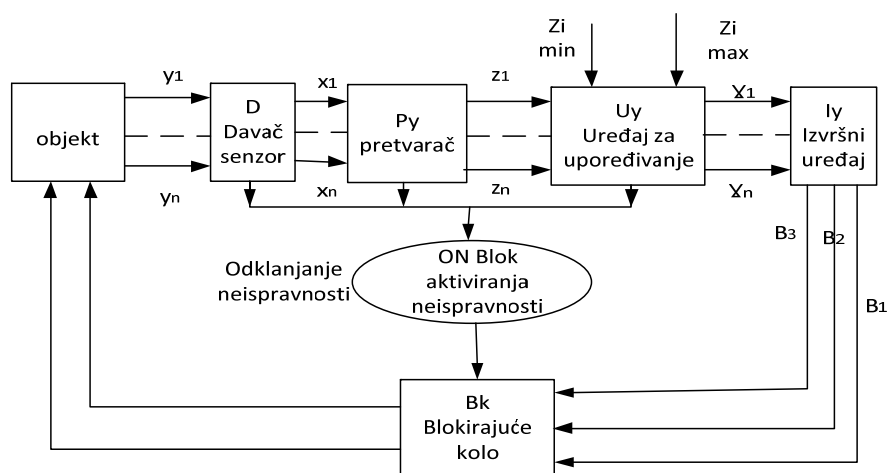
¹¹⁷ Дунин-Барковский, И, Смирноб, Н, Теория вероятностей математическая статистика в технике, М., Гостехиздат, 511 с, 1955.

aktiviranjem sistema kontrole radne sposobnosti, koji se naziva sistem havarijske zaštite (Slika 5.9.).

Zato su za objekat (dizel motor) kojim se upravlja, sistem upravljanja i sistem zaštite funkcionalno povezani.

Kako sistem zaštite ima dve vrste otkaza, lažne i neotkrivene, onda se u šemu sistema mogu uvesti i blokovi otkrivanja neispravnosti (ON), i blokirajuća kola (BK) koji zaustavljaju uticaj neispravnog sistema na objekat. Za određivanje karakteristike primene sistema zaštite neophodno je pronaći uzajamnu vezu osobina dizel motora sa osobinama sistema upravljanja i sistema zaštite, sa aspekta njihove pouzdanosti¹¹⁸.

Najvažnije karakteristike pouzdanosti sistema upravljanja i sistema zaštite su vreme u zastoju, nastalog zbog lažnih aktiviranja ili verovatnoća lažnog isključivanja i verovatnoća neotkrivenih otkaza.



Slika 5.9. Šema sistema zaštite

Izvor: Spasic, D., *Osnove prognoziranja pouzdanosti dizel motora*, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Smederevo, 2016.

Proces uzajamnog delovanja sistema zaštite na dizel motor se određuje uzajamnom vezom njihovih stanja. Moguća stanja motora su: radno O_r , isključeno O_i i havarijsko O_h , kada je jedan od kontrolisanih parametara izašao van dozvoljenih granica.

Sistem havarijske zaštite se, takođe, nalazi u jednom od stanja: u ispravnom (radno) S_r , neispravnom S_n , neotkriveni otkazi, i neispravnom pri lažnim otkazima S_L . Zbog pojave bilo kog stanja u nekom trenutku vremena havarijskog režima rada motora on će preći iz stanja O_r u stanje O_h . Ako se u trenutku prelaska iz stanja O_r u stanje O_h sistem zaštite nalazi u ispravnom stanju S_r (stanje radno), onda će preći u isključeno stanje O_i . Posle isteka perioda vremena sistem se vraća u radno stanje i proces funkcionisanja počinje ponovo. Objekat prelazi iz radnog stanja u neradno onda kada je sistem zaštite u stanju lažnog otkaza S_L . Kada u bilo kom momentu dođe do pojave havarijskog režima objekat

¹¹⁸ Spasić, D., Adamović, Ž., Radovanović, Lj., Prognoziranje Pouzdanosti i uticaj svojstava sistema upravljanja na karakteristike i efikasnost objekta zaštite dizel motora, XVII konferencija, Vibrodijagnostičko i tribodijagnostičko proaktivno održavanje mašina, Vrnjačka Banja, 30.09.2016, ISBN 978-86-83701-45-2

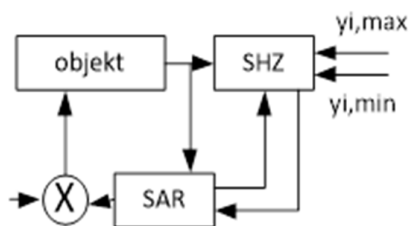
prelazi iz radnog stanja O_r u stanje havarije O_h . Ako se tada sistem zaštite nalazi u neispravnom stanju, doći će do takozvanog katastrofalnog otkaza i dizel motor će ostati u stanju havarije O_h . Ovi prelazi se određuju fizičkim procesima, koji se dešavaju u motoru i u sistemu za upravljanje.

Sistem zaštite (dizel motora) ima sistem regulacije određenih parametara radnog procesa, koji održava njihove vrednosti u zadatim granicama. Sistem regulacije je uzajamno povezan sa sistemom zaštite.

Regulisani parametar y_i može izaći van dopuštenih granica zbog sledećih uzroka:

- otkaz čitavog motora iz bilo kojih razloga kada sistem regulacije ne obavlja svoje funkcije, koje se sastoje u održavanju regulisanog parametra u zadatim granicama;
- otkaz sistema regulacije koji dovodi do izmena regulisanog parametra;
- otkaz sistema regulacije koji ne menja stanje regulatora, ali ostavlja motor bez upravljanja jer regulisani parametar zbog određenih smetnji izlazi van dopuštenih granica;
- dejstvo spoljašnjih i unutrašnjih ometajućih faktora.

U slučaju otkaza sistema regulacije, da dizel motor ne bi ostao nevođen (bez upravljanja), a izmene stanja regulatora kod otkaza ne dovedu do havarijskog stanja, ostvaruje se funkcionalna veza između sistema automatske regulacije (SAR – sistem automatske regulacije) i sistema havarijske zaštite (SHZ – sistem havarijske zaštite)¹¹⁹. Ta veza obezbeđuje aktiviranje sistema zaštite kod otkaza sistema regulacije (Slika 5.10.).



Slika 5.10. Sistem havarijske zaštite automatske regulacije

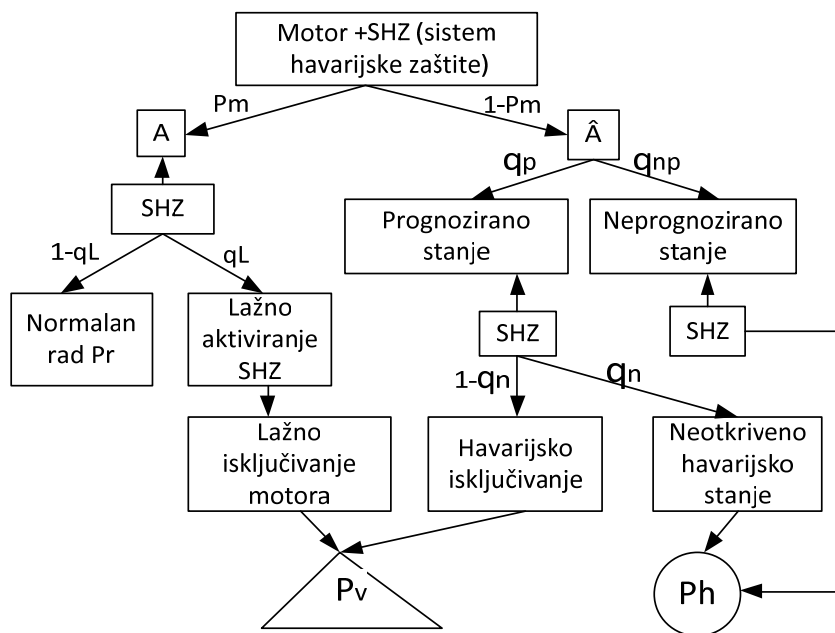
Izvor: Spasic, D., *Osnove prognoziranja pouzdanosti dizel motora*, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Smederevo, 2016.

Uzajamnu vezu između sistema havarijske zaštite i motora prikazana je Slici 5.11.

U opštem slučaju motor se može nalaziti u dva stanja:

- A – ispravnom;
- \bar{A} – neispravnom, kada je motor u havarijskom stanju, koje može da pređe u otkaz;
- q_N – verovatnoća neotkrivenih otkaza;
- q_L – verovatnoća lažnih otkaza.

¹¹⁹ Dunin-Barkovski, I.V., Sminorv, N.V., *Probability theory and mathematical statistics in the technique*, M., Gostehizdat, SSSR, 551 pp., 1955.



Slika 5.11. Šema uzajamnog dejstva SHZ i motora

Izvor: Spasic, D., *Osnove prognoziranja pouzdanosti dizel motora*, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Smederevo, 2016.

U zavisnosti od stanja sistema havarijske zaštite motor može da se nalazi u radnom stanju, da bude isključen ili u stanju otkaza. Iz havarijskog stanja \hat{A} motor može preći u jedno od dva stanja: ako je sistem havarijske zaštite neispravan i nije u stanju da otkrije otkaz/stanje $N/$, onda motor samostalno prelazi u stanje otkaza; ako je sistem havarijske zaštite ispravan /stanje $\bar{N}/$, motor će biti isključen pre nego nastupi otkaz – stanje B.

Iz ispravnog stanja A motor može preći u stanje B ako se sistem zaštite nalazi u stanju lažnih otkaza L ili može da nastavi da radi ako je sistem zaštite u ispravnom stanju¹²⁰.

5.3. RAZVOJ MODELA POUZDANOSTI DIZEL MOTORA

Savremeni dizel motor je prema sastavu složen multifunkcionalni sistem. Složeni sistemi zahtevaju povećanje obima informacija koja karakterišu stanje sistema, brzinu protoka radnih procesa, što prevazilazi ljudske mogućnosti kontrole radne sposobnosti sistema.

Greške u kontroli mogu ozbiljno da ugroze pouzdan rad dizel motora. Direktna način za povišenje pouzdanosti rada dizel motora je smanjenje greške kontrole. Na smanjenje grešaka u kontroli može se višestruko uticati, a jedan od načina je i rezervisanje, odnosno direktno kod greške kontrole je rezervisanje senzora kontrole.

Novim modelima se uvode izmene na radnim sistemima (sistem upravljanja radom, kontrole i zaštite) dizel motora i izmene u konstrukciji samih dizel motora što svakako

¹²⁰ Барабаш, Ю., Варский, К., Вопросы статистической теории распознавания, М. Советское радио, 260 с, 1967.

predstavlja napredak i povišenje pouzdanosti. Osim toga značajan je i period eksploatacije motora, jer na pouzdanost se ne može računati samo izmenama i doprinosom na motorima već i održavanjem dizel motora tokom eksploatacije. Kako sama hipoteza ovog rada kaže „model pouzdanosti dizel motora doprineće povišenju pouzdanosti i sigurnosti funkcionisanja dizel motora u procesu eksploatacije“. Pošto su danas dizel motori sve kompleksniji, produktivniji i skuplji i od njih se zahteva visoka pouzdanost odnosno minimiziranje stanja u otkazu, do gotovo potpunog eliminisanja otkaza. Razmatrajući sve prethodno navedeno u daljem tekstu će se prikazati neki od modela koji mogu da pouzdan rad dizel motora podignu na viši nivo.

Modeli za povišenje pouzdanosti rada dizel motora mogu se primeniti:

- uvođenjem izmena u konstrukciju samih dizel motora i njegovih sistema
- uvođenjem novih modela održavanja tokom eksploatacije dizel motora.

5.3.1. Model povišenja pouzdanosti dizel motora uvođenjem rezerviranja

Rezervisanje kao metoda povišenja pouzdanosti dizel motora u najširem ima smisla kod sistema zaštite i kod određenih senzora (davača) koji utiču na dobijene pouzdane informacije za motorni računar pri određivanju najboljih rednih parametara. Međutim, pošto je dizel motor agregat koji se koristi i za pokretanje postrojenja od vitalnih važnosti, kao što su dizel električni agregati u bolnicama, pumpe u nuklearnim postrojenjima, ventilacijska postrojenja za svež vazduh u rudnicima u razmatranje se može uzeti i rezerviranje drugih komponenata kao jedan od efikasnijih načina za povišenje pouzdanosti.

Rezerviranje je model za povišenje pouzdanosti koji dozvoljava formiranje sistema čija pouzdanost može biti veća od pouzdanosti njihovih elemenata. Rezerviranje je metoda povećanja pouzdanosti uključivanjem rezervnih elemenata u razradu sistema u procesu eksploatacije. Svaka metoda rezerviranja je zasnovana na principu suvišnosti. To znači da uporedo sa osnovnim elementima ili sistemima u celini, koji ispunjavaju za njih zadatu funkciju, predviđaju se i suvišni, tj. rezervni elementi ili sistemi. Oni nisu funkcionalno neophodni i predviđeni su za zamenu odgovarajućih jedinica u slučaju njihovog otkaza. Osnovni parametar koji karakteriše strukturu rezerviranja je multiplikativnost. Multiplikativnost podrazumeva odnos broja rezervnih elemenata i broja elemenata potrebnih za normalno funkcionisanje.

Multiplikativnost rezerviranja α je:

$$\alpha = \frac{n-l}{l} \quad (5.6.)$$

n – opšti broj elemenata;

l – broj elemenata potrebnih za normalno funkcionisanje i

$m = n - l$ – broj rezervnih elemenata.

Od odnosa veličina n i l multiplikativnost može biti ceo broj ili razlomak. Rezerviranje čija je multiplikativnost ceo broj je rezerviranje kod koga je za normalno funkcionisanje rezerviranog sastava dovoljno da bude ispravan makar jedan element. U tom slučaju je multiplikativnost uvek jednaka broju rezervnih delova.

Tako da ako je za ispunjavanje funkcije dovoljno imati jedan elemenat, a sa ciljem povećanja pouzdanosti se koriste 4 ista elementa, onda će multiplikativnost rezerviranja biti $\alpha = \frac{4-1}{1} = 3$, odnosno multiplikativnost je jednaka količini rezervnih elemenata. Kada je rezultat multiplikativnosti rezerviranja razlomak, normalan rad rezerviranog sastava je moguć samo u uslovima kada broj ispravnih elemenata nije manji od neophodnog broja potrebnog za normalan rad. Znači ako dizel motor ima 3 jednaka davača temperature motora, a za ispunjenje zadatka je dovoljno imati 2 davača, 1 će onda biti rezervni. Tada će se koristiti rezerviranje čija je multiplikativnost (deljivost) razlomak $\alpha = \frac{3-2}{2} = \frac{1}{2}$.

Rezerviranje se može ostvariti bilo na celom sistemu npr. sistemu zaštite motora, bilo na njegovom zasebnom elementu zaštite od pregrevanja. Prema tome razlikujemo dve metode rezerviranja: opšte i pojedinačno rezerviranje.

Pri opštem rezerviranju rezervira se ceo sistem sa njemu sličnim sistemima. Na primer, za ispunjenje programa dovoljno je imati sistem zaštite, koji se sastoji iz l -jednakih sistema zaštite rada dizel motora. Za povećanje pouzdanosti se za zaštitu od otkaza rada motora uvodi m – sistema zaštite rada dizel motora. Kod pojedinačnog rezerviranja rezerviraju se zasebni elementi koji se odlikuju nedovoljnom pouzdanošću. Ovo rezerviranje se kod motora može primeniti za obezbeđivanje pouzdanosti elemenata automatike, odnosno ventila, senzora, releja pritiska, strujnih kola itd.

Pojedinačno rezerviranje se može primeniti samo tada kada uključivanje rezervnih elemenata ne menja režim rada, ni izlazne parametre, i ne narušava radnu sposobnost čitavog sistema. Po načinu uključivanja rezervi oba rezerviranja mogu biti rezerviranja sa konstantno uključenom rezervom ili rezerviranja po principu zamene. Kod konstantno uključene rezerve, osnovni i rezervni elementi funkcionišu istovremeno, od samog trenutka puštanja sistema u rad. Ovaj sistem mora biti projektovan tako da otkaz elemenata ne utiče na njegov rad. U datom slučaju svi elementi i osnovni i rezervni su uključeni u šemu konstantno i funkcionalno su uzajamno povezani.

Kako bi se obezbedila pouzdano funkcionisanje ovakvog sistema primenjuju se specijalni sistemi kontrole radne sposobnosti i zaštite, koji prognoziraju pojavu otkaza i isključuju one elemente koji se nalaze u havarijskom stanju, pre trenutka nastupa otkaza sa ciljem da se zaštite ostali elementi.

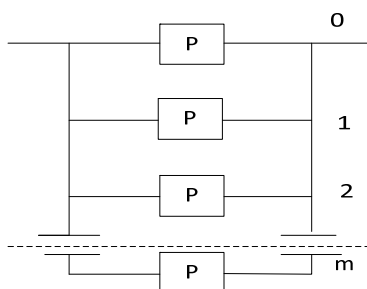
Kod rezerviranja po principu zamene, rezervni elementi se uključuju u rad samo onda kada otkazu osnovni. U zavisnosti od stanja rezervnih elemenata, rezerviranje zamenom može biti „hladno“ i „vruće“. Ako se pre otkaza osnovnih elemenata rezervni elementi nalaze u neaktivnom stanju, rezerviranje će biti „hladno“. Ako se rezervni elementi nalaze u radnom stanju onda će rezerviranje biti „vruće“. Da bi se ostvarila ova metoda rezerviranja potrebno je imati specijalne sisteme za uključivanje, koji bi u potrebnom trenutku morali da uključe u rad rezervne elemente.

U zavisnosti od toga u kakvom su odnosu osnovni i rezervni element, rezerviranje može biti fiksirano i klizno.

Ako su rezervni elementi jednoznačno uporedni sa osnovom, reč je o fiksnom rezerviranju. U slučaju kada bilo koji osnovni elemenat iz l može da zameni bilo koji rezervni elemenat iz skupa m , govorimo o kliznom rezerviranju.

- Pojedinačno rezerviranje sa konstantno uključenom rezervom

Kod uključene rezerve svi $m + 1$ elementi rade pod jednim opterećenjem – pritisak, temperatura, snaga i druge (Slika 5.12.). Kod otkaza bilo kog elementa opterećenje na ostale m -elemente se povećava. To može da smanji pouzdanost sistema. Polazeći od prihvaćenih dopuštenja pouzdanost rezerviranog sistema koji se sastoji od $m + 1$ elemenata određuje se na sledeći način: verovatnoća da će se dogoditi otkaz sistema zbog otkaza nekog i od $m + 1$ elemenata, jednaka je proizvodu verovatnoća otkaza tih elemenata¹²¹.



Slika 5.12. Pojedinačno rezerviranje sa konstantno uključenom rezervom

Izvor: Spasić, D., Meza, S., Otić, G., Adamović, Ž., *Optimalno rezerviranje kao metoda povećanja pouzdanosti motora, Održavanje mašina, Smederevo*

Efikasnost rezerviranja karakteriše koeficijent povećanja pouzdanosti – K_p , koji predstavlja odnos između verovatnoće ispravnog rada rezerviranog sistema i verovatnoće ispravnog rada nerezerviranog sistema:

$$K_p = \frac{\text{verovatnoće ispravnog rada rezerviranog sistema}}{\text{verovatnoće ispravnog rada nerezerviranog sistema}}$$

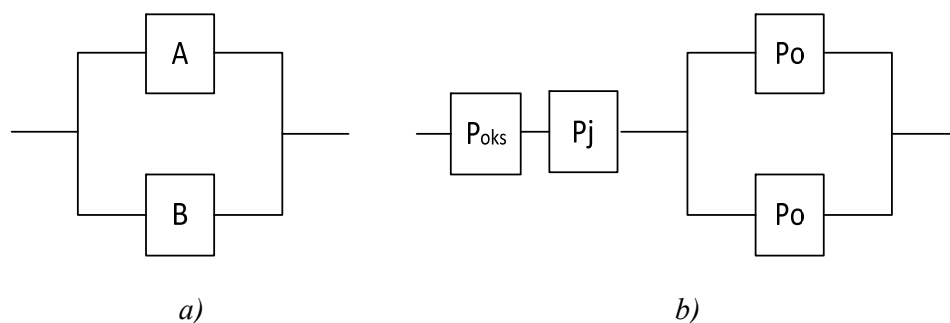
Rezerviranje treba svrsishodno primeniti za elemente koji imaju malu pouzdanost. Sa povećanjem broja rezervnih elemenata efikasnost rezerviranja raste.

Pošto je rezerviranje kod dizel motora najoptimalnije na sistemu zaštite motora posebno kod elektro komponenti, kod nekih elemenata mogu da se jave dva vida otkaza: prekid i kratki spoj.

Kod njih će efikasnost rezerviranja biti niža nego što sledi iz već pomenute analize. Neka su dva elementa A i B, potpuno jednaka, povezana paralelno, Slika 5.13.a. U tom slučaju otkaz celog sistema će nastupiti kada dođe do prekida kola u oba elementa, odnosno u odnosu na prekid upotrebljeno je rezerviranje čija je multiplikativnost jednaka jedinici.

¹²¹ Spasić, D., Meza, S., Otić, G., Adamović, Ž., *Optimalno rezerviranje kao metoda povećanja pouzdanosti motora, časopis Održavanje mašina, god. XIII, br. 1-2, ISSN 1452-9688, st.17-24, Smederevo, 2016.*

Ako su u elementima mogući kratki spojevi onda će verovatnoća otkaza celog sastava zbog kratkih spojeva biti viša nego kod jednog pojedinačnog elementa.



Slika 5.13. Šema elektro povezivanja dva elektromotora

Veza funkcioniše normalno kod sledećih stanja elemenata:

- a) nema prekida ni kratkih spojeva u elementima A i B – hipoteza H_1 ;
- b) nema kratkih spojeva, a moguć je prekid kola u jednom od elemenata – hipoteza H_2 ;

Verovatnoću ispravnog rada veze (skupa) određuje zbir verovatnoća hipoteza¹²²:

Verovatnoću ispravnog rada veze (skupa) = Verovatnoća(H_1) + Verovatnoća(H_2)

Efikasnost rezerviranja zavisi od odnosa verovatnoća kratkih spojeva i prekida kola. Rezerviranje je efikasno ako je $K_p > 1$ ¹²³.

- Opšte rezerviranje sa kontinuirano uključenom rezervom

Neka se sistem sastoji iz n -jednakih elemenata, koji imaju uvek isti režim rada. Za ispunjenje zadatka dovoljno je imati u ispravnom stanju l – elemenata, a $n - l = m$ se nalazi u „vrućoj“ rezervi. Pri otkazu bilo kog broja elemenata jedan do m sistema ispunjava zadatak¹²⁴.

Prihvata se kao dopušteno:

- otkazi svih elemenata predstavljaju najjednostavniji lančani sistem događaja;
- svi elementi su podjednako pouzdani;

¹²² Половко, А., Основы теории надежности. М. Наука. 446с. 1964.

¹²³ Васильев, Б., Козлов, Б., Ткаченко, Л., Надежность ракетные двигатели. М. Воениздат. 590 с. 1970.

¹²⁴ Spasić, D., Jovanov, N., Lutovac., M., Lutovac., D., Optimalre servation model for the increase of motor reliability, Proceedings of the International Conference “ Composite Materials, Ecology, Information Tehnology, Economics and Low” (ELASA-2017)(1-3 July 2017, Tivat, Montenegro) Ivanovo (russia): институт химии растворов им. Крестова Российской академии наук (ИХР-РАН) G.A Krestov Institute of Solution Chemistry of Russian Academi of Sciences (ISC-RAS) 2017, st. 351-357, 427 pp. ISBN 078-5-905364-09-9, 2017.

- uređaji za isključivanje elemenata koji ne rade su idealni;
- pri otkazu jednog od m-elemenata u drugim elementima radni režimi se ne menjaju.

Rezerviranje po principu zamene kliznom „hladnom“ rezervom

U nekim sistemima se može primeniti rezerviranje nekih elemenata koji se, pri ispravnom stanju osnovnih elemenata, nalaze u neradnom (neaktivnom) stanju. Rezervni elementi mogu da zamene bilo koji osnovni element.

Neka sistem ima n osnovnih elemenata i m rezervnih, koji se nalaze u hladnoj rezervi. Uzeće se u obzir sledeće: svi elementi, osnovni i rezervni su jednaki i podjednako pouzdani; sistem za prebacivanje je idealan; rezervni elementi počinju da gube pouzdanosti tek kada se uključe umesto osnovnih koji ne rade.

Efikasnost rezerviranja

Efikasnost rezerviranja podrazumeva povećanje nekog pokazatelja kvaliteta sistema u toku primene sistema rezerviranja¹²⁵. Pokazatelji mogu biti različiti: snaga, trajnost, pouzdanost i drugi¹²⁶. Imamo promenu pouzdanosti sistema u toku primene sistema rezerviranja.

U tom smislu efikasnost je odgovarajuće uvećanje pouzdanosti rezerviranog elementa, uređaja u poređenju sa nerezerviranim. Pokazatelj efikasnosti će se izračunati:

$$E = \frac{R_{re}-R}{R}, \quad (5.7.)$$

gde je:

$R = R_b$ – pouzdanost nerezerviranog elementa – uređaja;

R_{re} – pouzdanost rezerviranog elementa – uređaja.

U zavisnosti od odnosa veličina R_{re} i R , efikasnost može da se menja u granicama $-1 < E < \infty$.

Tako:

ako je $R_{re} > R$ i $E > 0$ i rezerviranje će biti u korist pouzdanosti;

ako je $R_{re} = R$ i $E = 0$, to jest rezerviranje ne povećava pouzdanost sistema;

ako je $R_{re} < R$ i $E < 0$, to jest primena rezerviranja neće biti efikasna.

Efikasnost rezerviranja zavisi od koeficijenta sistema havarijske zaštite K_{SHZ} . U idealnom sistemu havarijske zaštite je $K_{SHZ} = 1$.

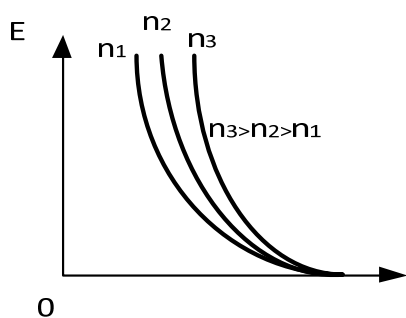
U tom slučaju efikasnost se određuje pouzdanošću, opštim brojem elemenata i brojem rezervnih elemenata. Do povećanja efikasnosti, takođe, dovodi i rast broja elementa, odnosno uređaja u motoru.

¹²⁵ Spasić, D., Meza, S., Alargić, P., Otić, G., Optimizacija rezerviranja motora, XXXIX Majska konferencija »Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja« Serbian Technical diagnostic society, Vrnjačka Banja, 20. 05. 2016., ISBN 978-86-83701-43-8

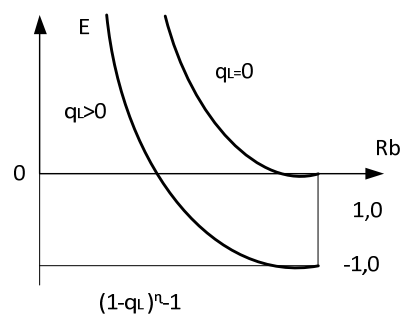
¹²⁶ Božić, R., Popović, M., Eksploatacija i održavanje vozila, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Saobraćajni Fakultet Doboj, 2009.

Na Slici 5.14. pokazana je kvalitativna zavisnost pokazatelja efikasnosti od pouzdanosti i broja elementa, odnosno uređaja. U realnim uslovima sistem havarijske zaštite ima greške, $K_{SHZ} < 1$ i efikasnost rezerviranja je manja nego u idealnom slučaju.

Na Slici 5.15. data je zavisnost efikasnosti rezerviranja od pouzdanosti elementa i verovatnoće lažnih otkaza. Što je veći broj lažnih otkaza efektivnost se smanjuje, a samim tim i pouzdanost tako rezervisanog tehničkog sistema.



Slika 5.14. Zavisnost efikasnosti rezerviranja od od karakteristika



Slika 5.15. Zavisnost efikasnosti rezerviranja od pouzdanosti elementa i verovatnoće lažnih otkaza

Izvor: Volkov, E.B., Sudokov, R.S., Siricin, T.A., *Osnove teorije pouzdanosti raketnih motora*, Mašingradnja, Moskva, 1974.

5.3.2. Metode za smanjenje grešaka kontrole rada dizel motora

Greške sistema kontrole

a) Greške kontrole na osnovu jednog parametra

Sistem kontrole proverava radnu sposobnost objekta (dizel motora) na osnovu jednog parametra. Uslov radne sposobnosti objekta na osnovu jednog parametra može da se zapiše u obliku:

$$y - Y < 0 \quad (5.8.)$$

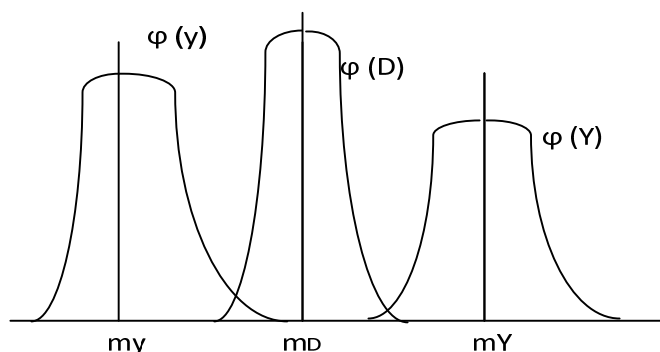
gde je:

y – parametar koji kontroliše,
 Y – dozvoljena vrednost parametra koji se kontroliše.

Uslov $y - Y < 0$ se može protumačiti u opštem slučaju na sledeći način: Y je opterećenje dizel motora, a y predstavlja snagu. Kada je opterećenje manje od snage dizel motora, motor je radno sposoban. Ako je opterećenje koje deluje na motor veće od snage motora, izgubiće se radna sposobnost.

U procesu rada na opterećenje i na snagu motora utiče mnogo slučajnih faktora. To su one slučajne funkcije koje imaju svoje zakone raspodele $\varphi(y)$ i $\varphi(Y)$. Radna sposobnost tehničkog sistema se kontroliše merenjem parametara radnog procesa y senzorom

(davačem) kontrole. Očitavanja senzora (davača) su, takođe, slučajne veličine i imaju funkciju raspodele $\varphi(D)$ ¹²⁷. U opštem slučaju zakoni distribucije $\varphi(y)$, $\varphi(Y)$ i $\varphi(D)$ mogu biti raspoređeni kako je pokazano na Slici 5.16.¹²⁸



Slika 5.16 Zakoni raspodele

Izvor: Spasić, D., Meza, S., Meza, D., Radovanović, Lj., *Automatization of the engine diesel control and error control, VII International Conference IIZS, 153-158 pp., 12-13.10.2017. Zrenjanin*

Senzor sistema kontrole podešava se na veličinu m_D tako da je prilikom ispunjavanja uslova $m_D - m_Y > 0$ sistem kontrole fiksirao gubitak radne sposobnosti objekta. Prilikom različitih kombinacija zakona raspodele $\varphi(y)$, $\varphi(Y)$ i $\varphi(D)$, sistem kontrole može formirati lažni signal ili uopšte da ne otkrije gubitak radne sposobnosti. Razmatramo događaje koji mogu da se pojave u procesu kontrole.

A događaj, kada je $y < Y$ – objekat je radno sposoban;

\bar{A} događaj kada je $y > Y$ – objekat je izgubio radnu sposobnost;

L_D događaj kada je $y > D$;

\bar{L}_D događaj kada je $y < D$;

N_D događaj kada je $Y < D$ i

\bar{N}_D događaj kada je $Y > D$.

Sistem kontrole formira lažni signal o gubitku radne sposobnosti, ako se realizuje odnos između događaja $L = A \cap L_D$ i ako ne otkrije gubitak radne sposobnosti pri uslovu $N = \bar{A} \cap N_D$. Prelazeći sa korelacije događaja na njihove verovatnoće, dobićemo verovatnoću lažnog signala:

$$Q_{L_D} = \text{Verovatnoća}(L) = \text{Verovatnoća}(A \cap L_D) \quad (5.9.)$$

i verovatnoću neotkrivenog otkaza:

$$Q_{N_D} = \text{Verovatnoća}(N) = \text{Verovatnoća}(\bar{A} \cap N_D) \quad (5.10.)$$

Uslov verovatnoća ovih događaja će se odrediti zavisnošću:

¹²⁷ Барабаш, Ю., Варский, К., Вопросы статистической теории распознавания, М. Советское радио, 260 с, 1967.

¹²⁸ Spasić, D., Meza, S., Meza, D., Radovanović, Lj., *Automatization of the engine diesel control and error control, VII International Conference - Industrial Engineering and Environmental Protection (IIZS 2017), Srbija, 153-158 pp., Proceedings, Zrenjanin, 12-13.10. 2017. ISBN 978-86-7672-303-4*

$$q_{L_D} = \text{Verovatnoća}(L_D / A) = \frac{\text{Verovatnoća}(A \cap L_D)}{\text{Verovatnoća}(A)} \quad (5.11.)$$

$$q_{N_D} = \text{Verovatnoća}(N_D / \bar{A}) = \frac{\text{Verovatnoća}(\bar{A} \cap L_D)}{\text{Verovatnoća}(\bar{A})} \quad (5.12.)$$

$i = 1, 2, \dots, n$. $v_i, u_i, \omega_i, z_i = v_i - u_i, z_{i+1} = v_i - \omega_i$, slučajne veličine

Verovatnoća ($z_1 < 0, z_2 < 0, \dots, z_n < 0$),

Pri normalnom zakonu raspodele slučajnih veličina imamo statističke veličine¹²⁹:

- matematička očekivanja: $m_{v_i}, m_{u_i}, m_{\omega_i}$;
- srednje kvadratno odstupanje: $\sigma_{v_i}, \sigma_{u_i}, \sigma_{\omega_i}$;
- koeficijenti korelacije: $\rho_{v_i u_j}, \rho_{u_i u_j} \dots$

Prelazom od događaja na slučajne veličine: $z_1 = y - Y; z_2 = D - y; z_3 = Y - y; z_4 = Y - D$

Verovatnoća lažnih i neotkrivenih otkaza u opštem slučaju¹³⁰:

$$Q_{L_D} = \text{verovat.}(z_1 < 0; z_2 < 0) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_y^{\infty} \varphi_y(\tau) d\tau \int_y^{\infty} \varphi_D(\tau) d\tau \right] \varphi(y) dy; \quad (5.13.)$$

$$Q_{N_D} = \text{verovat.}(z_3 < 0; z_4 < 0) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_y^{\infty} \varphi_y(\tau) d\tau \int_y^{\infty} \varphi_D(\tau) d\tau \right] \varphi(Y) dy; \quad (5.14.)$$

Verovatnoće grešaka zavise od statističkih karakteristika zakona raspodele m_j i σ_j .

Na Slici 5.17. prikazana je zavisnost greške kontrole od veličine parametara regulisanja m_D .

Iz analize zavisnosti q_{L_D}, q_{N_D} promenom regulacije senzora ne može se istovremeno smanjiti i verovatnoća grešaka. Smanjenjem verovatnoće lažnih signala, povećava se verovatnoća neotkrivenih otkaza i obrnuto.

Ipak se može uvesti zbirna karakteristika tačnosti sistema $V_D = q_{L_D} + q_{N_D}$, koja ima minimalnu veličinu pri određenim vrednostima parametara regulacije senzora m_D .

U svakom konkretnom slučaju primene sistema kontrole regulacija senzora mora da se opredeli na osnovu potreba za tačnošću kontrole.

b) Tačnost kontrole, kada se kontroliše m parametar

U kontroli stanja, po pravilu se kontroliše nekoliko parametara radnog procesa y_1, y_2, \dots, y_m . Označićemo događaj L_{D_j} lažnog signala po j -parametru, kada se ispunjava uslov: $D_j - y_j < 0$.

Sistem kontrole će formirati lažni signal u slučaju kada se desi makar i jedan događaj L_{D_j} . Tada će se događaj lažnog signala, po svim m parametrima L_m odrediti ovako:

¹²⁹ Вентцель, Е., Теория вероятностей. М. Наука. 576 с. Москва, СССР, 1962.

¹³⁰ Геннаденко, А., Курс теории вероятностей, М, Физматгиз, 406 с, 1961.

$$L_m = \bigcup_{j=1}^m L_{D_j} \quad (5.15.)$$

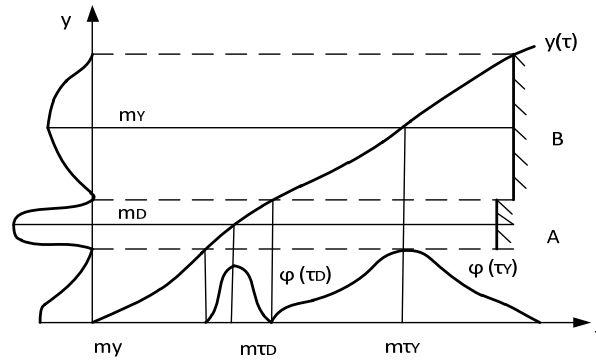
Verovatnoća pojave lažnog signala biće¹³¹:

$$q_{L_{DM}} = \text{Verovatnoća}(L_m) = \text{Verovatnoća}(\bigcup_{j=1}^m L_{D_j}) \quad (5.16.)$$

c) Greške nastale usled brzine dejstva sistema kontrole

Konkretna realizacija kontrolisanog parametra u nekom stanju, koje se javilo u trenutku τ_0 , određiće se zavisnošću prikazanoj na Slici 5.17.

Presek realizacije parametra $Y(\tau)$ sa površinom mogućih vrednosti regulacije senzora, oblast A, određuje gustinu raspodele momenta aktiviranja senzora $\varphi(\tau_S)$. Presek sa površinom nosivosti, oblast B, određuje gustinu momenata pojavljivanja gubitka radne sposobnosti $\varphi(\tau_Y)$.



Slika 5.17. Zavisnost karakteristika kontrole od $y(\tau)$

Izvor: Spasic, M. D., Milosevic, D., Janjic, N., Vulovic, M., Radovanovic, Lj., Model of forecasting the reliability by reducing control errors in lubrication system of diesel engine. Bulgaria, Sofia: J. Balk. Tribol. Assoc. , 2017.

Ako su $\varphi(Y)$, $\varphi(D)$, $\varphi(y)$ raspodeljeni prema normalnom zakonu tada će se, uz malu pretpostavku o stalnoj brzini promena kontrolisanog parametra [$y(\tau) = \text{const}$], i momenti aktiviranja senzora (davača) τ_D i razrušavanja τ_Y , takođe, raspodeliti prema normalnom zakonu. Statističke karakteristike površina raspodele $\varphi(\tau_Y)$ i $\varphi(\tau_D)$ se određuju na sledeći način¹³²:

$$m_{\tau_D} = (m_D - m_y) \frac{1}{y}; \quad m_{\tau_Y} = (m_Y - m_y) \frac{1}{y}. \quad (5.17.)$$

$$\sigma_{\tau_D}^2 = (\sigma_D^2 + \sigma_y^2) \left(\frac{1}{y}\right)^2; \quad \sigma_{\tau_Y}^2 = (\sigma_Y^2 + \sigma_y^2) \left(\frac{1}{y}\right)^2 \quad (5.18.)$$

Sistem kontrole će otkriti havarijsko stanje objekta ako se ispuni uslov¹³³:

¹³¹ Кородонский, X., Испытания контрольных агрегатов, Стандартизация, No 2, 30-38с, 1958.

¹³² Spasic, M. D., Milosevic, D., Janjic, N., Vulovic, M., Radovanovic, Lj., Model of forecasting the reliability by reducing control errors in lubrication system of diesel engine, Is accepted for publication and will be included in book 3, Vol. 23 (2017) of J Balk Tribol Assoc., ISSN 1310-4772

$$\tau_Y - \tau_D > \tau_S \quad (5.19.)$$

gde je τ_S – vreme brzog dejstva sistema kontrole.

Verovatnoća da sistem kontrole neće otkriti havarijsko stanje, zbog nedovoljno brzog dejstva (q_{Nb_j}) određiće se zavisnošću¹³⁴:

$$q_{Nb_j} = \text{Verovatnoća}[(\tau_Y - \tau_D) < \tau_S] \quad (5.20.)$$

Kada su brzine izmene parametara radnog procesa sistema kontrole velike, imaće više verovatnoća neotkrivenih havarijskih stanja ili otkaza tehničkog sistema.

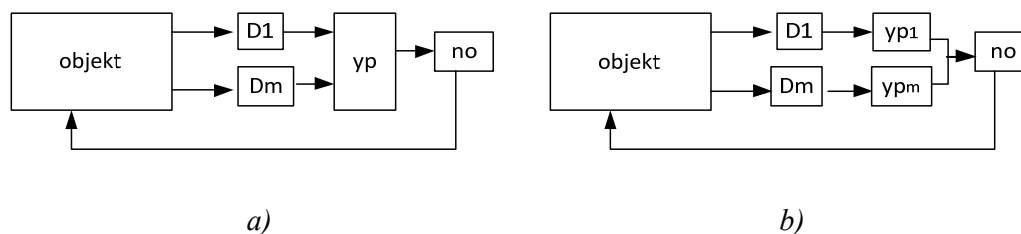
d) Zbirne greške sistema kontrole

Tačnost kontrole zavisi od tačnosti merenja kontrolnih parametara, brzog dejstva i pouzdanosti sistema kontrole.

Usled uzajamnog delovanja ovih faktora na izlazu sistema kontrole mogu biti tri signala:

- signal koji karakteriše normalno funkcionisanje objekta,
- lažni signal i
- signal neotkrivenog otkaza.

Verovatnoća pojave nabrojanih signala u drugim jednakim uslovima određuje se strukturnom šemom sistema kontrole (Slika 5.18.).



Slika 5.18 Strukturna šema sistema kontrole

Izvor: Spasic, M. D., Milosevic, D., Janjic, N., Vulovic, M., Radovanovic, Lj., *Model of forecasting the reliability by reducing control errors in lubrication system of diesel engine*. Bulgaria, Sofia: J. Balk. Tribol. Assoc., 2017.

Metode za smanjivanje grešaka kontrole

1. Rezerviranje senzora (davača)

Rezerviranje, kao metoda povišenja pouzdanosti dizel motora, u najširem ima smisla kod sistema zaštite kod senzora (davača). Rezerviranje je model za povećanje pouzdanosti koji dozvoljava formiranje sistema čija pouzdanost može biti veća od pouzdanosti njihovih elemenata. Rezerviranje je metoda povišenja pouzdanosti uključivanjem rezervnih senzora (davača) u postojeći sistem. Svaka metoda rezerviranja je zasnovana

¹³³ Volkov, E.B., Sudokov, R. S., Siricin, T.A., Basics of reliability theory of rocket engines, Mašinstroenie, Moskva, SSSR, 398 p., 1974.

¹³⁴ Логинов, Э., Челькис, Ф., Расчет характеристик надежности систем контроля работоспособности. Измерительная техника. Но 9. с12-17. 1969.

na principu suvišnosti. To znači da uporedo sa osnovnim davačem, koji ispunjavaju zadatu funkciju, predviđaju se i suvišni, tj. rezervni senzori (davači).

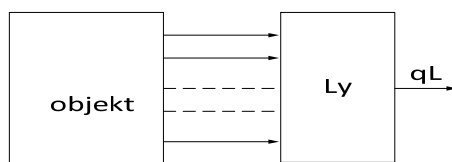
Radna sposobnost po y_j parametru se ne kontroliše samo jednim, već N sensorima (davačima) istog tipa, a svaki od njih formira signal onda kada se ispuni uslov:

$$u_j = D_j - y_j < 0$$

Sistem kontrole formira opšti signal samo u tom slučaju ako se aktivira n senzora iz N . Takav sistem senzora, niz N , se naziva ekvivalentni senzor.

2. Rezerviranje kanala kontrole

Na Slici 5.19. data je principijelna šema rezerviranja kanala kontrole. Svi m kanali kontrole su zatvoreni u jednom logičkom uređaju (LU) koji formira signal jedino kada se aktivira ne manje od l iz m kanala. Programi rada logičkog uređaja mogu biti različiti u zavisnosti od vrednosti m i l – $LU\left\{\begin{matrix} m \\ l \end{matrix}\right\}$ ¹³⁵.



Slika 5.19. Šema sistema kontrole sa rezerviranjem kanala

Izvor: Spasic, M. D., Milosevic, D., Janjic, N., Vulovic, M., Radovanovic, Lj., *Model of forecasting the reliability by reducing control errors in lubrication system of diesel engine*. Bulgaria, Sofia: J. Balk. Tribol. Assoc., 2017.

Verovatnoća pojave lažnog signala određuje se kombinacijom l i m , i uzajamnom vezom kanala.

Analiza smanjenja grešaka kontrole kod sistema za podmazivanje uvođenjem novih vidova senzorske kontrole i rezerviranjem već postojećih

Sistem za podmazivanje dizel motora je jedna od najvažnijih komponenti i zbog toga zahteva pravovremene i tačne informacije dobijene od senzora za automatsko upravljanje. Greške nastale u sistemu kontrole naročito u sistemu za podmazivanje mogu dovesti rad dizel motora u havarijsko stanje i krajnje u stanje otkaza. Podmazivanje je postupak kojim

¹³⁵ Kordonski, H. B., Testcontrolaggregates, Standardizacija, 2, pp.30-38., SSSR, 1958.

se pomoću tekućih i krutih maziva smanjuje trenje i trošenje u kliznim kontaktima. Dizel motor je opremljen sistemom za podmazivanja, s kružnim tokom ulja.

Stručnjaci kompanije Volvo već sedamdesetih godina su tvrdili da bi motor mogao izdržati nekoliko miliona kilometara u kontinuiranom radu, kad bi mu se motorno ulje moglo obnavljati¹³⁶.

U novije vreme se u sistem za podmazivanje uvode senzori kojima se mere mnogostruki parametri kritični za opšte stanje motora. Pa tako osim osnovnih senzora pritiska ulja, nivoa ulja, temperature ulje i temperature motora imamo:

- Električne senzore za monitoring čestica koji detektuju tela i čestice, feromagnetne i neferomagnetne koje mogu prouzrokovati veća oštećenja pokretnih delova. Generisanjem početnih uslova grešaka u dijagnostici motora može da se uoče potencijalna stanja kao što su ljušćenje ležajeva i time spreči otkaz dizel motora.
- Senzori za analizu napona mere ultrazvučne vibracije stvorene energijom udara ili usled velikog trenja kliznih pokretnih delova motora. Ovi senzori detektuju početne uslove otkaza u mehaničkim komponentama dizel motora.
- Senzori za monitoring stanja ulja mere parametre stanja ulja, kao i stanje uljnog sistema. U okviru uljnog sistema, takozvana „vruća mesta“ mogu da zapale i sprže ulje, a time unište radna svojstva ulja. Rano otkrivanje promene radne sposobnosti ulja, može da spreči otkaz dizel motora. Jedno od vrućih mesta je i turbokompresor koji, kada dođe do oštećenja na njegovim ležajevima zbog velikog broja obrtaja turbo punjača u radu, može da sprži ulje koje je u zajedničkom sistemu motora.
- Senzori dinamičkog pritiska, kao i mnogi drugi senzori se uvode u sistem zaštite sistema za podmazivanje, a sve u cilju prognoziranja i povišenja nivoa pouzdanosti dizel motora.

Na sistem za podmazivanje je zbog svoje važnosti i osetljivosti izuzetno važno vršiti automatski monitoring. Adekvatno praćenje stanja parametara daje kontroli mogućnost da predvidi kritična stanja i dizel motor prevede u bezopasni rad ili ga isključi, a sve u cilju da ne dođe do katastrofalnih oštećenja, koja su kod otkaza sistema za podmazivanje definitivno moguća.

Savremeni motorni uređaj poseduje veliki broj agregata, sistema za uključivanje i isključivanje, sistema regulacije parametara, u kojima se dešavaju različiti procesi – termički, mehanički, električni i drugi. Zato je dizel motor prema sastavu složen multifunkcionalni sistem. Složeni sistemi zahtevaju povećanje obima informacija, koje karakterišu stanje sistema, brzinu protoka radnih procesa, što prevazilazi ljudske mogućnosti kontrole radne sposobnosti sistema.

Novi pristup se u prvom redu odražava na metode ostvarivanja kontrole. On zahteva razradu sistema koji će obezbediti objektivnu kontrolu stanja objekata bez mešanja čoveka, odnosno automatsku kontrolu.

Povećanjem broja senzora koji prate sistem za podmazivanje zahteva i automatski sistem kontrole.

¹³⁶ <https://tabudic.wordpress.com>

Kontrola sistema za podmazivanje u okviru automatskog sistema kontrole dizel motora zasniva se na pretpostavci da su objekti determinisani, odnosno da svakom stanju objekta odgovaraju njegove, u potpunosti određene spoljašnje manifestacije, i obrnuto svakom dijagnostičkom signalu odgovara u potpunosti određeno tehničko stanje objekta. U zavisnosti od zadataka koji se rešavaju, automatske sisteme kontrole mogu se klasifikovati po njihovoj nameni.

Kontrole radne sposobnosti sistema za podmazivanje

Radna sposobnost sistema za podmazivanje je stanje sistema u kojem on odgovara svim zahtevima, utvrđenih odnosima osnovnih parametara stanja.

Otkrivanja neispravnosti u sistemu za podmazivanje

Pri otkrivanju neispravnosti rešava se zadatak pojave uzroka gubitka radne sposobnosti sistema za podmazivanje. Sve metode otkrivanja neispravnosti se mogu podeliti u tri grupe: metode indikacije, metode traženja neispravnosti i metode dijagnostike.

Sistem prepoznavanja otkaza

Sistemi, prethodno nabrojani, beleže samo određene pojave, kao što su radna sposobnost ili neispravnost, ali ne i njihove kvantitativne karakteristike.

U rešavanju ovakvih zadataka primenjuje se sistem prepoznavanja tipova.

Sistemi prognoziranja stanja sistema za podmazivanje

U cilju sprečavanja gubitka radne sposobnosti sistema za podmazivanje mogu se prema rezultatima kontrole, prognozirati promene njegovog stanja, odnosno može da se predvidi karakter promena radne sposobnosti u budućnosti.

Havarijska zaštita

U slučaju kada prilikom havarijskog stanja sistema, pored prognoziranja stanja dizel motora, treba uticati i na njega radi prestanka rada ili prelaska na bezbedan režim, primenjuju se specijalni sistemi koji se nazivaju sistemi havarijske zaštite.

Automatski sistem kontrole i sistem havarijske zaštite su u suštini uslovljeni tačnošću informacija koje dobiju od senzora (davača), smanjivanja grešaka kontrole kod sistema za podmazivanje. Uvođenjem novih vidova senzorske kontrole i rezerviranjem već postojećih, može se dovesti dizel motor na jedan viši, pouzdaniji nivo rada.

U poglavlju 5.1.1. u delu eksploatacione analize otkaza uočava se pojava otkaza zbog sistema za podmazivanje (uzrok istrošenost mazivnog sredstva – ulja) koji su imali za rezultat veće vreme odsustva vozila iz eksploatacije i znatna sredstva za saniranje svih oštećenja na više komponenata dizel motora.

Loš kvalitet ulja može da pruži razne informacije koje se u sistemu kontrole i zaštite mogu uzeti kao validne i sprečiti nastajanje otkaza. Istrošeno ulje za podmazivanje ima nedovoljan viskozitet, a samim tim i pad pritiska u sistemu i na različitim magistralama po kojima se ulje kreće. Rezerviranje već postojećih davača pritiska ulja na različitim magistralama može sprečiti neadekvatne i nepotpune informacije o pritisku ulja.

Električni senzori za monitoring čestica detektuju tela i čestice, feromagnetne i neferomagnetne koje mogu prouzrokovati veća oštećenja pokretnih delova. Ovo je posebno važno za jednu grupu vozila koja je analizirana u poglavlju 5.1.1. gde se u analizi prikazao problem pojave veće količine nečistoća u ulju zbog rada vozila na malom broju obrtaja.

Senzori za analizu napona mere ultrazvučne vibracije stvorene energijom udara ili usled velikog trenja kliznih pokretnih delova motora. Ovi senzori detektuju početne uslove otkaza u mehaničkim komponentama dizel motora.

Ovakav vid kontrole stanja bio bi od ogromnog značaja za oštećenja koja se javljaju na turbo punjačima. Iz prethodne analize gde je prikazan problem na dizel motoru Mercedes Sprinter, gde je oštećenjem ležaja, koji su podmazivani nedovoljno kvalitetnim uljem, došlo do oštećenja ležaja kompresora, a potom i do zadiranja lopatica kompresora u kućište, te ubacivanja opiljaka i zadiranja u kompresioni prostor što je zbirno izazvalo ogromna oštećenja i generalni remont čitavog dizel motora. Da su postojale informacije o povećanim vibracijama na turbo punjaču, sistem kontrole i sistem zaštite bi zaštitili dizel motor.

Senzori za monitoring stanja ulja mere parametre stanja ulja i stanje uljnog sistema. U okviru uljnog sistema, takozvana vruća mesta, mogu da zapale i sprže ulje, a time unište radna svojstva ulja. Rano otkrivanje promene radne sposobnosti ulja može da spreči otkaz dizel motora. Sva vruća mesta gde se nalazi ulje mogu biti kontrolisana davačima temperature. Trenutno se na motoru nalazi jedan do dva davača temperature što je nedovoljno za pokrivanje svih vrućih mesta magistrale po kojoj ulje cirkuliše. Rezerviranjem „vrućom“ i fiksnom rezervom davača temperature ulja kontroli rada i zaštite dizel motora, dajemo potpunije informacije za predviđanje karaktera promena radne sposobnosti u budućnosti i adekvatno reagovanje.

Senzori dinamičkog pritiska kao i mnogi drugi senzori se uvode u sistem zaštite sistema za podmazivanje, a sve u cilju prognoziranja i povišenja nivoa pouzdanosti dizel motora. Rezerviranje senzora je konstruktivna promena, ali i promena u softverskim sistemima praćenja, kontrole i zaštite. Sve to usložnjava dizel motor tako da već složeni tehnički sistem postaje još složeniji i zahtevniji u procesu održavanja.

Da bi dizel motor radio svojim maksimalnim kapacitetom, uz što manju potrošnju goriva, sa što manje tehničkih otkaza, pored svih potrebnih mera i postupaka pravilne eksploatacije, potrebno je voditi računa o izvođenju plansko preventivnog održavanja, a s tim u vezi, i o pravilnom odabiru vrste, viskoznosti, kvalitetnog motornog ulja, kao i optimalnog intervala njegove zamene u motoru.

U poglavlju 5.1.2. je urađena analiza motornog ulja u eksploataciji i laboratorijskog ispitivanja aditiviranja motornog ulja, tako da se problemi pojave otkaza uzrokovanih sistemom za podmazivanje i uljima za podmazivanje može prilično minimizirati.

Laboratorijska analiza korišćenog motornog ulja ukazuje na stepen njegove degradacije. Na degradaciju motornog ulja imaju uticaja sledeći činioci: kvalitet korišćenog pogonskog goriva, tehničko stanje motora, režim rada motora, uslovi eksploatacije kao i vrsta i kvaliteta motornog ulja.

Cilj ispitivanja je proveriti, kroz eksploataciona ispitivanja, uticaj nove generacije aditiva (dato u poglavlju 5.1.2.) na kvalitet ulja i dužinu eksploatacije motornog ulja. Rad na malom broju obrtaja utiče na degradaciju motornog ulja, a rad u stajanju vozila produžava vreme korišćenja motornog ulja. Dokazivanjem da se aditivirano motorno ulje može koristiti u dužem vremenskom intervalu obezbediće siguran kvalitet ulja u standardnom roku zamene i samim tim će se povisiti pouzdanost rada motora.

Može se zaključiti da se uvođenjem novih vidova senzorske kontrole, rezerviranjem već postojećih senzora (davača) i aditiviranjem motornih ulja može postići prilično visok nivo pouzdanosti rada sistema za podmazivanje, odnosno jedne od najvažnijih komponenti dizel motora.

5.3.3. Formiranje modela pouzdanosti u procesu eksploatacije dizel motora pomoću simulacije

Sam termin „simulacija“ (lat. simulatio) mogao bi se prevesti kao pretvaranje ili ponašanje kao da je stvarno tako.

Velike mogućnosti modernih računara, savremeni usko specijalizovani simulacioni jezici, sniženje troškova po operaciji i veliki napredak u metodologiji simulacije, proširili su područje primene simulacije.

Reč „simulacija“ u svakodnevnoj upotrebi opisuje različite aktivnosti, uključujući složene video-igre, ispitivanje različitih uticaja na let novih modela aviona, eksperimentalna istraživanja itd. Kada tu reč koriste računarski stručnjaci, organizatori, inženjeri, menadžeri ili statističari, obično pod simulacijom podrazumevaju izgradnju apstraktnih modela, koji predstavljaju neke sisteme ili podsisteme realnog sveta, kao i obavljanje određenih eksperimenata nad njima. Posebno je interesantan slučaj kada se taj eksperiment obavlja na računaru.

U smislu u kome se danas koristi, reč „simulacija“ vodi poreklo iz radova Nojmana i Ulama, s kraja četrdesetih godina prošlog veka. Oni su, rešavajući određene probleme veće složenosti, ustanovili da se rezultati ne mogu dobiti analitičkim putem, a izvođenje neposrednih eksperimenata bilo bi veoma skupo, te su pristupili korišćenju metode Monte Karlo. Na taj način dolazili su do matematičkih rešenja determinističkih problema stohastičkom simulacijom. Tako dobijeni rezultati imali su raspodelu verovatnoće, koja je zadovoljavala matematičke relacije datog determinističkog problema.

Proces simulacije se sastoji iz dve osnovne faze: faze izgradnje modela (modelovanje realnog sistema i njegova validacija) i faze eksperimentisanja na modelu s analizom dobijenih rezultata.

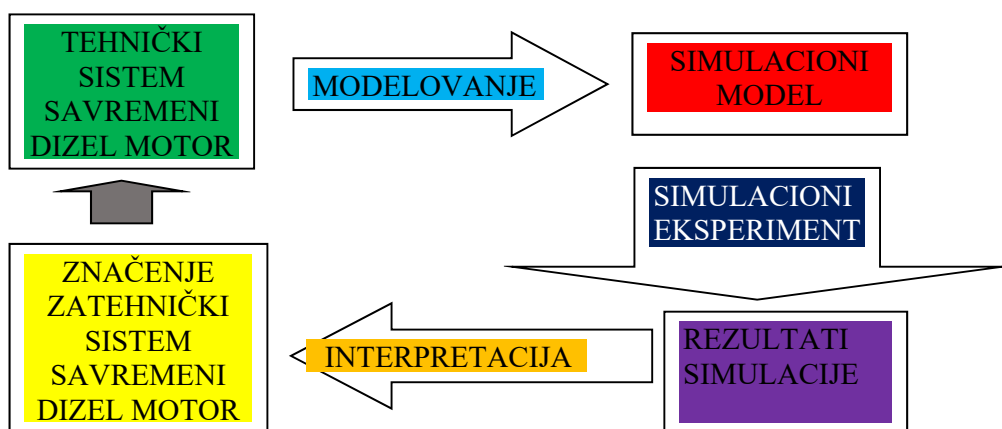
Suštinski, simulacija će se posmatrati kao korišćenje računarskih programa koji reprezentuju apstraktan model realnog sistema radi proučavanja i analize realnog sistema i njegovog ponašanja, a ujedno i ponašanja pri uvođenju novih tipova održavanja radi povišenja pouzdanosti.

Simulacioni modeli su modeli dinamičkih sistema kao što je tehnički sistem tj. dizel motor. Njihovo se stanje menja tokom nekog parametra (pređenog puta vozila u ovom slučaju). Oni omogućuju ispravan prikaz i efikasno izvođenje tokom pomaka vremena ili određenog pređenog puta. Takođe, omogućuju istovremeno odvijanje aktivnosti i opisivanje procesa. U slučaju dizel motora model opisuje realni sistem sa svim

karakteristikama koje su relevantne iz istraživačkog ugla posmatranja, a radi dobijanja određenih zakonitosti i zaključaka.

Realni sistem dizel motor modeluje se (oblikuje) prema građi (strukтури) u simbolički (apstraktni) model, koji se ponaša u ovom slučaju (u promenljivoj pređeni put) dinamički, a koji je prema načinu rešavanja stohastički zasnovan na slučajnom broju.

Definisanje cilja modela je simulacija rada dizel motora u eksploataciji kao prvi korak. U nastavku drugi korak obuhvata simulaciju rada sa uvedenim preventivnim radnjama održavanja u raznim scenarijima radi dobijanja povišenja pouzdanosti dizel motora kao tehničkog sistema. Na Slici 5.20. je prikazan proces simulacije.



Slika 5.20. Proces simulacije

Na osnovu saznanja iz analize modela pouzdanosti u poglavljima 5.1., 5.2., 5.3.1 i 5.3.2. pristupilo se razvoju posebnog modela pouzdanosti u procesu eksploatacije.

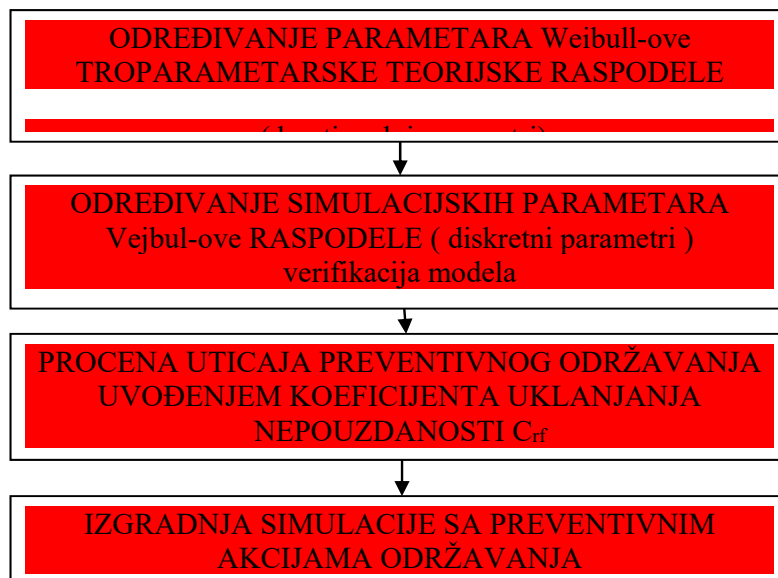
Nedostatak podataka o otkazima ili mali broj otkaza komponenti kod složenih tehničkih sistema, kakav je dizel motor obično je prepreka formiranju modela pouzdanosti. Da bi se prevazišao problem modeliranja pouzdanosti, praćenjem komponenti sistema otkaza kod sistema dizel motor, izveden je model pouzdanosti u procesu eksploatacije na bazi softverskih simulacija.

Ovaj model polazi od malog broja podataka o otkazima pojedinih komponenti, formira model koji uzima u obzir uticaj korektivnih akcija održavanja i informacija iz eksploatacije, pa pomoću Vejbulove troparametarske raspodele generiše model. Generisani simulacioni model omogućuje stvaranje simulacione slike stvarnog rada motora u simulaciji u prvom koraku, a u drugom uticaj uvođenja preventivnog, odnosno kombinovanog održavanja na povišenje pouzdanosti komponenti i čitavog dizel motora kao tehničkog sistema. Na Slici 5.21. je prikazan blok dijagram istraživanja.



Slika 5.21. Blok dijagram istraživanja

Izgradnja modela pouzdanosti u procesu eksploatacije dizel motora zasnovan na troparametarskoj Weibull-ovoj raspodeli pomoću Monte Karlo metode koja se sastoji iz četiri faze - koraka date na Slici 5.22.



Slika 5.22. Blok dijagram izgradnje modela

5.3.3.1. Izrada novog modela pouzdanosti u eksploataciji dizel motora

Popravljivi tehnički sistemi, kakav je dizel motor komunalnih vozila, gotovo je nemoguće modelovati prema pouzdanosti zbog malog broja otkaza po dekomponovanom podsistemu što je neretko posledica i korektivnog održavanja. Slično je i kada je u pitanju nepotpuna ili loše vođena dokumentacija o otkazima. U slučaju neizvršenja dekomponovanja dizel motora, motor se posmatra u celini kako bi se povećao broj podataka o otkazima čime se dobija krajnje simplifikovana slika kretanja pouzdanosti koja nema upotrebnu vrednost. Razvoj modela za popravljive kompleksne tehničke sisteme kakav je dizel motor, veoma je zahtevan posao pa postoji mali broj razvijenih modela.

Složeni tehnički sistemi su najčešće popravljivi i tokom akcija održavanja teži se što višem nivo pouzdanosti, te manjem broju otkaza sistema. Ovakva situacija ne omogućava da se posle niza korektivnih i kombinovanih (preventivnih i korektivnih) akcija održavanja uopšte spozna nivo pouzdanosti ili donesu pravilne odluke, te u potpunosti shvati uticaj održavanja. Modeli uglavnom daju procene parametara teorijskih raspodela, ali se tu uglavnom njihove mogućnosti i završavaju, jer ne uzimaju u obzir sve akcije održavanja. Model pouzdanosti je razvijen za popravljive komponente dizel motora gde eksploatacioni uslovi diktiraju da se značajnije akcije održavanja mogu sprovoditi samo u određenom intervalu (20000 km) i u trajanju od tri smene, tj. 24 h, gde se pouzdanost ovih komponenti podiže na viši ali ne i na apsolutni nivo.

Nakon inicijalne simulacije parametara Vejbulove troparametarske raspodele odabranih komponenti dizel motora generisan je simulacioni model koji će proceniti uticaj akcija održavanja na pouzdanost komponenti uzevši pređenu kilometražu do otkaza komponenti kao inpute. Nakon toga će biti formirana simulacija rada ovih komponenti na bazi ovih saznanja i time stvoren uvid u kretanje pouzdanosti tokom operativnog vremena rada. Na kraju ova simulacija rada komponenti će omogućiti i uvid u to kako kombinovane akcije održavanja potencijalno mogu uticati na pouzdanost komponenti, a time i čitavog dizel motora.

Planiranje održavanja na osnovu nivoa pouzdanosti tehničkih sistema klasifikovano je u korektivno održavanje (*CM*) i preventivno održavanje (*PM*)¹³⁷. Posmatrani dizel motor u specijalnim komunalnim vozilima radi u otežanim uslovima eksploatacije, spada u kompleksni popravljivi tehnički sistem, ima određeni broj korektivnih akcija održavanja, kao i redovan servis definisan pređenom kilometražom.

Operativno vreme rada jednog broja vozila sa dizel motorima u Javnom komunalnom preduzeću koje smo opservirali je 168 h nedeljno, a pređena kilometraža je tek 1000 km nedeljno, odnosno oko 150 km dnevno. Evidencija otkaza se vodi u odnosu na vreme i pređenu kilometražu. Pojava otkaza je bila u proseku na oko 25000 km, a redovan servis na 20000 km, tako da se može izvesti zaključak da je moguće planirati i neke preventivne radnje održavanja u redovnom servisnom terminu.

a) Ulazni podaci za proračun - dekomponovanje

Grupa vozila „I“ – G1

¹³⁷ Mojtaba Mahdavi, Mohamad Mahdavi, Optimization of age replacement policy using reliability based heuristic model, J SCI IND RES, Vol. 68, 2009.

U grupu jedan ulaze vozila koja su proizvedena ili ušla u upotrebu 2008. god., tako da se njihovo praćenje može gledati kao isti vremenski period eksploatacije. Motori u vozilima se poklapaju generacijski tj. identični su, dizel motori su euro III norme sa istim sklopovima i sistemima.

Grupa vozila „II“–G2

Druga grupa je zasebna celina koja je analizirana kao posebna. U tu grupu ulaze vozila proizvedena iste godine 2008 god. sa Mercedesovim motorima iste euro 3 norme, a istog su tipa dizel motori.

Dizel motor dekomponujemo na deset komponentnih celina tj. grupa elemenata, odnosno sistema motora.

1. Pokretni delovi motora – komponenta 1 –**K1**
(K1 ima 11 elemenata pokretnih delova motora),
2. Nepokretni delovi motora – komponenta 2 –**K2**
(K2 ima 6 elemenata nepokretnih delova motora),
3. Sistem razvoda radne materije – komponenta 3 –**K3**
(K3 ima 5 elemenata),
4. Sistem napajanja motora gorivom – komponenta 4 –**K4**
(K4 ima 6 elemenata),
5. Sistem paljenje i startovanje – komponenta 5 – **K5**
(K5 ima 5 elemenata),
6. Sistem podmazivanja – komponenta 6 – **K6**
(K6 ima 7 elemenata),
7. Sistem za hlađenje motora – komponenta 7 – **K7**
(K7 ima 9 elemenata),
8. Sistemi elektronske kontrole pojedinih procesa – komponenta 8 – **K8**
(K8 ima 1 element),
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj izduvnoj instalaciji – komponenta 9 – **K9**
(K9 ima 3 elementa),
10. Elektro elementi – komponenta 10 – **K10**
(K10 ima 5 elemenata).

Svi ulazni podaci o otkazima za period od 10 god. eksploatacije, praćenja rada dizel motora za četiri vozila prve grupe dati su u Tabeli 5.40. (praćenje otkaza, servisa i radnji korektivnog održavanja je vođeno kroz pređeni put vozila kao promenjivu). To su motori iz grupe 1 - (G1), motori koji su dekomponovani iz vozila proizvedenih 2008. god. :

- Vozilo V1- MCD Sprinter 511 CDI, reg. oz. SD-001-TM, (mcd motor),
- Vozilo V2 - MCD Sprinter 311 CD, reg .oz. SD-005-SS, (mcd motor),
- Vozilo V3 - New Turbo Rival 49.10, SD-014-GČ, (Iveco motor),
- Vozilo V4 - INVECO New Cargo reg. oz.SD-016-VG, (Iveco motor).

Svi ulazni podaci o otkazima za period od deset godina eksploatacije, praćenja rada dizel motora za četiri vozila druge grupe dati su u Tabeli 5.41. (praćenje otkaza, servisa i radnji korektivnog održavanja je vođeno kroz pređeni put vozila). To su motori iz grupe 2-(G2), motori koji su dekomponovani iz vozila, proizvedeni 2008. god:

- V1/G2 - FAP 2023 reg. oznake SD-016-GY, (mcd motor),
- V2/G2 - FAP 2023 reg. oznake SD-018-VC, (mcd motor),
- V3/G2 - FAP 1318 reg. oznake SD-002-AI, (mcd motor),
- V4/G2 - FAP 1418 reg. oznake SD-021-WB, (mcd motor).

Dizel motori su praćeni u vremenskom razdoblju od 10 god., a pojava otkaza je vođena u odnosu na pređenu kilometražu. Analizom broja i procenata otkaza u Tabelama 5.6, 5.11, 5.16, 5.21, 5.25 u poglavlju 5.1.1. uočava se da iako je razdoblje posmatranja veliko (10 god.) broj otkaza komponenata je mali.

Očigledno je da mali broj otkaza komponenti usložnjava izradu klasičnog modela pouzdanosti dizel motora na analiziranim vozilima u Javnom komunalnom preduzeću, pa se mora primeniti simulacioni model koji će nedostatak otkaza prevazići.

Modelovanje treba početi procenom parametara raspodele koja je uzeta kao adekvatna za period eksploatacije tehničkog sistema. Nakon toga će se u softverskoj simulaciji u obzir uzeti i korektivne akcije održavanja i na osnovu upoređenja broja otkaza iz baze i broja otkaza iz simulacije izvršiti verifikacija modela. Na kraju potrebno je izvršiti i simulaciju koja će da pokaže kompletno kretanje pouzdanosti svake od komponenti kao i potencijalni uticaj uvedenog preventivnog održavanja na pouzdanost komponenti i čitavog tehničkog sistema dizel motora.

Problem u generisanju simulacionog softvera leži u činjenici da modeli ne smeju da se odnose na preveliki broj kalkulacija jer bi time bilo ugroženo vreme izvršenja simulacije, ali sa druge strane ne smeju se odnositi ni na premali broj kalkulacija radi verodostojnosti rezultata.

b) Proračun modela

- Prvi korak (teorijska raspodela)

Vejbluova (troparametarska) distribucija se koristi kao opšti alat.

Prema ovoj raspodeli funkcija gustine otkaza (teorijske raspodele) glasi¹³⁸:

$$f(s) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{s-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{s-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}, \alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0 \quad (5.21.)$$

gde su:

- s – pređeni put do otkaza,
- α – parametar razmere,
- β – parametar oblika i
- γ – parametar položaja.

$$\text{Funkcija pouzdanosti je: } R(s) = e^{-\left(\frac{s-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}. \quad (5.22.)$$

¹³⁸ Ćatić, D., Modeliranje pouzdanosti korišćenjem Vejbulove raspodele, Tehnika, Savez inženjera i tehničara Srbije, 55(5), 1-10, 2006.

$$\text{Funkcija nepouzdanosti: } F(s) = 1 - e^{-\left(\frac{s-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}. \quad (5.23.)$$

$$\text{Intenzitet otkaza: } \lambda(s) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{s-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}. \quad (5.24.)$$

Između ostalog, prvi korak primene Vejbulove (troparametarske) raspodele svodi se na određenje parametra položaja γ (minimalnog rada do pojave otkaza).

Njegova vrednost se nalazi negde između vrednosti 0 i vrednosti s_1 , gde s_1 predstavlja pređeni put do pojave prvog otkaza. Mada kod velikog uzorka, ovo predstavlja donju granicu prvog intervala. Vrednost parametra γ može biti određena na više načina.

Grafički metod podrazumeva da nakon unošenja podataka o otkazima u verovatnosni papir i po konstatovanju da se radi o troparametarskoj raspodeli, vrednost γ se sukcesivno smanjuje i podaci ponovo ucrtavaju sa koordinatama. Ponovo se sada formira aproksimativna linija. Ukoliko je ona i dalje konveksna, onda vrednost γ treba i dalje smanjivati, dok ako je konkavna treba je povećavati. Postupak se ponavlja sve dok se ne dobije linearna aproksimativna linija. Od tog momenta je određivanje parametara svedeno na problem dvoparametarske raspodele.

Ipak, ovakav postupak određivanja parametra γ ume biti više nego naporan pa je u tom cilju razvijen grafoanalitički postupak.

Dalje je potrebno naći srednje vrednosti na apscisi za formirane intervale i proračunati sledeće vrednosti:

$$x_i = \ln(s - \gamma) \quad (5.25.)$$

$$y_i = \ln[\ln(1/F(s_i))] \quad (5.26.)$$

i te vrednosti uneti u verovatnosni papir.

Iz razloga što je bilo neophodno izvršiti veliki broj proračuna na slučaju dvadeset komponenti, a svaki od njih ima veliki broj probanja pretpostavljenih vrednosti parametra γ korišćena je moć MS Excel-a da se ispita kolinearnost otkaza u Vejblovom verovatnosnom papiru. U tu svrhu korišćena je funkcija LINEST (primer: =INDEX((LINEST(Y3:Y6;Z3:Z6^{1\2}));1)). Softverski je menjan parametar γ da bi bilo ustanovljeno da li postoji kolinearnost. U slučaju postojanja kolinearnosti parametar γ je nađen samo u tri slučaja, a kada kolinearnosti nema proračunavaju se ostali parametri α i β .

Kod dizel motora na specijalnim komunalnim vozilima gde je opterećenje samih motora izuzetno veliko, a i zbog velikog uticaja čoveka (vozača kao potencijalnog izazivača otkaza zbog uslova eksploatacije) u samim počecima eksploatacije pojavio se određeni broj otkaza. Rana pojava otkaza zbog ova dva faktora u većini slučaja implicira da parametar položaja γ bude jednak nuli, odnosno od tog momenta određivanje parametara svedeno na problem dvoparametarske raspodele.

Srednje vreme do otkaza definiše se kao matematičko očekivanje slučajnog vremena rada do prvog otkaza¹³⁹:

$$T_{ur} = M [T] = \int_0^{\infty} t f(t) dt = - \int_0^{\infty} t R'(t) dt = -t R(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (5.27.)$$

Nakon rešavanja navedenog integrala, za srednje vreme rada do otkaza dobija se:

$$T_{ur} = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (5.28.)$$

Dakle, srednje vreme do otkaza T_{ur} jednako je površini koja je ograničena krivom $R(t)$ i apscisnom osom. U slučaju kad se otkazi prate kroz pređeni put, odnosno promenljiva je put (km), srednji pređeni put do otkaza S_{ur} jednak je površini koja je ograničena krivom $R(s)$ i apscisnom osom (osa koja predstavlja pređeni put s [km]):

$$S_{ur} = \int_0^{\infty} R(s) ds \quad (5.29.)$$

\bar{S}_{ur} [km] – srednji pređeni put u radu, izračunavaće se kao aritmetička sredina svih evidentiranih otkaza iz baze podataka za određenu komponentu:

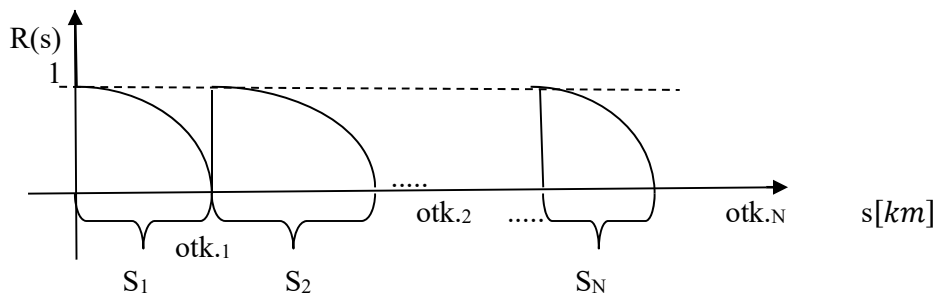
$$\bar{S}_{ur} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N} = \frac{n_1 + n_2 + \dots + n_N}{N} \quad (5.30.)$$

gde su:

N – ukupan broj otkaza komponente,

n_i – $\{n_1[km], n_2[km], \dots, n_N[km]\}$ i -ti otkaz, a od momenta kada je izvršeno korektivno održavanje komponente i ista vraćena na pouzdanost = 1.

Na Slici 5.23. su prikazani otkazi koji se javljaju posle određenog pređenog puta [km], a posle svake korektivne radnje održavanja izvedene posle pojave otkaza, gde se pouzdanost vraća na $R(s) = 1$.



Slika 5.23. Otkazi koji se javljaju posle određenog pređenog puta [km],

¹³⁹ Adamović, Ž., Voskresenski, V., Sigurnost funkcionisanja mašina, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2008.

MPTF (mean path to failure) – srednji pređeni put do pojave otkaza

Kako je za slučaj Weibulove raspodele $\bar{S}_{ur} = MPTF$ gde je u većini slučajeva parametar položaja γ jednak 0 sledi da se parametar oblika raspodele β aproksimativno može odrediti preko odnosa na sledeći način koji prezentuje Tabela 5.42¹⁴⁰ koju je dalo udruženje inženjera USA USACE Table D-4 $\alpha/MPTF$ Ratio as a function of β (Reliability Analysis Center 1995).

Tabela 5.42. $\alpha/MPTF$ Ratio as a function of β ¹⁴¹

β	$\alpha/MPTF$
1	1.00
2	1.15
2.5	1.12
3	1.10
4	1.06

Prema tome, linearna aproksimacija za periode između intervala je sledeća¹⁴²:

$$\text{za } \beta \leq 1, \frac{\alpha}{S_{ur}} = 1;$$

$$\text{za } 1 < \beta \leq 2, \frac{\alpha}{S_{ur}} = 1 + 0.15 \cdot (\beta - 1);$$

$$\text{za } 2 < \beta \leq 2.5, \frac{\alpha}{S_{ur}} = 1.15 - 0.06 \cdot (\beta - 2);$$

$$\text{za } 2.5 < \beta \leq 3, \frac{\alpha}{S_{ur}} = 1.12 - 0.04 \cdot (\beta - 2.5);$$

$$\text{za } 3 < \beta \leq 4, \frac{\alpha}{S_{ur}} = 1.1 - 0.04 \cdot (\beta - 3);$$

$$\text{za } 4 < \beta < 100, \frac{\alpha}{S_{ur}} = 1.06 - \frac{0.06 \cdot (\beta - 4)}{96};$$

$$\text{za } 100 \leq \beta, \frac{\alpha}{S_{ur}} = 1.$$

Na primer za $1 < \beta \leq 2$ kalkulacija inicijalnih parametara izgleda ovako:

¹⁴⁰<http://www.tpub.com/content/USACETechnicalletters/ETL-1110-2-560/ETL-1110-2-5600030.html> (V 2012.), 2012.

¹⁴¹ C:\Users\kale\Desktop\Table D-4 α _MTTF Ratio as a function of β (Reliability Analysis Center 1995).htm

¹⁴² Milošević, D., Josimović, Lj., Petrov, T., Adamović, Ž., Maintenance planning of btr system belt conveyors using a model based on reliability and maintenance costs, TTEM Journal in Vol.8, No.3 8/9. Sarajevo, BiH, (In press), 2013.

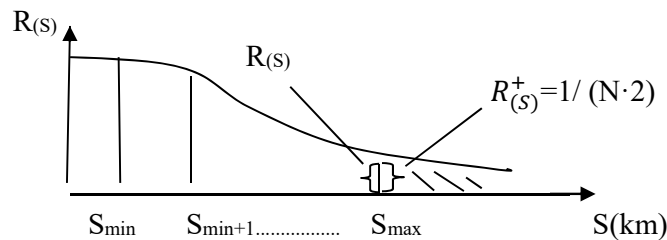
$$\frac{\alpha}{MPTF} = 1.1 + 0.15 \cdot (\beta - 1), \quad (5.31.)$$

Pa je

$$\beta = 1 + \left(\frac{\frac{\alpha}{MPTF} - 1.1}{0.15} \right). \quad (5.32.)$$

Pod pretpostavkom da je na osnovu broja otkaza u bazi podataka za svaku komponentu pojedinačno za posmatrani pređeni put vozila, pouzdanost nakon maksimalnog izmerenog pređenog puta do otkaza (s_{max}) prema metodi simetrične kumulativne gustine otkaza (Symmetrical CDF method)¹⁴³ iznosi:

$$R_{(S)}^+ = \frac{1}{2 \cdot N} \quad (5.33.)$$



Slika 5.24. Površina koja predstavlja pouzdanost nekom maksimalnog otkaza
 N – broj otkaza; $R_{(S)}^+$ – Pouzdanost nakon maksimalnog otkaza

Pošto je u većini slučajeva parametar položaja γ jednak 0 aproksimativno sledi jednakost:

$$R(s) = e^{-\left(\frac{s}{\alpha}\right)^\beta}, \quad R_{(S)}^+ = \frac{1}{2 \cdot N} \quad (5.34.)$$

sledi:

$$\frac{1}{2 \cdot N} = e^{-\left(\frac{s}{\alpha}\right)^\beta} \quad (5.35.)$$

transformacijom jednačine sledi:

$$\beta = \log_{\left(\frac{s_{max}}{\alpha}\right)} \left(-\ln \left(\frac{1}{N \cdot 2} \right) \right) \quad (5.36.)$$

izvodimo da je (za slučaj $1 < \beta \leq 2$):

¹⁴³ Al-Fawzan, A. M., Methods for Estimating the Parameters of the Weibull Distribution, King Abdulaziz City for Science and Technology, Riyadh, Saudi Arabia, 2000.

$$1 + \left[\frac{\frac{\alpha}{(MPTF)} - 1,1}{0,15} \right] = \log_{\left(\frac{s_{max}}{\alpha}\right)} \left(-\ln \left(\frac{1}{N \cdot 2} \right) \right) \quad (5.37.)$$

Rešavanjem ovako formiranih jednačina dobijaju se inicijalne vrednosti parametara Weibulove raspodele.

Kada su u pitanju ostale komponente sve je analogno osim što je S_{max} različito pa se za svaku komponentu parametri raspodele dobijaju rešavanjem jednačine:

$$1 + \left[\frac{\frac{\alpha}{(MPTF)} - 1,1}{0,15} \right] = \log_{\left(\frac{s_{max}}{\alpha}\right)} \left(-\ln \left(\frac{1}{N \cdot 2} \right) \right) \quad (5.38.)$$

Rešavanjem ove jednačine dobija se koeficijent razmene raspodele α , a samim tim i na osnovu njihovog međusobnog odnosa koeficijent oblika raspodele β .

Rešavanje ove jednačine urađeno je iterativnim probanjem parametra α , sve dok se ne izjednači leva i desna strana jednačine. U tu svrhu korišćeno je softversko rešenje (u Visual Basicu).

Tabela 5.43 Srednji pređeni put do pojave otkaza (MPTF), parametar položaja (γ), parametar oblika (β) i parametar razmere raspodele (α) po komponentama

	γ	α	β	MPTF
G1	Grupa komunalnih vozila sa dizel motorima koja rade u otežanim uslovima			
K1	0	127273,279798340000000	1,001633620651240	127242,100000000000000
K2	0	239704,963281765000000	1,860372595333410	212305,666666667000000
K3	0	284920,383683684000000	2,528613276455520	254133,500000000000000
K4	56642,5	191040,944927660000000	1,788566861501600	170833,857142857000000
K5	0	163260,911239137000000	1,310787352062710	155989,000000000000000
K6	0	/	/	/
K7	5532,336	114391,837708809000000	1,254143499889030	110191,181818182000000
K8	0	/	/	/
K9	1929,725	63857,095238095200000	0,914697703760053	63857,095238095200000
K10	0	119935,706906425000000	1,112766051678500	117940,750000000000000
Grupa 2	Grupa komunalnih vozila sa dizel motorima koja rade u normalnim uslovima			
K1	0	68293,482802923800000	1,277644688103950	65563,000000000000000
K2	0	163512,198609177000000	2,802654757922400	136469,500000000000000
K3	0	284920,383683684000000	0,529665954380374	142628,000000000000000
K4	0	108564,153113899000000	1,292016330779000	104008,333333333000000
K5	0	83907,929265460800000	2,283798905955560	71898,818181818200000
K6	0	/	/	/

K7	0	84063,242158031600000	1,261082005527450	80895,200000000000000
K8	0	/	/	/
K9	0	/	/	/
K10	0	149885,141612797000000	2,527684753076470	126842,750000000000000

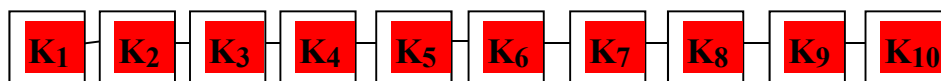
Tabela 5.43. prezentuje srednji pređeni put do pojave otkaza (*MPTF*) i dobijene inicijalne vrednosti parametara Vejbulove raspodele za sve komponente prve (opterećene) grupe kao i druge grupe vozila. Takođe, u tabeli su osim srednjeg pređenog puta do pojave otkaza (*MPTF*) dati parametar položaja (γ) za tri slučaja, parametar oblika (β) i parametar razmere raspodele (α) po komponentama. Parametar položaja (γ) je u većini slučaja jednak nuli, postoji samo za komponente K4, K7 i K8 prve grupe vozila, a koji je takav da je na grafiku pomak položaja neprimetan, pa se i za te komponente može zanemariti, odnosno i u tim slučajevima Veibulova troparametarska raspodela prelazi u dvoparametarsku raspodelu.

Parametar položaja na grafiku nepouzdanosti ukazuje na pomak od koga se pojavljuje nepouzdanost tehničkog sistema, odnosno položaj kada grafik počinje da poprma oblik određene funkcije. Iz proračuna u većini slučaja je parametar položaja (γ) jednak nuli, pa i u tri slučaja kada nije jednak nuli velika je mogućnost da se rano pojave otkazi zbog ljudskog faktora, kvaliteta goriva, mehaničkog oštećenja hladnjaka prilikom deponovanja smeća na deponiji i izuzetno teških uslova rada koji utiču na elektroniku i sistem elektronske kontrole procesa.

Komponente grupe G1 – K6 i K8 kao i komponente grupe G2 – K6, K8 i K9 imale su zanemarivo malo otkaza tokom operativnog rada tako da su izuzete iz daljeg proračuna pouzdanosti.

Dizel motor kao tehnički sistem u našem slučaju možemo posmatrati kao serijski sistem (Slika 5.25.) gde otkaz bilo koje komponente znači i otkaz čitavog sistema. Pouzdanost se računa za svaku komponentu dizel motora ponaosob, odnosno suma svih pouzdanosti komponentata daje pouzdanost čitavog dizel motora:

$$R = \prod_{i=1}^n R_i \quad (5.39.)$$



Slika 5.25. Serijska struktura komponenti dizel motora; K₁– Pokretni delovi motora (sa 11 elementa pokretnih delova motora); K₂ – Nepokretni delovi motora (sa 6 elementa nepokretnih delova motora); K₃– Sistem razvoda radne materije (sa 5 elementa); K₄– Sistem napajanja motora gorivom (sa 6 elemenata); K₅– Sistem paljenje i startovanje (sa 5 elementa); K₆ – Sistem podmazivanja (sa 7 elemenata); K₇– Sistem za hlađenje motora (sa 9 elemenata); K₈– Sistemi elektronske kontrole pojedinih procesa (sa 1 elementom); K₉– Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj izduvnoj instalaciji (sa 3 elementa) i K₁₀– Elektro elementi(sa 5 elemenata)

Mogu se pretpostaviti samo dva stanja komponenti sistema: funkcionalno – u radu i u otkazu, a to se konsekventno odnosi i na svaki element, komponentu, podsistem i sistem u celini. Pouzdanost motora dobija se uvrštavanjem vrednosti intenziteta otkaza komponenti u algoritam za izračunavanje pouzdanosti.

- **Drugi korak (određivanje simulacionih parametara – verifikacija modela)**

Nakon dobijanja potrebnih podataka, naredni korak je korekcija parametara Vejbulove raspodele. Inicijalni parametri se odnose na kontinualne promenljive i prelazak na diskretne je neophodan radi formiranja simulacije rada sistema.

Svakako da broj tačaka proračuna utiče na to koliko će iznositi vrednosti korigovanih parametara raspodele pa je neophodno da one budu identične za vreme obe simulacije, tj. i za vreme korekcije parametara i simulacije pouzdanosti sistema. Algoritam korekcije parametara je prezentovan na Slici 5.26.

Pretpostavke ovog proračuna su:

- nakon korektivnih akcija održavanja nivo pouzdanosti za podsistem koji je otkazao podiže se na nivo 1,
- preventivne akcije održavanja nemaju većeg uticaja na pouzdanost delova podsistema (preventivna akcija se posmatra kroz ceo podsistem - komponentu).

Algoritam se izvršava za svaki podsistem/komponentu i predstavljen je na Slici 5.26. Na osnovu broja otkaza podsistema (*NumOfFailures*) u period opservacije se određuje i broj intervala (*NumOfIntervals*) po formuli:

$$NumOfIntervals = 1 + \text{int}[3.3 \cdot \log(NumOfFailures)] \quad (5.40.)$$

Broj intervala je jednak jedan plus funkcija int (funkcija int u Microsoft Excel-u za zaokruživanje broja na najbliži ceo broj) 3.3 logaritma od broja otkaza.

Na osnovu određenog maksimalnog pređenog puta do pojave otkaza u periodu opservacije (*MaxFailure*) određuje se trajanje intervala puta (*Interval*). Zatim se određuje pređeni put (kilometraža) kalkulacije (*CS*) koje po svakoj iteraciji ima period opservacije komponente što znači zbir svih kilometraža, odnosno pređenih puteva do pojave otkaza u evidenciji otkaza.

U algoritmu na Slici 5.26 je:

- A* – parametar razmere raspodele (α),
- B* – parametar oblika raspodele (β),
- CS* – pređeni put (km) kalkulacije,
- Int()* – funkcija koja vraća celobrojnu vrednost,
- Interval* -pređeni put (kilometraža) između dve tačke kalkulacije pouzdanosti,
- LastChange* – pređeni put (kilometraža) poslednje korektivne akcije održavanja,
- MaxFailure* – maksimalni pređeni put (kilometraža) do pojave otkaza u period opservacije,
- MsimNumFailures* – srednji broj otkaza tokom simulacije,
- Nfailures* – simulacioni broj otkaza,
- NumOfFailures* – broj otkaza komponente,
- NumOfIntervals* – broj intervala,

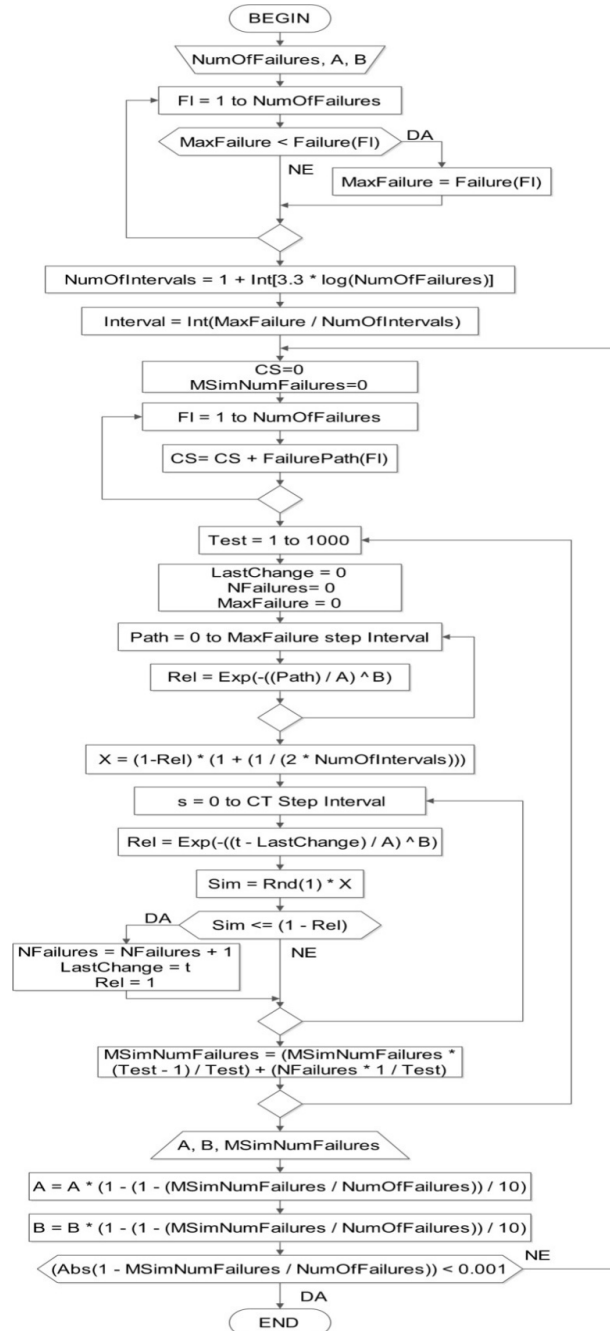
Rel – pouzdanost,

Sim – pseudo-slučajni broj čija vrednost određuje otkaze komponente,

$Rnd()$ – funkcija koja vraća pseudo-slučajan broj,

s ($Path$)- pređeni put (kilometraža),

$Test$ – trenutna iteracija za vreme simulacije.



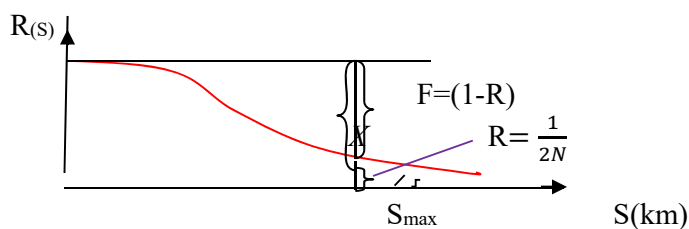
Slika 5.26. Algoritam korekcije parametara raspodele za komponente sistema dizel motora obe grupe vozila¹⁴⁴

¹⁴⁴ Spasić, D., Milošević, D., Radovanović, L., Simulacioni model pouzdanosti dizel motora u eksploataciji, XVIII konferencija Vrnjačka Banja – Goč »Tehnička dijagnostika motornih vozila«, Vrnjačka Banja Goč, 01. i 02. 06. 2018, ISBN 978-86-83701-53-7, COBISS.SR-ID 264496140

Dalje, za trenutak maksimalnog pređenog puta (km) do pojave otkaza se proračunava pouzdanost (Rel) na osnovu prethodno unesenih parametara oblika raspodele β (B) i razmere raspodele α (A). Na osnovu ove vrednosti definišu se granice slučajne promenljive Sim koja za minimalnu vrednost ima 0, a za maksimalnu X , a koja se računa pomoću vrednosti preostale nepouzdanosti (Slika 5.27.) nakon maksimalne kilometraže na kojoj nastaje otkaz ($MaxFailure$) oslanjajući se na Symmetrical CDF method, a prema formuli:

$$X = (1 - Rel) \cdot (1 + (1 / (2 \cdot NumOfIntervals))). \quad (5.41.)$$

$$„X=(1-R) \cdot (1+(1/2N)=F+F \cdot (1/2N)“ \quad (5.42.)$$



Slika 5.27. Vrednost preostale nepouzdanosti

Ukoliko je vrednost slučajne promenljive Sim manja ili jednaka vrednosti nepouzdanosti ($1 - Rel$) dolazi do otkaza koji se kumulativno zbrajaju ($NumOfFailures$), a vrednost pouzdanosti (Rel) vraća na vrednost 1 i postupak nastavlja do isteka krajnje kilometraže kalkulacije (CS).

Ovaj postupak se ponavlja u 1000 iteracija te se dolazi do srednje simulacione vrednosti broja otkaza ($MsimNumFailures$). Ukoliko ovaj srednji broj otkaza iz simulacije odstupa od broja otkaza iz perioda opservacije ($NumOfFailures$) za više od promila svih 1000 iteracija ponavlja se uz korigovane parametre $A(\alpha)$ i $B(\beta)$. Iteracije se ponavljaju sve dok se relativna razlika ne smanji na ispod nivoa od 1 promila.

Kao izlazi algoritma se dobijaju vrednosti parametara raspodele $A(\alpha)$, $B(\beta)$ i srednji broj otkaza tokom simulacije ($MsimNumFailures$).

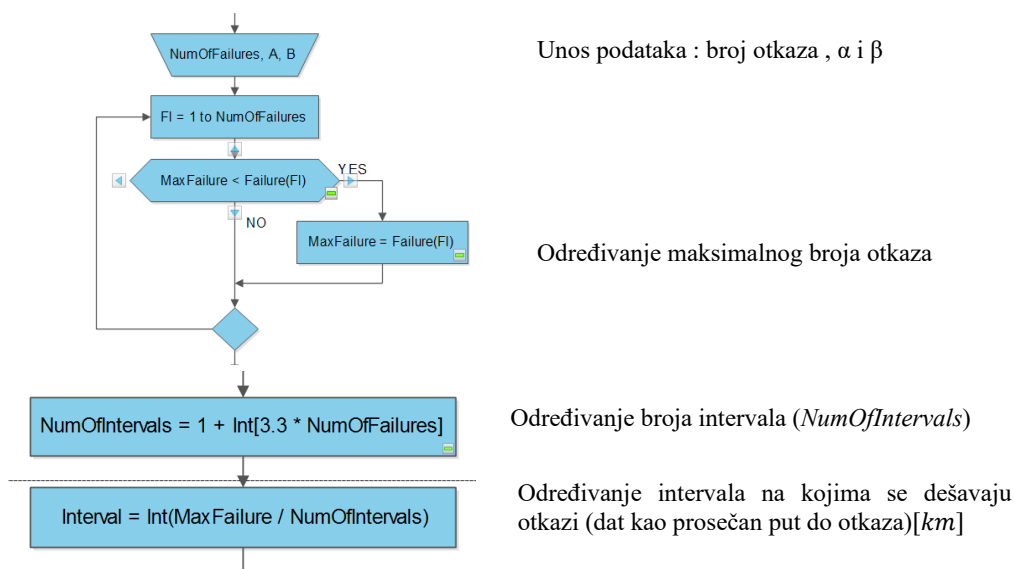
Tabela 5.44. pokazuje izlazni rezultat softvera tj. broj otkaza svake komponente kao i srednji broj otkaza simulacije i vrednosti parametara Vejbluove raspodele za sve komponente.

Izjednačavanjem srednjeg simulacionog broja otkaza sa brojem otkaza iz baze izvršena je verifikacija modela pouzdanosti, što je vidljivo u Tabeli 5.44. u kolonama dva i tri.

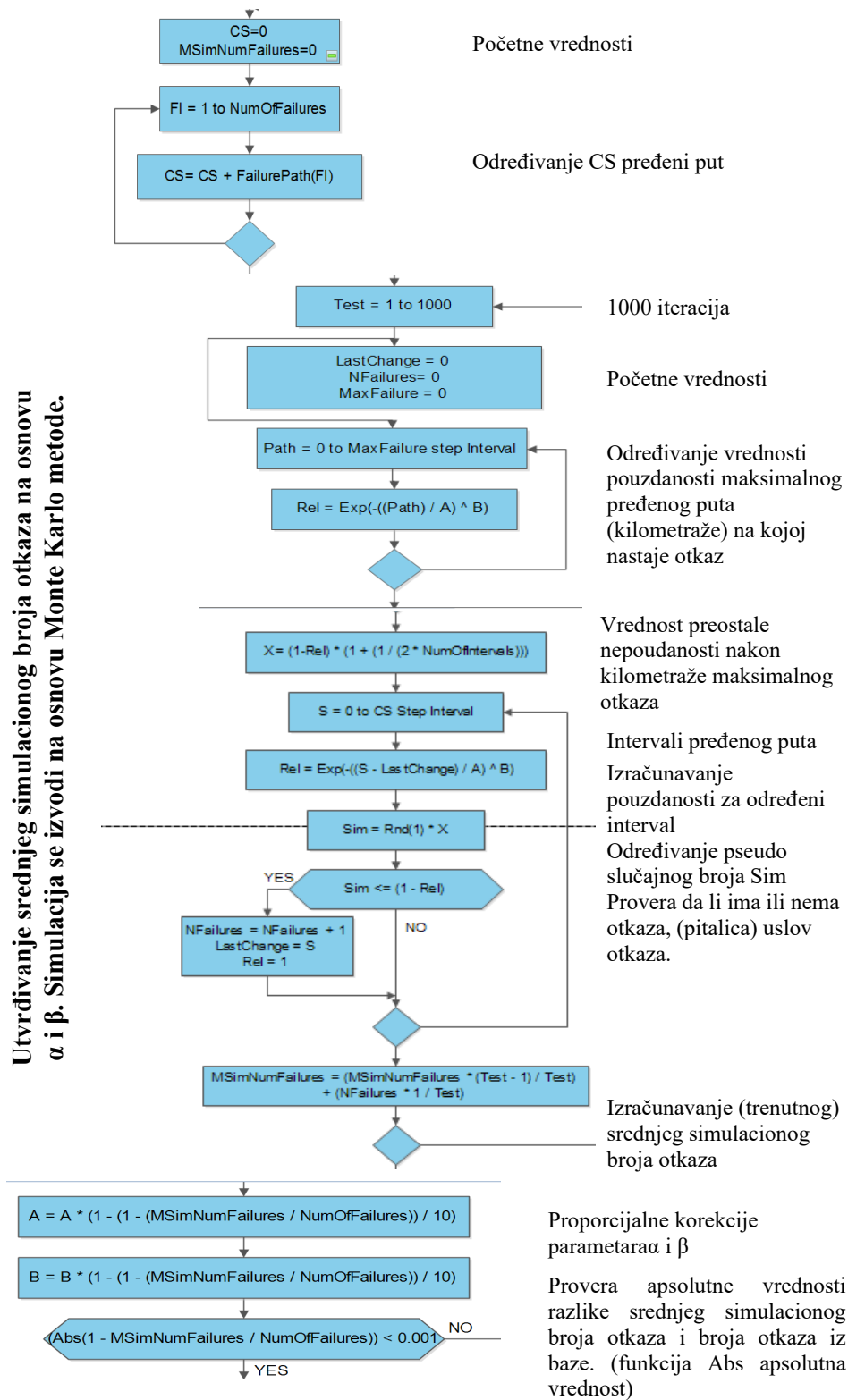
Tabela 5.44. Broj otkaza iz uzorka, srednji broj otkaza simulacije i parametri Vejblove raspodele za sve komponente dizel motora za obe grupe vozila

Komponenta	Br. otkaza (uzorak)	SrSim Br. otkaza	γ	α	β
	otkazi	Simul. otkazi	γ	α	β
GI					
K1	10	10,049	0	291988,818	2,297935729
K2	6	6,023	0	445110,2646	3,454542313
K3	4	4,003	0	485971,0983	4,312899467
K4	7	7,01	56642,5	357170,2056	3,343905119
K5	7	6,997	0	353775,1644	2,840386027
K6			0		
K7	11	11,041	5532,336	241333,6646	2,645879748
K8			0		
K9	21	20,984	1929,725	166447,3706	1,824858243
K10	12	12,058	0	262240,9611	2,433077241
GII					
K1	9	9,043	0	143839,8757	2,690977903
K2	4	4,008	0	241347,2634	4,136774271
K3			0		
K4	6	6,011	0	240147,3999	2,857981696
K5	11	11,018	0	132426,1185	3,604362867
K6			0		
K7	10	10,037	0	176955,046	2,654606444
K8			0		
K9			0		
K10	10	10,037	0	176955,046	2,654606444

Objašnjenje algoritma sa Slike 5.26. dato je po segmentima na Slikama 5.28. i 5.29.



Slika 5.28. Pojašnjenje algoritma korekcije parametara



Slika 5.29. Pojašnjenje algoritma korekcije parametara

KOREKCIJA PARAMETARA Weibulove raspodele urađena je na osnovu algoritma korekcije parametara raspodele za komponente sistema dizel motora obe grupe vozila u programu Visual Basic 6.0 i MS Excel

```

Public Sub Command1_Click()
NumOfIntervals = 1 + Int(3.3 * Log(CS)) '(u km)
Interval = MaxFailure / NumOfIntervals
i = 0
Do
i = i + 1
MsimNumFailures = 0
For Test = 1 To TN
    BrojTestova = Test
    LastChange = 0
    Nfailures = 0
    Rel = Exp(-((MaxFailure - G) / A) ^ B)
    X = (1 - Rel) * (1 + (1 / (2 * NumOfIntervals)))
    Sp = 0
    For s = 0 To CS Step Interval
        Rel = Exp(-(s - LastChange - G + Sp) / A) ^ B)
        Sim = Rnd(1) * X
        If Sim <= (1 - Rel) Then
            Nfailures = Nfailures + 1
            LastChange = s
            Rel = 1
            Sp = 0
        End If
    End If
    Next s
    Form1.Refresh
    MsimNumFailures = (Val(MsimNumFailures) * (Test - 1) / Test) + (Nfailures * 1 /
Test)
Next Test
If (Abs(1 - (Val(MsimNumFailures) / Val(NumOfFailures)))) < Val(Accuracy))
ThenGoTo 200
A = Val(A) * (1 - (1 - (Val(MsimNumFailures) / NumOfFailures)) / 30)
B = Val(B) * (1 - (1 - (Val(MsimNumFailures) / NumOfFailures)) / 30)
Form1.Show
If i >= 1000 Then
    Stop
    i = 1
End If
Loop
200
NumOfFailures = MsimNumFailures
'Stop 'UPISI REZULTATE
End Sub

```

Treći korak – Procena uticaja preventivnog održavanja uvođenjem koeficijenta uklanjanja nepouzdanosti C_{rf}

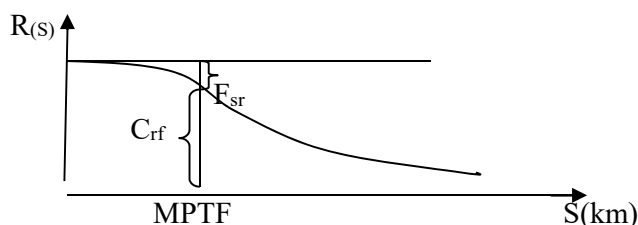
Na ovom mestu bi se već mogao upotrebiti napisani simulacioni model pouzdanosti tehničkog sistema – dizel motora, međutim, da bi smo razmotrili uticaj i preventivnih akcija održavanja kroz uvođenje kombinovanog održavanja (korektivnog i preventivnog) neophodno je da procenimo uticaj prosečne preventivne akcije održavanja na pouzdanost svake komponente tehničkog Sistema dizel motora. Taj uticaj može se izraziti kroz novi parametar koji će biti izražen kao koeficijent otklanjanja nepouzdanosti C_{rf} (Slika 5.30.).

Vrednost koeficijenta $C_{rf} = 0$ znači da nema uticaja akcije održavanja na pouzdanost komponente, a vrednost $C_{rf} = 1$ da je sva postojeća nepouzdanost komponente (u tom trenutku) otklonjena. Realnost je da se ovaj koeficijent kreće najčešće između ovde dve vrednosti čime je omogućeno modelovanje slučaja kada se akcijom održavanja delimično ukloni nepouzdanost sistema.

$$C_{rf} \in [0,1]$$

Vrednost ovog koeficijenta određena je kao veličina pouzdanosti svake komponente sistema u trenutku MPTF (Srednji pređeni put do pojave otkaza – mean path to failure) kao mestu na kome je najveća verovatnoća otkaza. Vrednost C_{rf} koeficijenta se razlikuje i u zavisnosti od parametara α i β .

$$C_{rf} = e^{-\left(\frac{MPTF}{\alpha}\right)^\beta} \quad (5.43.)$$



Slika 5.30. Koeficijent otklanjanja nepouzdanosti C_{rf}

Unošenjem korigovanih parametara α i β kao i MPTF (srednji pređeni put do pojave otkaza) u datu formulu koeficijenta uklanjanja nepouzdanosti C_{rf} za svaku komponentu ponaosob, dobijamo vrednost koeficijenta za sve komponente za koje postoji dovoljan broj otkaza tokom operativnog rada što je predstavljeno u Tabeli 5.45.

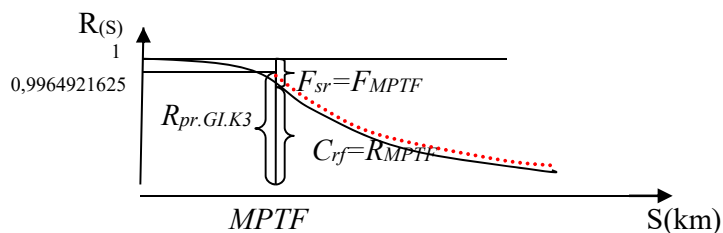
Tabela 5.45. Tabela vrednosti C_{rf} za sve komponente dizel motora

Komponenta	MPTF	C_{rf}
GI		
K1	127242,1	0,862198
K2	212305,7	0,92542
K3	254133,5	0,940773
K4	170833,9	0,918598
K5	155989	0,906927
K6		
K7	110191,2	0,881926
K8		
K9	63857,1	0,840234
K10	117940,8	0,866669
GII		
K1	65563	0,886281
K2	136469,5	0,909773
K3		
K4	104008,3	0,912569
K5	71898,82	0,895256
K6		
K7	80895,2	0,882323
K8		
K9		
K10	126842,8	0,661536

Vrednosti C_{rf} koeficijenta se kreću od oko 66% do 94% uklanjanja nepouzdanosti u trenutku preventivne akcije održavanja. Ove vrednosti se prilično poklapaju sa iskustvenim rezultatima inženjera održavanja koji su vodili održavanje vozila sa dizel motorima i vodili evidenciju o akcijama održavanja. Vrednosti iskustvenih rezultata su dati u Tabelama 5.40. i 5.41.

Primeri sa najvećom i najmanjom vrednošću (ekstremne vrednosti) C_{rf} prikazani su Slikama 5.31. i 5.32.

Za komponentu K3 grupe vozila jedan (najveći) $C_{rf} = 0,940773$ i komponentu K10 grupe vozila dva (najmanji) $C_{rf} = 0,661536$.

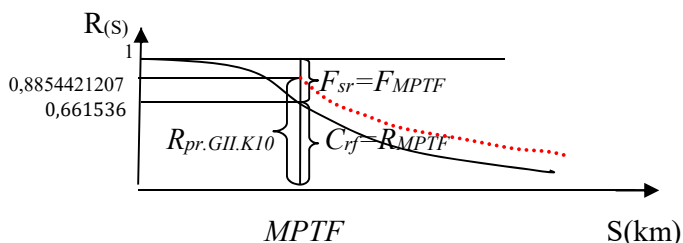


Slika 5.31. Pouzdanost po izvršenoj akciji preventivnog održavanja

$$R_{pr-GI-K3} = R_{MPTF} + (F_{MPTF} \cdot C_{rf}) \quad (5.44.)$$

$$R_{pr-GI-K3} = 0,940773 + (0,0592279 \cdot 0,940773) = 0,9964921625$$

$R_{pr-GI-K3}$ – Pouzdanost po izvršenoj akciji preventivnog održavanja na komponenti tri na vozilu grupe jedan.



Slika 5.32. Pouzdanost po izvršenoj akciji preventivnog održavanja

$$R_{pr-GII-K10} = R_{MPTF} + (F_{MPTF} \cdot C_{rf}) \quad (5.45.)$$

$$R_{pr-GII-K10} = 0,661536 + (0,338464 \cdot 0,661536) = 0,8854421207$$

$R_{pr-GII-K10}$ – Pouzdanost po izvršenoj akciji preventivnog održavanja na komponenti deset na vozilu grupe dva.

Korak četiri – izgradnja simulacije sa preventivnim akcijama održavanja

Nakon što je izračunata vrednosti parametra C_{rf} za svaku komponentu pristupa se izradi simulacionog modela sa kombinovanim održavanjem, odnosno uvode se preventivne radnje održavanja.

Pretpostavke ovog simulacionog modela su:

- nakon korektivnih ili preventivnih akcija održavanja na jednoj komponenti ne dolazi do promene na drugoj komponenti,
- nakon korektivnih akcija održavanja nivo pouzdanosti za komponentu koja je otkazala podiže se na nivo 1,
- preventivne akcije održavanja eliminišu nepouzdanost komponente u trenutku kada nastaje akcija održavanja i to deo određen koeficijentom C_{rf} .

Na osnovu broja otkaza podsistema ($NumOfFailures$) u period opservacije se određuje i broj intervala ($NumOfIntervals$) po formuli:

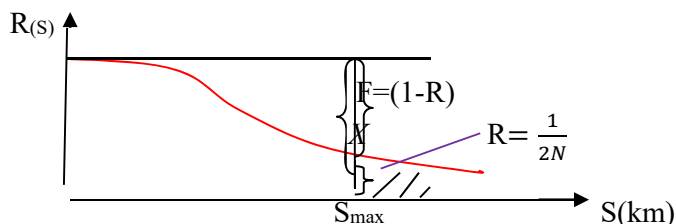
$$NumOfIntervals = 1 + \text{int}[3.3 \cdot \log(NumOfFailures)] \quad (5.46.)$$

Na osnovu određenog maksimalnog pređenog puta na kome se pojavljuje otkaz u periodu opservacije ($MaxOtkaz$) određuje se interval ($Interval$) predstavljen kilometražom [km].

Dalje, za trenutak maksimalnog pređenog puta na kome se pojavljuje otkaz proračunava se pouzdanost (Rel) na osnovu prethodno unesenih parametara oblika raspodele $\beta(B)$ i razmere raspodele $\alpha(A)$. Na osnovu ove vrednosti definišu se granice slučajne promenljive Sim koja za minimalnu vrednost ima 0, a za maksimalnu X koja se računa pomoću vrednosti preostale nepouzdanosti nakon maksimalne kilometraže (Slika 5.33.), na kojoj nastaje otkaz ($MaxOtkaz$) oslanjajući se na Symmetrical CDF method¹⁴⁵[89], a prema formuli:

$$X = (1 - Rel) \cdot (1 + (1 / (2 \cdot NumOfIntervals))). \quad (5.47.)$$

$$„X=(1-R) \cdot (1+(1/2N))=F+F \cdot (1/2N)“ \quad (5.48.)$$



Slika 5.33. Vrednost preostale nepouzdanosti

Nakon određene kilometraže kalkulacije (CS) po svakoj iteraciji imaju period opservacije komponente, što znači zbir svih pređenih puteva do pojave otkaza u evidenciji otkaza komponente.

Nakon toga počinje se sa iteracijama testa (postupak se ponavlja u 100 iteracija). Pošto se postave inicijalne vrednosti počinje se sa simuliranjem pređenog puta (s) koji se pomera prema već definisanim intervalima. Nakon isteka svakog pojedinačnog intervala potrebno je proračunati da li je došlo do otkaza komponente ili ne. Ipak, pre toga, potrebna je i korekcija pouzdanosti za svaku preventivnu akciju održavanja koja je nastala u toku tog pojedinog intervala.

Broj preventivnih akcija NPM (*Number Of Preventive Maintenance Actions*) se dobija po obrascu gde je s trenutna kilometraža (pređeni put) nakon isteka pojedinog interval, a $S_{LastChange}$ (*LastChange*) kilometraža poslednjeg CM (*Corrective Maintenance*) korektivnog održavanja. Razlika ove dve veličine se deli sa S_p (*Preventive Maintenance*) i dobijamo broj preventivnih akcija održavanja.

$$(s - LastChange) / s_p \quad (5.49.)$$

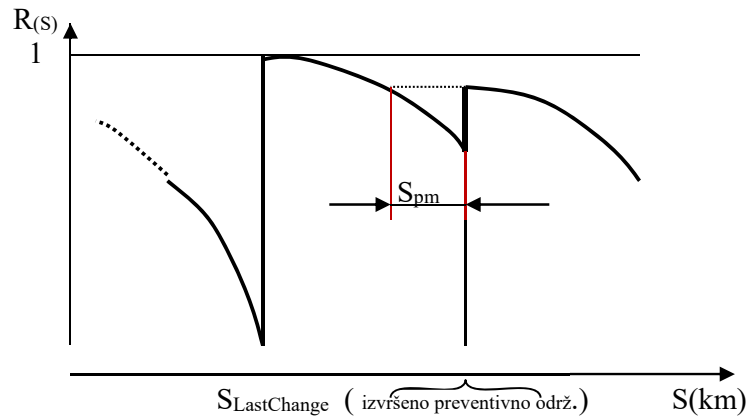
Ukoliko je razlika ovde dve veličine jednaka ili veća od s_p , tada je u poslednjem intervalu bilo akcija održavanja i kilometraža preventivne akcije se proračunavaju po obrascu:

$$(s - S_{pm} - LastChange) \quad (5.50.)$$

gde je S_{pm} kilometraža za koju se pređeni put s „vraća unazad“ usled preventivnih akcija održavanja, tj. kilometraža za koju je komponenta „podmlađena“ svim akcijama održavanja od poslednjeg otkaza (*Last Change*) do trenutno pređenog puta s iz simulacije.

¹⁴⁵ Milošević, D., Adamović, Ž., Reliability simulation model for the bucket wheel excavator, Journal Metalurgia International, Vol.18, No.11, 2013, pp.13-20, ISSN 1582-2214

Na Slici 5.34. preventivnom akcijom održavanja produžavamo pređeni put do otkaza i analogno se povisi pouzdanost komponente na kojoj smo primenili akciju održavanja.

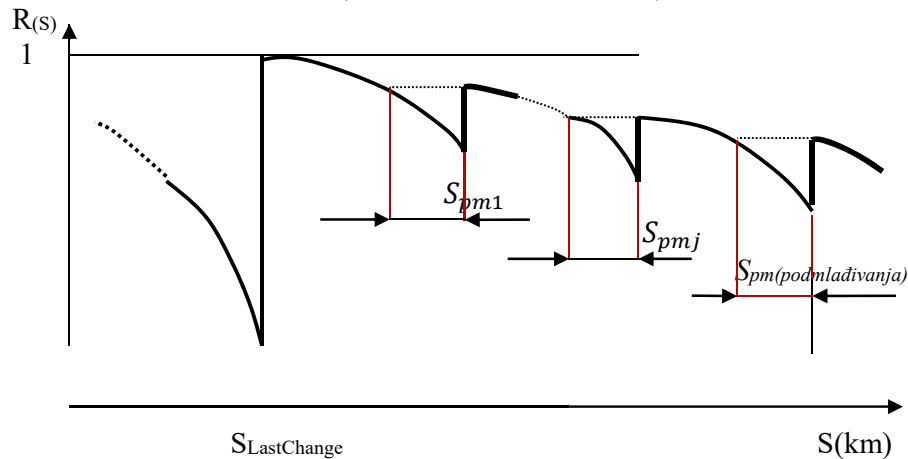


Slika 5.34. Vrednost S_{pm} kilometraža za koju se pređeni put s „vraća unazad“, odnosno kilometraža za koju je komponenta „podmlađena“ akcijom održavanja

$$R(s) = e^{-\left(\frac{s}{\alpha}\right)^\beta} \Rightarrow S = \alpha \left(\text{Log} \left(\frac{1}{R} \right) \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (5.51.)$$

Iz prethodne relacije izvodimo $S_{podmlađivanja}$ pređeni put odnosno kilometražu za koju je komponenta „podmlađena“ jednom akcijom održavanja i $S_{podmlađivanja}$ zavisi od koeficijenta uklanjanja nepouzdanosti (Slika 5.35.).

$$S_{podmlađivanja} = \alpha \cdot \left(\text{Log} \left(\frac{1}{R + (1 - R) \cdot C_{rf}} \right) \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (5.52.)$$



Slika 5.35. Vrednost S_{pm} kilometraža za koju se pređeni put s „vraća unazad“, odnosno kilometraža za koju je komponenta „podmlađena“ akcijom održavanja

Proračun kilometraže S_{pm} koja se dobija kao kumulativna vrednost svih pojedinačnih kilometraža za koje je komponenta sistema „podmlađena“ može se matematički predstaviti:

$$S_{pm} = S_{pmi} + (S - S_{pmi} - S_{LastChange}) - S_{pm(podmlađivanja)} \quad (5.53.)$$

S_{pmi} - je prethodno kumulirana vrednost $S_{pm1}, S_{pm2}, \dots, S_{pmj}$.

Proračun kilometraže S_{pm} koje se dobija kao kumulativna vrednost svih pojedinačnih kilometraža za koje je komponenta sistema „podmlađena“ može se prikazati, takođe, izrazom: (izraz je predstavljen kao programska relacija):

$$S_{pm} = S_{pm} + (s - S_{pm} - LastChange) - \alpha \cdot \left(\text{Log} \left(\frac{1}{(Rel + ((1 - Rel) \cdot Crf))} \right) \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (5.54.)$$

Suštinski, dva osnovna nosioca izgrađenog modela pouzdanosti u procesu eksploatacije su koeficijent uklanjanja nepouzdanosti C_{rf} i S_{pm} kilometraža za koju se pređeni put s „vraća unazad“ usled preventivnih akcija održavanja.

Kada se završe iteracije održavanja za svaku tačku kalkulacije uzima se period nakon isteka intervala i ukoliko je vrednost slučajne promenljive Sim manja ili jednaka vrednosti nepouzdanosti dolazi do simulacionog otkaza koji se kumulativno zbrajaju, a pouzdanost komponente podiže na 100%, odnosno R vraća na vrednost 1.

Kilometraža poslednje zamene $LastChange$ se koriguje, a S_{pm} vraća na vrednost nula jer više nema uticaja akcija održavanja na pouzdanost komponente. Iterativno se ovaj postupak ponavlja sve do kraja kilometraže kalkulacije (CS).

Nakon unosa potrebnih parametara, a to su maksimalna kilometraža otkaza ($MaxOfFailures$), broj otkaza tokom opservacije ($NumOfFailures$), parametri Veibulove raspodele (A i B), kilometraže kalkulacije (CS) i koeficijent otklanjanja nepouzdanosti C_{rf} , proračunava se broj i dužina intervala po osnovu broja otkaza. Proračunava se vrednost parametra X koji je osnov simulacije otkaza na bazi slučajnog broja. Broj iteracija predstavljen je veličinom IT ¹⁴⁶.

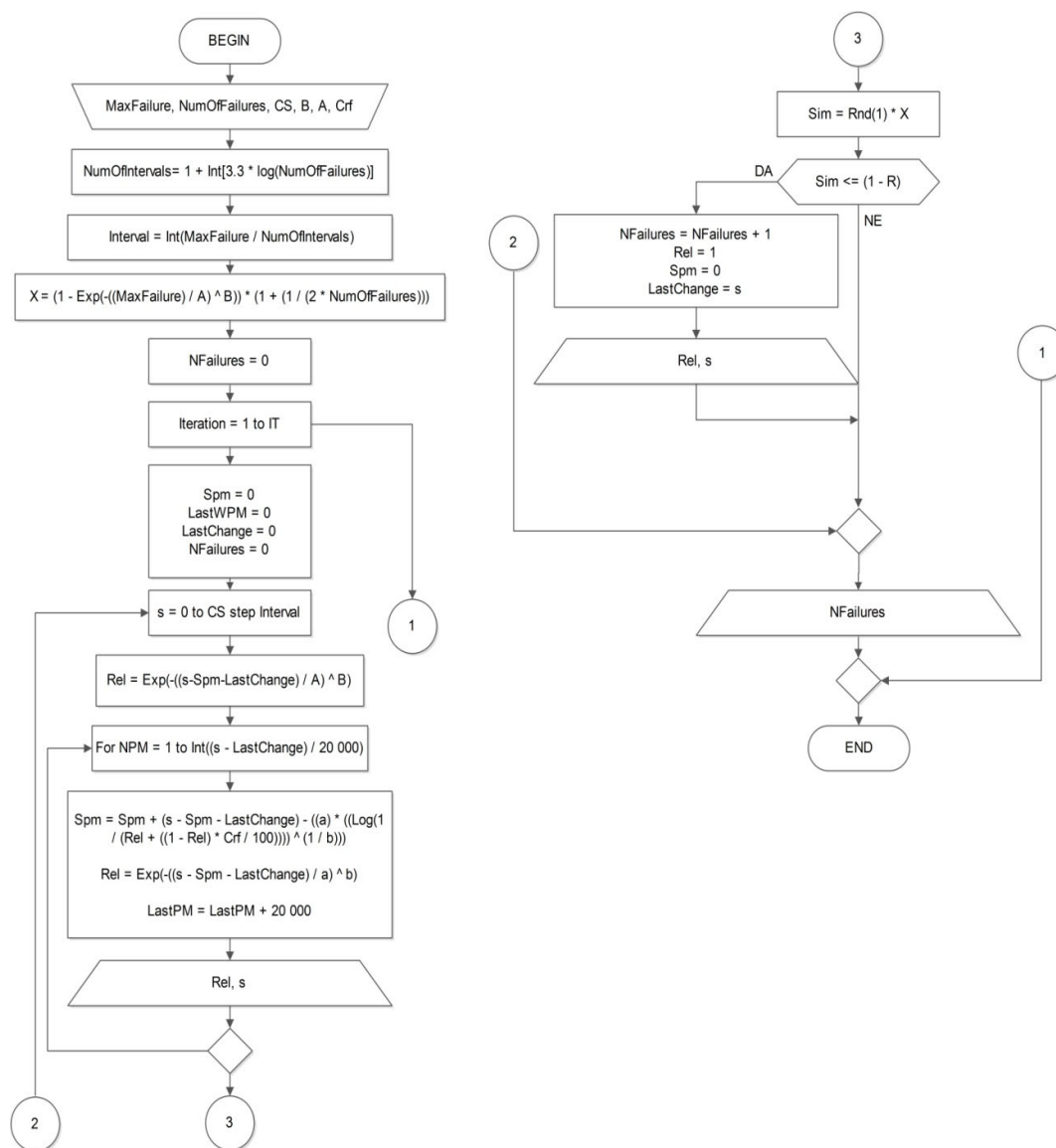
Pošto se postave inicijalne vrednosti parametara počinje se sa simulacijom pređenog puta koji se pomera sa korakom $Intervala$. Nakon svakog pomeranja pređenog puta proverava se broj preventivnih akcija. Ukoliko ih je bilo, koriguje se vrednost pouzdanosti na osnovu kilometraže S_{pm} koje se javljaju nakon preventivnih akcija, te vrednosti pouzdanosti i pređenog puta upisuju se u arhivu. Nakon preventivnih akcija treba proveriti da li je bilo otkaza tokom poslednjeg intervala i ako je bilo pouzdanost Rel postaviti na vrednost 1 a S_{pm} na vrednost 0.

¹⁴⁶ Vulović, M., Adamović, Ž., Sajfert, Z., Spasić D., Osnovne metode za analizu rizika, Zbornik radova XVI konferencija „Vibrodijagnostičko i tribodijagnostičko proaktivno održavanje mašina, Vrnjačka Banja, 30.09.2016., ISBN 978-86-83701-45-2

Nakon ovoga se nastavlja sa sledećim korakom te se sve ponavlja do kraja opservacije ($s = CS$) čime se okončava jedna iteracija rada dizel motora. Ovaj postupak se ponavlja IT puta. Kao izlazni podaci se dobijaju podaci o pouzdanosti i broju otkaza tokom simulacije.

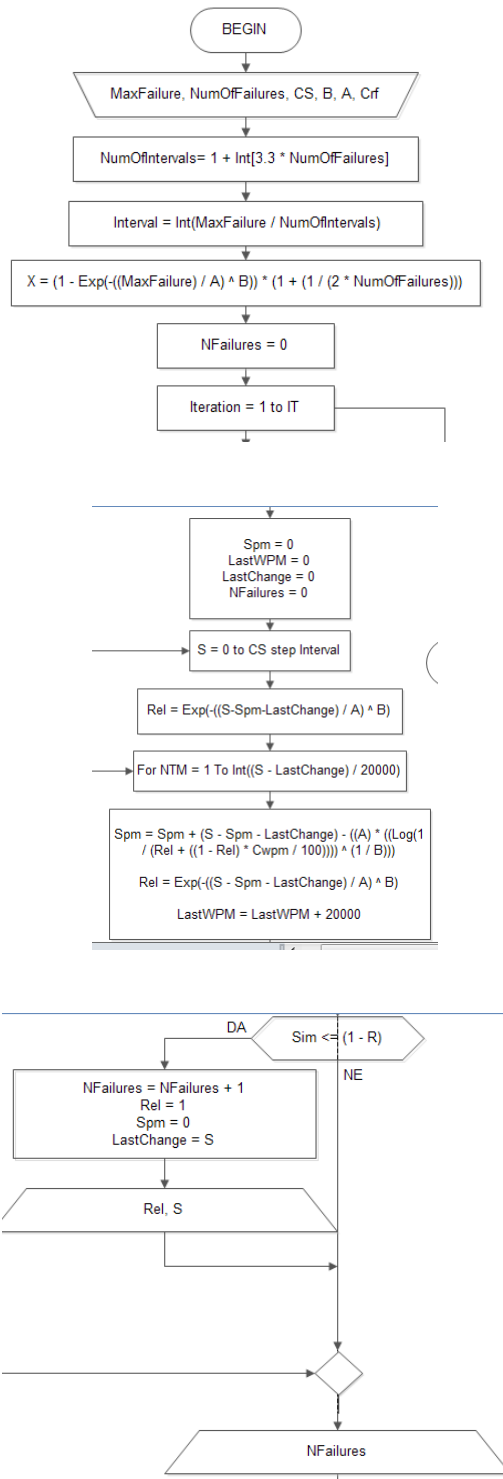
Kao rezultat softverske simulacije dobija se kretanje pouzdanosti komponenti dizel motora. Softver omogućava formiranje grafika kretanja pouzdanosti komponenti sistema tokom pređenog puta.

Softverska simulacija je prezentovana algoritmom na Slici 5.36.



Slika 5.36. Algoritam simulacije pouzdanosti komponenti dizel motora sa kombinovanim održavanjem (korektivno i uvedeno preventivno održavanje)
Izvor: Spasić, D., Milošević, D., Radovanović, Lj., Simulacioni model pouzdanosti dizel motora u eksploataciji, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika motornih vozila « Vrnjačka Banja – Goč, 2018.

Objašnjenje algoritam sa Slike 5.36. dato je po segmentima na Slici 5.37.



Početak

Unos podataka : maksimalna kilometraža do pojave otkaza, broj otkaza, kilometraža kalkulacije, koeficijent otklanjanja nepouzdanosti, parametri Vejbulove raspodele α, β .

Proračun broja intervala

Proračun veličine intervala

Maksimalna vrednost, pseudo slučajni broj sim.

Početne vrednosti , simulacionog broja.

Broj iteracija, zadat broj u našem slučaju od 1 do 100.

Početne vrednosti

Pređenog puta od 0 (km) do konačne kilometraže kalkulacije (km) sa korakom intervala.

Korak koji daje proračun trenutne vrednosti pouzdanosti NPM – broj preventivnih akcija održavanja (petlja koja ide od 1 do broja preventivnih akcija održavanja nakon poslednjeg intervala)

Kumulativna kilometraža za koju se pređeni put „vraća nazad“ usled preventivnih akcija održavanja.

Proračun trenutne vrednosti pouzdanosti

Korak preventivne akcije održavanja u proračunu

Provera postojanja otkaza (pitalica da li je došlo do otkaza)
Zbrajanje novog otkaza
Vraćanje pouzdanosti na 100 %
Kilometraža „vraćanja unazad“ nam je nula
Podešavanje kilometraže posle poslednjeg otkaza

Prikazivanje trenutnih vrednosti S

Kraj petlje NPM

Prikaz vrednosti broja otkaza (trenutni simulacioni broj otkaza)

Slika 5.37. Pojašnjenje algoritma simulacije pouzdanosti komponenti dizel motora

U algoritmu na Slici 5.36. je:

A – parametar razmere raspodele (α),
B – parametar oblika raspodele (β),
CS – kilometraža kalkulacije,
Int() – funkcija koja vraća celobrojnu vrednost,
Interval – period između dve tačke kalkulacije pouzdanosti,
LastChange – kilometraža poslednje korektivne akcije održavanja,
MaxFailure – maksimalna kilometraža do pojave otkaza u periodu opservacije,
MSimNumFailures – srednji broj otkaza tokom simulacije,
NFailures – simulacioni broj otkaza,
NumOfIntervals – broj intervala,
Rel – pouzdanost,
Sim – pseudo-slučajni broj čija vrednost određuje otkaze komponente,
IT – broj iteracija,
S – pređeni put,
Spm – kilometraža za koju se pređeni put *s* „vraća unazad“ usled preventivnih akcija održavanja,
X – maksimalna vrednost pseudo slučajnog broja sim

Program za izračunavanje pouzdanosti na osnovu algoritma simulacije (pouzdanosti dizel motora sa kombinovanim održavanjem - uvedene preventivne akcije održavanja) urađen je u Visual Basic 6.0 i MS Excel.

PROGRAM: SYSTEM RELIABILITY SIMULATION

- slučaj za dizel motor sa 10 komponentata

```
Public Sub START_Click()
'OBEZBEDI SLUCAJAN BROJ
objExcel.Workbooks.Open ("C:\Output.xls")
objExcel.Visible = True
objExcel.Sheets(1).Select
objExcel.Columns(1).Clear
objExcel.Columns(2).Clear
objExcel.Range("A7", "IV65000").Select
objExcel.Selection.Clear
ODRREĐIVANJE KILOMETRAŽE KALKULACIJE - cs
CS = Val(objExcel.Sheets(1).Cells(1, 27)) 'kilometraža obzevacije
'KRAJ ODRREĐIVANJA KRAJNJEG VREMENA KALKULACIJE
'ODREĐIVANJE INTERVALA KALKULACIJA (=1+3.3*log...)
BrojIntervala = 1 + Int(3.3 * Log(Val(objExcel.Sheets(1).Cells(4, 3 + Val(BKS)))))) '
BKS- Broj komponente sistema (1-10)
  MaxOtkaz = Val(objExcel.Sheets(1).Cells(5, 3 + Val(BKS)))
  Interval = Int(MaxOtkaz / BrojIntervala)
'KRAJ ODREĐIVANJE INTERVALA KALKULACIJA
objExcel.Sheets(1).Cells(7, 3 + Val(BKS)) = 1 'Rel
objExcel.Sheets(1).Cells(7, 1) = 0 ' S
objExcel.Sheets(1).Cells(6, 3 + Val(BKS)) = 0 'BrOtkaza
'objExcel.Sheets(1).Cells(7, 2) kilometraza otkaza
'ITERACIJE SIMULACIJE (IT)
```

```

For iteracija = 1 To Val(IT)
  Label1.Caption = iteracija
  BrojOtkaza = 0
  'SIMULACIJA POUZDANOSTI KOMPONENTE (pri svakom otkazu
  pouzdanostpodсистема se dovodi na vrednost R=1
  b = Val(objExcel.Sheets(1).Cells(2, Val(BKS) + 3))
  a = Val(objExcel.Sheets(1).Cells(3, Val(BKS) + 3))
  X = (1 - Exp(-((MaxOtkaz) / a) ^ b)) * (1 + (1 / (2 *
  Val(objExcel.Sheets(1).Cells(4, 3 + Val(BKS)))))) 'BKS - broj komponente sistema -
  unosi se u interfejsu
  Crf = Val(objExcel.Sheets(1).Cells(2, Val(BKS) + 16))
  Spm = 0
  ZadnjePrevOdr = 0
  ZadnjaZamena = 0
  Upis = 1
  BrOtkaza = 0
  For s = 0 To CS Step Interval
    Rel = Exp(-((s - Spm - ZadnjaZamena) / a) ^ b)
    objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 3 + Val(BKS)) =
    Val(objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 3 + Val(BKS))) * (iteracija - 1) / iteracija + (Rel
    / iteracija)
    objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 1) = (s)
    Upis = Upis + 1
    For KmPrevOd = 1 To Int((s - ZadnjePrevOdr) / 20000) ' Vremena nedeljnih održavanja
      If MedjuVremeNedOd = 1 Then Upis = Upis - 1
      Spm = Spm + (S - Spm - ZadnjaZamena) - ((a) * ((Log(1 / (Rel + ((1 - Rel) *
      NPM / 100)))) ^ (1 / b)))
      Rel = Exp(-((s - Spm - ZadnjaZamena) / a) ^ b)
      ZadnjePrevOdr = ZadnjePrevOdr + 20000 ' na 20000 km
      objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 3 + Val(BKS)) =
      Val(objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 3 + Val(BKS))) * (iteracija - 1) / iteracija + (Rel
      / iteracija) ' upis nove pouzdanosti
      objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 1) = (ZadnjePrevOdr) 'upis preventivnog
      održavanja
      Upis = Upis + 1
    Next KmPrevOd
    Sim = Rnd(1) * X
    If Sim <= (1 - Rel) Then 'neplanirani otkaz
      Upis = Upis - 1
      BrOtkaza = BrOtkaza + 1
      Rel = 1
      Spm = 0
      ZadnjaZamena = s
      objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 3 + Val(BKS)) =
      Val(objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 3 + Val(BKS))) * (iteracija - 1) / iteracija + (Rel
      / iteracija)
      objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 1) = (t)
      Upis = Upis + 1
      'objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 2) = (s - Spm - ZadnjaZamena)
    End If
  Next s
Next iteracija

```

Next s

'KRAJ SIMULACIJA POUZDANOSTI KOMPONENTE

'KRAJ ITERACIJE SIMULACIJE

objExcel.Sheets(1).Cells(6, 3 + Val(BKS)) = Val(objExcel.Sheets(1).Cells(6, 3 + Val(BKS))) * (iteracija - 1) / iteracija + (BrOtkaza / iteracija)

If iteracija = 1 Then Stop

Next iteracija

Label1 = "KRAJ"

Stop

objExcel.Workbooks(1).Close SaveChanges:=True

objExcel.Quit

Set objExcel = Nothing

End Sub

c) Analiza

Predloženi model pouzdanosti dizel motora i njegovih komponenti u eksploataciji zasnovan na Monte Karlo metodi i Vejbulovoj raspodeli daje kvantitativnu analizu i egzaktne pokazatelje koliko je određena izmena u održavanju doprinela da se povisi pouzdanost motora u eksploataciji (procenete), pa se dalja analiza zasniva na njoj.

Podaci o pouzdanosti celog sistema dizel motora dobijeni ovakvim simulacionim modelom su kvalitetniji od onih koji bi se dobili nekim do sada primenjivim metodama. Pogotovo je vreme za koje se dobija proračun na platformi personalnog računara i prosečna vrednost pouzdanosti komponenti za čak 10 godina operativnog rada vrlo prihvatljiva i time je model u potpunosti primenljiv. Dati model predviđa bilo koje periodične preventivne akcije održavanja kao i korektivne za sve komponente sistema i to mu daje fleksibilnost i mogućnost široke primene. On takođe preko koeficijenta otkrivanja nepouzdanosti održavanja procenjuje efektivnost preventivnog održavanja ali takođe i daje mogućnost da se utvrde posledice efektivnijeg ili manje efektivnog održavanja.

Simulacija za period od deset godina nesumnjivo ukazuje da ne postoji nikakva mogućnost da se uobičajenim metodama kvalitetnije modeluje pouzdanost sistema jer je kretanje pouzdanosti tokom promenjive jako dinamično i složeno. Ovo je postignuto uvođenjem koeficijenta otklanjanja nepouzdanosti održavanja C_{rf} koji promenom vrednosti opisuje pozitivan efekat preventivnih akcija održavanja.

Akumuliranjem vrednosti pouzdanosti i dobijanjem prosečnih vrednosti za svaku od tačaka kalkulacije stiče se uvid u dugoročne posledice održavanja¹⁴⁷.

Promenom efektivnosti održavanja koja je izražena različitim vrednostima koeficijenta C_{rf} stiče se uvid u posledice akcija održavanja i njihovu refleksiju na pouzdanost komponenti sistema. Izlazni podaci o pouzdanosti se mogu kumulirati te dobiti kumulativne vrednosti pouzdanosti i time se direktno uporediti efekti različitih akcija održavanja. Prosečan broj otkaza komponenti je podesan za dobijanje finansijskih efekata koji se odnose na cene održavanja i zastoja.

¹⁴⁷ Maksimović, P., Spasić, D., Milošević, D., Dijagnostika motornih vozila sa dizel motorom, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika motornih vozila«, Vrnjačka Banja, Goč, 01. i 02. 06. 2018., rad br. 11., ISBN 978-86-83701-53-7

Promene nastale u prosečnom broju otkaza nakon primene preventivnog održavanja umnožene cenom zastoja lako daju uvid u finansijske efekte.

Za izgrađeni model pouzdanosti mogu se izvesti sledeći zaključci¹⁴⁸:

- razvijeni model pouzdanosti je stohastički i primenljiv na složene sisteme;
- model uvažava postojanje korektivnih i preventivnih akcija održavanja različitog efekta na pouzdanost komponenti što omogućava stvaranje slike o stanju dizel motora;
- uvodi veličinu C_{rf} koja odražava efekte održavanja na pouzdanost komponente sistema, ali je ovaj koeficijent primenljiv na svaku vrstu održavanja;
- model je primenljiv za slučajeve nedostatka potpune evidencije o otkazima kao i u slučaju malog broja otkaza pojedinog podsistema, što je čest slučaj;
- softver simulacija ima prihvatljivo vreme rada;
- model predstavlja odličnu osnovu za dobijanje finansijskih efekata različitih scenarija kombinovanog održavanja;
- model je fleksibilan za implementaciju svake vrste preventivnog održavanja;
- ovakav model može služiti i za optimizaciju održavanja, posebno za sisteme koji su skupi kao što je specijalno komunalno vozilo.

U daljem nastavku rada formirani model će poslužiti za rad sa podacima sakupljenim tokom deset godina eksploatacije specijalnih vozila sa dizel motorima novije generacije u Javnom komunalnom preduzeću, koji su bili održavani korektivnim održavanjem, obzirom da su se preventivne akcije izvele u par slučajeva kada su se desile havarije na dizel motoru. U simulaciji će se analizirati kombinovano održavanje odnosno korektivno i preventivno održavanje zajedno. Pošto se tokom analize podataka tokom deset godina eksploatacije (predstavljene u podpoglavlju 5.1.1.) mogle zaključiti određene zakonitosti te iz njih doneti određene mere i time povisiti pouzdanost dizel motora u eksploataciji, simulacijom se može konkretno videti povišenje pouzdanosti.

Stvoreni model napunjen podacima o otkazima iz eksploatacije konkretno za dekomponovan tehnički sistem tj. dizel motor, pruža širok spektar dobijenih informacija po izvršenim simulacijama za različite slučajeve i scenarija. Simulacijom se dobijaju pouzdanost i nepouzdanost pojedinačno za svaku komponentu, za dizel motor kao sistem, za odabrani deo motora ili određene komponente zajedno, a sve u cilju pronalaženja što boljeg održavanja u dozvoljenim uslovima¹⁴⁹.

¹⁴⁸ Spasić, D., Radovanović, Lj., Radovanović, R., Jovanov, G., Prepoznavanje havarijskih stanja dizel motora i modeliranje havarijskih stanja dizel motora, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika motornih vozila«, Vrnjačka Banja, Goč, 01. i 02. 06. 2018., rad br.5., ISBN 978-86-83701-53-7

¹⁴⁹ Spasić, D., Radovanović, Lj., Milošević, D., Meza, S., Kontrola radne sposobnosti dizel motora klasifikacija kontrole i sistema havarijske zaštite, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika motornih vozila«, Vrnjačka Banja, Goč, 01. i 02. 06. 2018., rad br. 3., ISBN 978-86-83701-53-7

5.4. PRIMENA NOVOFORMIRANOG MODELA POUZDANOSTI

Na Slici 5.38. su prikazani simulacioni eksperimenti primene novoformiranog modela kao i četiri moguća scenarija kod kojih se očekuje najveće povišenje pouzdanosti.



Slika 5.38. Scenarija povišenja pouzdanosti kroz simulacione eksperimente

Na osnovu algoritma sa Slike 5.36 urađen je softver simulacije pouzdanosti komponenti dizel motora (softver dat u prilogu broj 3). Kretanje je urađeno u odnosu na pređeni put.

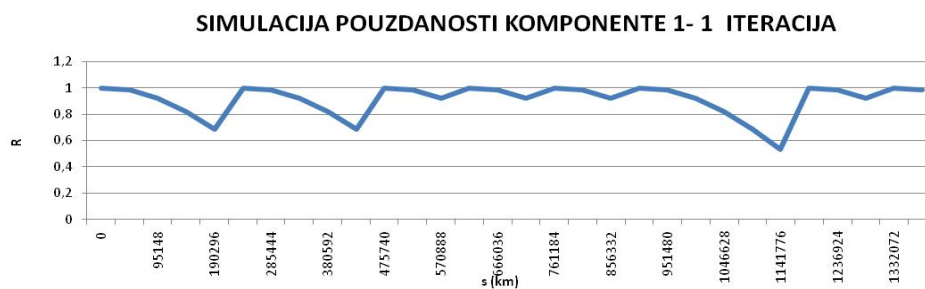
Na osnovu toga dobijeni rezultati analizirani su kroz slučajeve:

- Kretanja pouzdanosti i nepouzdanosti svih komponenti dizel motora grupe jedan i grupe dva vozila sa urađenim korektivnim akcijama održavanja, simulacija stanja sa prikupljenim podacima iz eksploatacije, jedna iteracija, na osnovu podataka iz Tabela 5.40. i 5.41., (urađena simulacija na osnovu otkaza dizel motora tokom deset godina rada);
- Kretanja pouzdanosti svih komponenti dizel motora grupe jedan i grupe dva vozila sa kombinovanim održavanjem (korektivnim i preventivnim akcijama), jedna iteracija (uvedene preventivne akcije u vreme redovnog servisa na 20000 km sa ciljem povišenja eksploatacionog nivoa pouzdanosti rada dizel motora),
- Prosečno kretanje pouzdanosti i prosečan broj otkaza komponenti dizel motora vozila G1 i G2 sa kombinovanim održavanjem, sto iteracija (uvedene preventivne akcije u vreme redovnog servisa na 20000 km sa ciljem povišenja pouzdanosti rada dizel motora),
- Kretanje ukupne pouzdanosti i prosečan broj otkaza dizel motora u vozilima G1 i G2, sto iteracija, četiri scenarija (uvedene preventivne akcije u vreme redovnog servisa na 20000 km sa ciljem povišenja pouzdanosti rada dizel motora),
- Simulacija povišenja pouzdanosti dizel motora putem aditiviranja motornog ulja,
- Simulacija povišenja pouzdanosti smanjenjem greške kontrole putem rezerviranja davača (senzora) na dizel motorima.

5.4.1. Simulacije kretanja pouzdanosti komponenti dizel motora za obe grupe vozila (grafički prikazi pouzdanosti i nepouzdanosti)

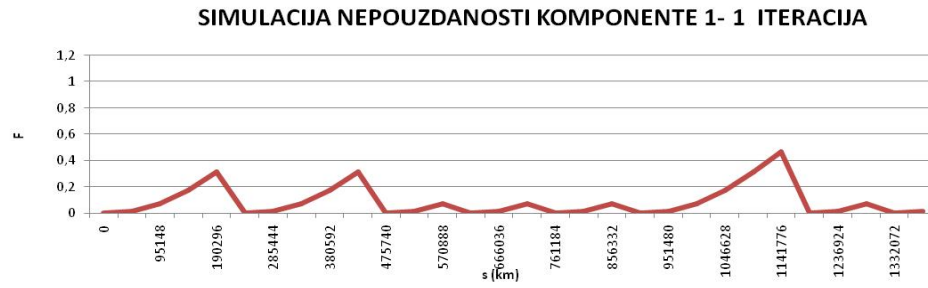
a) Simulacija kretanja pouzdanosti komponenti dizel motora obe grupe vozila, sa korektivnim održavanjem – jedna iteracija

Simulacija stanja sa prikupljenim podacima iz eksploatacije data na Slikama 5.39. do 5.66. (kretanja pouzdanosti i nepouzdanosti svih komponenti dizel motora grupe jedan i grupe dva vozila samo sa urađenim korektivnim akcijama održavanja)¹⁵⁰.

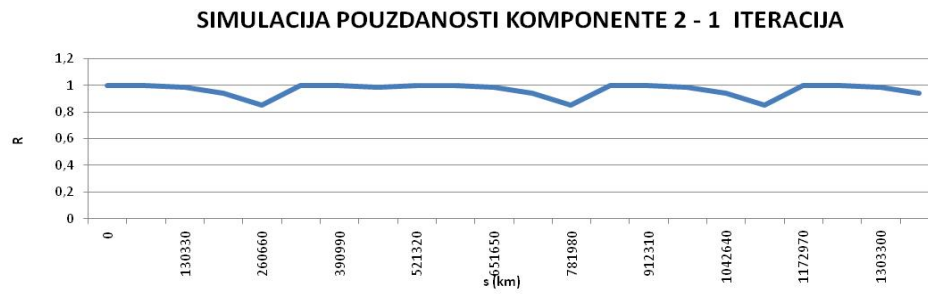


Slika 5.39. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K1

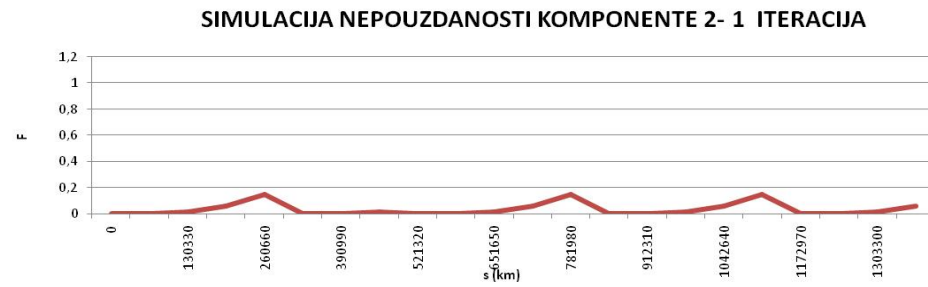
¹⁵⁰ Vulovic, M., Spasić, D., Prvulovic, S., Ispitivanje motornih vozila sa dizel motorom, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika saobraćajnih vozila«, Vrnjačka Banja, Goč, 01. i 02. 06. 2018., rad br. 25. ISBN 978-86-83701-53-7.



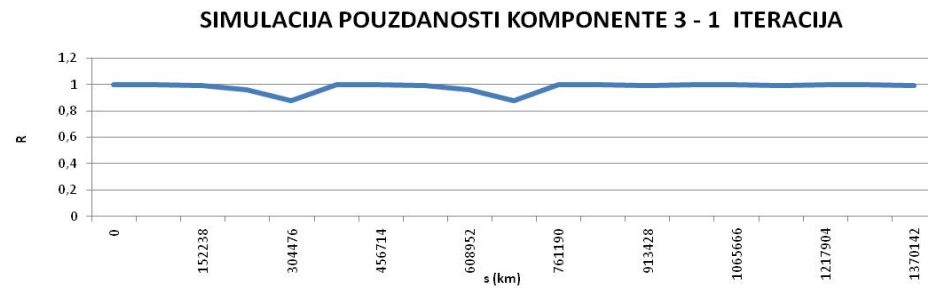
Slika 5.40. Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K1



Slika 5.41. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K2



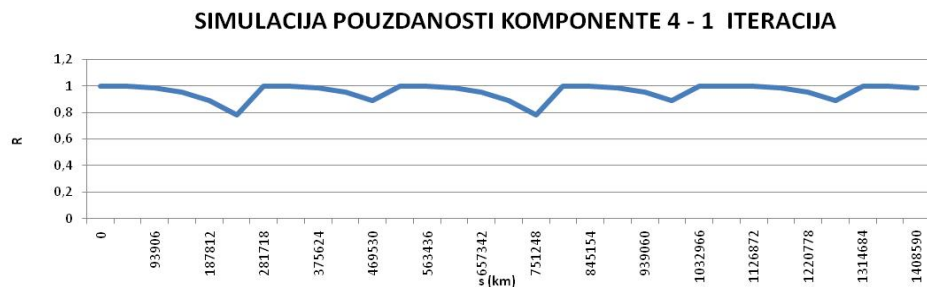
Slika 5.42. Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K2



Slika 5.43. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K3



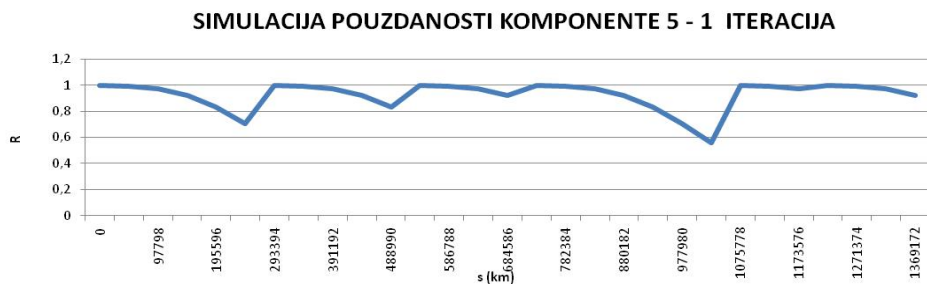
Slika 5.44. Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K3



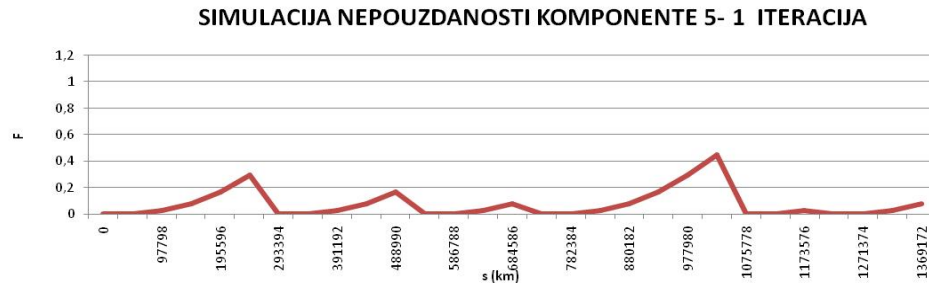
Slika 5.45. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K4



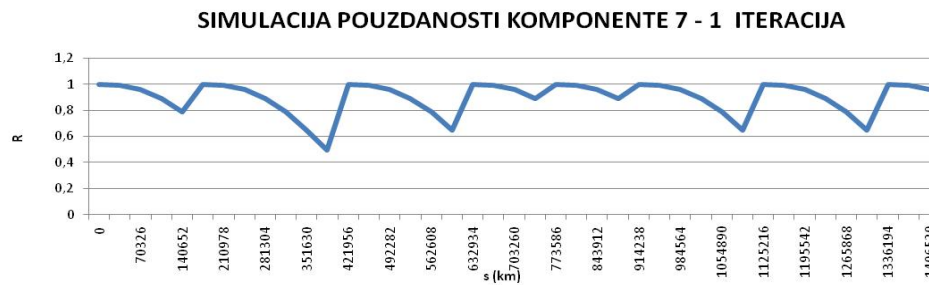
Slika 5.46. Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K4



Slika 5.47. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K5



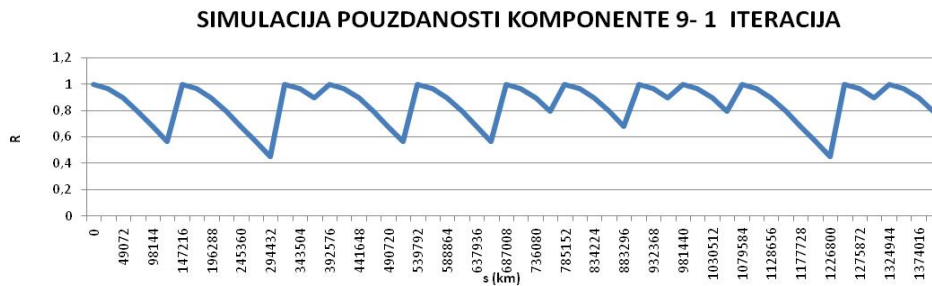
Slika 5.48. Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K5



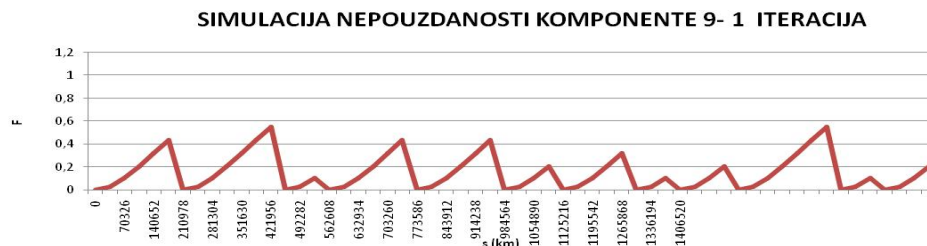
Slika 5.49. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K7



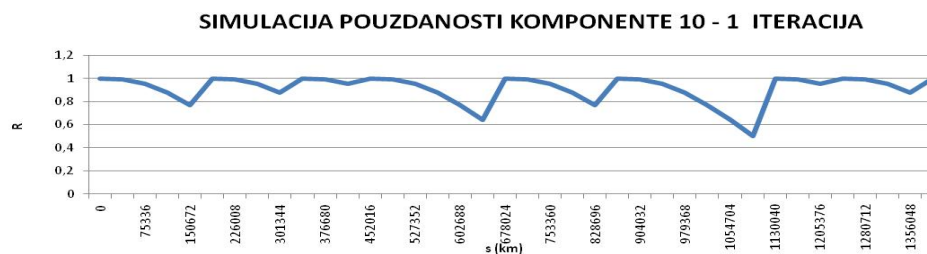
Slika 5.50. Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K7



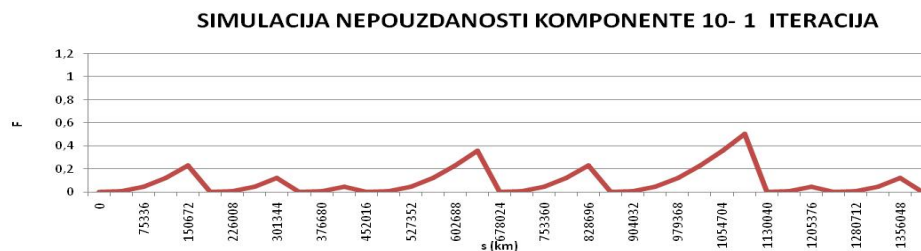
Slika 5.51. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K9



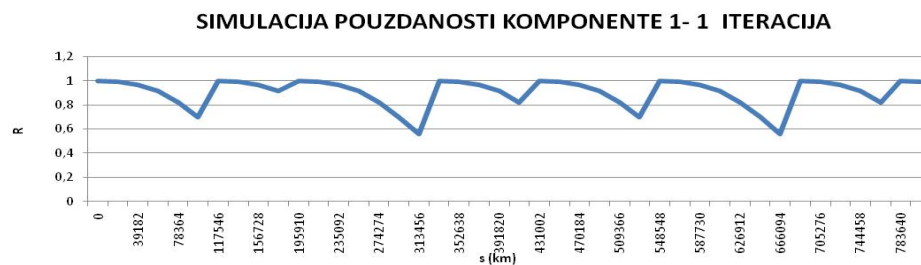
Slika 5.52. Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K9



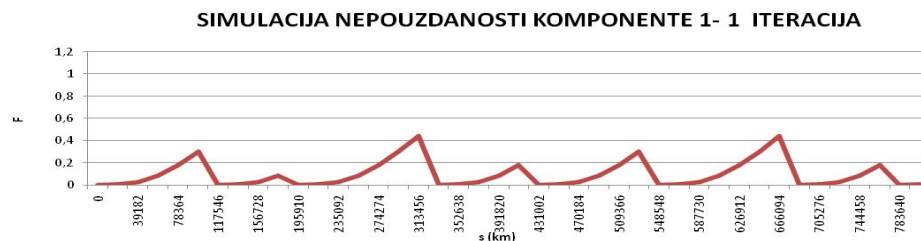
Slika 5.53. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K10



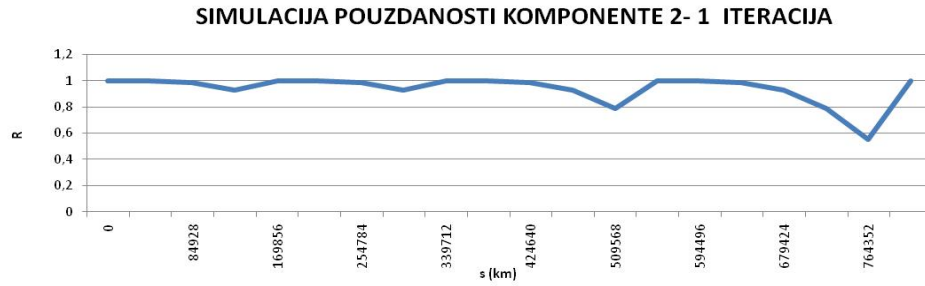
Slika 5.54. Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G1-K10



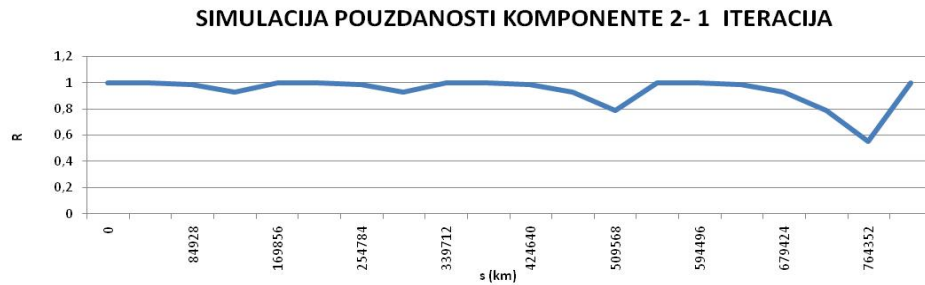
Slika 5.55. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G2-K1



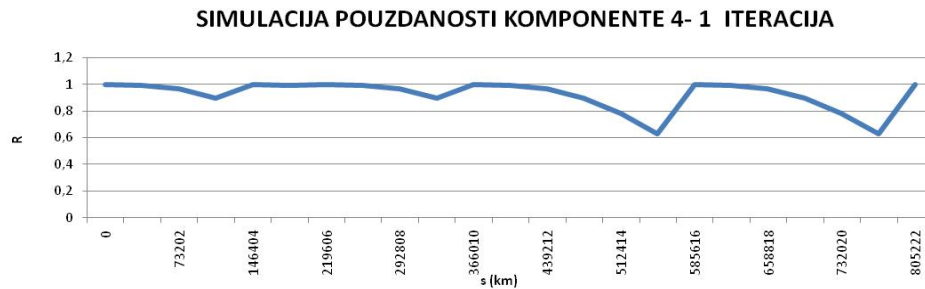
Slika 5.56. Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G2-K1



Slika 5.57. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G2-K2



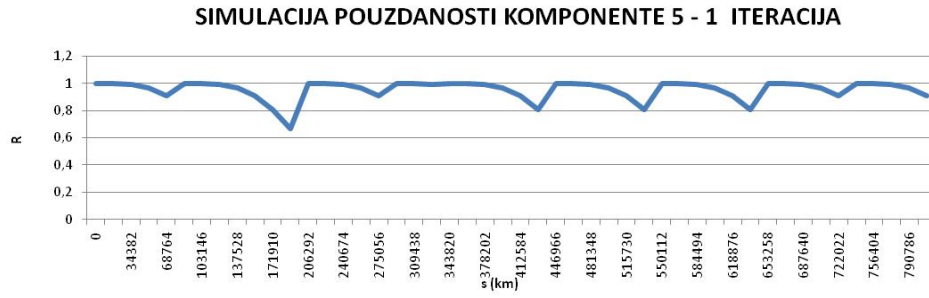
Slika 5.58 Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G2-K2



Slika 5.59. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G2-K4



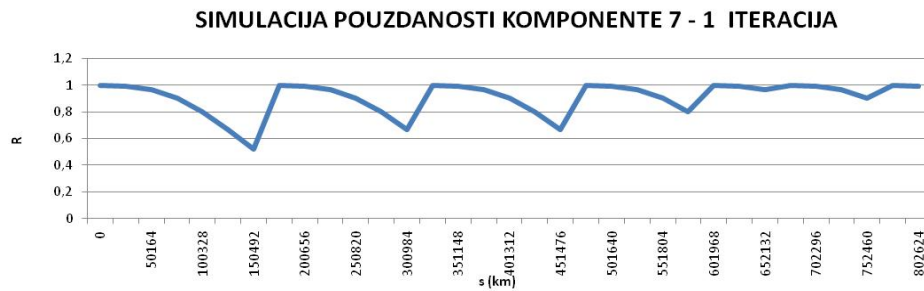
Slika 5.60. Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G2-K4



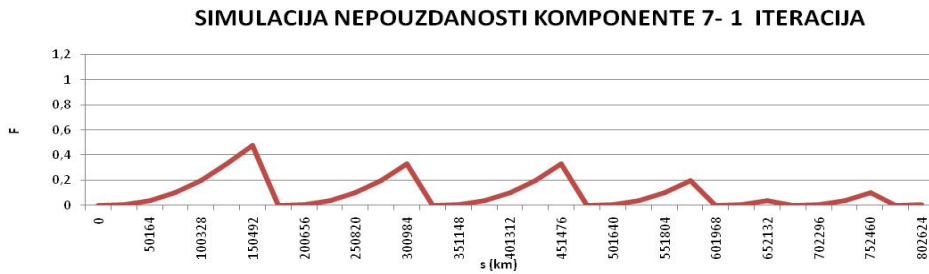
Slika 5.61. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G2-K5



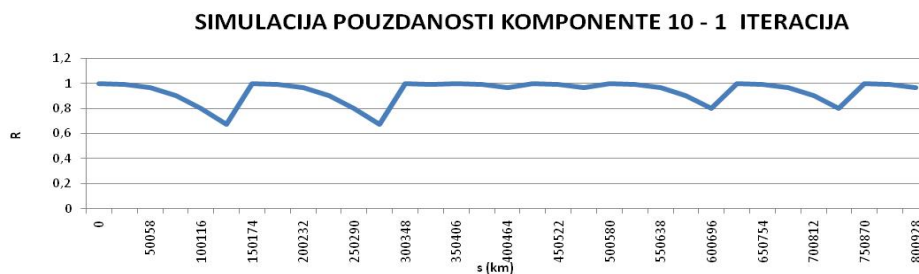
Slika 5.62. Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G2-K5



Slika 5.63. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G2-K7



Slika 5.64. Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G2-K7



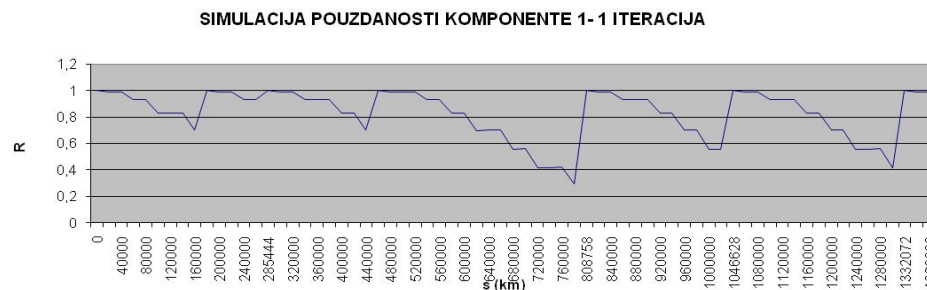
Slika 5.65. Simulacija pouzdanosti (samo korektivno održavanje) G2-K10



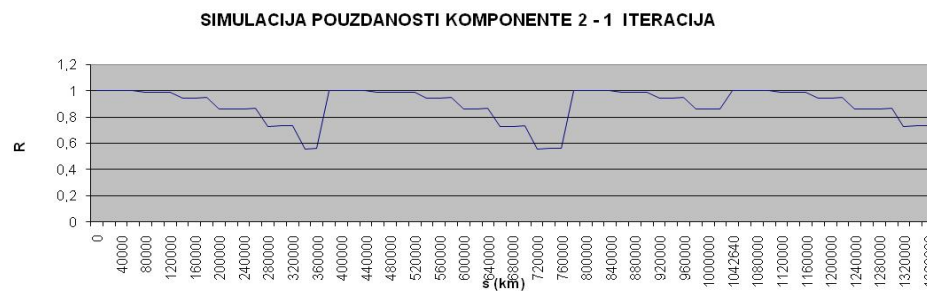
Slika 5.66. Simulacija nepouzdanosti (samo korektivno održavanje) G2-K10

b) Simulacija povišenja nivoa pouzdanosti komponenti dizel motora obe grupe vozila uvedenjem preventivnog održavanja – jedna iteracija, (preventivne akcije u vreme redovnog servisa na 20000 km)

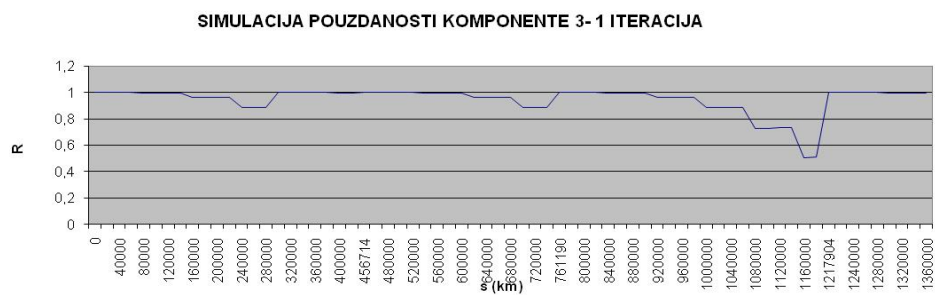
Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja sa jednom iteracijom prikazano na Slikama 5.67.do 5.80.).



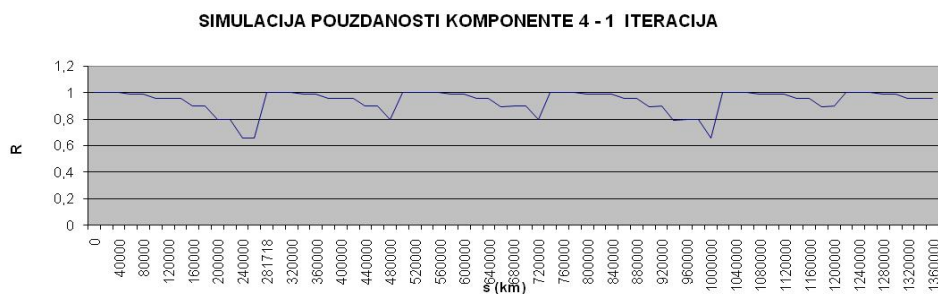
Slika 5.67. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G1-K1



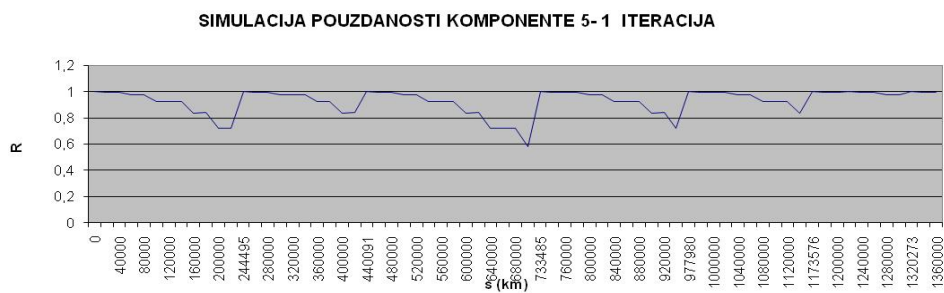
Slika 5.68. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G1-K2



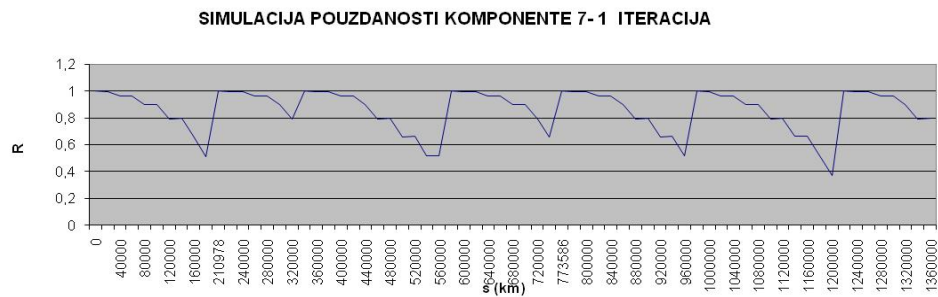
Slika 5.69. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G1-K3



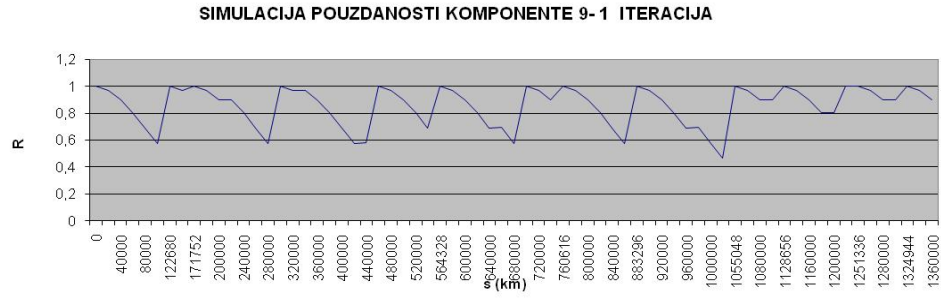
Slika 5.70. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G1-K4



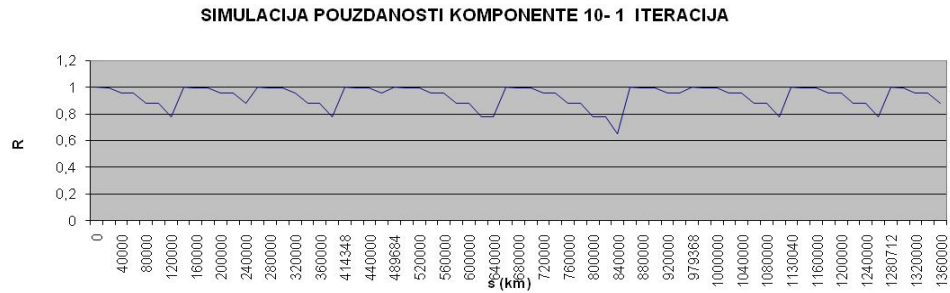
Slika 5.71. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G1-K5



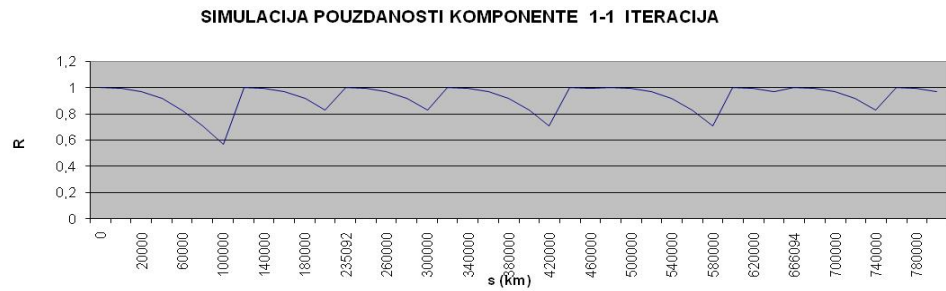
Slika 5.72. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G1-K7



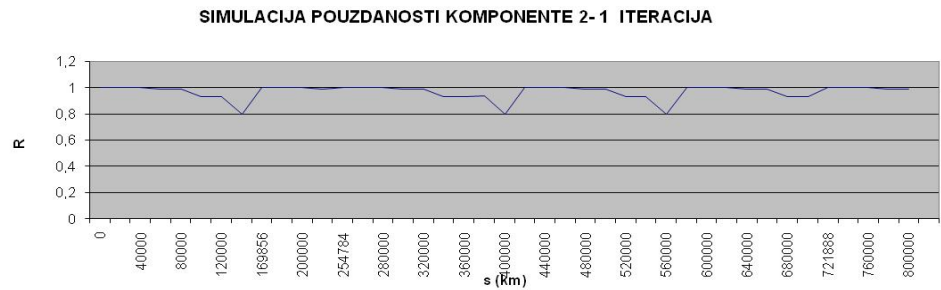
Slika 5.73. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G1-K9



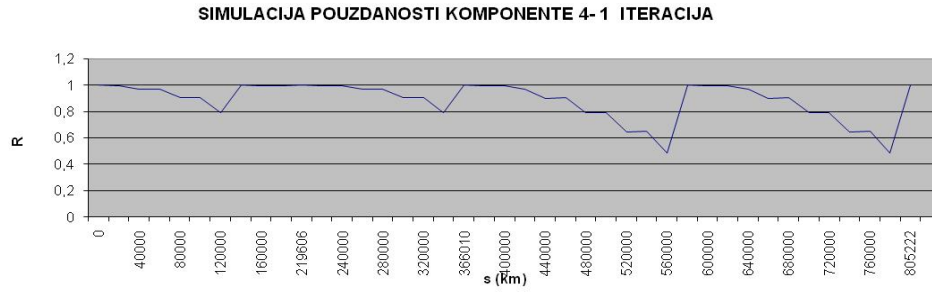
Slika 5.74. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G1-K10



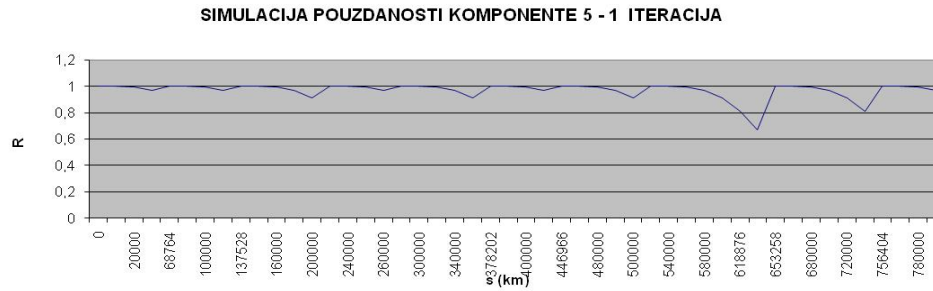
Slika 5.75. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G2-K1



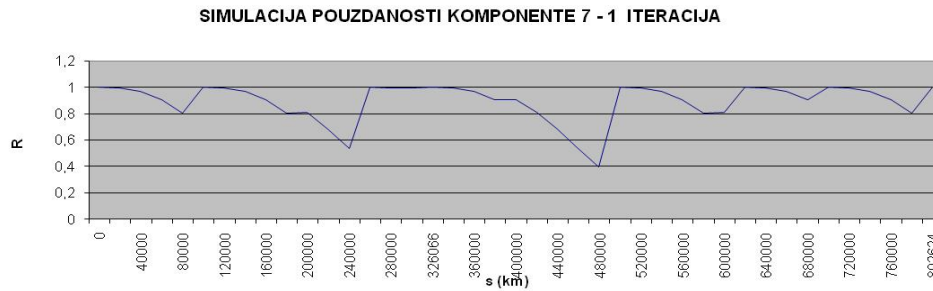
Slika 5.76. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G2-K2



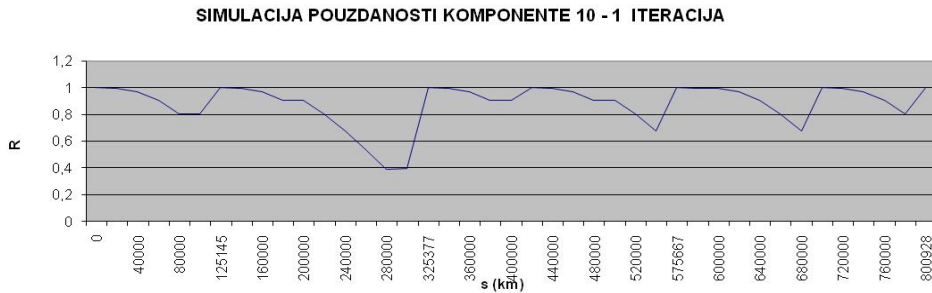
Slika 5.77. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G2-K4



Slika 5.78. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G2-K5



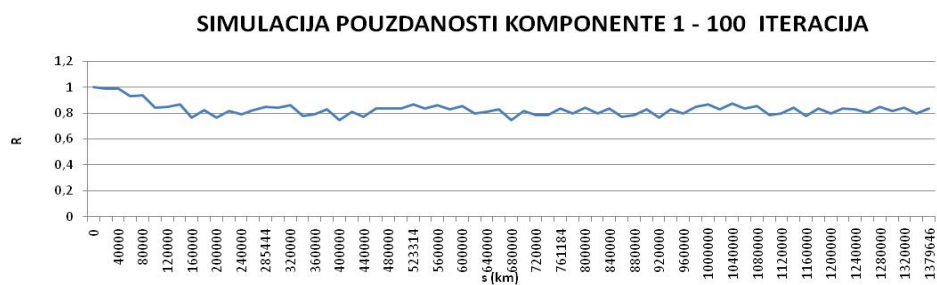
Slika 5.79. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G2-K7



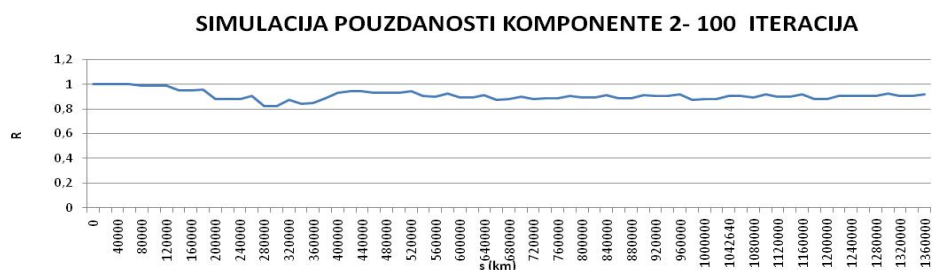
Slika 5.80. Simulacija pouzdanosti preventivne i korektivne akcije održavanja G2-K10

c) Simulacija povišenja nivoa pouzdanosti komponenti dizel motora obe grupe vozila uvedenjem preventivnog održavanja- sto iteracija (preventivne akcije u vreme redovnog servisa na 20000 km)

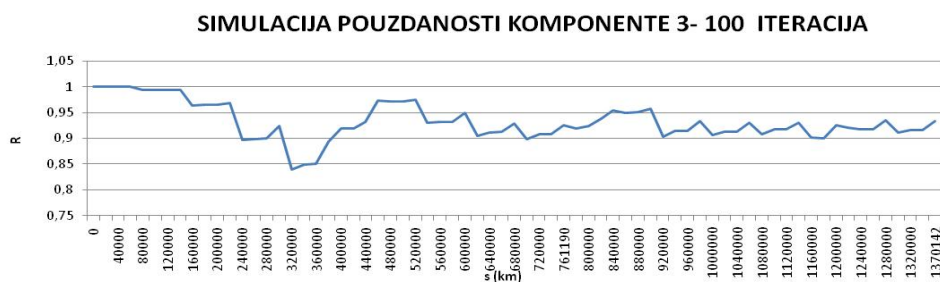
Za grupu vozila G1, simulacija održavanja sa preventivnim radnjama po komponentama, prosečno kretanje pouzdanosti i prosečan broj otkaza (sto iteracija) prikazano je na Slikama 5.81 do 5.88.



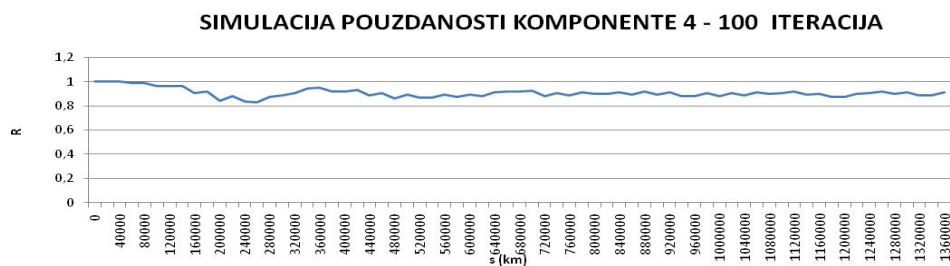
Slika 5.81 . Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G1-K1



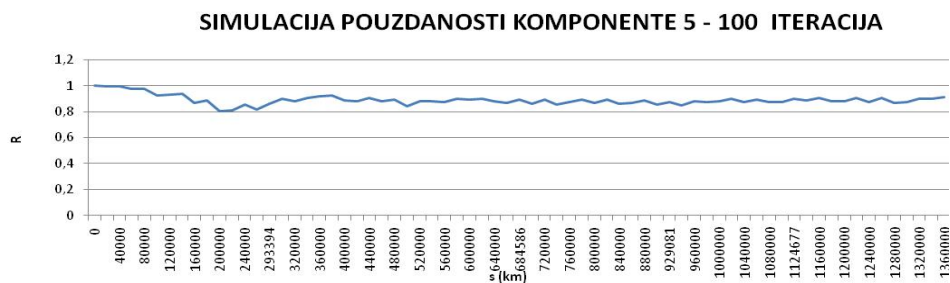
Slika 5.82. Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G1-K2



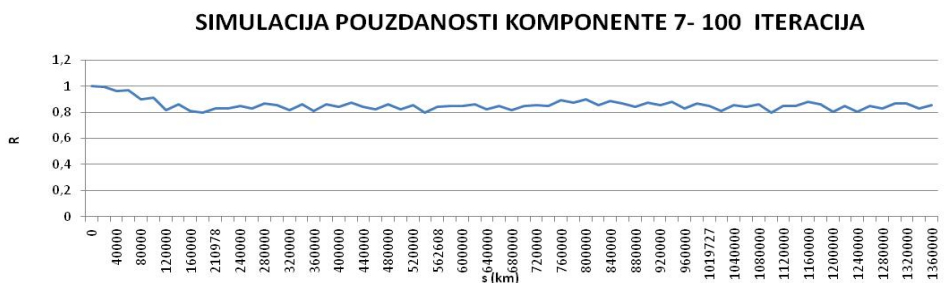
Slika 5.83. Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G1-K3



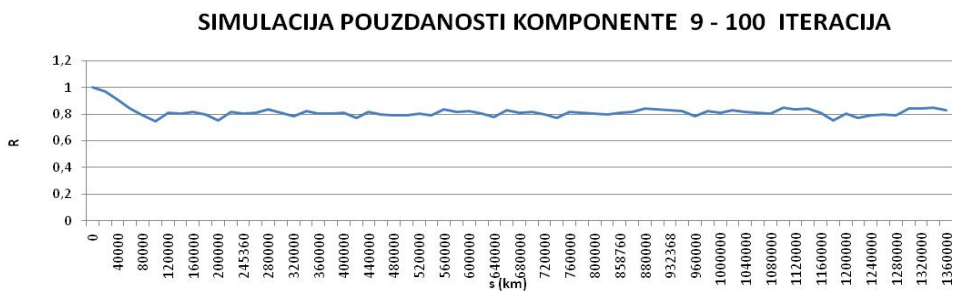
Slika 5.84. Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G1-K4



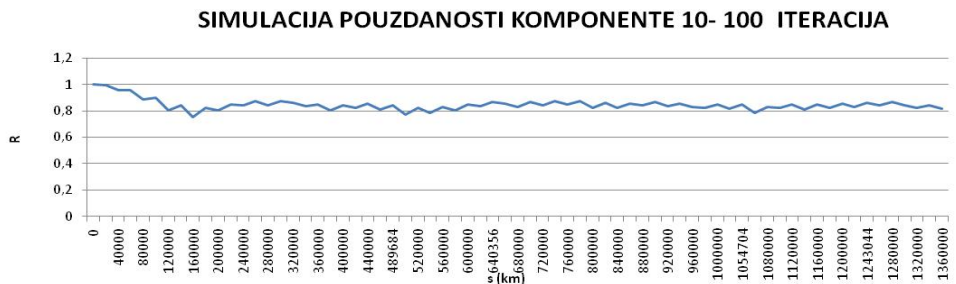
Slika 5.85. Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G1-K5



Slika 5.86. Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G1-K7



Slika 5.87. Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G1-K9



Slika 5.88. Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G1-K10

Uvođenjem preventivnih radnji održavanje za grupu vozila jedan G1 na 20000 km u vreme servisa u simulaciji koja je predstavljena, može se videti da se prosečno kretanje pouzdanosti po komponentama povisilo od 35% do 45%, a broj otkaza za ceo dizel motor u proseku se smanjuje sa **6,2** otkaza (na 100000 km) na **3,7** otkaza (na 100000 km). Ovaj podatak iz simulacije govori da se uvođenjem preventivnih radnji održavanja u redovnom servisu može postići prilično visok nivo smanjenja otkaza, u proseku **40,77%**, a da pri tome vozila koja su neophodna za rad ne budu u velikom izostanku sa posla. Analizom se može zaključiti da je najveći broj otkaza dolazio u nekom prosečnom angažovanom pređenom putu pri radu na 25000 km, pa je odabir intervala akcija preventivnih održavanja u intervalu servisa, koji inače i dolazi na 20000 km (preporuka proizvođača ulja koje se koristi za podmazivanje analiziranih dizel motora – Castrol Magnetic), predstavlja najpogodniji trenutak preventivnih akcija održavanja.

U Tabeli 5.46. simulacija održavanja sa uvedenim preventivnim radnjama po komponentama za grupu vozila G1 (prosečno kretanje pouzdanosti i prosečan broj otkaza - sto iteracija) nalaze se podaci za svaku komponentu zasebno. Za komponente K6 i K8 zbog nedovoljno otkaza, simulacioni model je zanemario postojanje otkaza, pa te dve grupe nisu ni analizirane.

Tabela. 5.46. Simulacija povišenja pouzdanosti dizel motora sa preventivnim radnjama održavanja po komponentama i zbirno za grupu vozila G1 prosečan broj otkaza (sto iteracija)

G1	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	G1-dizel motor
Prosečan broj otkaza na 100000 km samo sa korektivnim održavanjem	0,785903	0,471019	0,393494	0,585364	0,641071	/	0,907514	/	1,565997	0,847883	6,198245
Prosečan simulacioni broj otkaza na 100000 km sa preventivnim održavanjem	0,431714	0,279802	0,252952	0,368829	0,378721	/	0,542645	/	0,910061	0,50661	3,671335
Smanjenja otkaza dato u procentima	45,0678 %	40,5966 %	35,7165 %	36,9915 %	40,9237 %	/	40,2053 %	/	41,8861 %	40,25 %	40,7682 %
Apsolutno smanjenje otkaza posle preventivnog održavanja na 100000 km	0,354189	0,191217	0,140542	0,216535	0,262235	/	0,364868	/	0,655935	0,341273	2,52691

U tabeli su dati:

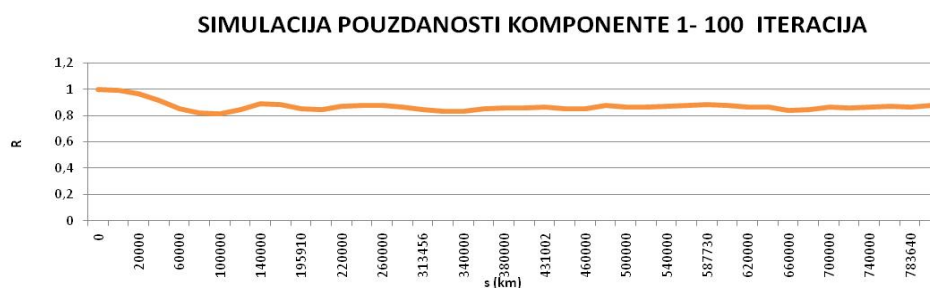
- prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km,
- prosečan simulacioni broj otkaza na 100000 km,
- smanjenja otkaza u procentima,

- apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km.

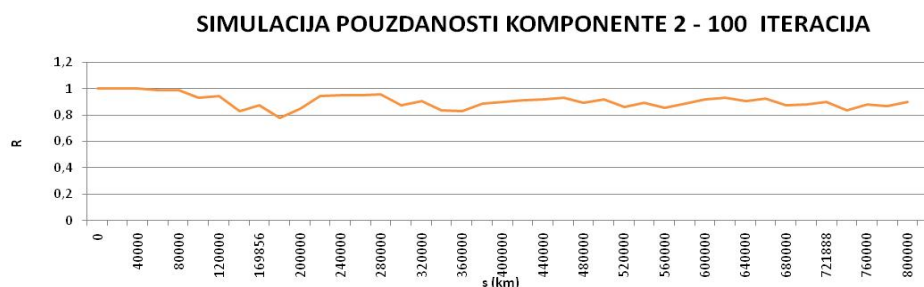
Primećuje se da za komponentu K9 u grupi G1 koja ima najviše otkaza na pređenih 100000 km (**1,57** otkaza), pri uvođenju preventivnih radnji održavanja prosečan simulacioni broj otkaza (na 100000 km) je bio **0,91**, što je smanjenje otkaza za **0,66** na 100000 km ili **41,89%**.

Podaci koji su dobijeni u simulaciji govore da se u kombinaciji sa iskustvenim merama u poglavlju 5.1.1. može postići zavidan nivo pouzdanosti, odnosno uvođenjem mera preventivnih radnji na 20000 km u kombinaciji sa predloženim iskustvenim merama podižemo nivo pouzdanosti dizel motora kod grupe G1 što je i bio cilj.

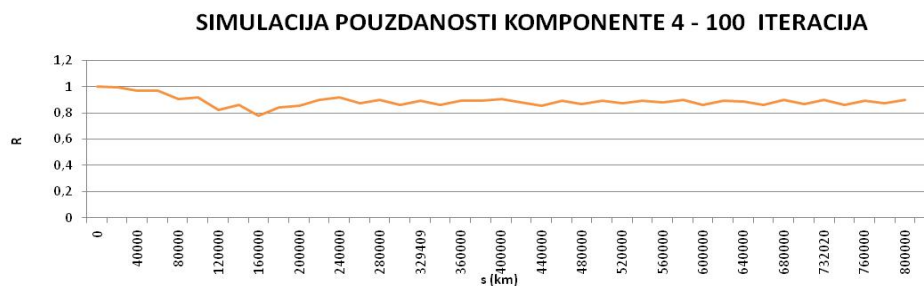
Za grupu vozila G2, simulacija održavanja sa preventivnim radnjama po komponentama, prosečno kretanje pouzdanosti i prosečan broj otkaza (sto iteracija) je prikazana na Slikama 5.89. do 5.94.



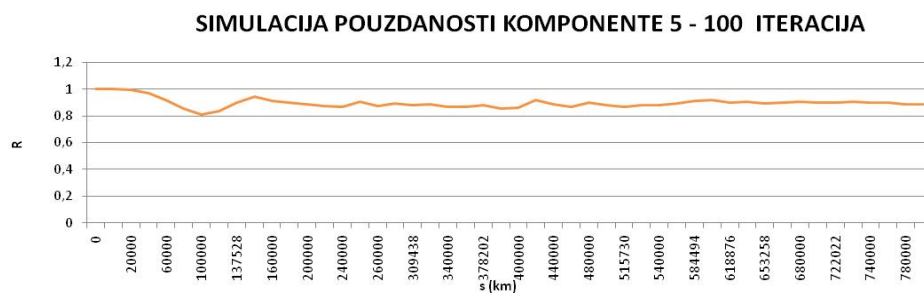
Slika 5.89. Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G2-K1



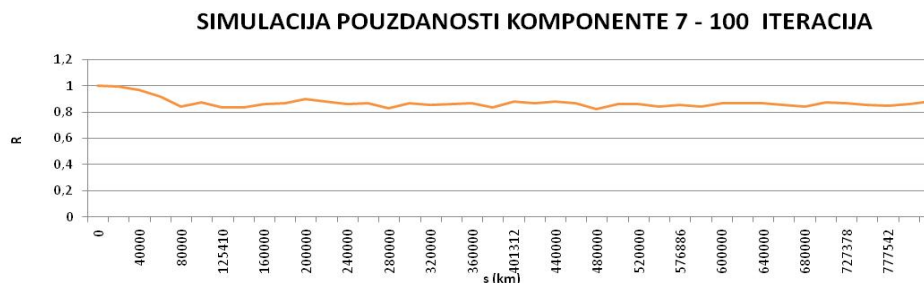
Slika 5.90. Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G2-K2



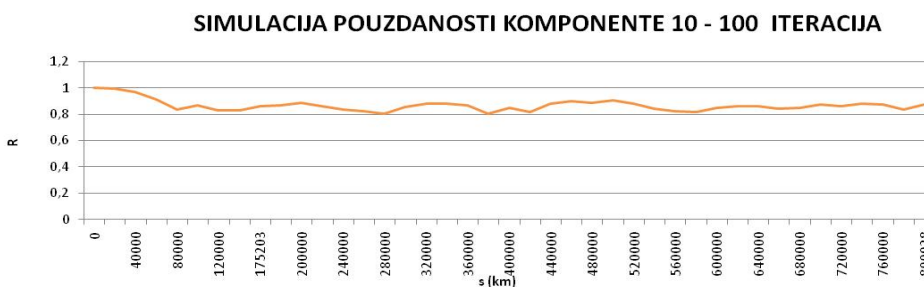
Slika 5.91. Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G2-K4



Slika 5.92. Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G2-K5



Slika 5.93. Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G2-K7



Slika 5.94. Simulacija pouzdanosti (100 iteracija) G2-K10

Uvođenjem preventivnih radnji održavanje za grupu vozila G2 na 20000 km u vreme servisa u simulaciji koja je predstavljena, vidimo da se prosečno kretanje smanjenja otkaza u procentima kreće od 30% do 60%, a broj otkaza za ceo dizel motor u proseku se smanjuje sa **7,8** otkaza (na 100000 km) na **4,5** otkaza zbirno za ceo motor.

U Tabeli 5.47. data je simulacija održavanja sa uvedenim preventivnim radnjama po komponentama za grupu vozila G2, prosečno kretanje pouzdanosti i prosečan broj otkaza (sto iteracija). Dati su podaci za svaku komponentu zasebno. Za komponente K3, K6, K8 i K9 zbog nedovoljno otkaza, simulacioni model je zanemario postojanje otkaza pa te komponente nisu ni analizirane. Prosečno smanjenje otkaza u hipotetičkoj situaciji, kada se komponente koje su analizirane podvrgnu preventivnom održavanju kod svih posmatranih dizel motora i to na 20000 km, bilo bi manje otkaza za **42,72%**.

Tabela. 5.47. Simulacija povišenja pouzdanosti dizel motora sa preventivnim radnjama održavanja po komponentama i zbirno za grupu vozila G2 prosečan broj otkaza (sto iteracija)

G2	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	dizel motor
Prosečan broj otkaza na 100000 km, samo sa korektivnim održavanjem	1,525251	0,732764	/	0,961461	1,390843	/	1,236167	/	/	1,970944	7,817431
Prosečan simulacioni broj otkaza na 100000 km sa preventivnim održavanjem	0,941959	0,491995	/	0,562456	0,960502	/	0,766424	/	/	0,754062	4,477398
Smanjenja otkaza dato u procentima (procentualno smanjenje)	38,2423 %	32,8577 %	/	41,4999 %	30,941 %	/	38 %	/	/	61,7411 %	42,7255 %
Apsolutno smanjenje otkaza posle preventivnog održavanja na 100000 km	0,583291	0,24077	/	0,399005	0,430341	/	0,469744	/	/	1,216882	3,340034

Podaci koji su dobijeni u ovoj simulaciji pokazuju da se uvođenjem preventivnih radnji održavanja na 20000 km i za ovu grupu vozila G2 može postići zavidan nivo pouzdanosti dizel motora u eksploataciji, što je i bio cilj.

5.4.2. Simulacija povišenja nivoa pouzdanosti komponenti dizel motora obe grupe vozila uvođenjem preventivnog održavanja- 4 moguća scenarija

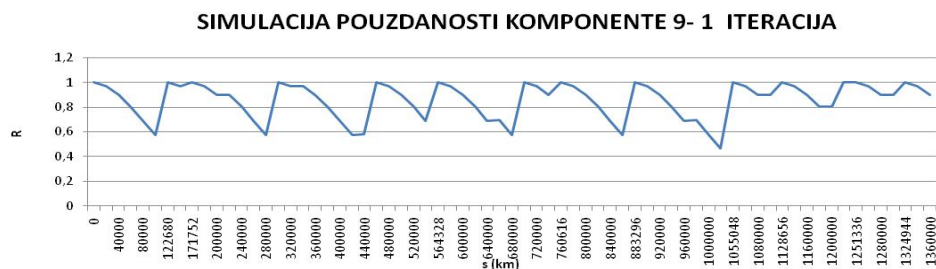
Kretanje ukupne pouzdanosti vozila kao i prosečan broj otkaza dizel motora moguće je posmatrati kroz mnogo različitih kombinacija za analizu, odnosno moguće je uraditi mnogo različitih scenarija održavanja. Predstavljanje četiri najrealnija scenarija za uslove održavanja posmatranog sistema u JKP „Zelenilo“.

Scenario 1.

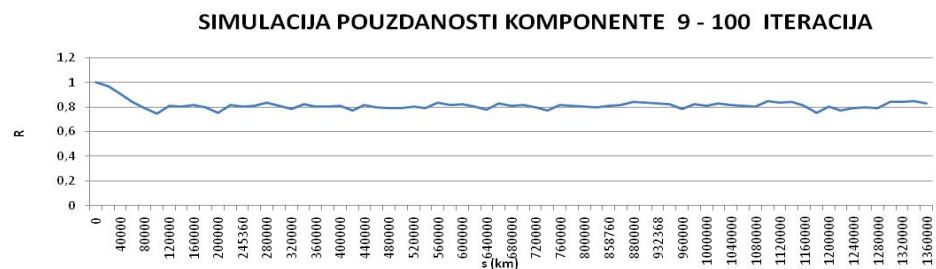
Povisiti pouzdanost dizel motora za (grupu 1) G1 specijalnih komunalnih vozila koja zbog potrebe posla rade u mestu (dok se izvršava utovar smeća vozila se ne kreću), a njihovi dizel motori su stalno u režimu malog broja obrtaja.

Kod ovog scenarija se vrši povišenje pouzdanosti komponente K9 preventivnim akcijama održavanja na svakih 20000 km. Iz simulacione analize se dobija kretanje ukupne pouzdanosti i prosečan broj otkaza dizel motora (Slike 5.95. do 5.96). Usvojeno je da je komponenta K9 „usko grlo“. (Komponentu K9 čine sistem za prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno-izduvnoj instalaciji).

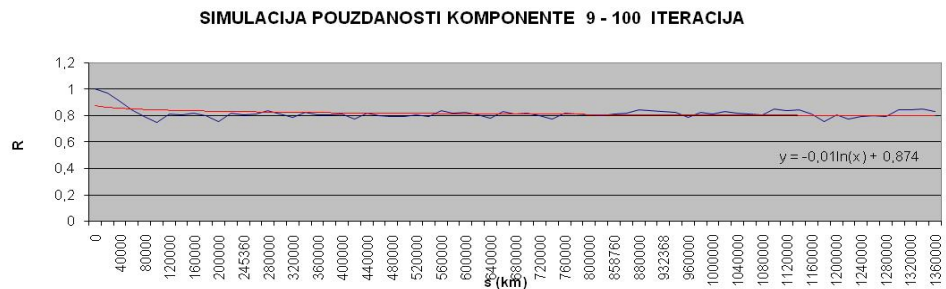
Najveći broj otkaza se desio upravo kod grupe G1, na komponenti K9.



Slika 5.95. Simulacija pouzdanosti kombinovanog održavanja (korektivnog i uvedenog preventivnog održavanja) G1 komponente K9 (1 iteracija)



Slika 5.96. Simulacija pouzdanosti kombinovanog održavanja (korektivnog i uvedenog preventivnog održavanja) G1 komponente K9 (100 iteracija)



Slika 5.97. Simulacija povišenja pouzdanosti uvođenjem preventivnih akcija održavanja grupe vozila G1 komponente K9 (100 iteracija)

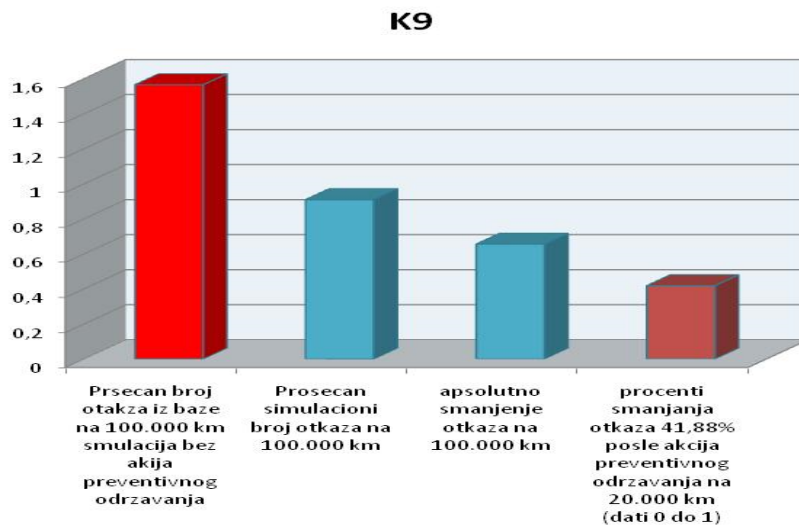
Na Slici 5.97. urađena je aproksimacija vrednosti pouzdanosti logaritamskom regresivnom trend linijom (logaritamskom funkcijom).

Tabela 5.48 G1- K9 (sto iteracija)

G1	K9
Prosečan broj otkaza pri korektivnom održ. na 100000 km	1,565997
Prosečan simulacioni broj otkaza na 100000 km sa uvedenim akcijama preventivnog održavanja	0,910061
Preventivno održavanje - smanjenja otkaza %	41,8861%
Apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km	0,655935

Uočeno je da je smanjen broj otkaza za **41,89%** uvođenjem preventivnih radnji održavanja (Tabela 5.48.). Pre uvođenja preventivnih radnji održavanja, intenzitet otkaza na 100000 km je bio **1,567** otkaz (iz baze podataka simulacionog modela). Uvođenjem preventivnog održavanja na 20000 km simulacijom je broj otkaza smanjiti na **0,91** (interval 100000 km). U apsolutnoj vrednosti smanjenje otkaza na 100000 km je za **0,66** (Slika 5.98.).

Gledano kroz ukupan period opservacije (10 god. eksploatacije što je za četiri vozila 1.415.289 km) broj otkaza se u simulaciji smanjuje sa **22,16** na **12,88**, odnosno kada bi to preslikali na izvorne eksploatacione podatke sa **28** na **16,26** otkaza.



Slika 5.98. Efekti scenarija

Scenario 2.

Za određeni broj komponenti dizel motora vozila grupe jedan G1 javlja se učestalija i vidna pojava otkaza (Tabela 5.49.). Te komponente su izdvojene radi analize pri preventivnom održavanju na svakih 20000 km sa ciljem povišenja pouzdanosti.

Cilj je povisiti pouzdanost dizel motora za (grupu 1) G1, odnosno specijalnih komunalnih vozila koja zbog potrebe posla rade u mestu (dok se izvršava utovar smeća vozila se ne kreću), a njihovi dizel motori su permanentno u režimu malog broja obrtaja. Kod ovog slučaja se vrši preventivno održavanje kod komponenti K10, K9, K7, K5 i K1. Iz simulacije se dobija kretanje ukupne pouzdanosti za ceo motor pri preventivnom održavanju odabranih komponenti i prosečan broj otkaza dizel motora.

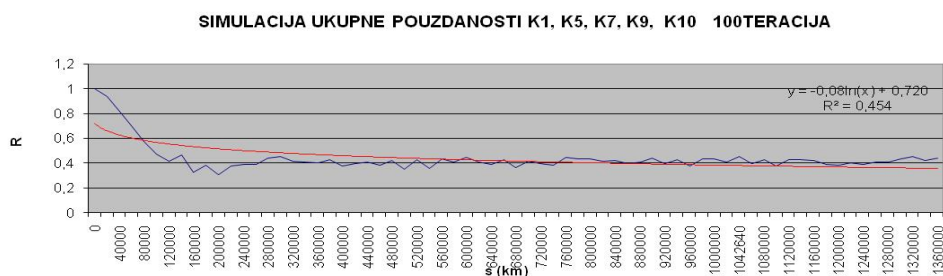
Uočeno je da je smanjen broj otkaza za 41,67%. Pre uvođenja preventivnih radnji održavanja, broj otkaza na 100000 km je bio zbirno (za posmatrane komponente K10, K9, K7, K5, K1) **4,75** (iz simulacione baze podataka). Uvođenjem preventivnog održavanja na 20000 km, simulacijom je broj otkaza smanjen zbirno na **2,77**.

U apsolutnoj vrednosti smanjenje otkaza na 100000 km je za **1,98** zbirno za ceo motor.

Tabela 5.49. G1- K1, K5, K7, K9, K10 (sto iteracija)

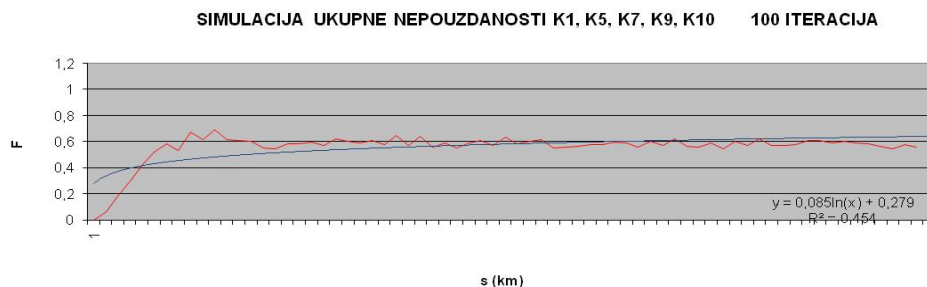
G1	K1	K5	K7	K9	K10	Scenarijo II (zbirno)
Prosečan broj otkaza iz simulacione baze na 100000 km samo sa korektivnim održavanjem	0,785903	0,641071	0,907514	1,565997	0,847883	4,748368
Prosečan simulacioni broj otkaza na 100000 km sa uvedenim preventivnim radnjama održavanjem	0,431714	0,378721	0,542645	0,910061	0,506661	2,769752
Prosečnoa smanjenja otkaza data u%	45,0678%	40,9237%	40,2053%	41,8861%	40,25%	41,6694%
Apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km sa Preventivnim održavanjem	0,354189	0,26235	0,364868	0,655935	0,341273	1,978616

Na Slici 5.99. urađena je aproksimacija vrednosti pouzdanosti logaritamskom regresivnom trend linijom (logaritamskom funkcijom).



Slika 5.99. Simulacija povišenja pouzdanosti pri uvođenju preventivnog održavanja grupe vozila G1, za komponente K10, K9, K7, K5, K1 (100 iteracija)

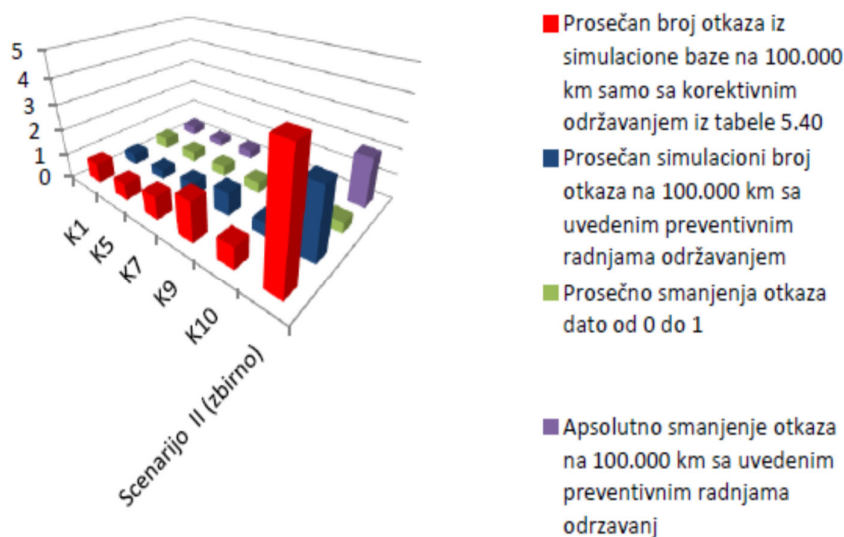
Na slici 5.100 urađena je aproksimacija vrednosti nepouzdanosti logaritamskom regresivnom trend linijom (logaritamskom funkcijom).



Slika 5.100. Simulacija nepouzdanosti pri uvođenju preventivnog održavanja za grupu vozila G1, za komponente K10, K9, K7, K5, K1 (100 iteracija)

Efekti scenarija 2 su prikazani na Slici 5.101.

Gledano kroz ukupni period opservacije (10 god. eksploatacije vozila što je za četiri vozila 1415289 km) broj otkaza u simulaciji se smanjuje sa **71,95** na **41,97**. Kada bi se to hipotetički preslikalo na izvorne eksploatacione podatke sa početnih **91** otkaza pre scenarija smanjilo bi se posle na **53,07** otkaza zbirno za sve odabrane komponente.



Slika 5.101. Efekti scenarija 2

Scenario 3.

Za određeni broj komponenti grupe vozila G2 javlja se učestalija pojava otkaza (Tabela 5.50.), pa se izdvajaju komponente K10, K7, K5, K4, K1 radi analize pri preventivnom održavanju s ciljem povišenja pouzdanosti.

Cilj ovog scenarija je da se povisi pouzdanost dizel motora uvođenjem preventivnog održavanja na komponentama K10, K7, K5, K4, K1 za vozila grupe G2. Iz simulacije modela pouzdanosti dobija se kretanje ukupne pouzdanosti za ceo motor pri preventivnom održavanju odabranih komponenti i prosečan broj otkaza dizel motora.

Uočeno je da je prosečno smanjen broj otkaza za **43,7461%**. Pre uvođenja preventivnih radnji održavanja, broj otkaza na 100000 km je bio zbirno (za posmatrane komponente K10, K7, K5, K4, K1) **7,08** (iz simulacione baze podataka). Uvođenjem preventivnog održavanja na 20000 km u simulaciji je broj otkaza smanjen zbirno na **3,98**.

U apsolutnoj vrednosti smanjenje otkaza na 100000 km je za **3,10** zbirno.

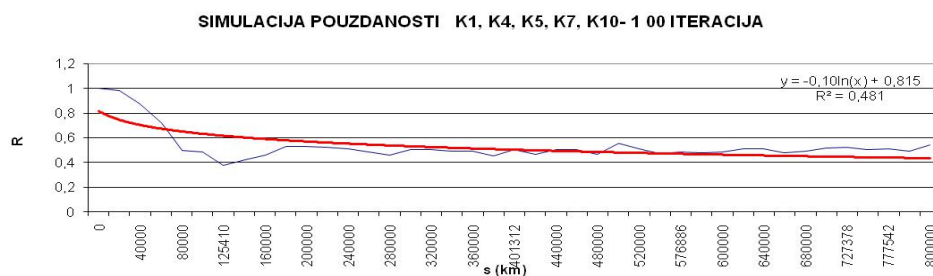
Gledano kroz ukupni period opservacije (10 god. eksploatacije vozila, što je za četiri vozila 808952 km) broj otkaza u simulaciji se smanjuje sa **57,3** na **33,25** otkaza zbirno za sve odabrane komponente.

Na slikama 5.102., 5.103. i 5.104. dati su Simulacija pouzdanosti kod uvođenja preventivnog održavanja grupe vozila G2 za komponente K10, K7, K5, K4, K1 pouzdanost, nepouzdanost i efekti simulacije.

Tabela 5.50. G2- K1, K4, K5, K7, K10 (sto iteracija)

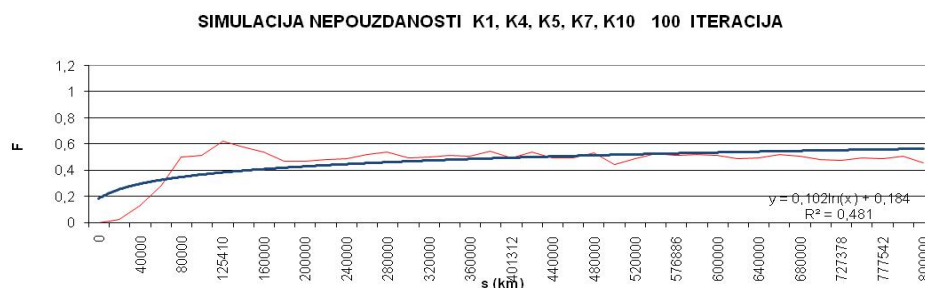
G2	K1	K4	K5	K7	K10	Scenario III (zbirno)
Prosečan broj otkaza iz simulacione baze na 100000 km (korektivno održavanje)	1,525251	0,961461	1,390843	1,236167	1,970944	7,084667
Prosečan simulacioni broj otkaza po uvođenju preventivnog održavanja na 100000 km	0,941959	0,562456	0,960502	0,766424	0,754062	3,985403
Smanjenja otkaza posle preventivnih radnji održavanja u %	38,2423%	41,4999%	30,941%	38%	61,7411%	43,7461%
Apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km po uvođenju preventivnog održavanja	0,583291	0,399005	0,430341	0,469744	1,216882	3,099264

Na Slici 5.102. urađena je aproksimacija vrednosti pouzdanosti logaritamskom regresivnom trend linijom (logaritamskom funkcijom).

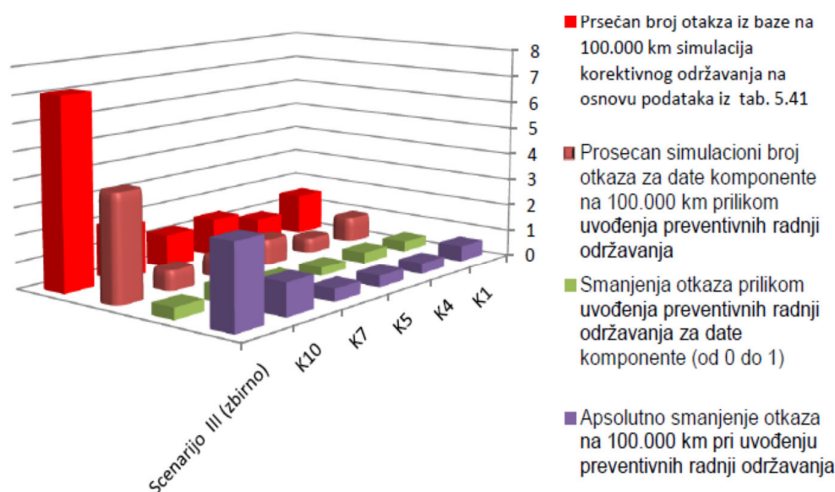


Slika 5.102. Simulacija pouzdanosti kod uvođenja preventivnog održavanja grupe vozila G2 za komponente K10, K7, K5, K4, K1 (100 iteracija)

Na Slici 5.103. urađena je aproksimacija vrednosti nepouzdanosti logaritamskom regresivnom trend linijom (logaritamskom funkcijom).



Slika 5.103. Simulacija nepouzdanosti uvođenja preventivnog održavanja grupe vozila G2 za komponente K10, K7, K5, K4, K1 (100 iteracija)



Slika 5.104. Efekti scenarija 3

Scenario 4.

Uzimajući u obzir sva posmatrana vozila G1 i G2, sve njihove otkaze i pritom primenjujući preventivne akcije održavanja u simulacionom modelu, analiziraće se komponente K1, K2, K4, K5, K7, K9 i K10 sa ciljem povišenja pouzdanosti.

Cilj je da se povisi pouzdanost za sva vozila G1 i G2 i za sve komponente čiji je broj otkaza statistički validan i može da se upotrebi u modelu simulacije. Iz simulacione analize dobija se kretanje ukupne pouzdanosti i prosečan broj otkaza dizel motora. Dovoljan broj otkaza za analizu imaju komponente K1, K2, K4, K5, K7, K9 i K10. Komponente K3, K6 i K8 su se izopštile iz analize zbog nedovoljnog broja otkaza. Uticaj ove tri komponente je zanemarljivo mali).

Da bi se moglo upoređivati smanjenje otkaza dizel motora grupe vozila G1 i grupe vozila G2, scenario 4 se radi odvojeno za obe grupe.

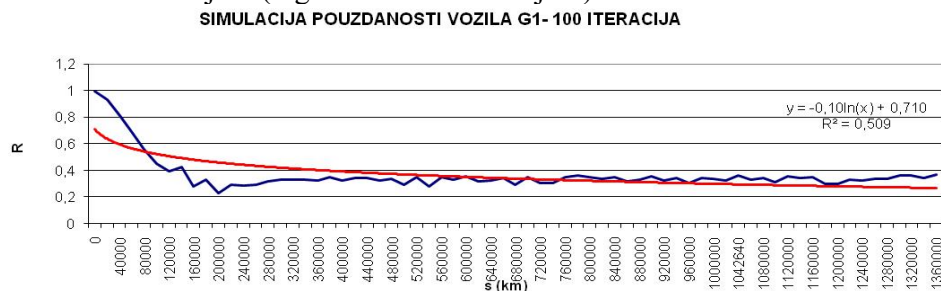
Scenario 4.a. Povišenje pouzdanosti uvođenjem preventivnih akcija održavanja za komponente K1, K2, K4, K5, K7, K9 i K10 grupu vozila G1. Simulaciona analiza. (Tabela 5.51.).

Uočeno je da je smanjen broj otkaza za **41.11%** pri uvođenju preventivnih radnji održavanja. Pre uvođenja preventivnog održavanja broj otkaza na 100000 km je bio zbirno (za posmatrane komponente K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10) **5,80** otkaza (iz baze podataka simulacionog modela). Uvođenjem preventivnog održavanja na 20000 km u simulaciji je broj otkaza smanjen zbirno na **3,42** otkaza (posmatrano kroz broj otkaza na 100000 km). U apsolutnoj vrednosti smanjenje otkaza na 100000 km je za **2,34** otkaza zbirno za ceo motor posmatran kroz K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10 komponente.

Tabela 5.51. G1 – K1, K2, K4, K5, K7, K9 i K10 (sto iteracija) simulacija akcija preventivnog održavanja na svakih 20000 km u vreme redovnog servisa dizel motora

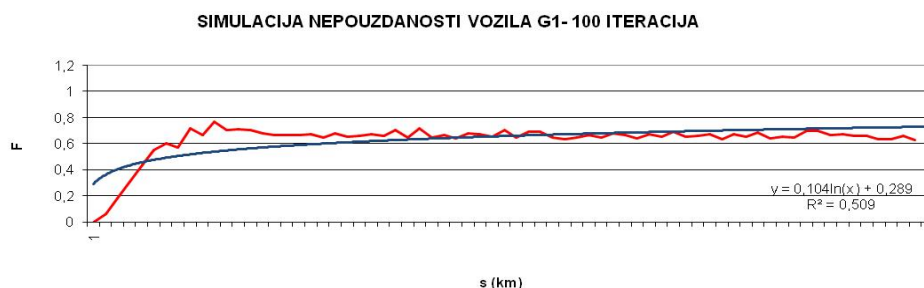
G1	K1	K2	K4	K5	K7	K9	K10	Scenario 4.a. (zbirno)
Prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km, urađena simulacija na osnovu podatak iz tabele 5.40. komponenti K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10 sa korektivnim održavanjem	0,785903	0,471019	0,585364	0,641071	0,907514	1,565997	0,847883	5,804751
Prosečan simulacioni broj otkaza po uvođenju preventivnog održavanja na 100000 km za komponente K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10	0,431714	0,279802	0,368829	0,378721	0,542645	0,910061	0,50661	3,418383
Smanjenja otkaza posle preventivnih radnji održavanja dato u procentima	45,068%	40,597%	36,99%	40,924%	40,205%	41,886%	40,25%	41,111%
Apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km po uvođenju preventivnog održavanja na 100.000 km za komponente K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10	0,354189	0,191217	0,216535	0,262235	0,364868	0,655935	0,341273	2,386368

Na Slici 5.105 urađena je aproksimacija vrednosti pouzdanosti logaritamskom regresivnom trend linijom (logaritamskom funkcijom).



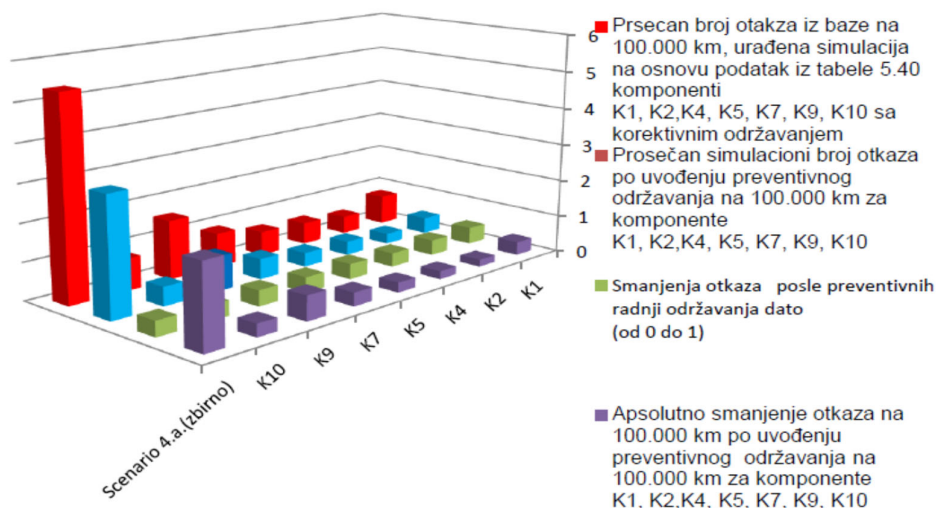
Slika 5.105. Simulacija povišenja pouzdanosti uvođenjem preventivnog održavanja dizel motora za grupu vozila G1, komponenti K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10 (100 iteracija)

Na slici 5.106. urađena je aproksimacija vrednosti nepouzdanosti logaritamskom regresivnom trend linijom (logaritamskom funkcijom).



Slika 5.106. Simulacija smanjenja nepouzdanosti uvođenjem preventivnog održavanja dizel motora za grupu vozila G1, komponenti K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10 (100 iteracija)

Gledano kroz ukupan period opservacije (deset godina eksploatacije vozila što je za četiri vozila 1.415.289 km) broj otkaza u simulaciji se smanjuje sa **82,15** na **48,38**. Kada bi se to hipotetički preslikalo na izvorne eksploatacione podatke, imamo samnjenje otkaza sa **108** na **63,68** otkaza zbirno za sve odabrane komponente (Slika 5.107.).



Slika 5.107. Grafik simulacije povišenja pouzdanosti uvođenjem preventivnog održavanja dizel motora za grupu vozila G1, komponenti K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10 (100 iteracija)

Scenario 4.b. Povišenje pouzdanosti uvođenjem preventivnih akcija održavanja za komponente K1, K2, K4, K5, K7, K10 grupe vozila G2 (kod grupe vozila G2 komponente K3, K6, K8 i K9 nemaju dovoljan broj otkaza da bi simulacioni model mogao da obradi te podatke, odnosno uticaj komponentata K3, K6, K8 i K9 je zanemarljiv te nisu ni analizirane u simulaciji).

Komponente K3, K6, K8 i K9 su izopštene iz analize zbog nedovoljnog broja otkaza za analizu i nemogućnosti dobijanja zakonitosti za grupu vozila G2 (Tabela 5.52).

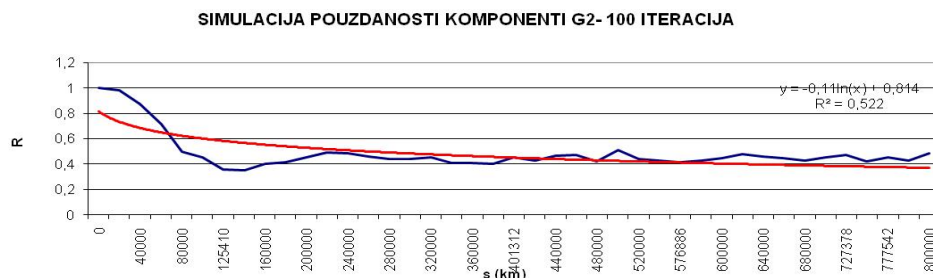
Uočeno je da je prosečno smanjen broj otkaza za **42,73%** pri uvođenju preventivnih radnji održavanja. Pre uvođenja preventivnog održavanja intenzitet otkaza na 100000 km je bio zbirno (za posmatrane komponente K1, K2, K4, K5, K7, K10) **7,82** otkaza (iz baze podataka simulacionog modela). Uvođenjem preventivnog održavanja na 20000 km simulacijom je broj otkaza smanjen zbirno na **4,48** otkaza (posmatrano kroz broj otkaza na 100000 km). U apsolutnoj vrednosti smanjenje otkaza na 100000 km je za **3,34** otkaza zbirno za ceo motor posmatran kroz K1, K2, K4, K5, K7, K10 komponente (Slika 5.110).

Gledano kroz ukupni period opservacije (deset godina eksploatacije vozila, što je za četiri vozila 808.952 km) broj otkaza se smanjuje sa 63,26 na 36,23 zbirno za sve odabrane komponente.

Tabela 5.52. G2 – K1, K2, K4, K5, K7, K10 (sto iteracija)

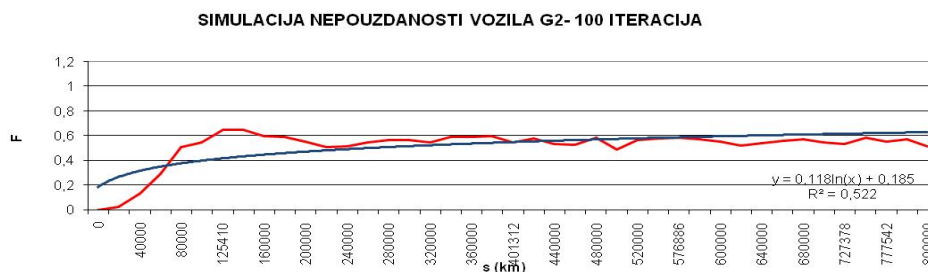
G2	K1	K2	K4	K5	K7	K1 0	Scenario 4.b. (zbirno)
Prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km, urađena simulacija na osnovu podatak iz Tabele 5.41 komponenti K1, K2, K4, K5, K7, K10 sa korektivnim održavanjem	1,525251	0,732764	0,961461	1,390843	1,236167	1,970944	7,817431
Prosečan simulacioni broj otkaza po uvođenju preventivnog održavanja na 100000 km za komponente K1, K2, K4, K5, K7, K10	0,941959	0,491995	0,562456	0,960502	0,766424	0,754062	4,477398
Smanjenja otkaza posle preventivnih radnji održavanja dato u procentima	38,2423 %	32,8577 %	41,4999 %	30,941 %	38 %	61,7411 %	42,7255 %
Apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km po uvođenju preventivnog održavanja na 100000 km za komponente K1, K2, K4, K5, K7, K10	0,583291	0,24077	0,399005	0,430341	0,469744	1,216882	3,340034

Na Slici 5.108. urađena je aproksimacija vrednosti nepouzdanosti logaritamskom regresivnom trend linijom (logaritamskom funkcijom).



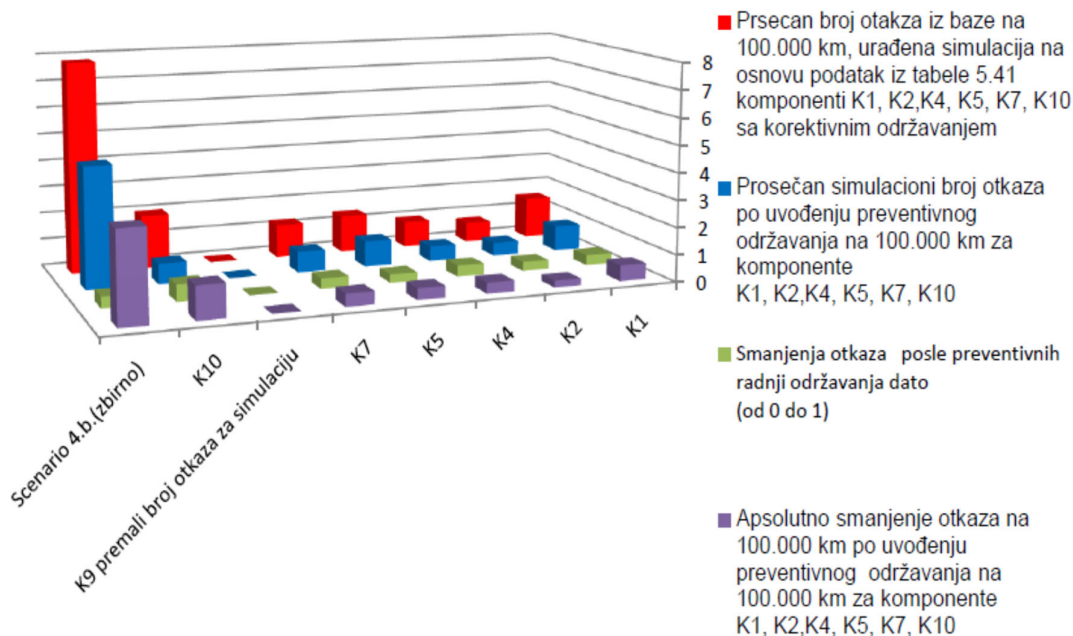
Slika 5.108. Simulacija povišenja pouzdanosti uvođenjem preventivnog održavanja dizel motora za grupu vozila G2, komponenti K1, K2, K4, K5, K7, K10 (100 iteracija)

Na Slici 5.109. urađena je aproksimacija vrednosti nepouzdanosti logaritamskom regresivnom trend linijom (logaritamskom funkcijom).



Slika 5.109. Simulacija smanjenja nepouzdanosti uvođenjem preventivnog održavanja dizel motora za grupu vozila G2, komponenti K1, K2, K4, K5, K7, K10 (100 iteracija)

Na Slici 5.110. su prikazani efekti scenarija 4b.



Slika 5.110. Efekti scenarija 4b

5.4.3. Simulacija povišenja nivoa pouzdanosti putem aditiviranja motornog ulja

U poglavlju 5.1. ustanovljeno je da je vek trajanja ulja kod vozila analizirane prve grupe sa opisanim radom kraći. Zamenjena ulja su izrazito tamna, snažnog mirisa na gorenje, vodenastog osećaja pod prstima, iako se radilo u skladu sa uputstvima proizvođača vozila o zameni ulja i predlogu samih proizvođača ulja. Vozila koja su radila na malom broju obrtaja motora su unosila više čađi u sistem za podmazivanje i time pogoršavala kvalitet maziva. Stajanje tokom rada motora i rad na malom broju obrtaja dizel motora su uticali na kvalitet ulja. Produžena je dužina korišćenja ulja nekretanjem vozila (radom tokom stajanja), jer je servis meren u odnosu na pređenu kilometražu, a ne u odnosu na vreme rada dizel motora.

Otkazi motora koji su analizirani u odnosu na način navedene eksploatacije vozila su naveli da se analiziraju i uslovi koji su doveli do otkaza. Uočen je problem i posledice. Jedna od analiza koja je urađena, a sa ciljem povišenja pouzdanosti dizel motora u eksploataciji je analiziranje aditiviranja motornog ulja. Pošto je vek trajanja ulja skraćen zbog uslova rada na malom broju obrtaja, a zamena ulja u odnosu na pređenu kilometražu zbog rada motora vozila u stajanju nepouzdana, tražen je način da se otkloni problem gubitka kvaliteta ulja za dizel motore grupe vozila G1. Jedan od najjednostavnijih načina povišenja kvaliteta ulja i produženja eksploatacije ulja, a ujedno i najjeftinija opcija bilo je aditiviranje motornog ulja. Pošto je prva grupa vozila bila na udaru problema, urađena je simulaciona analiza podataka iz eksploatacionog eksperimenta u Kruševačkom FAM-u i dobijenih podataka datih u poglavlju 5.1.2.

Simulacija je vršena na osnovu podataka iz Tabela 5.37., 5.38., i 5.39. tako što je kao osnova uzet scenario 4. (odnosno 4a. i 4b.).

Simulaciona analizu pri aditiviranju motornog ulja se može gledati kroz dve mogućnosti:

- prva mogućnost je simulaciona analiza aditiviranog motornog ulja mešanjem aditiva i ulja direktno u dizel motoru (vrši se istovremeno nalivanje ulja i aditiva u motor), što je i najjednostavniji način primene aditiviranja ulja.
- druga mogućnost je simulaciona analiza aditiviranog motornog ulja mešanjem ulja i aditiva u laboratoriji, pa tako pomešana smeša nalivena u motor pri zameni.

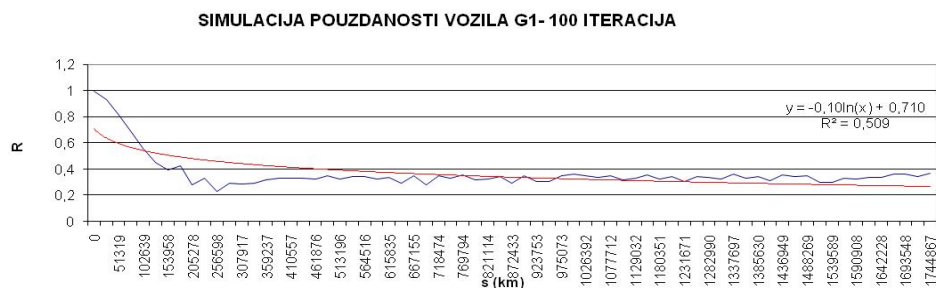
Ove dve mogućnosti su analizirane kako bi se utvrdilo da li postoji velika razlika u dobijenim rezultatima pri simulaciji ovih dveju mogućnosti, odnosno pri nalivanju motornog ulja i aditiva direktno u motor i mešanja ulja i aditiva u laboratoriji pa nalivanja u motor. Prva mogućnost je jednostavna za primenu i ne zahteva nikakve dodatne uslove, vreme i sredstva, dok je druga mogućnost prilično zahtevna i usložnjava proces zamene ulja u redovnom servisu.

Pošto se u prethodnim slučajevima simulacije došlo do prilično konkretnih povišenja pouzdanosti, simulaciona analiza pri aditiviranju će se nadograditi na scenario 4 (odnosno 4a i 4b). U scenariju četiri je vršena analiza grupe G1 kroz scenario, a i grupe G2 kroz scenario b. Analiza po scenarijima a, b i dvema mogućnostima daje četiri analizirana slučaja pri aditiviranju.

Pouzdanost svake od komponenti podignuta je proporcionalno povećanju kilometraže do pojave čestica čađi usled aditiviranja.

a) Simulacija povišene pouzdanosti dizel motora za grupu vozila G1, putem aditiviranja motornog ulja pri nalivanju (mešanju) ulja i aditiva direktno u motoru

Na Slici 5.111. prikazana je aproksimacija vrednosti pouzdanosti logaritamskom regresivnom trend linijom (logaritamskom funkcijom).



Slika 5.111. Simulacija povišenja pouzdanosti dizel motora vozila grupe G1, za komponente K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10 (100 iteracija) pri preventivnom održavanju i putem aditiviranja motornog ulja pri mešanju ulja direktno u motoru

Uočeno je da je posle aditiviranja motornog ulja pri nalivanju ulja i aditiva direktno u motor, kao i preventivnih radnji održavanja, smanjen broj otkaza u proseku za **54,10%** (Tabela 5.53.). Rezultati za sve komponente na koje je uticalo aditiviranje motornog ulja su prikazani u tabeli. Prvi red u tabeli je prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km, sledeći prosečan simulacioni broj otkaza na 100000 km po izvršenom aditiviranju sa izvršenim radnjama preventivnog održavanja i na kraju procenat smanjenja otkaza usled preventivnog održavanja i aditiviranja motornog ulja.

Tabela 5.53. Rezultati za sve komponente na koje je uticalo aditiviranje motornog ulja G1 – K1,K2,K4,K5,K7,K9,K10 (sto iteracija)

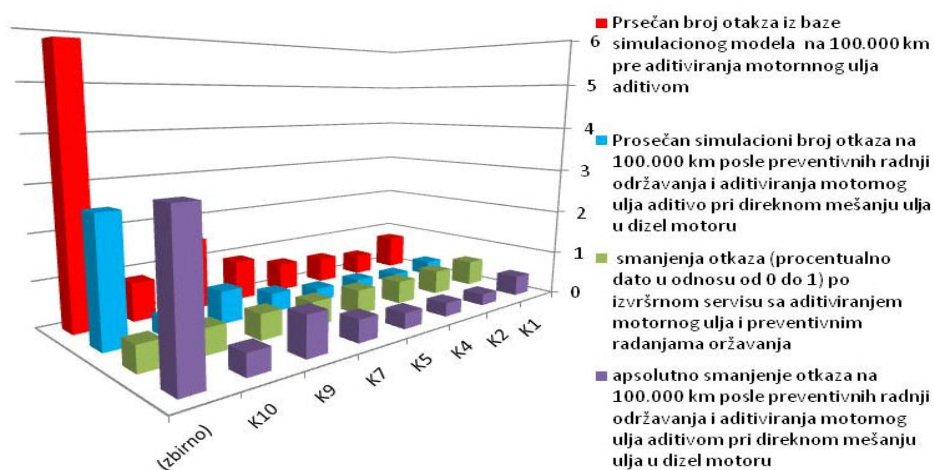
grupa vozila G1	K1	K2	K4	K5	K7	K9	K10	(zbirno)
Prosečan broj otkaza iz baze simulacionog modela na osnovu tabele 5.40. na 100000 km (samo korektivne radnje održavanja)	0,785903	0,471019	0,585364	0,641071	0,907514	1,565997	0,847883	5,804751
Prosečan simulacioni broj otkaza posle preventivnih radnji održavanja i servisa sa aditiviranjem motornog ulja pri nalivanju aditiva direktno u dizel motor na 100000 km	0,33649	0,218085	0,287476	0,295186	0,422954	0,709328	0,394867	2,664387
Smanjenja otkaza u procentima, posle preventivnih radnji održ. i servisa sa aditiviranjem motornog ulja pri nalivanju aditiva direktno u dizel motor	57,1843%	53,6992%	50,8893%	53,9542%	53,3942%	54,7043%	53,4291%	54,0999%
Apsolutno smanjenje otkaza posle preventivnih radnji održavanja i servisa sa aditiviranjem motornog ulja pri nalivanju aditiva direktno u dizel motor na 100000 km	0,449413	0,252934	0,297888	0,345884	0,48456	0,856668	0,453017	3,140364

Pre uvođenja aditiviranja sa preventivnim radnjama održavanja intenzitet otkaza na 100000 km je bio zbirno za ceo dizel motor (za posmatrane komponente K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10) **5,8** (iz simulacione baze podataka).

Uvođenjem aditiviranja motornog ulja za grupu vozila G1 prilikom zamene motornog ulja pri svakom servisu na 20000 km i preventivnim radnjama održavanja (simulacionim modelom) je broj otkaza smanjen zbirno za ceo dizel motor na **2,66**. U apsolutnoj vrednosti smanjenje otkaza na 100000 km je za **3,14** zbirno za ceo dizel motor. Kako je broj otkaza prilikom preventivnih radnji održavanja smanjen za **41,11%** (scenario 4.a), a sa aditiviranjem za **54.10%** možemo zaključiti da je samo aditiviranje motornog ulja smanjilo broj otkaza dizel motora za **12,99%**.

Gledano kroz ukupan period opservacije (deset godina eksploatacije posmatranih vozila što je za četiri vozila 1415289 km) posle preventivnih radnji održavanja i aditiviranja motornog ulja, broj otkaza se smanjuje sa **82,15** na **37,7** zbirno za sve odabrane komponente odnosno u ovom slučaju za ceo dizel motor.

Na Slici 5.112. efekti scenarija 4.a. pri prvoj mogućnosti aditiviranja motornog ulja pri nalivanju aditiva direktno u dizel motor specijalnog komunalnog vozila grupe G1.



Slika 5.112. Efekti scenarija 4.a. pri prvoj mogućnosti aditiviranja motornog ulja pri nalivanju aditiva direktno u dizel motor specijalnog komunalnog vozila grupe G1

Na osnovu simulacije, pri sto iteracija, dobijeni rezultati daju pozitivne ishode, pretpostavke da se problem smanjenja kvaliteta i dužine eksploatacije ulja u komunalnim vozilima grupe G1 može rešiti aditiviranjem. Rezultati su više nego pozitivni, a procenat od čak **54,10%** smanjenja otkaza je visok. U eksploatacionoj analizi u poglavlju 5.1.2. dobijeno je produženje pređenog puta do pojave otkaza u odnosu na kilometražu od čak **25%** i sa **54,10%** smanjenja otkaza pri preventivnim radnjama održavanja i aditiviranju motornog ulja prilikom zamene, direktno nalivanjem aditiva u motor ovaj scenario se može prihvatiti kao dobro rešenje.

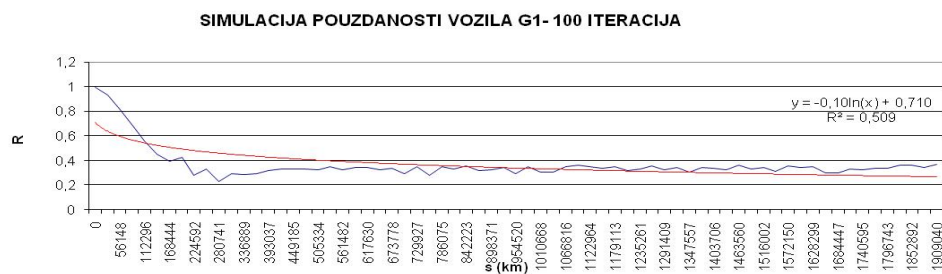
Kako je osnovni cilj bio da se ostvari zadovoljavajući nivo ulja u standardnom roku zamene od 20000 km u prirodu redovnog servisa, odnosno u periodu preventivnih akcija održavanja koje su se usvojile kao najpogodnije za uslove eksploatacije, dobijeni

simulacioni rezultati potvrđuju pretpostavku da aditivirano ulje može da zadovolji postavljeni uslov.

Analiza u laboratoriji Kruševačke fabrike „FAM“ je rađena na domaćem ulju prosečnog kvaliteta, dok je primenjeno motorno ulje kod motora komunalnih vozila (Castrol Magnetec) višeg kvaliteta, te je uspeh primene aditiviranja još izražajniji.

b) Simulacija povišenja pouzdanosti dizel motora za grupu vozila G1 putem aditiviranja motornog ulja pri mešanju ulja i aditiva u laboratoriji

Na Slici 5.113. prikazana je aproksimacija vrednosti pouzdanosti logaritamskom regresivnom trend linijom (logaritamskom funkcijom).



Slika 5.113. Simulacija povišenja pouzdanosti dizel motora vozila grupe G1 putem aditiviranja motornog ulja pri mešanju ulja u laboratorijskim uslovima

Uočeno je da je posle aditiviranja motornog ulja i preventivnih radnji održavanja smanjen broj otkaza u proseku za **58,0472%**. Pre uvođenja aditiviranja sa preventivnim održavanjem intenzitet otkaza na 100.000 km je bio zbirno za dizel motor (za posmatrane komponente K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10) **5,80** otkaza (iz baze podataka simulacionog modela), prikazano u Tabeli 5.54.

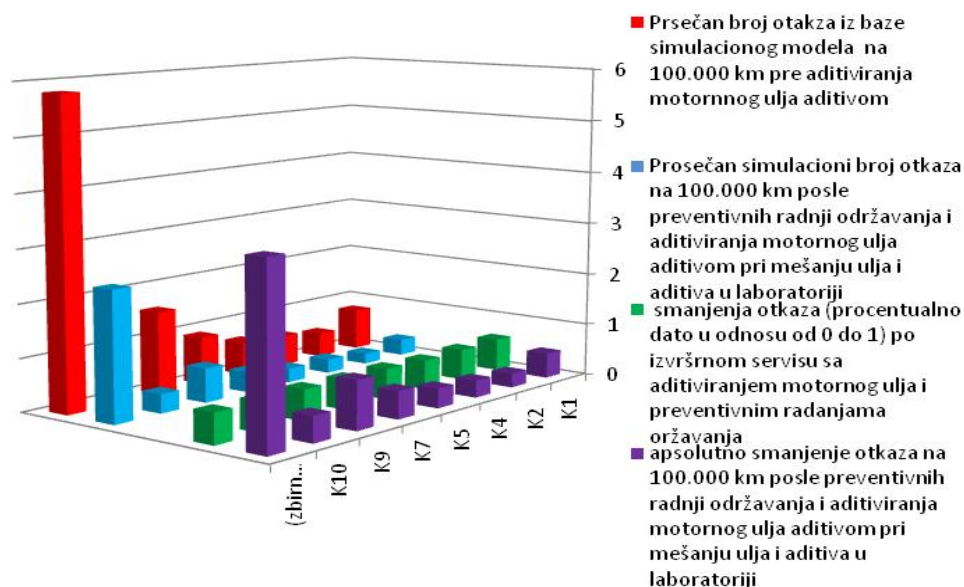
Uvođenjem aditiviranja motornog ulja (mešanjem ulja i aditiva u laboratoriji pa onda nalivanje u motor) i preventivnih radnji održavanja za grupu vozila G1 prilikom zamene motornog ulja pri svakom servisu na 20000 km simulacijom je broj otkaza smanjen zbirno na **2,43**. U apsolutnoj vrednosti smanjenje otkaza na 100000 km je za **3,37** zbirno za sve komponente dizel motora (Tabela 5.54.). Rezultati za sve komponente na koje je uticalo aditiviranje motornog ulja su date u Tabeli 5.54.. U prvom redu je dat prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km bez aditiviranja. U sledećem (simulacioni) je dat prosečan broj otkaza na 100000 km po izvršenom aditiviranju sa izvršenim radnjama preventivnog održavanja. Na kraju je dat procenat smanjenja otkaza usled preventivnog održavanja i aditiviranja motornog ulja.

Gledano kroz ukupni period opservacije (deset godina eksploatacije posmatranih vozila što je za četiri vozila 1415289 km) posle preventivnih radnji održavanja i aditiviranja motornog ulja mešanjem u laboratoriji broj otkaza u simulacionom modelu se smanjuje sa 82,15 na 34,46 otkaza zbirno za sve odabrane komponente.

Tabela 5.54. Rezultati za sve komponente na koje je uticalo aditiviranje motornog ulja G1 – K1,K2,K4,K5,K7,K9,K10 (sto iteracija)

grupa vozila G1	K1	K2	K4	K5	K7	K9	K10	(zbirno)
Prosečan broj otkaza iz baze simulacionog modela na osnovu tabele 5.40. na 100000 km (samo korektivne radnje održavanja)	0,785903	0,471019	0,585364	0,641071	0,907514	1,565997	0,847883	5,804751
Prosečan simulacioni broj otkaza posle preventivnih radnji održa. i servisa sa aditiviranjem motornog ulja pri mešanju ulja i aditiva u laboratoriji na 100000 km	0,307553	0,199331	0,262754	0,269801	0,386581	0,648328	0,360909	2,435257
Smanjenje otkaza (procentualno dato od 0 do 1) posle preventivnih radnji održavanja i aditiviranja motornog ulja u laboratoriji	0,608663	0,57681	0,551127	0,57914	0,574022	0,585997	0,574341	0,580472
Apsolutno smanjenje otkaza posle preventivnih radnji održa. i servisa sa aditiviranjem motornog ulja pri mešanju ulja i aditiva u laboratoriji na 100000 km	0,47835	0,271688	0,32261	0,37127	0,520933	0,917669	0,486974	3,369494

Na Slici 5.114. su prikazani efekti scenarija 4a pri drugoj mogućnosti aditiviranja motornog ulja mešanjem aditiva i ulja u laboratoriji, pa zatim nalivanje u dizel motor specijalnog komunalnog vozila grupe G1.



Slika 5.114. Efekti scenarija 4a pri drugoj mogućnosti aditiviranja motornog ulja mešanjem aditiva i ulja u laboratoriji

Na osnovu simulacije, pri sto iteracija, dobijeni rezultati daju pozitivne ishode pretpostavke da se problem smanjenja kvaliteta i dužine eksploatacije ulja u komunalnim vozilima grupe G1 može rešiti aditiviranjem. Rezultati su još bolji nego kod prve mogućnosti, a procenat od čak **58,05%** smanjenja otkaza još viši. Gledano kroz složenost postupka mešenja aditiva i ulja u mešaonama u laboratoriji ili kupovine posebnih laboratorijskih mešaona, a sa ciljem da je zadovoljen u prvoj mogućnosti postavljen zahtev, dodatno smanjenje od **3,95%** otkaza nastalo samo aditiviranjem, nije neki veliki nivo. Pošto se pri mešanju ulja u laboratorijskim uslovima zahteva dodatno vreme, sredstva i uslovi ovo zbirno smanjenje otkaza komponenti dizel motora od **3,95%** nam ne opravdava ovakvu primenu aditiva.

Kako je osnovni cilj bio da se ostvari zadovoljavajući nivo ulja u standardnom roku zamene od 20000 km u periodu redovnog servisa, odnosno u periodu preventivnih akcija održavanja koje su usvojene kao najpogodnije za uslove eksploatacije, dobijeni simulacioni rezultati potvrđuju pretpostavku da aditivirano ulje nalivanjem aditiva direktno u dizel motor zadovoljava postavljeni uslov uz optimalno vreme i sredstva.

c) Simulacija povišene pouzdanosti dizel motora za grupu vozila G2 putem aditiviranja motornog ulja pri nalivanju (mešanju) ulja i aditiva direktno u motoru

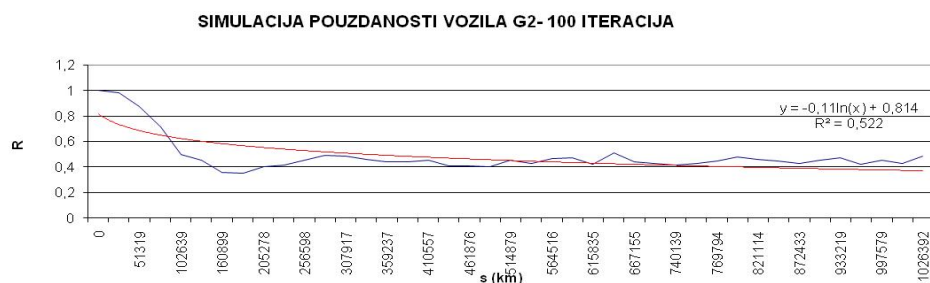
Uočeno je da je posle aditiviranja motornog ulja direktnim nalivanjem u dizel motor i preventivnim radnjama održavanja smanjen broj otkaza u proseku za **55,36%**. Pre aditiviranja motornog ulja intenzitet otkaza na 100000 km je bio zbirno (za posmatrane komponente K1, K2, K4, K5, K7, K10) **7,82** (iz simulacione baze podataka). Uvođenjem aditiviranja motornog ulja za grupu vozila G2 prilikom zamene motornog ulja pri svakom servisu i preventivnom održavanju na 20000 km simulacijom je broj otkaza smanjen zbirno na **3,49** otkaza na 100000 km za ceo dizel motor (Tabela 5.55).

Rezultati za sve komponente na koje je uticalo aditiviranje motornog ulja su date u Tabeli 5.55. U prvom redu je dat prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km bez aditiviranja. U sledećem je dat prosečan broj otkaza (simulacioni) na 100000 km po izvršenom aditiviranju sa izvršenim radnjama preventivnog održavanja i na kraju je dat procenat smanjenja otkaza usled preventivnog održavanja i aditiviranja motornog ulja.

Tabela 5.55. G2 – K1, K2, K4, K5, K7, K10 (sto iteracija)

G2	K1	K2	K4	K5	K7	K10	(zbirno)
Prosečan broj otkaza iz baze simulacionog modela na osnovu tabele 5.41. na 100000 km (samo korektivne radnje održavanja)	1,525	0,7328	0,9615	1,3908	1,2362	1,9709	7,8174
Prosečan simulacioni broj otkaza posle preventivnih radnji održavanja i servisa sa aditiviranjem motornog ulja pri nalivanju aditiva direktno u dizel motor na 100000 km	0,734	0,3835	0,4384	0,7486	0,5974	0,5877	3,4898
Smanjenja otkaza (u procentima) posle preventivnih radnji održ. i servisa sa aditiviranjem motornog ulja pri nalivanju aditiva direktno u dizel motor	51,86 %	47,67 %	54,40 %	46,17 %	51,67 %	70,18 %	55,36 %
Apsolutno smanjenje otkaza posle preventivnih radnji održavanja i servisa sa aditiviranjem motornog ulja pri nalivanju aditiva direktno u dizel motor na 100000 km	0,79106	0,34929	0,523067	0,642201	0,638795	1,383207	4,327619

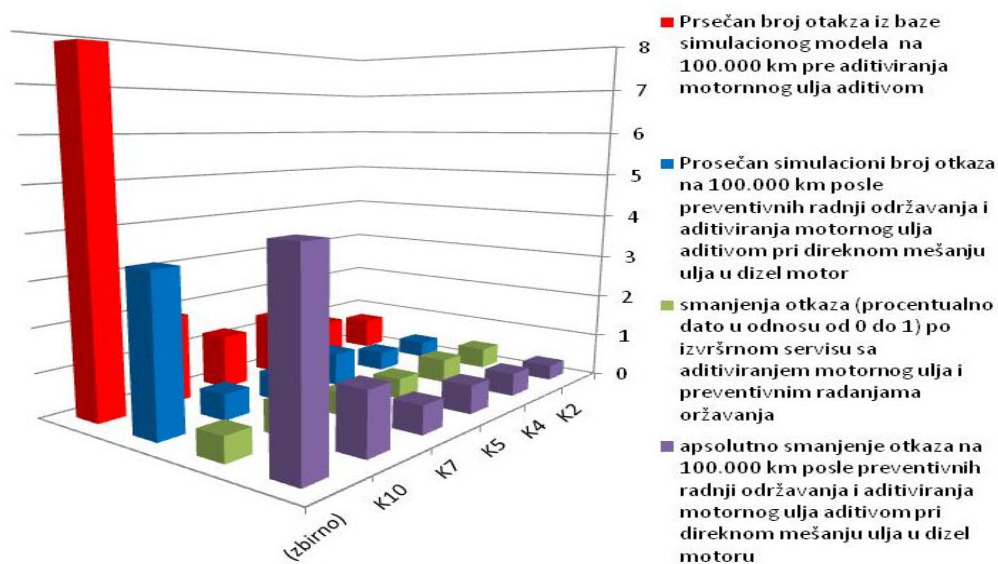
Na Slici 5.115. prikazana je aproksimacija vrednosti pouzdanosti logaritamskom regresivnom trend linijom (logaritamskom funkcijom).



Slika 5.115. Simulacija povišenja pouzdanosti dizel motora za grupu vozila G2 komponente K1, K2, K4, K5, K7, K10 (100 iteracija) pri preventivnom održavanju i putem aditiviranja motornog ulja pri mešanju ulja direktno u motoru

Pošto je grupa G2 sa normalnim radom dizel motora (nema problema rada u mestu i malog broja obrtaja dizel motora), simulacioni model je pušten u rad radi dobijanja rezultata koji mogu da se koriste u analiziranju nekih novih mogućnosti povišenja pouzdanosti dizel motora. Kako nam je grupa G1 bila krizna i pretpostavka da se aditiviranjem može prevazići problem rada na malom broju obrtaja motora potvrđena,

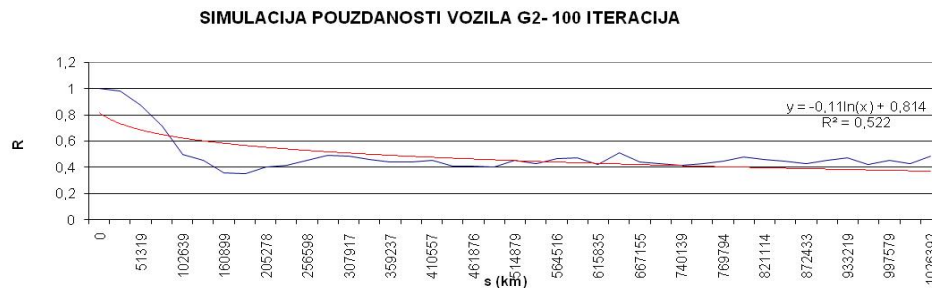
zadržalo se na toj osnovi. Na Slici 5.116. su prikazani efekti scenarija 4b pri prvoj mogućnosti aditiviranja motornog ulja direktnim nalivanjem aditiva u dizel motor specijalnog komunalnog vozila grupe G2.



Slika 5.116. Efekti scenarija 4b pri prvoj mogućnosti aditiviranja motornog ulja direktnim nalivanjem aditiva u dizel motor specijalnog komunalnog vozila grupe G2

d) Simulacija povišene pouzdanosti dizel motora za grupu vozila G2 putem aditiviranja motornog ulja pri mešanju ulja i aditiva u laboratoriji

Uočeno je da je posle aditiviranja motornog ulja u laboratoriji smanjen broj otkaza u proseku za **59,20%**. Pre aditiviranja motornog ulja intenzitet otkaza na 100000 km je bio zbirno (za posmatrane komponente G1 – K1, K2, K4, K5, K7, K10) **7,82** (iz baze podataka). Uvođenjem aditiviranja motornog ulja za grupu vozila G2 prilikom zamene motornog ulja pri svakom servisu kao i preventivnog održavanja na 20000 km simulacijom je broj otkaza smanjen zbirno na **3,20** otkaza na 100000 km za ceo dizel motor (Tabela 5.56.). Na Slici 5.117. prikazana je aproksimacija vrednosti pouzdanosti logaritamskom regresivnom trend linijom (logaritamskom funkcijom).



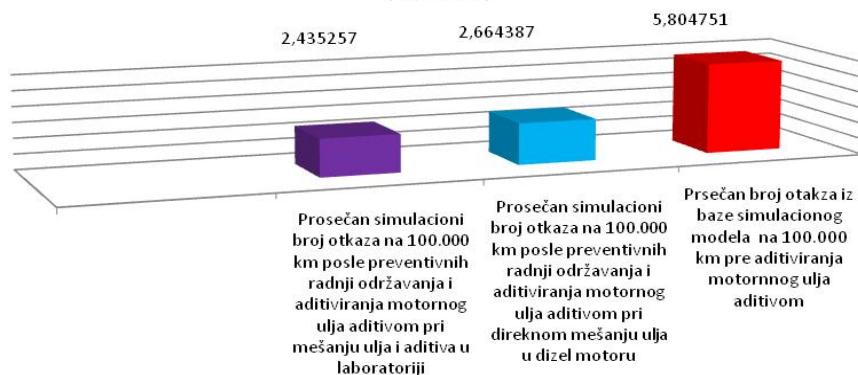
Slika 5.117. Simulacija povišenja pouzdanosti dizel motora za grupu vozila G2 komponente K1, K2, K4, K5, K7, K10 (100 iteracija) putem aditiviranja motornog ulja pri mešanju ulja u laboratorijskim uslovima

Rezultati za sve komponente na koje je uticalo aditiviranje motornog ulja su date u Tabeli 5.56. U prvom redu je dat prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km bez aditiviranja. U sledećem (simulacioni) prosečan broj otkaza na 100000 km po izvršenom aditiviranju sa izvršenim radnjama preventivnog održavanja i na kraju je dat procenat smanjenja otkaza usled preventivnog održavanja i aditiviranja motornog ulja.

Tabela 5.56. G2- K1, K2, K4, K5, K7, K10 (sto iteracija)

grupa vozila G2	K1	K2	K4	K5	K7	K10	(zbirno)
Prosečan broj otkaza iz baze simulacionog modela na osnovu tabele 5.41. na 100000 km (samo korektivne radnje održavanja)	1,525251	0,732764	0,961461	1,390843	1,236167	1,970944	7,817431
Prosečan simulacioni broj otkaza posle preventivnih radnji održavanja i servisa sa aditiviranjem motornog ulja pri mešanju ulja i aditiva u laboratoriji na 100000 km	0,671052	0,350497	0,400694	0,684262	0,546001	0,537194	3,1897
Smanjenje otkaza (u procentima) posle preventivnih radnji održavanja i aditiviranje motornog ulja u laboratoriji	56,004 %	52,1678%	58,3245%	50,8024%	55,8312%	72,7443%	59,1976%
Apsolutno smanjenje otkaza posle preventivnih radnji održavanja i servisa sa aditiviranjem motornog ulja pri mešanju ulja i aditiva u laboratoriji na 100000 km	0,854198	0,382267	0,560767	0,706581	0,690167	1,43375	4,627732

Na Slici 5.118. su prikazani efekti scenarija 4.b pri drugoj mogućnosti aditiviranja motornog ulja pri mešanju ulja u laboratorijskim uslovima, a potom sipanja u motor grupe vozila G2.



Slika 5.118. Efekti scenarija 4.b pri drugoj mogućnosti aditiviranja motornog ulja pri mešanju ulja u laboratorijskim uslovima, a potom sipanja u motor grupe vozila G2

Pošto je grupa G2 grupa sa normalnim radom dizel motora, simulacioni model je pušten u rad radi dobijanja rezultata koji mogu da se koriste u analiziranju nekih novih mogućnosti povišenja pouzdanosti dizel motora.

Pošto je grupa G1 bila krizna i pretpostavka da se aditiviranjem može prevazići problem rada na malom broju obrtaja motora potvrđena, zadržalo se na toj osnovi.

e) Analiza simulacija povišenja nivoa pouzdanosti dizel motora specijalnih komunalnih vozila putem aditiviranja motornog ulja

Uvođenjem aditiviranja motornog ulja za grupu vozila G1 prilikom zamene motornog ulja pri svakom servisu na 20000 km i preventivnih radnji održavanja (simulacionim modelom) broj otkaza za prvu mogućnost je smanjen zbirno za ceo dizel motor na **2,66**. U apsolutnoj vrednosti smanjenje otkaza na 100000 km je za **3,14** otkaza zbirno za ceo dizel motor. Kako je broj otkaza prilikom preventivnih radnji održavanja smanjen za **41,11%** (scenario 4.a), a sa aditiviranjem za **54,10%** možemo zaključiti da je samo aditiviranje motornog ulja smanjilo broj otkaza dizel motora za **12,99%**.

U eksploatacionoj analizi u poglavlju 5.1.2. dobijeno je produženje upotrebe u odnosu na kilometražu od čak **25%** pa se sa **54,10%** smanjenja otkaza pri preventivnim radnjama održavanja i aditiviranju motornog ulja prilikom zamene direktno nalivanjem u motor ovaj scenario i mogućnost može se prihvatiti kao dobro rešenje i potvrda hipoteze. Osnovni cilj analize je bio da se ostvari zadovoljavajući nivo ulja u standardnom roku zamene od 20000 km u prirodu redovnog servisa, odnosno u periodu preventivnih akcija održavanja koje je usvojeno kao najpogodnije za uslove eksploatacije. Dobijeni simulacioni rezultati potvrđuju pretpostavku da aditivirano ulje može da zadovolji postavljeni uslov.

Efekti scenarija 4.a pri drugoj mogućnosti aditiviranja motornog ulja mešanjem aditiva i ulja u laboratoriji, pa nalivanje u dizel motor specijalnog komunalnog vozila grupe G1 daju pozitivne ishode, procenat od čak **58,05%** smanjenja otkaza je još viši. Gledano kroz složenost postupka mešanja aditiva i ulja u mešaonama u laboratoriji ili kupovine posebnih laboratorijskih mešaona, a sa ciljem da je zadovoljen u prvoj mogućnosti postavljen zahtev, dodatno smanjenje od **3,95%** otkaza nastalo samo aditiviranjem nije neki veliki nivo. Pošto se pri mešanju ulja u laboratorijskim uslovima zahteva dodatno vreme, sredstva i uslovi ovo zbirno smanjenje otkaza komponenti dizel motora od **3,95%** ne opravdava ovakvu primenu aditiva.

Simulacija povišenja pouzdanosti dizel motora za grupu vozila G2 komponente K1, K2, K4, K5, K7, K10 (100 iteracija) putem aditiviranja motornog ulja pri mešanju ulja direktno u motoru i putem aditiviranja motornog ulja pri mešanju ulja u laboratorijskim uslovima. Uočeno je da je posle aditiviranja motornog ulja i preventivnih radnji održavanja smanjen broj otkaza kod prve mogućnosti u proseku za **55,36%** i kod druge mogućnosti u proseku za **59,20%**.

Analiza troškova:

Kako je cena aditiva oko 10 evra¹⁵¹[57] po pakovanju od 0,5 litra, a meša se sa uljem za dizel motore 1:10 (pakovanje je 0,5 litara i ide na 5 litara ulja) i pritom produžava

¹⁵¹<http://tektion.rs/auto-kozmetika/aditivi-za-ulje/liqui-moly-ol-verlust-stop>, <http://www.liquimoly.co.rs/>,

eksploataciju ulja za minimum 25% (km, zaključeno u poglavlju 5.1.2.) i ako je prosečna cena upotrebljavanog ulja na domaćem tržištu oko 8 evra¹⁵², analizom se može zaključiti da postoji pokriće cene aditiva kod upotrebe u posebnim uslovima kakvi su za grupu vozila G1.

Ako se pretpostavi da je količina motornog ulja u dizel motoru nekog vozila potrebna za zamenu 5 litara, a da je kvalitet motornog ulja prosečan, te je i cena ulja po litru prosečna oko 8 evra (na osnovu analize cena u maloprodaji u Srbiji).

Tada sledi:

$$5 \text{ (litara ulja za motore)} \times 8 \text{ evra (prosečna cena motornog ulja)} = 40 \text{ evra}$$

Jedan ciklus zamene ulja je 20000 km.

Ako se pretpostavi da je prosečna cena pakovanja od 0,5 L aditiva oko 10 evra (na osnovu analize cena u maloprodaji u Srbiji)¹⁵³ za aditiviranje ulja je potrebo jedno pakovanje.

Tada sledi:

$$1 \text{ (aditiv za motorno ulje 0,5 L)} 10 \text{ evra} + 40 \text{ evra (5L mot. ulja)} = 50 \text{ evra}$$

Jedan ciklus zamene aditiviranog ulja je 25.000 km (minimalni produžetak koji omogućava aditiviranje motornog ulja, laboratorijska analiza u poglavlju 5.1.2.)

Iz prethodne dve pretpostavke može se zaključiti da je za 4 ciklusa zamene aditiviranog motornog ulja potrebno 200 evra za ulje i aditiv i da tokom te četiri zamene motornog ulja vozilo može preći minimalno 100000 km.

Nasuprot tome, sa 200 evra bez aditiviranja može se izvršiti pet ciklusa zamene ulja i takođe vozilo može preći 100000 km.

Da bi prethodna analiza koja je urađena u potpunosti bila prihvaćena za sve grupe vozila potrebno je podrobnije izvršiti analizu sa većim brojem laboratorijskih ispitanih motora u različitim vozilima, kao i primeniti različite aditive (više proizvođača) što zahteva velika materijalna sredstva.

Cilj je bio da se dokaže da se za grupu G1 aditiviranjem može povisiti pouzdanost u propisanom periodu zamene motornog ulja od 20000 km koliko preporučuje proizvođač ulja, što je kroz dobijene rezultate u simulaciji i potvrđeno (Tabela 5.57.).

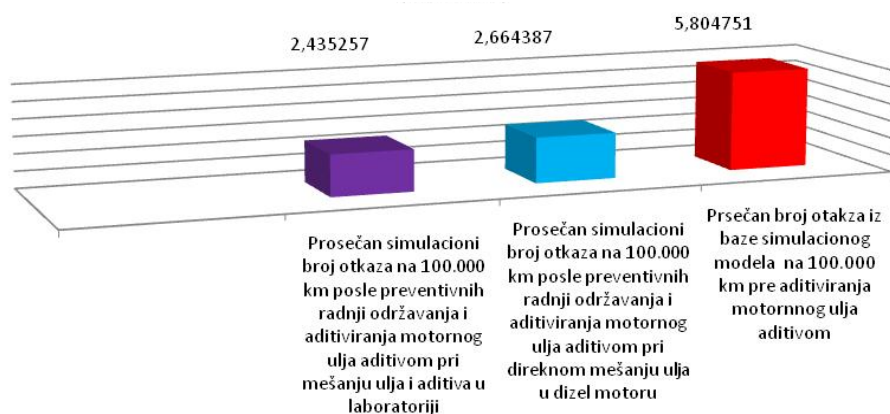
¹⁵²<http://www.eponuda.com/motorna-ulja-cene>

¹⁵³<http://www.autokes.com/auto-delovi-motorna-ulja-i-maziva/>

Tabela 5.57. Smanjenje broja otkaza G1 (K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10), (sto iteracija)

grupa vozila G1	Smanjenje broja otkaza na 100.000 km
Prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km pre aditiviranja ulja i preventivnih radnji održavanja	5,804751
Prosečan simulacioni broj otkaza na 100000 km aditiviranjem motornog ulja direktno u motoru	2,664387
Prosečan simulacioni broj otkaza na 100000 km aditiviranjem motornog ulja u laboratoriji	2,435257

Na Slici 5.119. je prikazano smanjenje broja otkaza za analiziranu grupu vozila G1 sa opterećenim dizel motorima.



Slika 5.119. Smanjenje broja otkaza za analiziranu grupu vozila G1 sa opterećenim dizel motorima

5.4.4. Simulacija povišenja nivoa pouzdanosti smanjenjem greške kontrole putem rezerviranja davača (senzora)

Za kontrolu stanja dizel motora može da se primeni sistem koji uz pomoć senzora prima informacije o izmenama parametara radnog procesa i u slučaju približavanja njihovih vrednosti graničnim, a uz pomoć automatskog upravljanja prevodi dizel motor na bezopasni režim rada ili ga isključuje pre momenta otkaza.

Dizel motor je prema sastavu složen multifunkcionalni sistem. Kod složenih sistema značajno je povećan obim informacija koje karakterišu stanje i brzinu protoka radnih procesa, što prevazilazi ljudske mogućnosti kontrole radne sposobnosti. Da bi se ostvarila kontrola radnih sposobnosti dizel motora uveden je automatski sistem kontrole. Automatska kontrola je izvršavanje operacija za određivanje radne sposobnosti, otkrivanje neispravnosti, raspoznavanje otkaza i prognoziranje izmena stanja, bez učešća čoveka.

Pri otkrivanju neispravnosti rešava se zadatak pojave uzroka gubitka radne sposobnosti dizel motora. Metode otkrivanja neispravnosti se dele u tri grupe: metode indikacije, metode traženja neispravnosti i metode dijagnostike.

Metodom indikacije se u kontrolisanom objektu (dizel motoru) postavlja određeni broj (davača) senzora koji obezbeđuju indikaciju neispravnosti ako se ona pojavi.

Sistemi kontrole dizel motora u svom sastavu imaju senzore (davače) parametara, uređaje za transformaciju i rešavanje, lance upravljanja. Iz toga sledi da izvori grešaka u radu mogu biti:

- ispravnost senzora (davača),
- tačnost algoritma kontrole,
- strukturna pouzdanost,
- tačnost regulacije i brzine dejstva sistema.

Ukazane greške kontrole se javljaju usled:

- ograničene tačnosti kontrole parametara radnog procesa,
- zbog grešaka u radu senzora,
- nepouzdanosti sistema kontrole kao tehničkog uređaja,
- završnog brzog dejstva sistema kontrole,
- greške u izboru parametara kontrole.

Jedan od načina za smanjenje greške kontrole je rezerviranje davača radi anuliranja neispravnosti senzora (davača) i zbog grešaka u radu senzora sistema.

Rezerviranje kao metoda povišenja pouzdanosti standardnih i savremenih dizel motora u najoptimalnijem slučaju ima smisla kod sistema zaštite, odnosno kod određenih senzora (davača) koji utiču na dobijene pouzdane informacije za motorni računar pri određivanju najboljih radnih parametara. Rezerviranje je model za povišenje pouzdanosti koji dozvoljava formiranje sistema čija pouzdanost može biti veća od pouzdanosti njihovih elemenata. Rezerviranje je metoda povišenja nivoa pouzdanosti uključivanjem rezervnih elemenata u razradi sistema u procesu eksploatacije. Svaka metoda rezerviranja je zasnovana na principu suvišnosti. To znači da uporedo sa osnovnim elementima ili sistemima u celini koji ispunjavaju zadatak, za njih, funkciju, predviđaju se i suvišni, tj. rezervni elementi ili sistemi. Oni nisu funkcionalno neophodni i predviđeni su automatski za zamenu odgovarajućih jedinica u slučaju njihovog otkaza.

Rezerviranje može biti opšte i pojedinačno.

Takođe, rezerviranje može biti sa konstantno uključenom rezervom ili rezerviranje po principu zamene.

Kod konstantno uključene rezerve, osnovni i rezervni elementi funkcionišu istovremeno, od samog trenutka puštanja sistema u rad.

Kod pojedinačnog rezerviranja sa konstantno uključenom rezervom može da se obezbedi rezerviranje određenih senzora (davača) koji su važni za rad sistema zaštite i pri određivanju najboljih radnih parametara.

Iz iskustvenog dela istraživanja izvedeni su zaključci koji su naveli na mogućnost rezerviranja radi povišenja pouzdanosti dizel motora posebno kod parametara koje daje senzor temperature. Osim temperature radne tečnosti koja je važna za održavanje temperature celog motora, merenje temperature može biti važno i na određenim drugim

mestima. U okviru uljnog sistema postoje, takozvana, vruća mesta koja mogu da zapale i sprže ulje, a time unište radna svojstva ulja. Jedno od vrućih mesta je i turbokompresor koji kada dođe do oštećenja na njegovim ležajevima zbog velikog broja obrtaja turbo punjača u radu može da sprži ulje za podmazivanje motora, a koje je u zajedničkom sistemu za čitav motor. Takođe, i temperatura vazduha koji se usisava je važan parametar koji se meri. Senzor za ovu namenu se može nalaziti na kutiji vazdušnog filtera ili na usisnoj cevi. Ovaj senzor je sa NTC karakteristikom promenljive otpornosti. On ima otpornost od 3555 Ω -a na 20 °C, a 475 Ω -a na 70 °C. Temperatura ulaznog vazduha može dostići blizu 70 °C kada je vreo letnji dan¹⁵⁴.

Senzor temperature rashladne tečnosti daje ECU-u (Electronic Control Unit – „Kontrolna jedinica motora“) podatke o temperaturi rashladne tečnosti. U većini slučajeva smešten je na kućištu termostata. Ovaj senzor ima promenljivu NTC karakteristiku sa promenom temperature tj. ako se povećava temperatura motora, njegova otpornost se smanjuje. Kad ECU dobije informaciju da je temperatura rashladne tečnosti dovoljno visoka, zaključuje da je motor dostigao radnu temperaturu i tada ECU sa „open loop“ prelazi na zatvoreni povratni hod (closed loop) upravljanja motorom. Sa prelaskom na „closed loop“ ECU analizira i ostale ulazne podatke sa senzora kako bi kontrolisao kvalitet (emisiju) izduvnih gasova. Ovaj senzor je veoma pouzdan u eksploataciji, ali ako pretrpi oštećenje i izgubi funkciju sprečava ECU da pređe na „closed loop“, što će dovesti do „prebogate“ smeše, jako izraženog povećanja potrošnje i povećane emisije karbon monoksida (CO). U situaciji da senzor temperature potpuno izgubi funkciju i ECU ne uključi elektro ventilator na hladnjaku rashladne tečnosti zbog povišenja temperature dolazi do degradacije ulja, a pri „dužem“ radu motora na povišenoj temperaturi do oštećenja na zaptivnim prstenovima, ležajevima na radilici i drugih još većih oštećenja¹⁵⁵. Veći broj senzora temperature koji prate temperaturu na različitim delovima tj. elementima motora doprinose i boljem radu dizel motora, a time utiču na pouzdanost motora. Zbog važnosti temperature kao parametra, posebno je važno praćenje temperature rashladne tečnosti, a radi povišenja nivoa pouzdanosti u novo izgrađenom modelu uključićemo i rezerviranje davača temperature.

Sistem za podmazivanje dizel motora je jedna od najvažnijih sastavnih elemenata motora, i zbog toga zahteva pravovremene i tačne informacije dobijene od senzora za automatsko upravljanje. Greške nastale u sistemu kontrole, naročito u sistemu za podmazivanje, mogu dovesti rad dizel motora u havarijsko stanje i krajnje u stanje otkaza.

U novije vreme se u sistem za podmazivanje uvode senzori kojima se mere mnogostruki parametri kritični za opšte stanje motora. Osim osnovnih senzora pritiska ulja, nivoa ulja, temperature ulje, koriste se i električni senzori za monitoring čestica, senzori vibracija, senzori za monitoring stanja ulja, senzori dinamičkog pritiska itd.¹⁵⁶. Na sistem za podmazivanje je zbog svoje važnosti i osetljivosti izuzetno važno vršiti automatski monitoring, adekvatno praćenje stanja parametara daje kontroli mogućnost da predvidi kritična stanja i dizel motor prevede u bezopasni rad ili ga isključi, a sve u cilju da ne dođe do katastrofalnih oštećenja koja su kod otkaza sistema za podmazivanje definitivno moguća. U analizi informacija desetogodišnjeg praćenja komunalnih vozila sa dizel motorima novije generacije, može se istaći da je bilo više slučajeva totalnog gubitka

¹⁵⁴<http://www.renaultforumserbia.com/index.php?topic=7521.0>

¹⁵⁵Janjić, N, Adamović, Ž, Nikolić, D, Janjić, Z, Josimović Lj, Istraživanja radnih temperatura na ležajevima motornih vozila, časopis „Menadžment znanja“ godina X broj 1-2-, ISSN 9661, 2015

¹⁵⁶<http://autoelektrika.forumotion.com/t131-senzori>

podmazivanja na radilici, pa je dolazilo do havarija i otkaza sa velikim materijalnim gubicima. Cena senzora (davača) koji prate stanje ulja u odnosu na popravke posle nastalih otkaza mnogostruko je manja te se rezerviranjem davača može postići sigurno povišenje pouzdanosti rada dizel motora.

Rezerviranjem davača temperature i davača nivoa ulja može se postići sigurno pozitivan efekat i povišenje pouzdanosti motora. U iskustvenoj analizi kod grupe G1 sistema za hlađenje motora uočeno je 27 otkaza, a kod sistema za podmazivanje 3 otkaza, što je zbirno 30 otkaza, odnosno 25% od ukupnog broja otkaza.

Otkazi kod ovih komponenti u suštini nisu izazvani otkazima senzora (davača), ali su sprečili da sistem za podmazivanje i sistem za hlađenje motora izvršavaju svoje zadate funkcije. Nastavkom analize kod grupe G1 je uočeno 10 otkaza komponente K10, gde su davači (senzori), što je 8,5% od ukupnog broja otkaza. Skoro svaki treći otkaz komponente 10 je otkaz davača, što je 2,52% otkaza davača od ukupnog broja otkaza kod praćenih vozila grupe G1.

Kod grupe G2 ima 5 otkaza komponente K10 gde su davači (senzori) od ukupno 50 otkaza dizel motora svih posmatranih vozila što je 10% otkaza ove komponente. Od pet otkaza komponente K10 jedan je otkaz davača što je 2% od ukupnog broja otkaza dizel motora vozila grupe G2.

U eksploataciji do otkaza davača došlo je samo na davačima nivoa ulja i temperature rashladne tečnosti, iz toga sledi simulaciona analiza rezerviranjem samo ovih davača. Ulazni podaci simulacije u ovom slučaju su prethodne analize iz scenarija 4a i 4b sa podizanjem pouzdanosti davača na 100% pošto pouzdanost pri rezerviranju dozvoljava formiranje sistema čija pouzdanost može biti i veća od pouzdanosti njihovih elemenata. Ulazni podaci po grupama su: 2,52% otkaza davača za vozila grupe G1 i za grupu G2 2% otkaza. Kao dodatna simulaciona analizu a biće rezerviranje davača posle aditiviranja ulja pri direktnom sipanju aditiva sa uljem u dizel motor.

Iz eksploatacione analize podataka Tabele 5.58. za grupu vozila G1 pojava 2,52% otkaza davača od ukupnog broja otkaza je prouzrokovalo još 3,36% otkaza svih ostalih komponenti. Inicijalno tri otkaza (davača) komponente K10 (davač je jedan od pet elementa komponente K10) prouzrokovalo je dva otkaza komponente K1, jedan otkaz komponente K2, i jedan otkaz komponente K7.

Tabela 5.58. Otkazi davača i otkazi nastali posledično otkazima davač grupe vozila G1

Komponente	K10	K1	K2	K7	Σ
Broj otkaza komponenti nastalih otkazima davača:	3	2	1	1	7
Procenat otkaza u odnosu na ukupan broj otkaza grupe vozila G1:	2,52%	1,68%	0,84%	0,84%	5,88%

Rezerviranjem davača pouzdanost davača podižemo na 100% , odnosno u ovom slučaju rezerviranjem neutrališe se pojavu otkaza, posledično i svi ostali otkazi nastali kao posledica otkaza davača se anuliraju.

Moguća su dva slučaja simulacione analize za grupu vozila G1.

- a) Prvi slučaj: G1 - Ubacivanjem novonastalog broja otkaza izazvanih rezerviranjem davača u simulacioni model posle preventivnih akcija održavanja na 20000 km dobija se smanjenje ukupnog broja otkaza kao posledicu novih akcija održavanja.
- b) Drugi slučaj: G1-Ubacivanjem novonastalog broja otkaza izazvanih rezerviranjem davača u simulacioni model posle preventivnih akcija održavanja i aditiviranja motornog ulja na 20000 km dobija se smanjenje ukupnog broja otkaza kao posledica svih novouvedenih akcija održavanja.

U Tabeli 5.59. su prikazani otkazi na motoru grupe G1 komunalnih vozila, praćenje otkaza svih komponenti pre rezerviranja i posle rezerviranja (pretpostavljeni broj otkaza).

Tabela 5.59. Otkazi na motoru grupe G1 komunalnih vozila, praćenje otkaza svih komponenti pre rezerviranja i posle rezerviranja (pretpostavljeni broj otkaza)

Motor i podsistemi:	Broj otkaza iz arhive za deset godina:	Broj otkaza posle rezerviranja davača:
1. Pokretni delovi motora - komponenta K1	18	16
2. Nepokretni delovi motora - komponenta K2	10	9
3. Sistem razvoda radne materije - komponenta K3	5	5
4. Sistem napajanja motora gorivom - komponenta K4	7	7
5. Sistem paljenja i startovanja - komponenta K5	8	8
6. Sistem podmazivanja - komponenta K6	3	3
7. Sistem za hlađenje motora sa rolerima, PK kaišem i španerom - komponenta K7	27	26
8. Sistemi elektronske kontrole procesa - komponenta K8	3	3
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj izduvnoj instalaciji - komponenta K9	28	28
10. Elektro elementi - komponenta K10	10	7
Σ	119	112

Iz eksploatacione analize podataka Tabele 5.60. za grupu vozila G2 pojava 2% otkaza davača od ukupnog broja otkaza je prouzrokovala još 8% otkaza svih ostalih komponenti. Inicijalno jedan otkaz (davača) komponente K10 (davač je jedan od pet elementa komponente K10) prouzrokovao je dva otkaza komponente K1, jedan otkaz komponente K2 i jedan otkaz komponente K7.

Tabela 5.60. Otkazi davača i otkazi nastali posleđično otkazima davač grupe vozila G2

Komponente	K10	K1	K2	K7	Σ
Broj otkaza komponenti nastalih otkazima davača:	1	2	1	1	5
Procenat otkaza u odnosu na ukupan broj otkaza grupe vozila G2:	2%	4%	2%	2%	10%

Rezerviranjem se pouzdanost davača podiže na 100%, odnosno u ovom slučaju rezerviranjem se neutrališe pojava otkaza davača, pa se i svi ostali otkazi nastali kao posledica otkaza davača anuliraju.

- c) Treći slučaj: G2 – Ubacivanjem novog broja otkaza za celu grupu G2 nastalog rezerviranjem davača u simulacionom modelu, posle preventivnih akcija održavanja na 20000 km, dobija se smanjenje ukupnog broja otkaza kao posledica preventivnog održavanja i rezerviranja davača dizel motora za drugu grupu vozila G2 (Tabela 5.61.).

Tabela 5.61. Otkazi na motoru grupe G2 komunalnih vozila, praćenje otkaza svih komponenti pre rezerviranja i posle rezerviranja (pretpostavljeni broj otkaza)

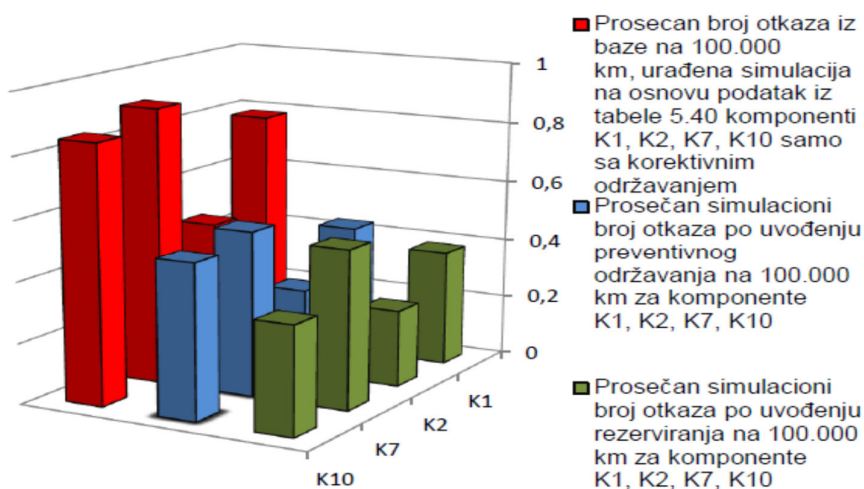
Motor i podsistemi	Broj otkaza iz arhive za deset godina	Broj otkaza posle rezerviranja davača
1. Pokretni delovi motora - komponenta K1	10	8
2. Nepokretni delovi motora - komponenta K2	4	3
3. Sistem razvoda radne materije - komponenta K3	1	1
4. Sistem napajanja motora gorivom - komponenta K4	7	7
5. Sistem paljenja i startovanja - komponenta K5	10	10
6. Sistem podmazivanja - komponenta K6	0	0
7. Sistem za hlađenje - komponenta K7	10	9
8. Sistemi elektronske kontrole procesa - komponenta K8	2	2
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj instalaciji - komponenta K9	1	1
10. Elektro elementi - komponenta K10	5	4
Σ	50	45

a) Simulacija povišenja pouzdanosti dizel motora grupe vozila G1 sa uvedenim rezerviranjem davača i preventivnim akcijama održavanja

Tabela 5.62. Broj otkaza za prvi slučaj rezerviranja

Komponente	Prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km, urađena simulacija na osnovu podatak iz tabele 5.40. komponenti K1, K2, K7, K10 samo sa korektivnim održavanjem	Prosečan simulacioni broj otkaza po uvođenju preventivnog održavanja na 100000 km za komponente K1, K2, K7, K10	Prosečan simulacioni broj otkaza po uvođenju rezerviranja na 100000 km za komponente K1, K2, K7, K10
K1	0,785903	0,431714	0,383746
K2	0,471019	0,279802	0,251822
K7	0,907514	0,542645	0,522547
K10	0,847883	0,50661	0,354627
Smanjenje broja otkaza za komponente na koje je uticalo rezerviranje - zbirno		1,760771	1,512742

Broj otkaza na 100000 km za komponente na koje je uticalo rezerviranje se smanjio sa **3,012319** otkaza pre uvođenja preventivnog održavanja na **1,512742** otkaza komponenti posle rezerviranja i preventivnog održavanja. Broj otkaza na 100000 km u simulacionom modelu preventivnog održavanja scenario 4a po uvođenju rezerviranja (davača) apsolutno se smanjuje za **0,248** otkaza komponente K10 (elementi komponente su rezervirani davači) i komponente na koje je uticao otkaz davača K1, K2 i K7 (Slika 5.120.).



Slika 5.120. Smanjenje otkaza posle preventivnog održavanja i nakon uvođenja rezerviranja za grupu vozila G1

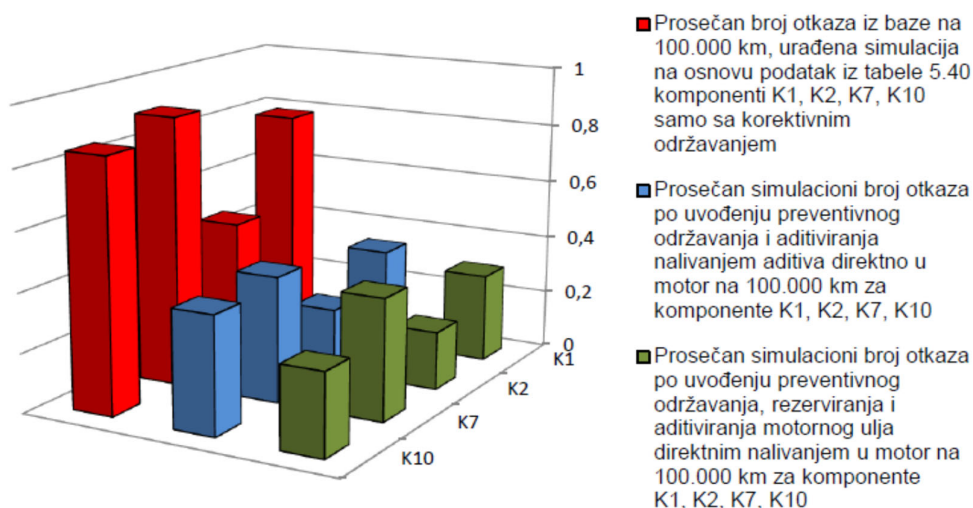
b) Simulacija povišenja pouzdanosti dizel motora vozila grupe G1 sa uvedenim preventivnim održavanjem, aditiviranjem ulja i rezerviranjem davača

Prilikom simulacije rezerviranja davača, radi smanjenja greške kontrole u cilju povišenja pouzdanosti, u drugom slučaju je rezerviranje primenjeno posle akcija preventivnog održavanja i aditiviranja motornog ulja u servisnom intervalu 20000 km.

Tabela 5.63. Broj otkaza pri uvođenju rezerviranja davača i aditiviranju motornog ulja

Komponente	Prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km, urađena simulacija na osnovu podatak iz tabele 5.40. komponenti K1, K2, K7, K10 samo sa korektivnim održavanjem	Prosečan simulacioni broj otkaza po uvođenju preventivnog održavanja i aditiviranja nalivanjem aditiva direktno u motor na 100000 km za komponente K1, K2, K7, K10	Prosečan simulacioni broj otkaza po uvođenju preventivnog održavanja, rezerviranja i aditiviranja motornog ulja direktnim nalivanjem aditiva u motor na 100000 km za komponente K1, K2, K7, K10
K1	0,785903	0,33649	0,299102
K2	0,471019	0,218085	0,196277
K7	0,907514	0,422954	0,407289
K10	0,847883	0,394867	0,276407
Smanjenje broja otkaza za komponente na koje je uticalo rezerviranje - zbirno		1,372369	1,179075

Broj otkaza za komponente (K1, K2, K7 i K10) na 100000 km na koje je uticalo rezerviranje se smanjio sa **3,012319** otkaza pre uvođenja preventivnog održavanja na **1,179075** otkaza komponenti posle rezerviranja, preventivnog održavanja i aditiviranja (Tabela 5.63.). Broj otkaza na 100000 km u simulacionom modelu preventivnog održavanja (scenario 4a), po uvođenju aditiviranja i rezerviranja (davača), apsolutno se smanjuje za **0,193** otkaza komponente K10 (davači) i komponente na koje je uticao otkaz davača K1, K2 i K7 (Slika 5.121.).



Slika 5.121. Smanjenje otkaza posle preventivnog održavanja, uvođenja rezerviranja i nakon aditiviranja motornog ulja za grupu vozila G1

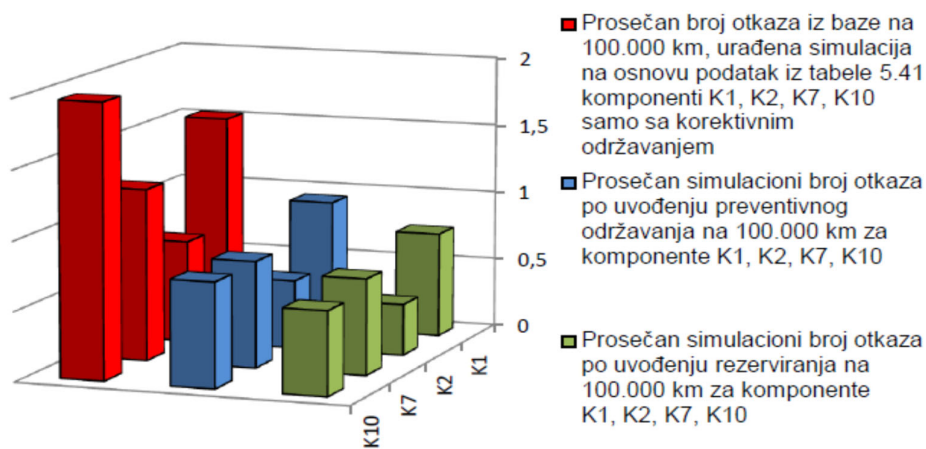
c) Simulacija povišenja pouzdanosti za dizel motore vozila grupe G2 sa uvedenim rezerviranjem davača i preventivnim akcijama održavanja

Prilikom simulacije rezerviranja davača, radi smanjenja greške kontrole u cilju povišenja pouzdanosti, u trećem slučaju je rezerviranje primenjeno sa akcijama preventivnog održavanja na grupi vozila G2.

Tabela 5.64. Broj otkaza za treći slučaj rezerviranja

Komponente	Prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km, urađena simulacija na osnovu podatak iz tabele 5.41 komponenti K1, K2, K7, K10 samo sa korektivnim održavanjem	Prosečan simulacioni broj otkaza po uvođenju preventivnog održavanja na 100000 km za komponente K1, K2, K7, K10	Prosečan simulacioni broj otkaza po uvođenju rezerviranja na 100000 km za komponente K1, K2, K7, K10
K1	1,525251	0,941959	0,753567
K2	0,732764	0,491995	0,368996
K7	1,236167	0,766424	0,689782
K10	1,970944	0,754062	0,60325
Smanjenje broja otkaza za komponente na koje je uticalo rezerviranje - zbirno		2,95444	2,415595

Broj otkaza na 100000 km za komponente na koje je uticalo rezerviranje se smanjio sa 5,465126 otkaza, pre uvođenja preventivnog održavanja na 2,415595 otkaza komponenti, posle rezerviranja i preventivnog održavanja. Broj otkaza na 100000 km u simulacionom modelu scenario 4b nakon uvođenja rezerviranja apsolutno se smanjuje za 0,54 otkaza komponenti, a za komponentu K10 i komponente na koje je uticao otkaz davača K1, K2 i K7.



Slika 5.122. Smanjenje otkaza posle preventivnog održavanja i nakon uvođenja rezerviranja za grupu vozila G2

5.5. POREĐENJE MODELA POUZDANOSTI U EKSPLOATACIJI SA MODELOM DONOŠENJA ODLUKA O PREPOZNAVANJU TIPA FUNKCIJE POUZDANOSTI DIZEL MOTORA U EKSPLOATACIJI

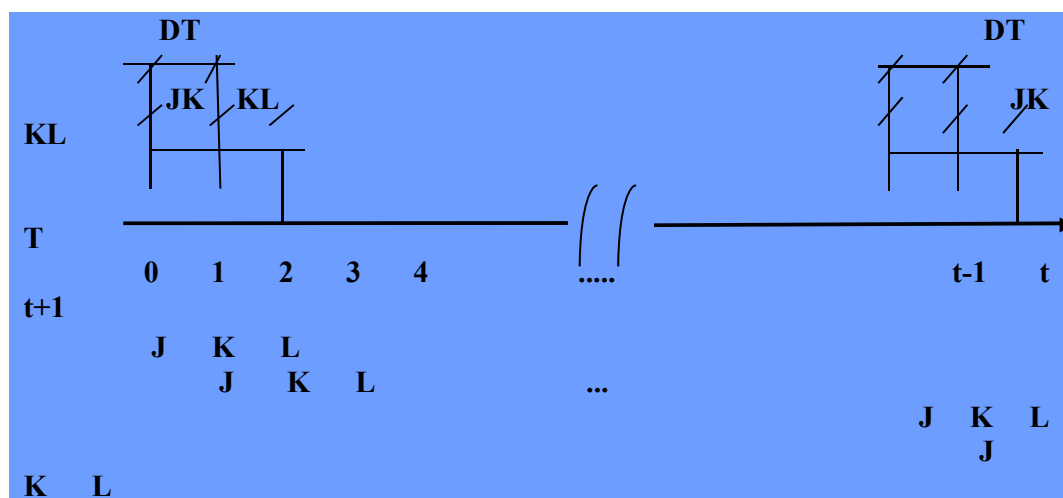
Dr Marko Tomašević je u svom radu razvio verbalni matematički model ponašanja sistema koristeći signal na izlazu pomoću mernih i separiranih signala. Eksperimentalno, pomoću simulacione metodologije i systemske dinamike na osnovu dobijenih signala donošene su odluke na bazi prepoznavanja oblika pouzdanosti. U radu Dr Marka Tomaševića pod nazivom „Model za donošenje odluka o procesima prepoznavanja tipova funkcije pouzdanosti postrojenja“ obrađen je brodski dizel motor primenom systemske dinamike i simulacione tehnologije u eksploatacionom istraživanju.

Ovaj model za donošenje odluka o procesima prepoznavanja tipova funkcije pouzdanosti postrojenja će se u jednom segmentu (jednom elementu – turbo punjač) obraditi radi upoređivanja sa modelom pouzdanosti u procesu eksploatacije.

Teorijski model donošenja odluke o prepoznavanju tipa funkcije

Jednačine modela se dobijaju iz osobina strukture savremenog dizel motora i savremenog dizel motora samog po sebi. Za računanje vrednosti elemenata savremenog dizel motora, za jedan i sledeći momenat, neophodno je standardizovati vremenski interval (ili standardizovani pređeni put vozila) izračunavanja vrednosti. Proces „korak po korak“ prikazan je na Slici 5.123.

Za tri moguća vremenska momenta, obeležena sa J, K i L postoje dva jednaka vremenska intervala, a to su JK i KL. Zbivanja u dizel motoru moguće je iskazati pomoću te tri vremenske tačke i dva intervala između njih.



Slika 5.123. Obeležavanje vremenskih diskretnih trenutaka na vremenskoj kompjuterskoj osi u simulacionom modelu.

Izvor: Tomašević, M., Model za donošenje odluka o procesima prepoznavanja tipova funkcija pouzdanosti postrojenja, Doktorska disertacija, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 2007.

J– prethodni vremenski trenutak (početno stanje, trenutak vremena pre)
K = J+DT – sadašnji vremenski trenutak (sada);
L = K+DT– sledeći vremenski trenutak (posle);
JK – diferencija, tj. diferencijal vremena DT= između J (pre) i K (sada);
KL– diferencija, tj. diferencijal vremena DT = između K (sada) i L (posle);
DT= JK=KL– vremenski interval između dva susedna proračuna (interakcijsko vreme računanja); određuje se u potpunom skladu sa tzv. teoremom o uzrokovanju (eng. Sampling Theorem) američkog inženjera Šanona (Shannon) i ruskog inženjera Konteljnikova, tj. $DT < T/2$;
T – vremenski period najmanjeg kašnjenja prvog reda.

Interval DT mora se odabrati tako da je dvostruko kraći od najmanje vremenske konstante T eksponencijalnog kašnjenja prvog reda materijalnog ili informacionog toka. Ako se zadovolji ovaj kriterijum ovako vremenski diskreditovani model u potpunosti je kompatibilan sa kontinualnim modelima.

Simulaciona vremenska osa stalno se pomiče udesno iz koraka u korak jer računar nema mogućnosti da pamti sve vremenske diskretne intervale, već pamti prošlost (J), sadašnjost (K) i izračunava budućnost (L). Čim izračuna L, K postaje J, L postaje K, a novi L je za DT udaljen od K udesno. Sav proces traje sve do isteka ukupnog zadanog vremena simulacije.

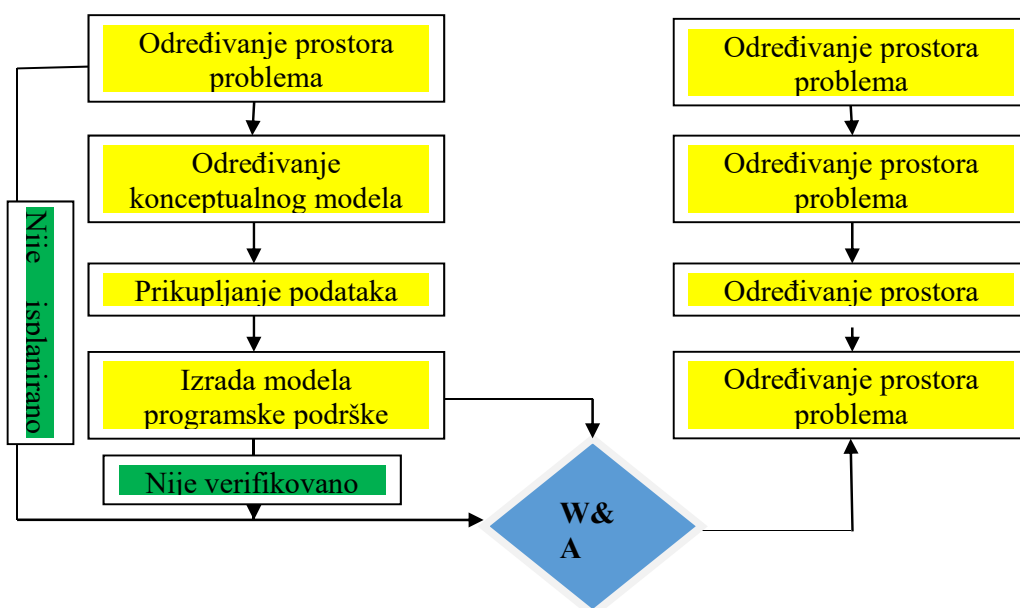
U principima prepoznavanja tipa funkcije pouzdanosti savremenog dizel motora u eksploataciji postavljena je pretpostavka da je elemente postrojenja moguće razvrstati u dve grupe. U prvoj se nalaze elementi stanja dizel motora. Kod savremenog dizel motora (dinamičkih sistema) ti elementi imaju svoju vrednost bez obzira na to da li motor funkcioniše ili ne. Znači, elementi stanja dizel motora u vremenskim momentima J, K i L imaju neke vrednosti. U drugoj grupi elemenata nalaze se elementi promene stanja savremenog dizel motora. Kod dinamičkih sistema ti elementi imaju svoje vrednosti samo onda kad tehnički sistem funkcioniše. Znači, elementi promene stanja tehničkog sistema dizel motora imaju svoje vrednosti u vremenskim intervalima JK i KL.

Za izračunavanje vrednosti u momentu K raspoloživi su podaci iz prethodnih koraka o vrednostima stanja u momentu J i vrednostima elemenata promene stanja u vremenskom intervalu JK. Pomoću tih raspoloživih podataka izračunavaju se vrednosti elemenata stanja motora u momentu K. Dobijene vrednosti koriste se potom da se izračunaju vrednosti elemenata promene stanja u intervalu KL. Takav redosled izračunavanja je obavezan zbog postojanja određene zavisnosti između elemenata stanja i njihovih promena. Ta zavisnost kaže da vrednost elementa promene stanja zavisi od prethodne vrednosti uzročnog elementa stanja motora. Time se obezbeđuje održavanje uzročno-posledične zavisnosti elemenata. Pretpostavka pri izračunavanju novih vrednosti elemenata stanja tehničkog sistema tj. dizel motora je ta da se oni ne menjaju u intervalima JK i KL, već samo u momentima. Za vrlo male vremenske intervale ($\Delta t = DT$) ova pretpostavka je održiva. Diskontinuitet, na ovaj način formiran, ne utiče znatno na dobijena ponašanja.

Ceo proces izračunavanja se ponavlja, ali za nov vremenski momenat L, kako je u prethodnom koraku obeleženo. U ovom narednom koraku vremenska skala J, K i L se pomera tako da se izračunavanje ne vrši za staro L, već za novo K. Postupak izračunavanja je isti kao i ranije, pošto su svi podaci raspoloživi za izračunavanje

vrednosti elemenata stanja u novoj tački K i vrednosti elemenata promene stanja u novom intervalu KL.

U simulacionom modelu promenljive i konstante se prikazuju simbolima. Format standardnog simbola treba da omogući dovoljno raznovrsnih kombinacija. Da bi se zadovoljili svi zahtevi, potrebno je da oznake promenljivih veličina i konstanti u sebi sadrže grupu do šest karaktera. Osnovnu oznaku sledi oznaka vremenskog intervala ili momenta kojem prethodi. Jednačina elementa promene stanja tehničkog sistema, dizel motora, je stav o tome kako se informacije prevode u odluke i akcije. Ove jednačine prikazuju kako tehnički sistem, dizel motor samo sebe kontroliše. Kod tehničkog sistema dizel motora jednačine prikazuju kako ljudska zapažanja o stanju sistema dovode do odlučivanja. Grafikon toka simulacije je prikazan na Slici 5.124.



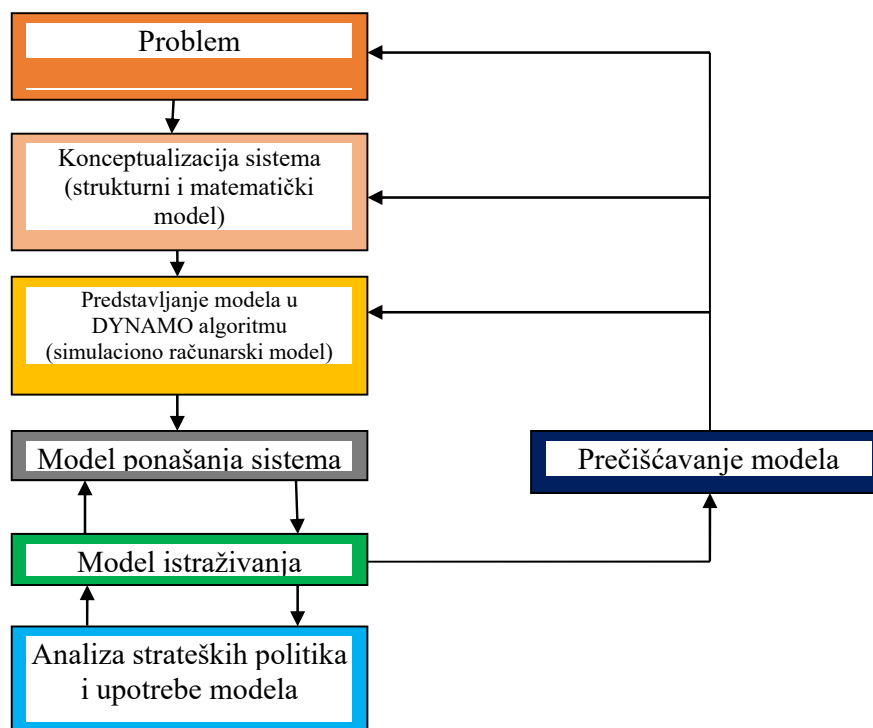
Slika 5.124. Grafikon toka simulacije

Da bi se došlo do konačnog oblika jednačine elementa promene stanja tehničkog sistema tj. dizel motora često je potrebno razviti pomoćne jednačine. Prisustvo takvih jednačina u modelu nije u suprotnosti s polaznim stavom da je struktura tehničkog sistema, dizel motora sastavljena samo od elemenata stanja i njihove promene. Pomoćne jednačine su, zapravo, algebarski delovi jednačina koje su elementi promene stanja tehničkog sistema dizel motora.

Sistemska dinamika kao metodologija koja se koristi za razumevanje ponašanja sistema pretpostavlja izgradnju simulacionog modela dinamičkog sistema kroz sledeće korake (Slika 5.125.):

- identifikacija problema – određivanje tačke posmatranja sistema, određivanje granice sistema, cilja modela itd.;
- konceptualizacija sistema – utvrđivanje elemenata i strukture sistema, izrada dijagrama, postavljanje dinamičkih hipoteza koje objašnjavaju uzrok problema;

- formalizacija modela – izgradnja računarskog simulacionog modela sistema, koji prikazuje srž problema;
- analiza ponašanja modela – testiranje modela koji treba da preslika ponašanje realnog sistema;
- evaluacija i validacija modela, kao i testiranje alternativnih rešenja problema.



Slika 5.125. Algoritam metodologije simulacije

Izvor: Tomašević, M., *Model za donošenje odluka o procesima prepoznavanja tipova funkcija pouzdanosti postrojenja*, Doktorska disertacija, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 2007.

Sistemska dinamika zasniva se na konceptu sistemskog mišljenja (engl. System Thinking). Sistemsko mišljenje omogućuje sagledavanje strukture sistema da bi se razumelo ponašanje sistema, ali ne podrazumeva izgradnju simulacionog modela.

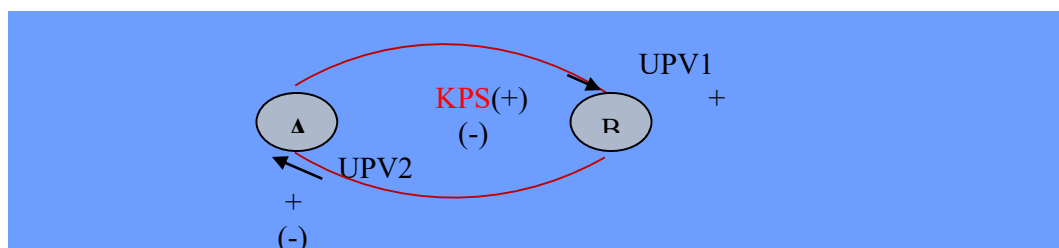
Struktura sistema uključuje četiri hijerarhijske komponente:

1. Granice sistema – granice se moraju definisati tako da uključuju samo one elemente koji prouzrokuju određeno ponašanje tehničkog sistema. Zbog toga se sistem pomoću pojma relevantne okoline zatvara, što omogućava njegovo matematičko rešenje.
2. Kružna povratna sprega kao osnovni prikaz sistema – ponašanje sistema određeno je strukturom elemenata u zatvorenoj petlji; povratna sprega odgovorna je za promene u strukturi tokom vremena. Najjednostavniji krug delovanja ima svega dve uzročno-posledične veze (Slika 5.126.).

UPV – uzročno-posledična veza jasno pokazuje kako uzročna promenljiva A dinamički deluje na promenljivu B (UPV1), odnosno promenljiva B dinamički deluje na promenljivu A (UPV2), što se može definisati sledećim mentalno-verbalnim modelom:

- Ako promenljiva A deluje na promenljivu B na način da promenljiva A raste i time izaziva rast promenljive B, kažemo da je uzročno-posledična veza \widehat{AB} pozitivnog (+) dinamičkog karaktera tj. ima istovrsni trend rasta.
- Ako rast promenljive A uzrokuje pad promenljive B, tada je dinamički karakter uzročno posledične veze \widehat{BA} negativan (-), što znači da je dinamika ponašanja uzročno-posledične promenljive suprotnog dinamičkog karaktera.

Na Slici 5.126. predstavljen je najmanji krug povratne veze (KPS), te ima svega dve uzročno-posledične veze AB i BA.



Slika 5.126. Krug povratne veze

3. Nivoi i stope – Unutar sistema postoje nivoi ili stanja (levels) i stope ili promene stanja (rates). Nivoi ili stanja predstavljaju količinu nekog elementa, npr. broj klipova dizel motora, nivo ulja u rezervoaru itd. Stope ili promene stanja predstavljaju jedinicu promene stanja (povećanje ili smanjivanje nivoa). Jednačine stanja predstavljaju integraciju promene stanja, dok funkcija stope predstavlja matematički prvi izvod stanja, tj. u fizičkom smislu brzinu menjanja stanja promenljive. Kao grafički simbol jednačine stanja u SD koristi se pravougaonik, dok simbol za promenu stanja koristi simbol regulatora (ventila).
4. Ciljevi, posmatrano stanje, nesklad između ciljeva i uslova, željena akcija. Cilj je stanje sistema koje se promenom želi postići, a posmatrano stanje je trenutno stanje sistema. Nesklad između ta dva stanja dovodi do diskrepancije, tj. odstupanja (razlikovanja) željenog stanja od stvarnog, pa regulator mora izvršiti akciju kojom će promeniti stanje i diskrepanciju smanjiti na nulu, a to su slučajevi kada su u potpunosti postignuti ciljevi.

Struktura sistema može se grafički prikazati pomoću dve vrste dijagrama:

- dijagram kružne povratne veze (Casual Loop Diagram, Feedback Diagram)
- dijagram stanja, odnosno toka (Stock/Flow Diagram).

Osnovne jednačine dinamičkih sistema su:

- L – jednačine stanja,
- R – jednačine promene stanja,
- A – pomoćne jednačine,
- I – inicijalne jednačine,
- C – jednačine konstanti,
- E – egzogene promenljive.

Sistemska dinamika razvija i koristi kvalitativne i kvantitativne modele.

Pod kvalitativnim modelima se podrazumevaju:

- Mentalni model,
- verbalni model,
- strukturni model,
- model strukturnih dijagrama toka.

Kvantitativni sistemsko-dinamički modeli su:

- MATEMATIČKI MODELI – matematički formulišu jednačine stanja, tj. skup nelinearnih diferencijalnih jednačina prvog reda koje potpuno determinišu funkcionisanje posmatranog sistema.
- RAČUNARSKO-SIMULACIONI MODEL – upotrebom sistem-dinamičkih programskih jezika (DYNAMO, PDP+, PDP4, POWERSIM, VENSIM, STELLA i dr.) transformiše se klasični matematički oblik stanja u diskretni, tj. diferencijalni oblik u kojem je DT određen pomenutom teoremom uzorkovanja;
- MODEL VALIDNOSTI – pre implementacije modela potrebno je izvršiti niz testova validnosti računarsko-simulacijskog modela.

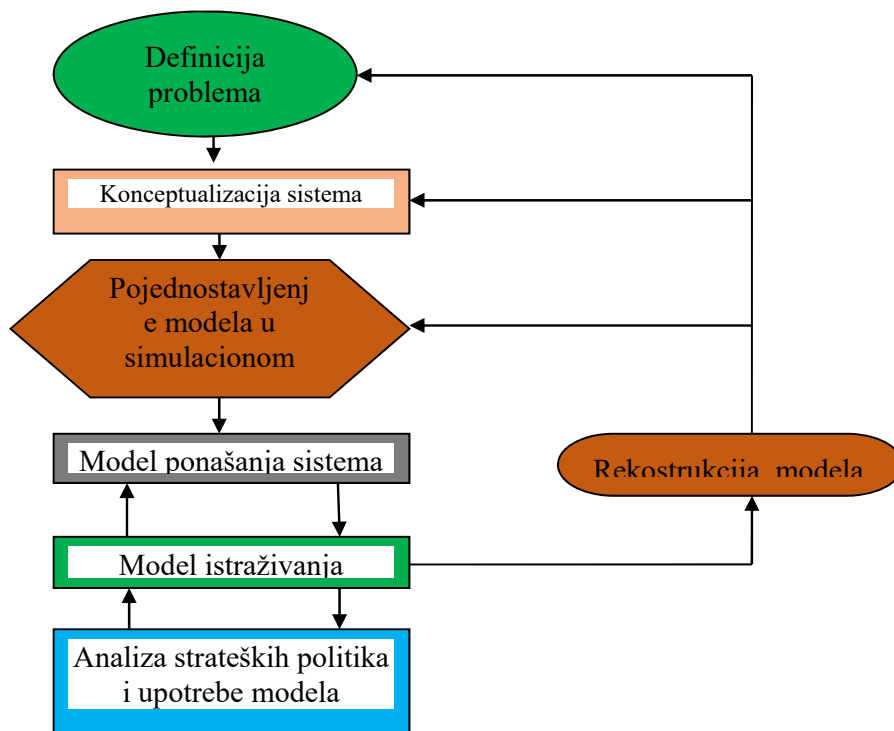
Modelovanje dinamike sistema primenom metodologije sistemske dinamike

Sistemska dinamika je jedna od sistemskih metodologija istraživanja, modelovanja i optimizovanja složenih dinamičkih sistema kao što je savremeni dizel motor. Ona se u svom metodološkom pristupu temelji na nekoliko faza, koje se mogu prikazati dijagramom (Slika 5.127.).

U prvoj fazi koja predstavlja definiciju problema prepoznaju se i definišu sistem i granice unutar kojih se posmatra što se opisuje mentalno-verbalnim modelom. Prilikom opisivanja mora se paziti na pravilno uočavanje vremenski promenljivih veličina, kao i njihovih uzročno – posledičnih delovanja.

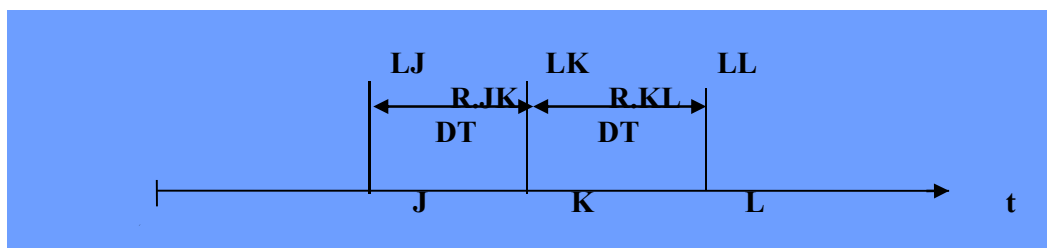
U drugoj fazi gradi se strukturni model i dijagram toka. Bitno je uočavanje i ucrtavanje najvažnijih materijalnih i informacionih tokova koji dovode do promene stanja tehničkog sistema dizel motora.

Dinamika posmatranog tehničkog sistema tj. dizel motora izražena nekim veličinama, posmatra se u određenim vremenskim intervalima, tj. osnova za posmatranje promene stanja tehničkog sistema – dizel motora su vremenski intervali u kojima se menja njegovo stanje.



Slika 5.127. Metodološki model istraživanja dinamike sistema.

U sistemskoj dinamici vremenska osa se označava na način prikazan na Slici 5.128.



Slika 5.128. Vremenska osa u simulacionom modelu

Izvor: Tomašević, M., Model za donošenje odluka o procesima prepoznavanja tipova funkcija pouzdanosti postrojenja, Doktorska disertacija, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 2007.

Koristeći saznanja o vremenskoj osi sa Slike 5.127. može se uraditi osnovu diferencijalne jednačine prvog reda za posmatranje stanja tehničkog sistema – dizel motora pomoću Dinamo simulacionog jezika. U Tabeli 5.65. je dato značenje simbola na vremenskoj osi.

Tabela 5.65. Značenje simbola na vremenskoj osi

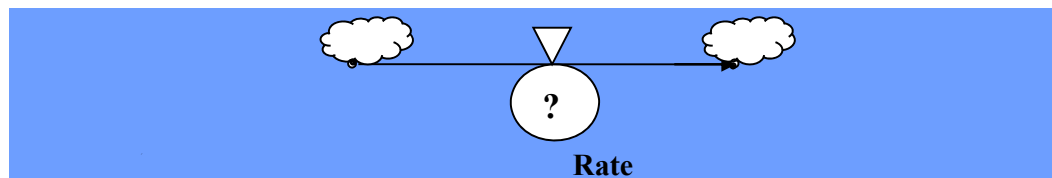
Simbol	Značenje
J	Definiše vremenski trenutak u kome je izvršeno poslednje računanje vremenski zavisnih veličina (stanja).
K	Definiše vremenski trenutak u kojem se vrši tekuće računanje vremenski zavisnih veličina.
L	Definiše naredni vremenski trenutak u kojem će se izvršiti sledeće proračunavanje vremenski zavisnih veličina (stanja).
DT(At)	Vremenski interval između dva susedna proračuna.

Jednačine sistemske dinamike

U sistemskoj dinamici postoji pet osnovnih tipova jednačina koje se koriste za modeliranje dinamike sistema:

L – Jednačina stanja nivoa sistema (Level funkcija) predstavlja akumulaciju (integraciju) u kojoj se akumuliraju (integrišu) sve promene stanja tokova koje ulaze u akumulaciju sistema i izlaze iz njega.

R – Jednačina promene stanja nivoa sistema (Rate funkcija) predstavlja ulazno - izlazne stope relativne promene posmatranog nivoa. Ulaz u element promene stanja sistema su tokovi koji dolaze od elemenata stanja ili konstanti, grafički simbol te funkcije prikazan je na Slici 5.129.



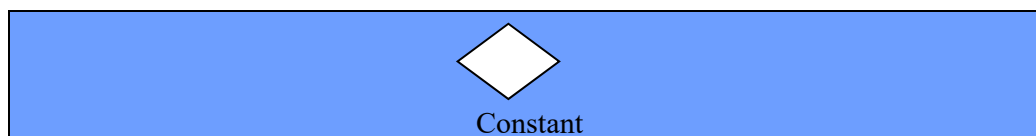
Slika 5.129. Grafički simbol jednačine promene stanja (Rate funkcija)

A – Pomoćne jednačine (Auxiliary funkcija) jesu jednačine koje se upotrebljavaju radi pojednostavljenja jednačina promene stanja. Grafički simbol te funkcije prikazan je na Slici 5.130.



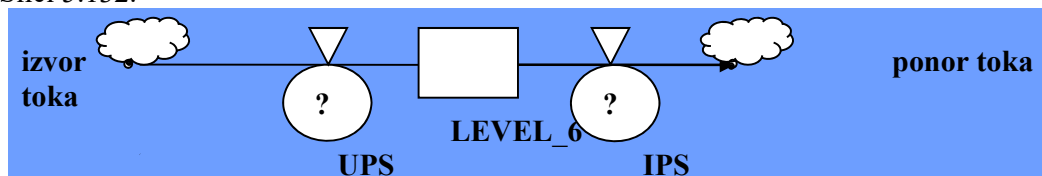
Slika 5.130. Grafički simbol pomoćne funkcije (Auxiliary funkcije).

C-K – Jednačine konstanti (Constants) jesu jednačine pomoću kojih se definišu konstantne vrednosti koje nisu u funkciji vremena. Grafički simbol te funkcije prikazan je na Slici 5.131.



Slika 5.131 Grafički simbol konstantne funkcije

N – I - Jednačine početnih vrednosti koriste se pri definisanju početnih vrednosti, potrebnih za proračun simulacionih modela. Grafički simbol zavisi od načina zadavanja početne vrednosti (npr. da li su početne vrednosti date funkcijom tabele ili konstantom). Prema prethodnoj simbolici jednačina stanja posmatranog nivoa sistema prikazana je na Slici 5.132.



Slika 5.132 Grafički simbol jednačine promene stanja (Rate funkcija).

U Dinamo jeziku, treća faza predstavlja računarsko prezentovanje modela (**kod**). Kod objektno orijentisanih programa kao što je Powersim, programski kod se generiše putem dijagrama toka, tako da ne postoji stroga granica između druge i treće faze. Kroz fazu modelovanja ponašanja sistema, računarska simulacija se upotrebljava za determinisanje funkcionalne i vremenske zavisnosti. Sledeću fazu istraživanja validnosti karakterišu mnogobrojni testovi radi utvrđivanja kvaliteta i validnosti modela. Poslednja faza, analiza strateških politika i upotreba modela, služi za mnogobrojna testiranja alterantivnih politika koje bi se mogle ugraditi u model. Dinamo (DYNAMO) osnovni je simulacioni jezik koji se koristi prilikom primene metodologije sistemske dinamike. Namenjen je korisnicima koji su više orijentisani rešavanju problemskih zadataka. Prilikom integracije (maksimalno hiljadu jednačina), zavisno od željene tačnosti, koriste se Eulerova ili Range-Kuta integraciona metoda. Dinamo simulacioni jezik je nastao iz jezika Simple, koji je razvijen za računar IBM 704 1958. godine. Prva prezentacija Dinamo jezika napravljena je 1959. godine. Autori su Phillis Fox i Alexander L. Plugh. Tokom 1962. godine Jay W. Forrester, koga smatraju tvorcem sistemske dinamike, usavršio je Dinamo, pojednostavivši unos inicijalnih podataka u program. Preko usavršenih verzija Dinamo I i II, pa Fortranske verzije, 1976. godine razvijena je posebna verzija za IBM i za prenosne računare. [144]

PROWERSIM (Wentana Systems, Harvard) jeste OS WINDOWS programski paket za vizuelno modeliranje koji, kao i ostali simulacioni paketi, omogućuje izgradnju, simulaciju, dokumentovanje, analizu i optimizaciju dinamičkih sistema. Za razliku od DYNAMO-a, ovaj programski paket prilikom definisanja jednačina zahteva i definisanje mernih jedinica, koje kasnije mogu poslužiti za ispitivanje validnosti modela.

Tabela 5.66. Prikaz Makro funkcije u DYNAMO i POWERSIM simulacionom jeziku

DYNAMO	POWERSIM
(A)(B)	(A)*(B)
A**B	AAB
CLIP(P,Q,R,S)	IF(R>=S,P,Q)
DELAY 1 (In, Del)	DELA MTR(In, Del, 1, 0)
DEL A Y3 (In, Del)	DELA MTR(In, Del, 3,0)

DELAYP(In, DelM, PPL)	DELAYMTR(In, Del, 3,0)
DLINF3(In, Del)	DELAYINF(In, Del, 0)
DT	TIMESTEP
FIFGE(P,Q,R,S)	IF(R>=S,P,Q)
LOGN(A)	LN(A)
NOISE()	RANDOM(-0.5, +0.5)
NORMRN(Mean, StdV)	NORMAL(Mean, StdV)
PULSE(H,W,F,I)	IF(TIMECYCLE(F,I,V,W),H,0)
SMOOTH(In, Del)	DELAYINF(In, Del, 1, In)
SAMPLE(X, Interval, Xo)	DELAYINF(In, Del, 1,Xo)
S WIT CH(P,Q,R)	IF(R=0, P, Q)
TABHL(Y, X, XL, XH, Dx)	GRAPH(X, XL, Dx, Y)
TABLE(Y, X, XL, XH, Dx)	GRAPH(X, XL, Dx, Y)
TABPL(Y, X, XL, XH, Dx)	GRAPHCURVE(X, XL, Dx, Y)
TABXT(Y, X, XL, XH, Dx)	GRAPHLINAS(X, XL, Dx, Y)

DT - osnovni simulacioni korak, tj. vremenski period računanja iteracija DT.

$DT < \frac{T}{2}$ Shenonn-Konterljikov: teorema o uzorkovanju kontinualnih modela u diskretni model. T je vremenski period najmanjeg prosečnog vremena kašnjenja prvog reda.

a) **CLIP(.)** – funkcija limitiranja. Opšti oblik je: $y = \text{CLIP}(P,Q,R,S)$

pri čemu je: $\text{CLIP}(P,Q,R,S) = \begin{cases} Pz aR \geq s \\ Qz aR \geq s \end{cases}$

b) **DELAY1(.)** – eksponencijalno kašnjenje prvog reda materijalnog toka.

Opšti oblik je: $y = \text{DELAY 1}(In, Del)$

pri čemu je:

In – ulazna promena stanja (jed./vreme)

Del – vreme kašnjenja promena stanje (vremenska jedinica)

c) **DELAY3(.)** – eksponencijalno kašnjenje trećeg reda materijalnog toka, odnosno kaskada triju eksponencijalnih kašnjenja prvog reda.

Opšti oblik je: $y = \text{DELAY3}(In, Del)$

pri čemu je:

In – ulazna promena stanja (jed./vreme)

Del – vreme kašnjenja promena stanje (vremenska jedinica)

d) **DLINF1(.)** – eksponencijalno kašnjenje prvog reda informacionog toka.

Opšti oblik je: $y = \text{DLINF1}(In, Del)$

pri čemu je:

In – stanje ili pomoćna jednačina čiji iznos kasni,

Del – vreme prepoznavanja iznosa In (jedinica vremena)

e) **DLINF3(.)** – eksponencijalno kašnjenje trećeg reda informacionog toka, odnosno kaskada triju eksponencijalnih kašnjenja prvog reda.

Opšti oblik je: $y = \text{DLINF3}(In, Del)$ pri čemu je:

In – stanje ili pomoćna vrednost koja kasni

Del – vreme kašnjenja (prepoznavanja) In (vremenske jedinice)

f) **LOGN(A)** znaci In A (prirodni logoritam), $A > 0$.

g) **NOISE()** funkcija generiše slučajni niz brojeva jednoliko raspodeljenih između $0,5i + 0,5$.

h) **NORMRN(.)** – funkcija koja generiše slučajni niz brojeva normalno raspodeljen sa zadatim prosekom i standardnom devijacijom.

Opšti oblik je: $y = \text{NORMRN}(\text{Mean}, \text{StdV})$

pri čemu je:

Mean – sredina

StdV – standardna devijacija

i) **PULSE(.)** funkcija proizvodi niz jednakih pulsni oblika.

Opšti oblik je: $y = \text{PULSE}(H, F, I)$ pri čemu je:

H – visina pulsa

F – vreme prvoga pulsa

I – interval između dva susedna pulsa

j) **SMOOTH(.)** funkcija predstavlja eksponencijalno izgladivanje pokretnog proseka informacionog toka prvog reda.

Opšti oblik je: $y = \text{SMOOTH}(\text{In}, \text{Del})$ pri čemu je:

In – promena stanja koja se uprosečuje (jedinica/vreme)

Del – vreme uprosečivanja

k) **SAMPLE(.)** funkcija vrši uzorkovanje (sampliranje) zadate promenljive.

Opšti oblik je: $y = \text{SAMPLE}(X, \text{Interval}, X_0)$ pri čemu je:

X – promenljiva koja će biti uzorkovana (sampliranja)

Interval – interval uzorkovanja (sampliranja)

X_0 – početni iznos uzorka

l) **SWITCH(.)** – prekidačka funkcija.

Opšti oblik je: $y = \text{SWITCH}(P, Q, R)$

pri čemu je: $\text{SWITCH}(P, Q, R) = \begin{cases} P \text{ za } R = 0 \\ Q \text{ za } R \neq 0 \end{cases}$

m) **TABLE(.)** funkcije predstavljaju linearnu interpolaciju između zadatih tačaka tablice.

Uopšteno se označava: $y = \text{TABLE}(\text{TNAME}, \text{PK}, \text{N1}, \text{N2}, \text{N3})$

TNAME = E1/E2/...../EM

pri čemu je:

TNAME – ime tablice

P – ulazna promenljiva za koju će se interpolirati, zadata vrednost

N1 – prva vrednost ulazne promenljive

N2 – poslednja vrednost ulazne promenljive

N3 – interval između dve susedne tablicne vrednosti

E1 – brojevi iznos tablice za $P = N1$

E2 – numerička vrednost tablice za $P = N1 + N3$

EM – zadnji tablični ulaz za iznos $P = N2$

P je zavisna promenljiva upotrebljena za ulaz u tablicu i ona je stanje ili pomoćna vrednost stanja.

n) **STEP(.)** funkcija generiše skok visine H u određenom vremenskom trenutku St.

Opšti oblik je: $y = \text{STEP}(H, St)$

pri čemu je: $\text{STEP}(H, St) = \begin{cases} 0 \text{ za } t < St \\ H \text{ za } t \geq St \end{cases}$

o) **MAX(.)** – funkcija maksimiranja.

Opšti oblik je: $y = \text{MAX}(P, Q)$

pri čemu je: $\text{MAX}(P, Q) = \begin{cases} P \text{ za } P \geq Q \\ Q \text{ za } P < Q \end{cases}$

p) **MIN(.)** – funkcija minimiziranja. Opšti oblik je:

$y = \text{MIN}(P, Q)$

pri čemu je: $\text{MIN}(P, Q) = \begin{cases} P \text{ za } P < Q \\ Q \text{ za } P \geq Q \end{cases}$

$y = \text{TABLE}(YT, X, K, XL, XH, Dx)$ – limitirana vrednost minimuma i maksimuma tabelarne funkcije; ako je veća od maksimuma u tabeli ili manja od minimuma u tabeli, ova tabelarna funkcija blokira rad programa (out of range).

$y = \text{TABHL}(Y, X, XL, XH, Dx)$ – ova tabelarna funkcija dozvoljava vrednosti amplitude koje prolaze područje tabele (out of range), tada su ograničeni i fiksni minimum i maksimum (minimalna vrednost ide kao da je stalni minimum a maksimalna kao da je stalno maksimalna). Ova funkcija se preporučuje, jer ne blokira program.

$y = \text{TABXT}(Y, X, XL, XH, Dx)$ – tangens ugla minimalne i maksimalne vrednosti izvan padajuće tabele je isti.

Eksploataciona istraživanja – dizel motor

U postupku projektovanja eksploatacionih istraživanja krenulo se od ideje da je validnost modela simulacije moguće posmatrati tako što će proučavanje, ponašanje konkretnih dizel motora grupe vozila G1 biti praćeno tokom istraživačkog perioda od 10 god. a dobijeni rezultati biti upoređeni za rezultatima iz grupe vozila G2. Istraživački postupak je zasnovan na metodi paralelnih grupa. Eksperimentalna grupa je simulacioni postupak, a kontrolnu grupu su činili podaci koji su tokom eksperimenta vođeni o ponašanju motora u eksploataciji. To omogućava da se metodom simulacije prognozira funkcionisanje motora u mnogo dužem vremenskom periodu rada. Tako su dobijene podloge za donošenje odluka u prepoznavanju tipa funkcije pouzdanosti dizel motora u eksploataciji.

Da li će bilo koji savremeni dizel motor izvršavati funkcije koje su mu namenjene zavisi od pouzdanosti funkcionisanja svih komponenti dizel motora. To znači da se i kod projektovanja dizel motora mora voditi računa o pouzdanosti svake komponente, odnosno pouzdanosti svakog sistema i podsistema ugrađenog u savremeni dizel motor. Pouzdanost dizel motora potrebno je razmatrati za sva mesta osnovnih sklopova gde mogu nastati oštećenja, a ta mesta se utvrđuju na osnovu konstrukcija i iz inženjerskog iskustva. Nastajanje pojedinih oštećenja se ustanovljava na osnovu kriterijuma oštećenja.

Na primer, pouzdanost nekog dela dizel motora zavisi od niza faktora, kao što su:

- složenost,
- način izrade i njegov kvalitet,
- značaj tog dela u okviru dizel motora.

Radi toga je neophodno razmotriti sve faktore koji utiču na pouzdanost. Složenost podsistema ima veliki uticaj na mogućnost postizanja zahtevane pouzdanosti. Što je složeniji podsistem (delovi sistema), veći je broj sastavnih delova, pa je teže i skuplje postići visoku pouzdanost.

Opis dizel motora

Nova generacija dizel motora sastoji se od integrisanog sistema, a povećanje efikasnosti i smanjenje zagađenja može da se posmatra kroz tri dela: visoko efikasnim dizelskim gorivom, razvijenim elektronskim upravljanjem rada motora i naprednim sistemom za kontrolu emisije gasova. Napredni sistem elektronskog upravljanja motorima je „mozak“ modernog motora koji kontroliše, između ostalog, nivo emisija, jer prikuplja i obrađuje signale i podatke senzora na dizel motoru, a zatim koordinira sisteme za naknadnu obradu izduvnih gasova.

Pored toga, sistemi za ubrizgavanje dizel goriva visokog pritiska na primer u zajedničkom vodu (Common rail ubrizgavanje) doprinose visokoj efikasnosti dizel motora. Ovi sistemi povećavaju pritisak u injektorima i pružaju bolju atomizaciju goriva, što zauzvrat poboljšava proces paljenja i sagorevanja. Ovo osigurava da se samo zajedničkoj cevi isporučuje samo neophodna količina goriva koju zahtevaju injektori. Savremeni dizel motori, takođe, omogućavaju filteru na izduvu (DPF) da se redovno regeneriše spaljivanjem sakupljene čađi i time smanjuju emisiju nečistih izduvnih gasova. Najnovija generacija dizel motora koristi katalitičke pretvarače, apsorbere i filtere za čestice koji apsorbuju i pretvaraju zagađujuće materije izduvnih gasova motora. Katalizator ima važnu ulogu u kontroli emisija. Ugljen-monoksid i nesagoreli ugljovodonici se oksiduju čime se eliminišu toksični gasovi i smanjenje zagađenja.

Analizirani četvorotaktni savremeni dizel motor, turbopunjen sa interkulerom i EGR ventilom pratimo kroz protok vazduha i pomoću moderne elektronike. Svež vazduh ulazi u kućište kompresora (usisna strana) turbo punjača i komprimuje se na točku kompresora, gde se stvara potisak. To čini vazduh gušći, ali i mnogo topliji. Da bi se hladio komprimovani vazduh pre nego što uđe u glave cilindara, usmerava se kroz hladnjak za punjenje vazduha (takođe poznat i kao interkuler).

Najčešće korišćeni tip interkulera je vazduh-vazduh i u suštini je samo jednostavan izmenjivač toplote. Interkuler značajno snižava temperaturu usisnog vazduha duž svog putovanja do motora, a to čini sa veoma minimalnim gubicima. Tako komprimovani vazduh se ubacuje u cilindar. U toku udara gde klip pada na dno otvara se ventil za dovod, omogućavajući vazduhu da popuni cilindar. Zatim se ventili zatvarača zatvaraju i počinje pokretanje kompresije. Ubačeni vazduh, pod ogromnim pritiskom, odmah postaje super zagrejan. Zagrevani vazduh se obogaćuje dizel gorivom koje se ubacuje u cilindar svojim odgovarajućim injektorom za gorivo. Pošto dizel motor koristi toplotu kompresije da zapali gorivo, nije potrebna pomoć za započinjanje procesa sagorevanja (npr. svećice kao kod benzinskih motora).

Kad sagoreli gasovi izlaze kroz izduvne ventile kroz izduvni kolektor i na turbinu (izduvnu) stranu turbo punjača, reč je o izduvnom udaru. Turbo punjač koristi izduvne gasove pomoću kojih se pogoni. Turbo punjač se sastoji od turbine (izduvnog dela) koja je postavljena na zajedničku osovinu sa kompresorom (usisni deo), uvek su potrebni izduvni gasovi kako bi se doveo vazduh u motor. Jedan zavisi od drugog. Na izduvu, izduvni gasovi okrećući turbinski točak, a koji okreće kompresorski točak i uvodi vazduh u motor. Termička efikasnost dizel motora poboljšava turbo punjač, jer povećava zapreminu vazduha koji ulazi u njega, što postavlja osnovu za sagorevanje više goriva. Jedan deo sagorelih izduvnih gasova se koristi za EGR ventil koji je na manjem broju obrtaja otvoren i propusta jednu količinu sagorelih gasova u motor kako bi smanjio

lupanje motora usporavanjem sagorevanja. Savremeni dizel motor ima direktno ubrizgavanje gde su injektori postavljeni da gorivo ubacuju direktno na vrh klipa.

Radi lakše obrade otkaznih stanja savremenog dizel motora, u našoj analizi izvršena je podela na deset celina, odnosno, grupa elemenata tj. sistema motora. Te iste grupe su podeljene na elemente po principu uočljivosti prilikom kontrole u radionici pri vremenskim kontrolnim pregledima. Svi elementi koji nisu navedeni smatraće se sastavnim delom prirodno povezanim sa sistemima na koje smo podelili motor i biće pri uočavanju otkaznog stanja uvršteni u tu grupu (u modelovanju grupe-sisteme ćemo zvati komponente motora).

1. Pokretni delovi motora - *komponenta 1* - **K1** (11 elementa pokretnih delova motora):
 - klipna grupa: klip, klipni prstenovi, osovinice i osigurači (4 elementa),
 - klipnjača, klizni ležajevi u maloj pesnici i klizni ležajevi velikoj pesnici (3 elementa),
 - kolenasto vratilo (radilica) sa kontra tegovima, zamajcem, zupčasti venac i zupčanik za pogon razvodnog mehanizma (4 elementa).
2. Nepokretni delovi motora - *komponenta 2* - **K2** (6 elemenata nepokretnih delova motora):
 - poklopac cilindarske glave,
 - cilindarska glava sa zavrtnjevima za njeno pričvršćivanje za blok,
 - blok motora,
 - zaptivke,
 - donja polutka gnezda glavnog ležaja,
 - korito motora (karter).
3. Sistem razvoda radne materije - *komponenta 3* - **K3** (5 elemenata):
 - bregasto vratilo,
 - mehanizam ventila,
 - prenosni zupčanici (remenici),
 - lanac (remen),
 - španeri.
4. Sistem napajanja motora gorivom - *komponenta 4* - **K4** (6 elemenata):
 - rezervoar goriva,
 - instalacija cevi do dovodne pumpe (pumpa niskog pritiska),
 - filteri za prečišćavanje goriva,
 - pumpa visokog pritiska,
 - cevovod visokog pritiska,
 - brizgaljke.
5. Sistem paljenja i startovanja - *komponenta 5* - **K5** (5 elemenata):
 - akumulator,
 - anlaser,
 - grejači,
 - automat grejača,
 - vakum pumpa.
6. Sistem podmazivanja - *komponenta 6* - **K6** (7 elemenata):
 - prostor u karteru gde se sliva ulje za podmazivanje,
 - usisna korpa sa grubim prečistačem,
 - zupčasta pumpa,
 - prečistači (filteri),

- sigurnosni ventili,
 - izmenjivač toplote za hlađenje ulja,
 - glavna razvodna magistrala i ostale razvodne cevi.
7. Sistem za hlađenje motora - *komponenta 7 - K7* (9 elemenata):
- vodena pumpa,
 - ventilator za hlađenje (npr: visko, elektro ventilator,..),
 - hladnjak (izmenjivač toplote),
 - termostat,
 - termo davač,
 - sistem cevi i creva za razvod rashlađene tečnosti,
 - PK kaiš,
 - roleri,
 - španeri.
8. Sistemi elektronske kontrole pojedinih procesa - *komponenta 8 - K8* (1 element):
- Integrisani sistemi kontrole motora.
9. Sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj izduvnoj instalaciji - *komponenta 9 - K9* (3 elementa):
- uređaji za smanjenje emisije štetnih gasova (izduvni sistem (auspuh) i DPF filter),
 - uređaj za unos dodatnog vazduha, turbo punjač sa interkulerom i filterima,
 - uređaji za preciznu regulaciju sagorevanja smeše goriva i vazduha, smanjenje buke i radne temperature u kompresionom delu motora (EGR ventil).
10. Elektro elementi - *komponenta 10 - K10* (5 elemenata):
- alternator,
 - davači (senzori): protokomer, senzor radne temperature motora, davač nivoa ulja, roto senzor, senzor radilice, lamda sonda, davač svežeg vazduha, davač nivoa goriva, davač nivoa rashladne tečnosti, ostali senzori i davači,
 - razvodna elektro instalacija,
 - elektro prekidači isključivači,
 - elektro ventili.

Teorijski model donošenja odluka o prepoznavanju tipa funkcije pouzdanosti savremenih dizel motora i njegovih komponenti u eksploataciji je potrebno razraditi na nivo svakog i najmanjeg dela koji je uočen kao potencijalni element koji može doći u stanje otkaza. Za model koji predstavljamo kao potencijalni pomoću koga hoćemo da povicimo pouzdanost dizel motora, detaljno ćemo predstaviti razradu jednog elementa jedne komponente:

- Sistem za unos vazduha i prečišćavanje izduvnih gasova, uređaji na usisnoj izduvnoj instalaciji *komponenta 9 - K9* (komponenta 9 ima 3 elementa).

Analizira se jedan element, odnosno uređaj za unos dodatnog vazduha – **turbo punjač**.

Podsistem turbo punjač biće detaljno predstavljen pomoću mentalno-verbalnog modela kroz blok dijagram, a strukturni model kroz dijagram toka podsistema u POWERSIM simbolici.

Model dizel motora

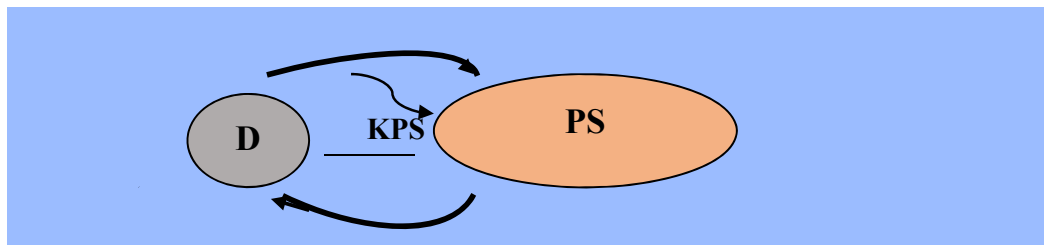
Jednačine stanja dinamičkog sistema predstavljaju skup nelinearnih i linearnih jednačina koje determinišu dinamičko ponašanje svih varijabli, odnosno celine dinamičkog sistema u našem slučaju komponente. Ponašanje dizel motora u dinamičkim režimima rada treba opisati u sistemu nelinearnih diferencijalnih jednačina. Metodologija za istraživanje ponašanja dizel motora komunalnih vozila, te za predviđanje tipa funkcije pouzdanosti, temelji se na informacijama u razvojnim fazama sistema i posmatranja sistema u eksploatacionim uslovima.

Kod predviđanja pouzdanosti dizel motora potrebno je:

- definisati motor kao sistem,
- definisati otkaze,
- definisati operativne uslove, kao i uslove održavanja,
- konstruisati blok-dijagrame pouzdanosti,
- postaviti algoritme za izračunavanje pouzdanosti,
- utvrditi intenzitete otkaza za pojedine komponente motora,
- modifikovati indekse otkaza za pojedine komponente motora i
- izračunati pouzdanost motora.

Pri definisanju motora kao sistema potrebno je odrediti njegove celine, komponente i njihovu međusobnu povezanost. Takve celine predstavljaju podsisteme motora. Dizel motor (**DM**) kao složeni sistem karakteriše kompleksnost, što znači da komunicira sa svojim podsistemima (**PS**), pripadajućim elementima, i drugim sistemima potrebnim za njegov ispravan rad. Dizel motor uslovno se zatvara prema Slici 5.133.

Složenost dizel motora može biti predstavljen kao interkomunikacijska veza sa svojim podsistemima (Slika 5.133.). Gornja puna usmerena linija i donja usmerena linija ukazuju na uslovnu zatvorenost što znači da se može razmatrati uticaj dizel motora na komponente i obrnuto. Te usmerene pune linije predstavljaju kanale kojima protiče barem jedan materijalni i/ili informacioni tok, a može ih biti i više.



Slika 5.133. Zatvoreni sistem motora i podsistemskih komponenti

Dizel motor je dekomponovan na 10 komponenti koji su međusobno povezane, a to su:

- pokretni delovi motora (sa 11 elemenata pokretnih delova motora),
- nepokretni delovi motora (sa 6 elemenata nepokretnih delova motora),
- sistem razvoda radne materije (sa 5 elemenata),
- sistem napajanja motora gorivom (sa 6 elemenata):
- sistem paljenje i startovanje (sa 5 elemenata),
- sistem podmazivanja (sa 7 elemenata),
- sistem za hlađenje motora (sa 9 elemenata),
- sistemi elektronske kontrole pojedinih procesa (sa 1 elementom),

- sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno izduvnoj instalaciji (sa 3 elementa) i
- elektro elementi (sa 5 elemenata).

Svaki od tih podsistema u sebi sadrži elemente i delove elemenata.

Pod otkazom se podrazumeva nastajanje uslova koji dizel motor čine nesposobnim za rad prema propisanim parametrima. Mogu se podeliti na otkaze koji uzrokuju nemogućnost korišćenja dizel motora, koji umanjuju snagu motora, i na one koji ne umanjuju snagu motora, ali mogu biti uzrok nemogućnosti korišćenja dizel motora.

Operativni uslovi određuju uslove rada motora. Uslovi održavanja koji utiču na pouzdanost dizel motora moraju biti poznati pre predviđanja pouzdanosti. Pod tim se podrazumeva:

- vreme zamene delova s poznatim ili procenjenim vekom trajanja,
- sprovođenje periodičnog održavanja,
- specifikacija delova koji se mogu zameniti ili popraviti kada dizel motor ne radi.

Blok-dijagram pouzdanosti predstavlja slikoviti prikaz funkcionalne povezanosti sistema ili blokova unutar sistema. Pogodno ih je prikazati redosledom obavljanja njihove funkcije.

Algoritam za izračunavanje pouzdanosti predstavlja matematički odnos između pouzdanosti sistema i pouzdanosti delova sistema prikazanih u blok dijagramu (Slika 5.134.).

U procesu predviđanja pouzdanosti potrebno je utvrditi intenzitet otkaza delova sistema. Dobija se na osnovu podataka kojima raspolaže proizvođač, iskustva pri eksploataciji, statističkih pokazatelja i podataka iz arhive održavanja.

Kod ovog sistema polazi se od pretpostavke konstantnog intenziteta otkaza. Potrebno je na osnovu raspoloživih podataka iz tehničke dokumentacije proizvođača dizel motora i servisnih knjiga održavanja izvršiti predviđanje pouzdanosti.

Takođe, treba utvrditi da li zadovoljava predviđena pouzdanost unapred postavljenim zahtevima i na osnovu dobijenih rezultata zaključiti da li je potrebno preduzimati određene mere za povećanje pouzdanosti.



Slika 5.134. Blok dijagram

- A –pokretni delovi motora (sa 11 elemenata pokretnih delova motora),
- B –nepokretni delovi motora (sa 6elemenata nepokretnih delova motora),
- C –sistem razvoda radne materije (sa 5 elemenata),
- D –sistem napajanja motora gorivom (sa 6 elemenata):
- E –sistem paljenje i startovanje (sa 5 elemenata) ,
- F –sistem podmazivanja (sa 7 elemenata),
- G – sistem za hlađenje motora (sa 9 elemenata),

- H –sistemi elektronske kontrole pojedinih procesa (sa 1 elementom),
- K –sistem prečišćavanja izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisnoj izduvnoj instalaciji (sa 3 elementa) i
- L –elektro elementi (sa 5 elemenata).

Pouzdanost motora dobija se uvrštavanjem vrednosti intenziteta otkaza delova sistema u algoritam za izračunavanje pouzdanosti u definisanom vremenskom intervalu.

Algoritmi za razmatranje intenziteta otkaza

Intenzitet otkaza za većinu delova dizel motora je konstantan, tj. ne zavisi od vremena. Delovi motora čiji intenzitet otkaza zavisi od vremena imaju veoma male vremenske periode otkaza u poređenju sa vremenom rada tih delova. Ako se pretpostavi da su svi intenziteti otkaza konstantni, dobijaju se neznatne pogreške.

Ako intenziteti otkaza delova nisu u funkciji vremena, onda se pouzdanost motora sastavljenog od takvih delova može izračunati prema eksponencijalnoj distribuciji pomoću jednačine [144]:

$$R_m = e^{-\lambda \times t} \quad (5.53.)$$

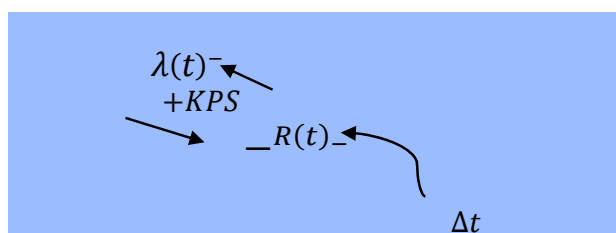
pri čemu je:

- R_m – pouzdanost motora,
- λ - intenzitet otkaza motora,
- t - zahtevano vreme pouzdanog rada motora.

Ako su intenziteti otkaza delova motora u funkciji vremena, onda se pouzdanost motora može izračunati prema eksponencijalnoj distribuciji pomoću jednačine:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (5.54.)$$

Strukturni model pouzdanosti prikazan je na Slici (5.135).



Slika 5.135. Strukturni model pouzdanosti dizel motora

Mentalno-verbalni model pouzdanosti motora podrazumeva zavisnosti navedene u daljem tekstu.

Ako vremenski interval Δt raste, pouzdanost motora će se smanjivati, odnosno predznak uzročno-posledične veze je negativan (-).

Ako intenzitet otkaza λ_m raste, pouzdanost motora $R(t)$ će se smanjivati, odnosno predznak uzročno-posledične veze je negativan (-).

Ako pouzdanost motora $R(t)$ raste, intenzitet otkaza λ_m će se smanjivati, odnosno predznak uzročno-posledične veze je negativan (-).

Ukupan predznak kruga povratne sprege ima pozitivan (+) karakter.

Za slučaj serijske veze elemenata sistema, λ_m iznosi:

$$\lambda_m = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (5.54.)$$

pri čemu je: λ_i intenzitet otkaza i-tog dela motora.

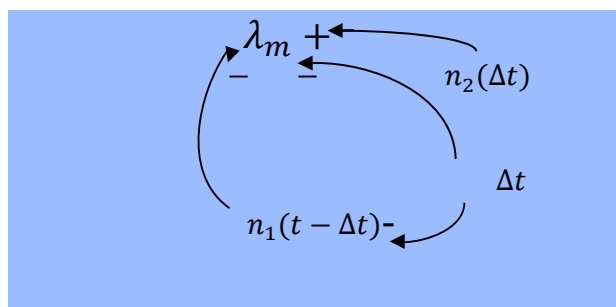
Funkcija intenziteta otkaza λ_i jednaka je srazmeri između broja otkaza u vremenskom intervalu Δt i ispravnog broja elemenata u sistemu na početku tog intervala, tj.:

$$\lambda_m = \frac{n_2(\Delta t)}{[n_1(t - \Delta t)]\Delta t} \quad (5.55.)$$

pri čemu je:

- λ_m – funkcija intenziteta otkaza;
- $n_2(\Delta t)$ – broj otkaza u vremenskom interval Δt ;
- $n_1(t - \Delta t)$ – ispravan broj elemenata na kraju intervala Δt , odnosno do trenutka $(t - \Delta t)$.

Strukturni model funkcije intenziteta otkaza (λ_m) prikazan je na Slici 5.136.



Slika 5.136. Strukturni model funkcije intenziteta otkaza

Mentalno-verbalni model funkcije intenziteta otkaza podrazumeva zavisnosti navedene u daljem tekstu.

Ako raste broj otkaza $n_2(\Delta t)$ u vremenskom intervalu Δt , tada će porasti i intenzitet otkaza (λ_m), te će predznak uzročno-posledične veze biti pozitivan (+).

Ako vremenski interval Δt raste, ispravan broj elemenata na kraju vremenskog intervala, tj. $n_1(t - \Delta t)$ će se smanjivati, te je predznak uzročno-posledične veze negativan (-).

Ako $n_1(t - \Delta t)$ raste, onda je predznak uzročno-posledične veze negativan (-).

U ovakvom slučaju, srednje vreme između otkaza motora M_m može se izračunati pomoću izraza[144]:

$$M_m = \frac{1}{\lambda_m} [h] \quad (5.56.)$$

Određivanje granice poverenja za slučaj eksponencijalne distribucije pomoću χ^2 distribucije

Primenom eksponencijalne distribucije, moguće je odrediti gornju granicu poverenja za intenzitet otkaza, za slučaj jednog ili većeg broja otkaza, čak i kad nema otkaza. Donja granica poverenja za srednje vreme između otkaza $\hat{\Theta}$, za interval poverenja $(t - \Delta t)$, određenaje izrazom¹⁵⁷ [152]:

$$\hat{\Theta} \geq \frac{2t_r}{\chi_{\alpha, 2r+2}^2} \quad (5.57.)$$

pri čemu je:

- t_r – ukupno vreme rada motora,
- r – broj motora koji su otkazali,
- $\chi_{\alpha, 2r+2}^2$ – vrednost verovatnoće koja pripada χ^2 distribuciji.

U vremenskom intervalu do prvog servisa, tj. do 3600 h, posmatralo se ukupno 10 kamiona sa dizel motorima, od kojih su četiri dizel motora bila u otkazu. Prema podacima iz dnevnika, kolskih knjiga i putnih naloga izvučeno je ukupno vreme rada motora i ono je iznosilo 28.909,8 h. U tom vremenu bilo je 79748 ispravnih elemenata dizel motora.

Za interval poverenja $(1 - \alpha) = 0,75$ uz $k = r - 2 = 4 - 2 = 2$,

dobija se donja granica poverenja.

$$\hat{\Theta} \geq \frac{2t_r}{\chi_{0,25; 2}^2} = \frac{2 \times 28909,8}{2,8135} = 21156,04$$

Vrednost $\chi_{0,25; 2}^2$ dobija se iz priloga 1.

Gornja vrednost intenziteta otkaza za ispravne elemente u intervalu poverenja $(1 - \alpha) = 0,75$ iznosi:

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\hat{\Theta}} = \frac{1}{21156,04} = 4,727 \times 10^{-5} [\text{otkaza/h}]$$

Dobijena vrednost treba da se подели s brojem ispravnih delova, pa se dobija gornja vrednost intenziteta otkaza za svaki pojedini element u zadatom intervalu poverenja:

$$\hat{\lambda}_{EL} = \frac{4,727 \times 10^{-5}}{79748} = 5,927 \times 10^{-10} [\text{otkaza/h}]$$

Mentalno-verbalni model

Porast intenziteta otkaza bilo kojeg podsistema motora (IK) uzrokuje povećanje ukupnog intenziteta otkaza posmatranog podsistema motora (IKU), što znači pozitivnu (+) uzročno-posledičnu vezu. Porast ukupnog intenziteta otkaza podsistema motora (IKU) implicira pad pouzdanosti posmatranog podsistema motora (PM), što znači negativnu (-) uzročno-posledičnu vezu. Porast intenziteta otkaza pojedinog elementa podsistema motora uzrokuje porast intenziteta otkaza podsistema (IK), što znači pozitivnu (+)

¹⁵⁷Vujanović, N, Teorija pouzdanost tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, str. 120, Beograd, 1990.

uzročno-posledičnu vezu. Veći broj otkaza pojedinog elementa (BK) podsistema motora prouzrokuje porast intenziteta otkaza tog podsistema, što kod svih elemenata koji su imali otkaz implicira pozitivnu (+) uzročno-posledičnu vezu. Povećanje vremena u kojem nije bilo otkaza (VNK) kao i broj ispravnih elemenata (BIE) podsistema smanjuje intenzitet otkaza posmatranog elementa (IK) i generiše negativnu (-) povratnu vezu. Rast intenziteta otkaza podsistema motora uzrokuje smanjenje očekivanog vremena bezotkaznog rada (MT), što implicira negativnu (-) uzročno - posledičnu vezu, dok rast pouzdanosti podsistema (PM) motora prouzrokuje smanjenje intenziteta otkaza podsistema motora (IK), znači negativnu (-) uzročno-posledičnu vezu.

Porast gornje vrednosti intenziteta otkaza za ispravne elemente (GVIEK) uzrokuje porast gornje vrednosti intenziteta otkaza svakog pojedinog elementa posmatranog podsistema kao i motora u celini (GVIKEL), što znači pozitivnu uzročno-posledičnu vezu (+). Porast gornje vrednosti intenziteta otkaza svakog pojedinog elementa implicira i porast ukupnog intenziteta otkaza posmatranog podsistema motora (IKU), što znači pozitivnu (+) uzročno-posledičnu vezu.

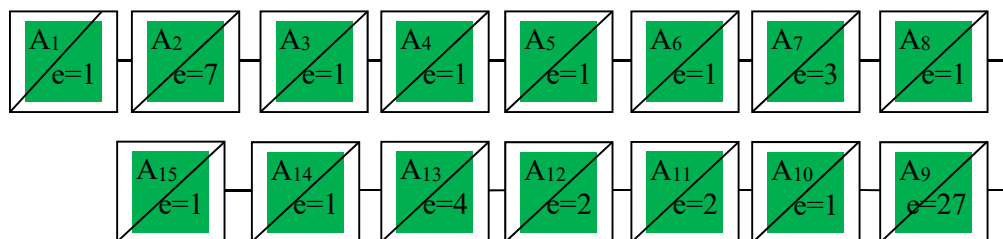
Mentalno-verbalni model jednak je za sve podsisteme dizel motora sa pripadajućim elementima, kao i za motor u celini. Ukupan predznak pojedinih podsistema i motora kao sistema posledica je odnosa ukupnog intenziteta otkaza i pouzdanosti, što generiše pozitivni predznak u modelu i ukazuje na to da sistem ima kumulativni karakter i da u principu model ima karakter eksponencijalnog rasta.

Skraćenice izračunatih varijabli su:

IKMU	–UKUPNI INTENZITET OTKAZA MOTORA
SBSIK	–SREDNJI BROJ ČASOVA IZMEĐU OTKAZA
UPPM	–UKUPNA PREDVIĐENA POUZDANOST MOTORA
GVIKEL	– GORNJA VREDNOST INTENZITETA OTKAZA ZA SVAKI POJEDINI ELEMENT U ZADATOM INTERVALU
GVIKIE	– GORNJA VREDNOST INTENZITETA OTKAZA ZA ISPRAVNE ELEMENTE U INTERVALU POVERENJA (0,75)
DGP	–DONJA GRANICA POVERENJA
BIDM	–BROJ ISPRAVNIH DELOVA MOTORA U ZADATOM INTERVALU
T	–ZADATI VREMENSKI INTERVAL

Podsistem turbine – turbo punjač

Turbina koristi energiju izduvnih gasova motora. Ta energija se pretvara u turbini u mehanički rad na osovini i troši se na okretanje radnog kola kompresora. Analizirana turbina se sastoji od 15 osnovnih delova, koji su šematski prikazani na Slici (5.137).



e – broj elemenata sklopa - svaki osnovni deo može biti sastavljen iz više elemenata.

A ₁ - zaštitni poklopac	A ₆ - vratilo	A ₁₁ - lavirintna zaptivka
A ₂ - prirubnica	A ₇ - vijci	A ₁₂ - zaptivka
A ₃ - kućište	A ₈ - turbinsko kolo (lopaticice)	A ₁₃ - sigurnosne podloge
A ₄ - spojke	A ₉ - matice	A ₁₄ - kompresorsko kolo (lopaticice)
A ₅ - prirubnice	A ₁₀ - ležaj do turbinskog kola	A ₁₅ - ležaj do kompresora

Slika 5.137. Blok dijagram turbine.

Otkazi podsistema turbine dogodili su se na osnovnom delu A₁₀ nakon 1800 h rada nakon remonta turbine, na delu A₁₂ nakon 2370 h rada nakon remonta turbine i na delu A₁₅ nakon 4903 h rada nakon remonta turbine. Podsistem turbine sastoji se iz 54 elemenata, a za 10 dizel motora to iznosi 540 elemenata.

Funkcija intenziteta otkaza λ_m za delove: A₁₀, A₁₂ i A₁₅ je:

$$\lambda_{10} = \frac{1}{540 \times 1800} = \frac{1}{972000} = 1,03 \times 10^{-6} \text{ [otkaza/h]}$$

$$\lambda_{12} = \frac{1}{540 \times 2370} = \frac{1}{1279800} = 0,78 \times 10^{-6} \text{ [otkaza/h]}$$

$$\lambda_{15} = \frac{1}{540 \times 4903} = \frac{1}{2647620} = 0,38 \times 10^{-6} \text{ [otkaza/h]}$$

Intenzitet otkaza podsistema turbine iznosi:

$$\lambda_A = \lambda_{10} + \lambda_{12} + \lambda_{15} = 2,19 \times 10^{-6} \text{ [otkaza/h]}$$

Ukupan intenzitet otkaza podsistema turbine iznosi:

$$\lambda_{AUK} = \lambda_A + n_A \times \hat{\lambda}_{EL} = 2,19 \times 10^{-6} + 540 \times 5,927 \times 10^{-10} = 5,39 \times 10^{-6} \text{ [otkaza/h]}$$

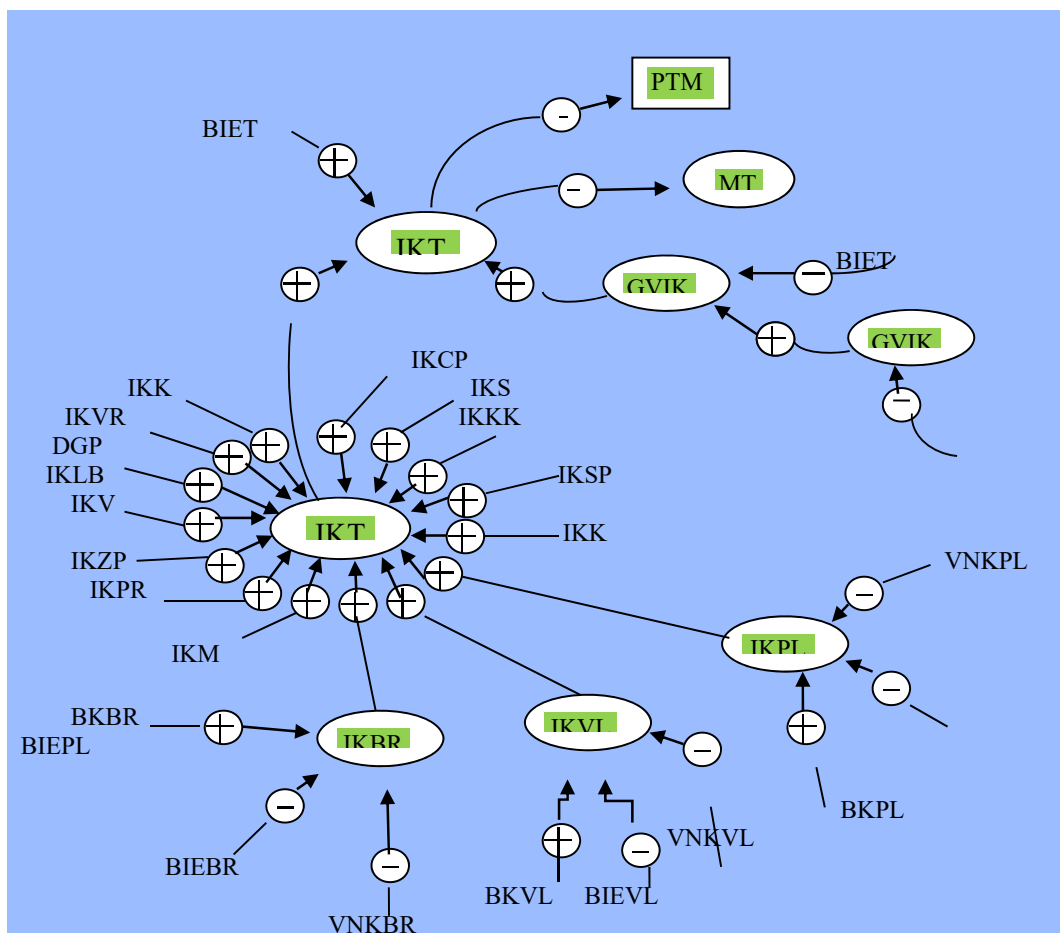
Prikaz svih parametara u modelu podsistema turbine motora:

DPTMDT	– PROMENA POUZDANOSTI TURBINE MOTORA
PTM	– POUZDANOST TURBINE
BIET	– BROJ ISPRAVNIH DELOVA TURBINE U ZADATOM INTERVALU
IKPL	– INTENZITET OTKAZA PRVOG LEŽAJA (do turbinskog kola)
BKPL	– UKUPAN BROJ OTKAZA PRVOG LEŽAJA (do turbinskog kola)
BIEPL	– BROJ ISPRAVNIH ELEMENATA PRVOG LEŽAJA (do turbin. kola)
VNKPL	– VREME NASTANKA OTKAZA PRVOG LEŽAJA (do turbinskog kola)
IKBR	– INTENZITET OTKAZA ZAPTIVKE TURBINE
BKBR	– UKUPAN BROJ OTKAZA ZAPTIVKE
BIEBR	– BROJ ISPRAVNIH ELEMENATA ZAPTIVKE
VNKBR	– VREME NASTANKA OTKAZA ZAPTIVKE
IKVL	– INTENZITET OTKAZA VEĆEG LEŽAJA (ležaj do kompresora)
BKVL	– UKUPAN BROJ OTKAZA VEĆEG LEŽAJA (ležaj do kompres.)
BIEVL	– BROJ ISPRAVNIH ELEMENATA VEĆEG LEŽAJA (do kompresora)
VNKVL	– VREME NASTANKA OTKAZA VEĆEG LEŽAJA (do kompresora)
IKT	– INTENZITET OTKAZA TURBINE
IKZP	– INTENZITET OTKAZA ZAŠTITNOG POKLOPCA TURBINE
IKPR	– INTENZITET OTKAZA PRIRUBNICE TURBINE
IKK	– INTENZITET OTKAZA KUĆIŠTA TURBINE
IKST	– INTENZITET OTKAZA SPOJKE TURBINE
IKCP	– INTENZITET OTKAZA CENTRALNE PRIRUBNICE TURBINE
IKVR	– INTENZITET OTKAZA VRATILA TURBINE
IKV	– INTENZITET OTKAZA VIJKA TURBINE
IKTK	– INTENZITET OTKAZA TURBINSKO KOLO (lopaticice)
IKM	– INTENZITET OTKAZA MATIČE TURBINE
IKLB	– INTENZITET OTKAZA LAVIRINTNE ZAPTIVKE TURBINE
IKSP	– INTENZITET OTKAZA SIGURNOSNE PODLOGE TURBINE
IKKK	– INTENZITET KOMPRESORSKOG KOLA TURBINE (lopaticice)

Na osnovu verbalnog modela i navedenih skraćenica delova podsklopa turbine može se dati strukturni model (Slika 5.138.), kao i dijagram toka podsistema (Slika 5.139.) u POWERSIM simbolici.

Na Slici 5.140. je prikazan strukturni dijagram modela pouzdanosti dizel motora.

Na Slicia 5.141. je prikazan dijagram vremenskog toka eksponencijalnog opadanja pouzdanosti podsistema dizel motora turbokompresora u toku rada 600000 h (deset vozila sa maksimalnim vekom eksploatacije).



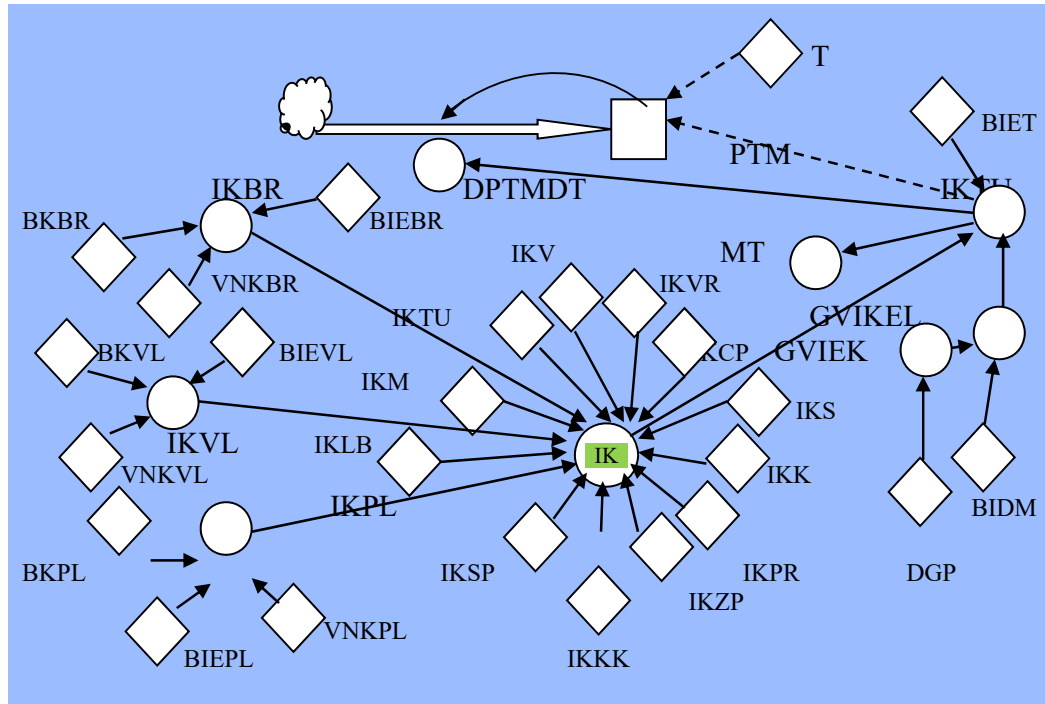
Slika 5.138. Strukturalni model podsistema turbine

Iz strukturalnog modela podsistema turbine vidi se da pouzdanost turbine (PTM) zavisi od ukupnog intenziteta otkaza podsistema turbine (IKTU). Ako ukupan intenzitet otkaza turbine (IKTU) raste, pouzdanost turbine (PTM) će se smanjivati, odnosno predznak uzročno posledične veze je negativan (-). Gornja vrednost intenziteta otkaza za svaki pojedini element u zadanom intervalu ima pozitivnu uzročno-posledičnu vezu (GVIKEL) prema ukupnom intenzitetu otkaza podsistema motora (IKTU).

Ukupan intenzitet otkaza motora (IKTU) zavisi od intenziteta otkaza pojedinih delova motora. Iz strukturalnog modela vidi se da intenzitet otkaza turbine (IKT) ima pozitivnu uzročno-posledičnu vezu sa ukupnim intenzitetom otkaza motora (IKTU).

Intenzitet otkaza turbine (IKT) zbir je intenziteta pojedinih elemenata turbine i svi oni imaju pozitivnu uzročno-posledičnu vezu (+).

Iz modela se vidi da su na tri dela podsistema turbokompresora bili otkazi (A_{10} , A_{12} i A_{15}). Dat je opis simulacije zaležaj: intenzitet otkaza ležaja ima jednu pozitivnu uzročno-posledičnu vezu (BKPL - ukupan broj otkaza prvog ležaja) i dve negativne uzročno-posledične veze (BIEPL - broj ispravnih elemenata prvog ležaja i VNKPL - vreme nastanka otkaza prvog ležaja). Ista je analiza za ostala dva dela. Ako ukupan intenzitet otkaza (IKTU) pada, srednje vreme između otkaza turbine raste (MT).



Slika 5.139. Dijagram toka podsistema turbine u POWERSIM-symbolici

Matematički model podsistema turbine motora u DYNAMO jeziku:

 Jednačina pouzdanosti turbine (PTM), jednačina ukupnog intenziteta turbine (IKTU) donja granica poverenja (DGP), broj ispravnih delova motora (BIDM), broj ispravnih delova turbine (BIET) i zadati vremenski interval (T).

```
R DPTMDT.KL=- (IKTU.K)*PTM.K
L PTM.K=PTM.J+DT*DPTMDT.JK
N PTM= 1 /EXP(IKTU * T)
A IKTU.K=IKT+BIET*GVIKEL
A GVIKEL.K=GVIKIE/BIDM
K GVIKIE=1/DGP
C DGP=21156,04
C BIDM=79748
C BIET=540
C T=3600
```

 Jednacinna intenziteta prstena ležaja (A₁₀), ukupan broj otkaza (BKPL), broj ispravnih delova (BIEPL) i vreme nastanka otkaza (V NKLP).

```
A IKPL.K=BKPL/(BIEPL*V NKLP)
C BKPL=1
```

C BIEPL=540
C VNKPL=1800

Jednačina intenziteta (A_{12}), ukupan broj otkaza (BKBR), broj ispravnih delova (BIEBR) i vreme nastanka otkaza (VNBKBR).

A $IKBR.K=BKBR/(BIEBR*VNBKBR)$
C BKBR=1
C BIEBR=540
C VNBKBR=2370

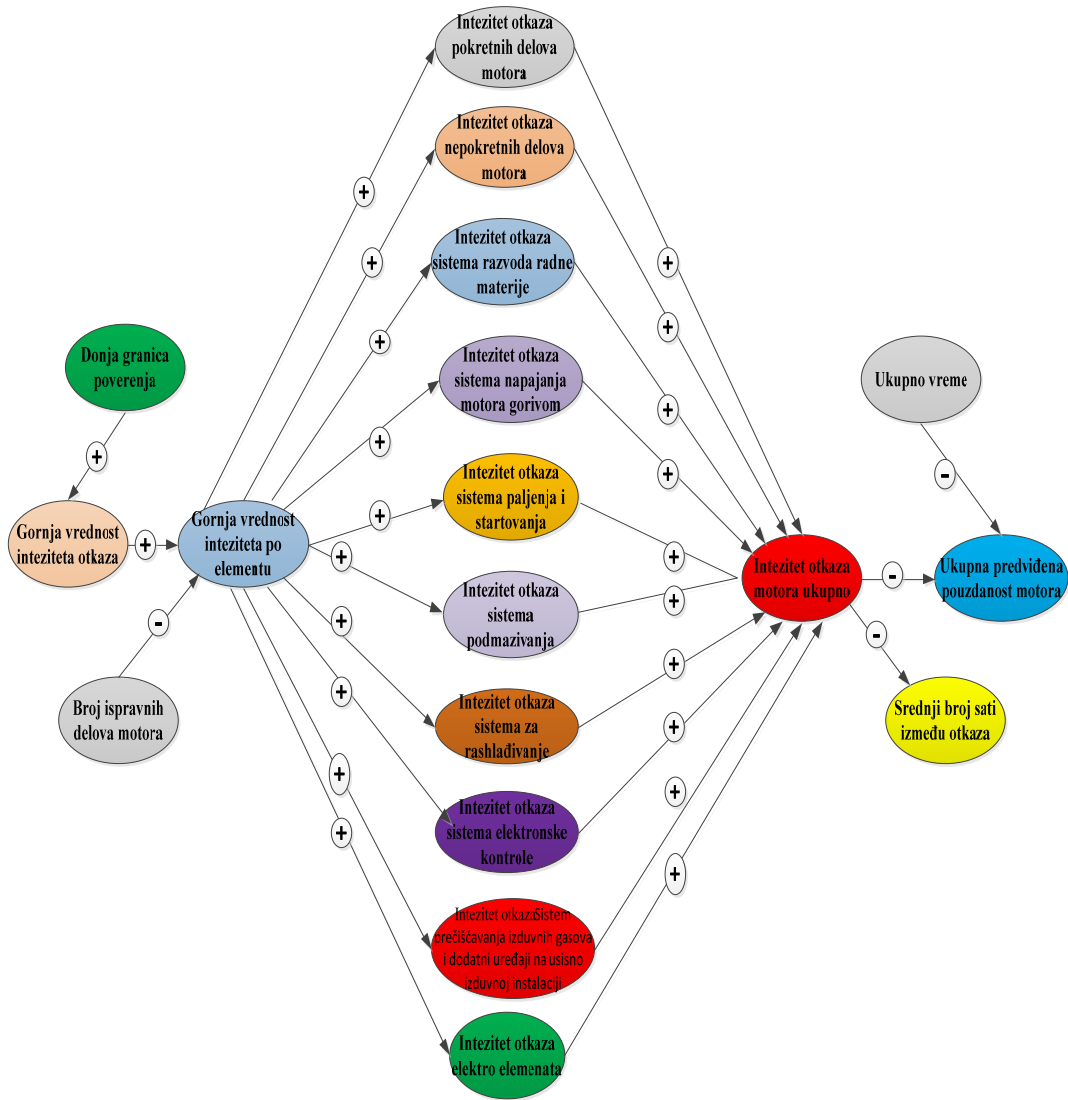
Jednačina intenziteta valjkastog ležaja (A_{15}), ukupan broj otkaza (BKVL), broj ispravnih delova (BIEVL) i vreme nastanka otkaza (VNBKVL).

A $IKVL.K=BKVL/(BIEVL* VNBKVL)$
C BKVL=1
C BIEVL=540
C VNBKVL=4903
*

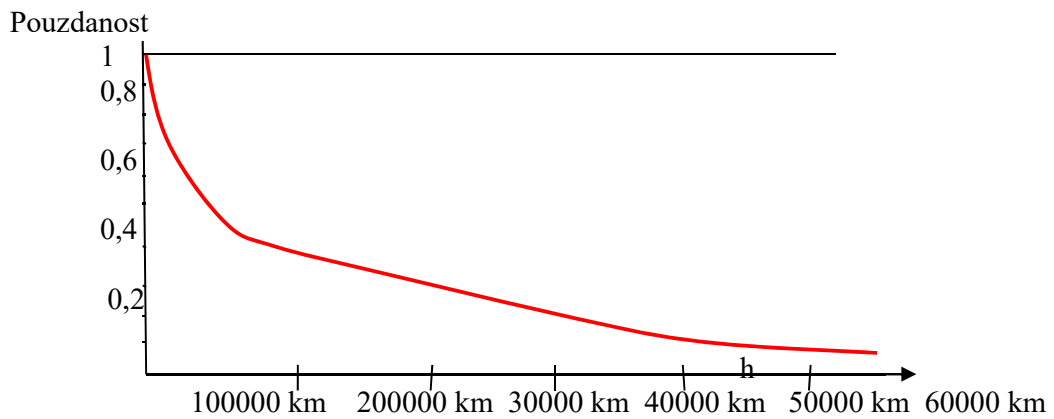
Ostali delovi podsistema nisu imali otkaze, pa je njihov intenzitet otkaza jednak nuli.

A $IKT.K=IKPL+IKBR+IKVL+IKZP+IKPR+IKK+IKS+IKCP+IKVR+IKV+IKTK+$
 $+IKM+IKLB+IKSP+IKKK$
C IKZP=0
C IKPR=0
C IKK=0
C IKS=0
C IKCP=0
C IKVR=0
C IKV=0
C IKTK=0
C IKM=0
C IKLB=0
C IKSP=0
C IKKK=0

SAVE DPTMDT, PTM,IKTU, BKPL, BIEPL, IKPL, BKPL, BIEPL,VNKPL,VNBKBR,
IKBR, IKVL,GVIKEL,GVIKIE, IKT
SPEC DT= 1, LENGTH=3600, SAVPER-2



Slika 5.140. Strukturni dijagram modela pouzdanosti dizel motora



Slika 5.141. Dijagram vremenskog toka eksponencijalnog opadanja pouzdanosti podsistema dizel motora turbokompresora u toku rada 600000 h.

Obrazloženje modela, moguća primena i poređenje sa generisanim modelom pouzdanosti u procesu eksploatacije

Predstavljeni model donošenja odluka o prepoznavanju tipa funkcije pouzdanosti dizel motora i njegovih komponenti u eksploataciji, takođe zasnovan na simulaciji je dobar za praćenje pouzdanosti dizel motora u eksploataciji, posebno je dobar za prognoziranje pouzdanosti tokom eksploatacije, ali je uopšten i daje kvalitativnu analizu.

Teorijski simulacioni model donošenja odluka o prepoznavanju tipa funkcije pouzdanosti dizel motora i njegovih komponenti u eksploataciji obuhvata: teoriju statističkog prepoznavanja oblika, Bajsovo pravilo odlučivanja minimalne greške, Neyman Pearsonov test, Minimax test, Burdikovu kartu, Weldov sekvencijalni test, fazi logiku, teoriju grubih skupova, neuronske mreže (prepoznavanjem izlaznih veličina), sistemsku dinamiku i programske pakete systemske dinamike. Ovakav model može da pruži mogućnost predviđanja pouzdanosti u određenom vremenu što omogućava uspešno planiranje eksploatacije i održavanje dizel motora. Ovim modelom mogu se prognozirati ispravna stanja rada komponenti u dozvoljenim granicama režima i time postići određene uštede.

Sam model je zahtevan zbog neophodnog velikog znanja o procesu i sva praćenja se dešavaju kroz promenjivu vreme što je ograničavajući faktor za uzorak (dizel motori komunalnih vozila u komunalnim preduzećima) koji je praćen kroz promenljivu pređeni put [S].

Ovaj verbalni matematički model ponašanja sistema koristi signal na izlazu pomoću mernih i separiranih signala. Model na osnovu dobijenih signala donosi odluke na bazi prepoznavanja oblika pouzdanosti. Ovakav model je pogodan za specijalne i skupe dizel motore koji se izgrađuju u manjim serijama. Da bi se primenio model, neophodno je postojanje velikog broja mernih elemenata na samim sistemima i podsistemima, što poskupljuje cenu samog dizel motora.

Stalno praćenje i stalna analiza dobijenih signala zahteva i poseban softver i prateći računarsko logički blok koji bi stalno bio u funkciji. Izuzetno veliki broj informacija dobijen i obrađen kod ovakvog modela je podoban za prognoziranje pouzdanosti. U slučajevima modeliranja pouzdanosti broskog dizel motora gde je vršena izgradnja opisanog modela, model je primenljiv i ekonomski isplativ. Jedna od važnih činilaca ovog modela je praćenje stanja kroz vremenski interval i beleženje na vremenskoj osi, što u slučaju kod komunalnih vozila nije slučaj jer je praćenje stanja vršeno kroz pređeni put. Ova specifičnost vođenja evidencije servisa, otkaza i popravki kroz pređeni put primenjuje se u mnogim privrednim sistemima, ne samo u komunalnim preduzećima (transportnim preduzećima, taksi firmama, preduzećima za javni prevoz, ...)

Prepoznavanje tipova funkcije pouzdanosti može se adekvatno koristiti kod održavanja zasnovanog na pouzdanosti, koje pak zahteva određene uslove (postojanje sredstava, ljudi – kadar,..) što u analiziranim komunalnim preduzećima trenutno nije dostupno. Uglavnom u našim komunalnim preduzećima održavanje je na najnižem nivou korektivnog održavanja i samo u nekim slučajevima prediktivno održavanje. Kako je cilj ovog rada podizanje pouzdanosti, a ne predviđanje pouzdanosti dizel motora kao tehničkog sistema, model pouzdanosti u procesu eksploatacije zasnovan na simulaciji pomoću Vejbulove raspodele i Monte Karlo metode može da nam pruži više kvalitetnih informacija o mogućnosti uvođenja preventivnog održavanja sa ciljem produženja pređenog puta do pojave otkaza i time povišenja pouzdanosti dizel motora u eksploataciji kao jednog savremenog i složenog tehničkog sistema.

6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Ovo istraživanje je urađeno sa ciljem formiranja modela pouzdanosti dizel motora u eksploataciji. S obzirom na to da dizel motori nisu konstruisani i izrađeni bez greške, postoje delovi ili mesta koji su podložni otkazima i zovemo ih slaba mesta. Cilj je bio da se korišćenjem formiranog modela ta slaba mesta definišu i da se utvrdi način otklanjanja istih. Takođe, cilj je bio da sa softverskom simulacijom dobije realna slika rada celog sistema motora sa podacima o pouzdanosti svake komponente tokom rada.

Korišćenjem podataka iz eksploatacije urađeno je ispitivanje, analizirani su svi otkazi za odabrane dizel motore i doneti iskustveni zaključci dati u poglavlju 5.1.1.

Takođe, korišćenjem podataka iz eksploatacije odabranih vozila, odnosno dizel motora koji su usvojeni kao uzorak ispitivanja, urađeno je dekomponovanje dizel motora u poglavlju 5.1.3. i na kraju urađena je simulaciona analiza u poglavlju 5.4.

Na osnovu seta podataka o otkazima koji se tretira kao statistički validan, došlo se do podataka (gustine raspodele), koja je potrebna za formiranje matematičkog modela. Da bi se uradila potpuna analiza upoređena su sva stanja u otkazu za sva posmatrana i navedena vozila, odnosno analizirani su svi otkazi njihovih dizel motora.

U toku istraživanja ispoštovani su određeni zadaci: obrađeni su prikupljeni podaci iz eksploatacije o otkazima, formirane su tabele sa otkaznim stanjima tokom desetogodišnje eksploatacije odabranih dizel motora i na osnovu prikupljenih podataka iskustveno su dobijene određene zakonitosti. Na osnovu formiranih tabela otkaza urađeno je dekomponovanje sistema dizel motor, a simulacijom je analizirano više mogućnosti održavanja i urađena su četiri scenarija održavanja s ciljem povišenja pouzdanosti, kao i dva specijalna slučaja aditiviranja motornog ulja i rezerviranja davača.

Izrađeni model je pružio upotrebljive izlazne podatke o kretanju pouzdanosti, kako pojedinačno za komponente, tako i za ceo tehnički sistem tj. dizel motor.

Istraživanje je započeto 2008. godine kada su prvi podaci o otkazima prikupljeni. Od tada je, osim prikupljenih podataka, izuzetno mnogo iskustva direktnim angažovanjem u praćenju održavanja i otklanjanju posledica otkaza nastalih tokom više od deset godina eksploatacije, više od pedeset vozila sa dizel motorima.

6.1. REZULTATI ISKUSTVENE ANALIZE NA OSNOVU ANALITIČKIH TABELA

U iskustvenoj analizi prilikom analiziranja Tabela 5.27, 5.28 i 5.29 kao i Tabela 5.30, 5.31 i 5.32 došlo se do zaključka da je najveći broj ponovljenih otkaza 38,03% i najveći procenat otkaza jedne komponente 23,53% na komponenti K9 vozila u grupi G1. Gledano za drugu grupu vozila dizel motora G2 za isti period od 10 god. i četiri posmatrana dizel motora skoro da nije ni bilo otkaza ove komponente.

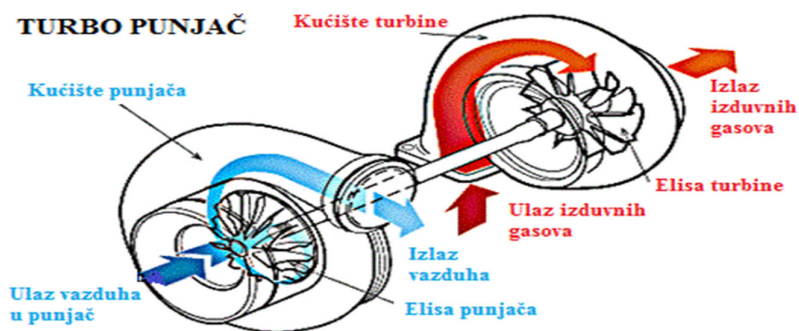
Pošto su definisane grupe G1 i G2 po specifičnosti rada dizel motora (G1 rad motora na malom broju obrtaja i veći deo rada vozila bez kretanja – rad u mestu; G2 standardan rad

dizel motora, normalna eksploatacija) zaključuje se da su učestali otkazi sa velikim procentom ponavljanja otkaza posledica specifičnog rada dizel motora koji je uslovljen nestandardnim i usiljenim radom specijalnih komunalnih vozila grupe G1.

U Tabeli 5.28. gde je vršena analiza otkaza elemenata dizel motora u odnosu na pređene kilometre u intervalu od 50000 km, broj otkaza se povećavao po isteku prve dve godine. Takođe, u odnosu na pređenu kilometražu vidno je da se broj otkaza naglo povećao posle pređenih 250000 km. U pomenutoj tabeli posmatrana grupa G1 komponenta K9 sa najviše otkaza, primetno je da kako se povećavala kilometraža, tako se progresivno povećavao i broj otkaza komponente K9. U Tabeli 5.27. je, takođe, primetno da se komponenta K9 izdvojila, pa otkaze u grupi G1, komponentu K9, možemo direktno vezati za način rada dizel motora i specifične uslove u kojim komunalna vozila rade. Možemo zaključiti da Grupa „I“ komunalnih vozila ima problem sa pouzdanošću sistema za prečišćavanje izduvnih gasova i dodatnih uređaja na usisno-izduvnoj instalaciji.

Najveći procenat otkaza elemenata motora je u sistemu za prečišćavanja izduvnih gasova i dodatnih uređaja na usisno-izduvnoj instalaciji (Tabela 5.29.). Svi ovi otkazi su bili u većem slučaju bez posledica od strane drugih sistema i elemenata, uglavnom su se otkazi javljali na EGR ventilu, turbo punjaču i DPF filteru. Pretpostavka je da je jedan deo ostalih otkaza drugih komponenti bio direktno povezan sa otkazima grupe G1, komponente K9 dizel motora.

Primer problema koji se javio kod turbo punjača prilikom rada na leri i malom broju obrtaja (Slika 6.1.). Obzirom da su ležajevi turbo punjača u filmu ulja koje osim za podmazivanje služi i za hlađenje, oštećenja ulja zbog čađi dospela iz ostalog iz EGR ventila u sistem za podmazivanje, ulje gubi potrebne radne karakteristike. Podmazivanje je lošije, ležajevi se više zagrevaju, radna temperatura ležaja je veća (javlja se pojava vrućeg mesta odnosno povišenja temperature u turbo punjaču i nova degradacija ulja koje podmazuje vratilo turbo punjača zbog temperature), samim tim dolazi do oštećenja ležaja i kompresor gubi funkcionalnost, zaptivnost, pojavljuje se ulje u kompresoru i iz njega u interkuleru, vanosnost, odnosno pojava oscilacija i vibracija. Usled pojave vibracija na kompresoru pojavom saosnosti vratila turbo punjača u jednom slučaju kod komunalnog vozila na Mercedes Sprinteru 511 cdi došlo je do zadiranja lopatica kompresora o kućište kompresora. Usled zadiranja lopatica nastali su opiljci struganja lopatica o kućište, koji pod pritiskom struje komprimovanog vazduha dospevaju u kompresioni prostor. Ovakva havarija je izazvala oštećenje prvog i trećeg klipa, siceva ventila, oštećenje samih ventila.



Slika 6.1. Šematski prikaz turbo punjača

Prikaz oštećenih lopatica turbo punjača koje su izazvala sva ostala oštećenja je dat na Slici 6.2.



Slika 6.2. Prikaz oštećenih lopatica turbo punjača koje su izazvala sva ostala oštećenja

Oštećenja samih turbo punjača su se desila više puta kod vozila koja su više vremena radila na malom broju obrtaja (grupa G1), iako se turbo punjač uključuje u radu na većim obrtajima kada je potrebna veća snaga.

Veza između turbo punjača i interkulera. U skoro svim slučajevima problema i otkaza turbo punjača došlo je do pojave velike količine ulja u interkuleru. Ulje je u interkuler došlo zbog gubitka funkcionalnosti zaptivki turbo punjača. Ulje iz interkulera direktno pravi problem rada dizel motora jer iz interkulera dospeva u kompresioni prostor i sagoreva sa smešom vazduha i goriva.

U dosta slučajeva kod grupe vozila G1 bila je pojava lupanja motora (pojačana buka motora), EGR ventil je bio zaprljan od čađi i upaljena lampica indikatora izduvnih gasova. Po pojavi problema EGR ventila u prvih nekoliko slučajeva zaprljanost ventila je rešavana čišćenjem, međutim, funkcionalnost ventila se vremenom izgubila, pa je u kasnijim otkazima funkcionalnosti, EGR ventil zamenjen novim.

U poglavlju 5.1.1. radi boljeg shvatanja problema učestalih pojava otkaza komponente K9 odnosno sistema za prečišćavanje izduvnih gasova i dodatnih uređaja na usisno-izduvnoj instalaciji opisani su svi elementi komponente K9 grupe vozila G1 koji su se izdvojili kao „usko grlo“ tj. slaba mesta dizel motora. Pošto je definisan problem slabog mesta bilo je neophodno definisati mere za rešavanje problema.

Pošto je vek trajanja ulja skraćen zbog uslova rada na malom broju obrtaja, a interval zamene ulja u odnosu na pređenu kilometražu zbog rada motora vozila u stajanju nepouzdana, predložena mera za povišenje kvaliteta ulja i produženje intervala eksploatacije motornog ulja bila je aditiviranje. U poglavlju 5.1.2. u analizi definisani su svi problemi koji su doveli do degradacije motornog ulja, a na osnovu te analize predložena je mera aditiviranja. Dostupnost mogućnosti ispitivanja domaćeg aditiva u FAM Kruševcu usmerilo je na eksperimentalno laboratorijsku analizu potvrđivanja pretpostavke da se aditiviranjem može rešiti problem degradacije ulja.

Ispitivano motorno ulje, čiji su rezultati laboratorijskih analiza prikazani u poglavlju 5.1.2, može se zaključiti da se sve fizičko-hemijske karakteristike ulja, metali kao posledica habanja, nalaze se u predviđenim granicama za ove tipove motora i ulja. Utvrđeno je da i nakon prekoračenja dozvoljenog roka eksploatacije, aditivirano motorno

ulje poseduje određenu rezervu i da se može koristiti duže od planiranog perioda zamene za minimum 25%. Gubitak motornog ulja se kretao u donjim granicama.

Za rad u otežanim uslovima kakav imaju specijalna komunalna vozila, gde se pojavljuje veća količina gareži u motornom ulju, a koja može da dovede do višestrukih oštećenja motora i pratećih sklopova, kao što je oštećenje ležajeva radilice, radilice, ventila, zaptivnih prstenova klipa i turbo punjača, aditiviranje može sprečiti pojavu gareži i samim tim povisiti nivo pouzdanosti u eksploataciji.

Ono što je izuzetno važno je i činjenica da se aditivirano ulje dodavanjem aditiva direktno u motor pokazalo izuzetno dobro što pojednostavljuje proceduru primene aditiva. Čađ, kao faktor koji podiže rizik pojave havarijskih stanja posebno u tankom filmu mazajućeg sloja na turbo punjaču se i posle više od 5000 pređenih km od preporučene upotrebe proizvođača ulja nije pojavljivala.

Aditiviranjem ulja, dodavanjem prilikom zamene ulja preporučenog procenta 2,5% za deo voznog parka vozila koja su u posebnom režimu rada kakav je u našem slučaju grupa jedan G1, utičemo na povišenje pouzdanosti rada dizel motora, odnosno neutrališemo nusprodukte rada u mestu i na malom broju obrtaja.

U iskustvenoj analizi iz tabela 5.27, 5.28 i 5.29 kao i tabela 5.30, 5.31 i 5.32 može se upoređivanjem zaključiti da je broj otkaza kod grupe vozila G1 u odnosu na grupu vozila G2 veći, da se određeni otkazi kao otkazi komponente K9 samo javljaju u grupi vozila G1, i ako se zanemare otkazi nastali uticajem čoveka pri eksploataciji, broj otkaza u grupi G2, može se svesti na izuzetno mali.

Mere za povišenje pouzdanosti dizel motora u eksploataciji kod komunalnih vozila koja su u posebno opterećenom režimu rada razdvojene su u dva dela.

Prve se odnose na prethodnu iskustvenu analizu, odnosno na radnje i postupke u organizaciji održavanja i rada komunalnih vozila:

1. Uvođenje aditiviranja ulja za dizel motore grupe „I“ komunalnih vozila sa dizel motorima koji rade na malom broju obrtaja, a vozila duže vreme rade u mestu,
2. Promena formacijskih mesta vozila gde god je to moguće, vozila koja su opterećena radom u grupi „I“ zameniti sa vozilima iz grupe „II“ tako da se u vremenskom intervalu od tri meseca vozila izrotiraju,
3. Preventivno čišćenje EGR ventila za vreme svakog redovnog servisa,
4. Preventivna aktivna regeneracija DPF filtera posle svakog redovnog servisa,
5. Ukidanje odluke menadžmenta o zabrani kretanja vozila preko 50 kilometara na sat, sa redovnim praćenjem GPS-om, uz pridržavanje saobraćajnih propisa i ograničenja u saobraćaju,
6. Preventivni periodični pregledi agregata i čitavog dizel motora.

U drugom delu su predstavljeni rezultati izgrađenog modela simulacionom analizom više mogućnosti (mera) održavanja, četiri scenarija održavanja s ciljem povišenja pouzdanosti kao i dva specijalna slučaja aditiviranja motornog ulja i rezerviranja davača (senzora).

6.2. REZULTATI PRIMENE FORMIRANOG MODELA POUZDANOSTI–ANALIZA SIMULACIJA

Analizirajući tabelu 5.3. otkazi vozila V1 grupe vozila G1 izračunato je da su se u proseku otkazi svih komponenti dešavali na svakih 21300 km, takođe pošto smo ustanovili da je komponenta K9 „usko grlo“ izračunato je da su se otkazi te komponente dešavali u proseku na 52100 km za vozilo V1.

Kod drugog vozila V2 grupe G1 iz Tabele 5.8. otkazi svih komponenti dešavali su se u proseku na 24000 km dok su se za to vozilo otkazi komponente K9 dešavali u proseku na svakih 59900 km.

Iz ove početne analize može se izvesti zaključak da se otkazi gledano za dizel motore koji su u specifičnom radnom režimu u proseku pojavljuju iznad 20000 km, te da se otkazi komponente K9 u proseku pojavljuju iznad 50000 km, koja je u stvari slabo mesto (usko grlo), pa je optimalan interval za neku akciju koja bi sprečila pojavu otkaza na 20000 km što je i interval redovnog servisa.

Održavanje u posmatranom JKP “Zelenilo” se u suštini izvodilo kao korektivno održavanje za ceo period opservacije, dok su se preventivne radnje održavanja dešavale samo u situacijama većih havarija kao nužna aktivnost. Za povišenje pouzdanosti dizel motora u procesu eksploatacije, kao prvi nivo, uvedeno je kombinovano održavanje stim da je iz dobijenog zaključka (prosečne pojave otkaza koja je nešto veća od servisnog intervala) prihvaćen servisni interval 20000 km, kao najpogodniji za preventivne radnje održavanja.

Simulacije pouzdanosti pomoću formiranog modela su razmatrane kroz četiri mogućnosti. Redosled izvođenja je postavljen kako bi korak po korak vodio do konkretnih rezultata iz kojih je moguće zaključiti da je glavna hipoteza potvrđena.

Simulacione analize su kreirane kroz mogućnosti:

- Kretanja pouzdanosti i nepouzdanosti svih komponenti dizel motora grupe jedan i grupe dva vozila samo sa urađenim korektivnim akcijama održavanja, simulacija stanja sa prikupljenim podacima iz eksploatacije Tabele 5.40. i 5.41. (urađena simulacija na osnovu otkaza dizel motora tokom 10 god. rada);
- Kretanja pouzdanosti komponenti dizel motora grupe jedan i grupe dva vozila sa kombinovanim održavanjem (korektivnim i preventivnim akcijama), jedna iteracija (uvedene preventivne akcije u vreme redovnog servisa na 20000 km sa ciljem povišenja pouzdanosti rada dizel motora);
- Prosečno kretanje pouzdanosti i prosečan broj otkaza komponenti dizel motora vozila G1 i G2 sa kombinovanim održavanjem, sto iteracija (uvedene preventivne akcije u vreme redovnog servisa na 20000 km sa ciljem povišenja pouzdanosti rada dizel motora);
- Kretanje ukupne pouzdanosti i prosečan broj otkaza dizel motora u vozilima G1 i G2, sto iteracija (uvedene preventivne akcije u vreme redovnog servisa na 20000 km sa ciljem povišenja pouzdanosti rada dizel motora).

Četvrta mogućnost je sa najrealnijim scenarijima povišenja pouzdanosti dizel motora.

Kretanje ukupne pouzdanosti vozila kao i prosečan broj otkaza dizel motora moguće je posmatrati kroz mnogo različitih kombinacija za analizu, odnosno moguće je uraditi mnogo različitih scenarija održavanja, u našem slučaju data su četiri najrealnija scenarija u uslovima održavanja posmatranog tehničkog sistema.

Scenario 1.

Povisiti pouzdanost dizel motora za grupu vozila G1 specijalnih komunalnih vozila koja zbog potrebe posla rada u mestu (dok se izvršava utovar smeća vozila se ne kreću), a njihovi dizel motori su permanentno u režimu malog broja obrtaja. Kod ovog slučaja vrši se povišenje pouzdanosti kod komponente K9 preventivnim akcijama održavanja na svakih 20000 km. Iz simulacione analize dobija se kretanje ukupne pouzdanosti i prosečan broj otkaza dizel motora. Usvojeno je da je komponenta K9 „usko grlo“. (komponenta K9 je sistem za prečišćavanje izduvnih gasova i dodatni uređaji na usisno-izduvnoj instalaciji).

Scenario 2.

Za određeni broj komponenti dizel motora vozila grupe jedan učestalija je pojava otkaza (Tabela 5.27.). Izdvojene su te komponente (K10, K9, K7, K5 i K1) radi analize pri preventivnom održavanju na svakih 20000 km, sa ciljem povišenja pouzdanosti. Simulaciona analiza daje kretanje ukupne pouzdanosti za ceo motor pri preventivnom održavanju odabranih komponenti i prosečan broj otkaza dizel motora.

Scenario 3.

Za određeni broj komponenti dizel motora vozila grupe dva učestalija je pojava otkaza (Tabela 5.30.). Izdvojene su te komponente (K10, K7, K5, K4, K1) radi analize pri preventivnom održavanju, sa ciljem povišenja pouzdanosti. Simulaciona analiza daje kretanje pouzdanosti pri preventivnom održavanju odabranih komponenti i prosečan broj otkaza dizel motora.

Scenario 4.

Cilj scenarija 4 je povišenje pouzdanosti za sva vozila G1 i G2, i za sve komponente čiji je broj otkaza statistički validan i može da se upotrebi u modelu simulacije. Iz simulacione analize dobijamo kretanje ukupne pouzdanosti i prosečan broj otkaza dizel motora. (iz analize smo izopštili komponente K3, K6 i K8 zbog nedovoljnog broja otkaza, uticaj ove tri komponente je zanemarivo mali).

Scenario 4 se analizira za obe grupe vozila posebno.

Scenario 4.a. Povišenje pouzdanosti uvođenjem preventivnih akcija održavanja za komponente K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10 grupu vozila G1.

Scenario 4.b. Povišenje pouzdanosti uvođenjem preventivnih akcija održavanja za komponente K1, K2, K4, K5, K7, K10 grupe vozila G2 (kod grupe vozila G2 komponenta K9 nema dovoljan broj otkaza da bi simulacioni model mogao da obradi te podatke, odnosno uticaj komponente K9 je zanemarljiv te nije ni analizirana).

I. Rezultati simulacije pouzdanosti i nepouzdanosti, opis realnog stanja tokom eksploatacije pri korektivnom održavanju (jedna iteracija)

Prvi cilj koji je postavljen je da se softverskom simulacijom dobije slika rada celog sistema dizel motora sa podacima o pouzdanosti svakog pojedinog podsistema odnosno komponente tokom celog vremena opservacije (10 god.).

Da bi se uradila potpuna analiza upoređena su sva stanja u otkazu za sva posmatrana i navedena vozila odnosno njihove dizel motore.

U poglavlju 5.4.1. predstavljeno je kretanje pouzdanosti kroz grafike za svaku komponentu dizel motora, odvojeno za grupu G1 i grupu G2. Grafici su pojedinačno predstavili kretanje pouzdanosti odnosno nepouzdanosti u odnosu na pređeni put S.

Pošto se prilikom simulacije pravog stanja pojave otkaza i kretanja pouzdanosti, ubacivanjem podataka iz Tabela 5.40. i 5.41. videlo da su komponente K6 i K8 za obe grupe vozila, kao i komponenta K9 za grupu vozila G2, sa nedovoljno podataka da ih simulacioni model nemože obraditi, usvojene su ove komponente kao komponente sa optimalnom pouzdanošću i nisu analizirane.

Na Slikama od 5.39. do 5.66. u kojima su grafički predstavljeni prikazi kretanja pouzdanosti i nepouzdanosti, počev od komponente K1 do komponente K10, vidi se kretanje pouzdanosti i nepouzdanosti pri svakoj korektivnoj akciji održavanja.

U novoformiranom modelu u simulaciji sa jednom iteracijom se svakom akcijom korektivnog održavanja pouzdanost podiže na nivo 100% .

Upoređujući kretanja pouzdanosti koja mogu da se vide u iskustvenoj analizi inženjera održavanja Tabela 5.40. i 5.41. pouzdanost se jedino približno diže 100% kod perfektnog održavanja (pri zameni otkazanih elemenata potpuno novim). Kod svih ostalih imperfektnih održavanja pouzdanost se povišava u najboljem slučaju na 90%. Da bi se ove dve različitosti dobijenih prikaza približno ujednačile potrebno je simulaciju uraditi sa što više iteracija, u našem slučaju sa sto iteracija.

U dobijenim simulacionim graficima pri jednoj iteraciji ipak se vidi kretanje pouzdanosti i nepouzdanosti i na osnovu toga može se zaključiti da se određene komponente mogu izdvojiti kao više nepouzdanane.

Pregledom grafika grupe G1 izdvojene su komponente K1, K5, K7, K9, K10. Njihova nepouzdanost se u vremenu opservacije više puta približila 50% što je izuzetno visoka nepouzdanost i navodi na to da te komponente podvrgnemo određenim akcijama održavanja.

Pregledom grafika grupe G2 izdvojene su komponente K1, K4, K5, K7, K10. Njihova nepouzdanost se, takođe, u vremenu opservacije više puta približila 50% što je izuzetno visoka nepouzdanost i navodi na to da te komponente podvrgnemo određenim akcijama održavanja.

II. Rezultati simulacije pouzdanosti pri uvođenju preventivnih radnji održavanja na 20000 km (jedna iteracija)

Analizirajući rezultate kretanja pouzdanosti pri simulaciji sa jednom iteracijom za svaku komponentu dizel motora grupe jedan i grupe dva vozila sa kombinovanim održavanjem (uvođenjem preventivnih akcija u vreme redovnog servisa na 20000 km), može se izvesti zaključak pri pregledu grafika (Slike 5.67 do 5.80) da komponenta K9 ima najviše padova pouzdanosti (Slika 5.73) .

Očigledno da se simulacijom sa jednom iteracijom ne mogu adekvatno ispratiti povišenja pouzdanosti pri uvođenju kombinovanog održavanja, pa je urađena simulacija sa sto iteracija.

Kako je već zaključeno da je komponenta K9 „usko grlo“ u poglavlju 6.1. i iz zaključka pri analiziranju grafika (sl. 5.73.) da komponenta K9 ima najviše padova pouzdanosti zbog velikog broja ponovljenih otkaza, izdvaja se kao poseban scenario preventivno održavanje komponente K9 da bi se videli pozitivni efekti pri simulaciji sa sto iteracija.

Dobijeni grafici pouzdanosti za sve komponente iz poglavlja 5.4.1. su uvodna analiza povišenja pouzdanosti. Održavanje prema pouzdanosti se zasniva na skupljanju, analizi i obradi podataka o stanju pouzdanosti osnovnih delova tehničkog sistema i predlogu aktivnosti održavanja koje treba učiniti pošto nivo pouzdanosti padne ispod dozvoljenih granica. Kako održavanje prema pouzdanosti koristi obradu statističkih podataka u toku celog veka eksploatacije, a obrada podataka zahteva stalnu primenu računara, ovaj vid održavanja je prilično zahtevan i nije bio pogodan da se univerzalno i jednostavno sprovede, ali ostaje kao mogućnost.

III. Rezultati simulacije pri uvođenju preventivnih radnji održavanja na 20.000 km (sto iteracija)

Ova simulaciona analiza daje prosečno kretanja pouzdanosti i prosečan broj otkaza komponenti dizel motora vozila G1 i G2 sa kombinovanim održavanjem (preventivno i korektivno održavanje), pri sto iteracija (uvedene preventivne akcije u vreme redovnog servisa na 20000 km sa ciljem povišenja pouzdanosti rada motora).

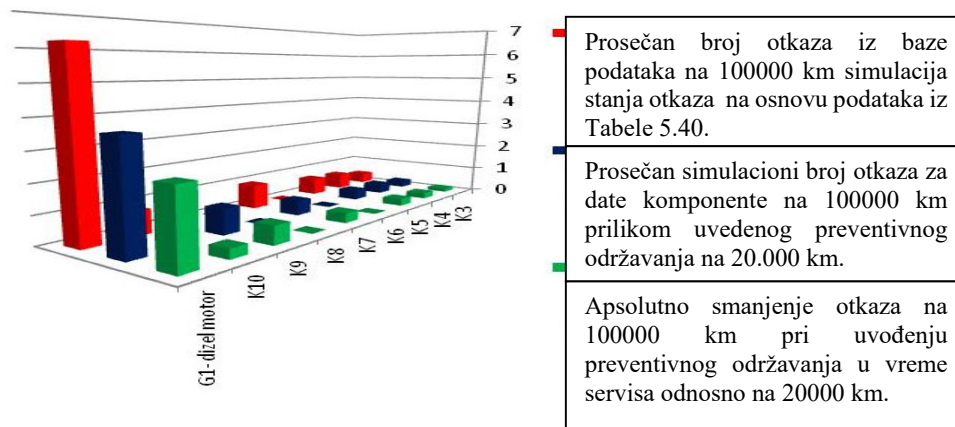
Iz prethodne dve analize (I i II) je između ostalog zaključeno da se prava slika stanja neadekvatno prikazuje kada se simulacija radi jednom iteracijom. Podizanje kvaliteta dobijenih rezultata simulacije urađeno je simulacijom sa sto iteracija.

Rezultati simulacije sto iteracija grupa vozila G1

Uvođenjem preventivnih radnji održavanja za grupu vozila G1 na 20000 km u vreme servisa, u simulaciji prosečno kretanje pouzdanosti po komponentama povišava se za 35% do 45%, a broj otkaza za ceo tehnički sistem, dizel motor, u proseku se smanjuje sa **6,2** otkaza na 100000, na **3,7** otkaza na 100000 km. Ovaj podatak iz simulacije govori da se uvođenjem preventivnih radnji održavanja u redovnom servisu može postići prilično visok nivo smanjenja otkaza u proseku **40,77%**, a da pri tome vozila koja su neophodna za rad ne budu u velikom izostanku sa posla zbog preventivnog održavanja.

Ono što je zanimljivo za komponentu K9 u grupi G1, koja ima najviše otkaza na pređenih 100000 km, **1,57** otkaza, pri uvođenju preventivnih radnji održavanja prosečan simulacioni broj otkaza na 100.000 km je bio **0,91**, što je smanjenje otkaza za **0,66** na 100000 km ili **41,89%**. Na Slici 6.3. grafički je prikazano smanjenje otkaza.

Dobijeni podaci u simulaciji govore da se u kombinaciji sa iskustvenim merama u poglavlju 5.1.1. može postići zavidan nivo pouzdanosti, odnosno uvođenjem mera preventivnih radnji na 20000 km u kombinaciji sa predloženim iskustvenim merama, podiže nivo pouzdanosti dizel motora kod grupe G1 što je i bio cilj.



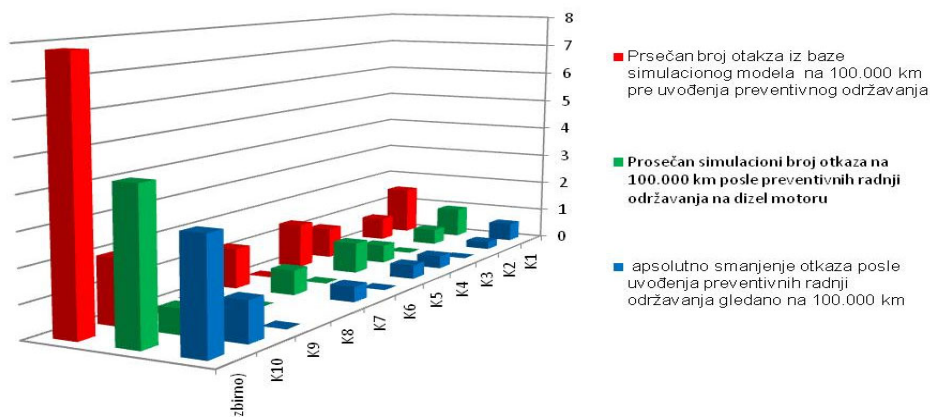
Slika 6.3. Otkazi po uvođenju preventivnih akcija održavanja i apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km

Rezultati simulacije sto iteracija grupa vozila G2

Uvođenjem preventivnih radnji održavanja za grupu vozila G2 na 20000 km u vreme servisa, u simulaciji vidi se da prosečno kretanje pouzdanosti po komponentama se povećava za 31% do 61%, a broj otkaza za ceo dizel motor u proseku se smanjuje sa **7,8** otkaza na 100000 km na **4,5** otkaza zbirno za ceo motor.

Primenom simulacije održavanja (sto iteracija) sa uvedenim preventivnim radnjama po komponentama za grupu vozila G2 dobija se prosečno kretanje pouzdanosti i prosečan broj otkaza za svaku komponentu zasebno. Za komponente K3, K6, K8 i K9 zbog nedovoljno otkaza simulacioni model je zanemario postojanje otkaza pa te komponente nisu ni analizirane. Prosečno smanjenje otkaza upućuje da komponente koje su na 20000 km podvrgnute preventivnom održavanju kod svih analiziranih dizel motorima imaju smanjenje otkaza za **42,72%**. Slika 6.4. predstavlja grafički prikaz smanjenja otkaza.

Dobijeni podaci u ovoj simulaciji govore da se uvođenjem preventivnih radnji održavanja na 20000 km i za ovu grupu vozila, G2, može postići zavidan nivo pouzdanosti dizel motora u eksploataciji, što je i bio cilj.



Slika 6.4. Otkazi po uvođenju preventivnih akcija održavanja i apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km

Tabela 6.1. Prosečno smanjenje otkaza u simulacionom modelu posle uvođenja preventivnih akcija održavanja na 20000 km u vreme redovnog servisa

Komponente dizelmotora na koje je uvedeno preventivno održavanje na 20000 km	Prosečno smanjenje otkaza grupe vozila G1 (dato u procentima)	Prosečno smanjenje otkaza grupe vozila G2 (dato u procentima)
K1	45,0678%	38,242%
K2	40,5966%	32,8577%
K3	35,7165%	/
K4	36,9915%	41,4999%
K5	40,9237%	30,941%
K6	/	/
K7	40,2053%	38%
K8	/	/
K9	41,8861%	/
K10	40,25%	61,7411%
Prosečno smanjenje otkaza posle preventivnih akcija održavanja za ceo dizel motor (procenti)	40,7682%	42,7255%

IV. Rezultati četiri scenarija povišenja pouzdanosti dizel motora pri uvođenju preventivnih radnji održavanja na 20000 km (sto iteracija)

Scenario 1.

U scenariju 1 je cilj bio povisiti pouzdanost dizel motora za grupu G1 – specijalnih komunalnih vozila. Kod ovog slučaja vrši se povišenje pouzdanosti kod komponente K9, preventivnim akcijama održavanja na svakih 20000 km. Iz simulacione analize dobijeni su rezultati kretanja ukupne pouzdanosti i prosečnog broja otkaza dizel motora (Tabela 6.2.).

Tabela 6.2. G1 – K9 (sto iteracija).

G1 (Simulacioni podaci)	K9
Prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km	1,565997
Prosečan simulacioni broj otkaza na 100000 km sa akcijama preventivnog održavanja	0,910061
Preventivno održavanje - smanjenja otkaza%	41,8861%
Apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km	0,655935
Broj otkaza komponente K9 bez preventivnog održavanja deset godina eksploatacije što je za četiri vozila 1415289 km (u simulaciji)	22,16
Broj otkaza komponente K9 sa uvedenim preventivnim održavanjem 10 god. godina eksploatacije što je za četiri vozila 1415289 km	12,88
Apsolutno smanjenje otkaza komponente K9 sa uvedenim preventivnim održavanjem 10 god. godina eksploatacije što je za četiri vozila 1415289 km (u simulaciji)	10,43

Rezultati scenarija 1 su pozitivni pa je smanjen broj otkaza komponente K9 za **41,89%**, uvođenjem preventivnih radnji održavanja. Pre uvođenja preventivnih radnji održavanja broj otkaza na 100000 km je bio **1,567** (iz baze podataka simulacionog modela). Uvođenjem preventivnog održavanja na 20000 km simulacijom je broj otkaza smanjen na **0,91** (interval 100000 km). U apsolutnoj vrednosti smanjenje otkaza je za **0,66**.

Gledano kroz ukupni period opservacije (10 god. godina eksploatacije što je za četiri vozila 1415289 km) broj otkaza u simulacionom modelu se smanjuje sa 22,16 na 12,88. Analizom problema smanjenja nepouzdanosti komponente K9 u odnosu na glavnu hipotezu, broja apsolutnih otkaza posmatrane komponente se smanjio, a time se povisila pouzdanost i sigurnost funkcionisanja celog dizel motora. Od ukupnog broja otkaza za sva četiri vozila simulacijom akcije preventivnih radnji održavanja na komponenti K9 broj otkaza se smanjio za $\approx 10\%$. Ako bi uključili i otkaze koji su nastali kao posledica otkaza komponente K9, procenat smanjenja otkaza celog motora bi bio još veći što govori da se pri uvođenju preventivnog održavanja osnovna hipoteza potvrđuje.

Scenario 2.

U scenariju 2 određeni broj komponenti dizel motora vozila grupe G1 ima učestaliju i vidnu pojavu otkaza, te su te komponente podvrgnute modelu simulacije pri preventivnom održavanju na 20000 km. Kod grupe G1 u poglavlju 5.4.1. pregledom grafika - Slike 5.39. do 5.54. izdvojene su komponente K1, K5, K7, K9 i K10. Komponente K1, K5, K7, K9, K10 su odabrane za simulaciju 2 jer se nepouzdanost u analiziranim graficima više puta približila 50% što je izuzetno visoka nepouzdanost (Tabela 6.3.).

Tabela 6.3. G1- K1, K5, K7, K9, K10 (sto iteracija)

G1 Simulacioni podaci	K1	K5	K7	K9	K10	Scenarijo II(zbirno)
Prosečan simulacioni broj otkaza iz baze na 100000 km	0,785903	0,641071	0,907514	1,565997	0,847883	4,748368
Prosečan simulacioni broj otkaza na 100000 km sa preventivnim radnjama održavanjem	0,431714	0,378721	0,542645	0,910061	0,50661	2,769752
Prosečno smanjenja otkaza dato u procentima	45,0678%	40,924%	40,2053%	41,886%	40,25%	41,6694%
Apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km	0,354189	0,26235	0,364868	0,655935	0,341273	1,978616

Broj otkaza komponenti (10 god. eksploatacije), što je za četiri vozila 1415289 km	11,123	9,073	12,844	22,163	12	67,20
Broj otkaza odabranih komponenti sa uvedenim preventivnim održavanjem (deset godina eksploatacije), što je za četiri vozila 1415289 km	6,11	5,36	7,68	12,88	7,17	39,20
Apsolutno smanjenje otkaza odabranih komponenti sa uvedenim preventivnim održavanjem (deset godina eksploatacije), što je za četiri vozila 1415289 km	5,013	3,713	5,164	9,283	4,830	28

Rezultat simulacione analize pri uvedenom preventivnom održavanju komponenti K1, K5, K7, K9 i K10 je smanjenje broja otkaza za 41,67% . Pre uvođenja preventivnih radnji održavanja broj otkaza komponenti na 100000 km je bio zbirno (za posmatrane komponente) **4,75** (iz simulacione baze podataka). Simulacijom preventivnog održavanja na 20000 km broj otkaza je smanjen zbirno na **2,77**. Apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km je za **1,98** zbirno za ceo motor.

Gledano kroz ukupan period opservacije (10 god. eksploatacije vozila što je za četiri vozila 1415289 km) broj otkaza se smanjuje sa 67,20 na 39,20 zbirno za sve odabrane komponente.

Kako je u glavnoj hipotezi cilj bio sigurnost funkcionisanja dizel motora u procesu eksploatacije, u simulaciji scenarija 2 procenat smanjenja od 41,67% otkaza i apsolutno smanjenje otkaza u simulacionom modelu od 28 otkaza komponenti, implicira zavidno povišenje nivoa pouzdanosti i sigurnije funkcionisanje dizel motora sa očitim smanjenjem izostanaka iz eksploatacije.

Scenario 3.

U scenariju 3 određeni broj komponenti dizel motora vozila grupe G2 ima učestaliju i vidnu pojavu otkaza, te su te komponente podvrgnute simulaciji pri preventivnom održavanju na 20000 km. Kod grupe G2 u poglavlju 5.4.1.(simulacija opisa realnog stanja tokom eksploatacije bez primene preventivnih akcija održavanja) pregledom grafika – Slike 5.55. do 5.66. izdvojene su komponente K1, K4, K5, K7, K10 čije održavanje

simuliramo u scenariju 3, jer se nepouzdanost u analiziranim graficima više puta približila 50% što je izuzetno visoka nepouzdanost.

Tabela 6.4. G2- K1, K4, K5, K7, K10 (sto iteracija)

G1 Simulacioni podaci	K1	K4	K5	K7	K10	Scenarijo II (zbirno)
Prosečan simulacioni broj otkaza iz baze na 100000 km	1,525251	0,961461	1,390843	1,236167	1,970944	7,084667
Prosečan simulacioni broj otkaza na 100000 km sa preventivnim radnjama održavanjem	0,941959	0,562456	0,960502	0,766424	0,754062	3,985403
Prosečno smanjenja otkaza u procentima	38,24%	41,50%	30,94%	38%	61,74%	43,75%
Apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km	0,583291	0,399005	0,430341	0,469744	1,216882	3,099264
Broj otkaza komponente deset godina eksploatacije što je za četiri vozila 808952 km	12,34	7,78	11,25	10	15,94	57,311
Broj otkaza odabranih komponenti sa preventivnim održavanjem deset godina eksploatacije što je za četiri vozila 808952 km	7,62	4,55	7,77	6,20	6,10	32,24
Apsolutno smanjenje otkaza odabranih komponenti sa uvedenim preventivnim održavanjem 4. Vozila, 10.godina eksploatacije 808952 km	4,72	3,23	3,48	3,80	9,84	25,07

Rezultat simulacije pri uvedenom preventivnom održavanju komponenti K1, K4, K5, K7 i K10 je smanjenje broja otkaza za 43,75%. Pre uvođenja preventivnih radnji održavanja broj otkaza komponenti na 100000 km je bio zbirno (za posmatrane komponente) **7,08** (iz simulacione baze podataka). Simulacijom preventivnog održavanja na 20000 km broj otkaza je smanjen zbirno na **3,98**. Apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km je za **3,10** zbirno za ceo motor.

Gledano kroz ukupni period opservacije (10 god. eksploatacije vozila što je za četiri vozila G2 – 808952 km), broj otkaza u simulaciji se smanjuje sa **57,3** na **32,24**, odnosno kada bi se to hipotetički preslikalo na izvorne eksploatacione podataka sa 42 otkaza smanjuje na **23,625** otkaza zbirno za sve odabrane komponente.

Kako je u glavnoj hipotezi cilj bio sigurnost funkcionisanja dizel motora u procesu eksploatacije, u simulaciji scenarija 3 procenat smanjenja od 43,75% otkaza i apsolutno smanjenje otkaza u simulacionom modelu od 25,07 otkaza komponenti, implicira na zavidnom povišenju pouzdanosti i sigurnijem funkcionisanju dizel motora sa očitim smanjenjem izostanaka iz eksploatacije.

Scenario 4.a. Rezultati simulacije povišenja pouzdanosti uvođenjem preventivnog održavanja na 20000 km za grupu vozila G1

Rezultat simulacije 4a je smanjenje otkaza komponenti u proseku za 41.11% i apsolutno smanjenje otkaza u simulacionom modelu od 33,77 otkaza komponenti (Tabela 6.5.). Ovakav rezultat simulacije implicira zavidno povišenje pouzdanosti i sigurnije funkcionisanje dizel motora sa očitim smanjenjem izostanaka iz eksploatacije.

Tabela 6.5. G1 – K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10 (sto iteracija) rezultati simulacije akcija preventivnog održavanja na svakih 20000 km u vreme redovnog servisa dizel motora.

G1 (Simulacioni podaci)	K1	K2	K4	K5	K7	K9	K10	Scenario 4.a.(zbirno)
Prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km, urađena simulacija na osnovu podatak iz tabele 5.40. komponenti K1, K2,K4, K5, K7, K9, K10 sa korektivnim održavanjem	0,785903	0,471019	0,585364	0,641071	0,907514	1,565997	0,847883	5,804751
Prosečan simulacioni broj otkaza po uvođenju preventivnog održavanja na 100000 km	0,431714	0,279802	0,368829	0,378721	0,542645	0,910061	0,50661	3,418383
Smanjenja otkaza posle preventivnih radnji održavanja dato u %	45,068%	40,597%	36,99%	40,924%	40,205%	41,886%	40,25%	41,111%
Apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km po uvođenju preventivnog održavanja na 100000 km	0,354189	0,191217	0,216535	0,26235	0,364868	0,655935	0,341273	2,386368
Broj otkaza komponenti deset godina eksploatacije što je za četiri vozila 1415289 km	11,093	6,666	8,285	9,073	12,844	22,16356	12	82,155
Broj otkaza komponenti sa uvedenim preventivnim održavanjem za 10. god. i za 4. vozila i pređenih 1415289 km	6,110	3,960	5,220	5,360	7,680	12,880	7,170	48,380
Apsolutno smanjenje otkaza odabranih komponenti sa uvedenim preventivnim održavanjem za 10. god. i za 4. vozila i pređenih 1415289 km	5,013	2,706	3,065	3,713	5,164	9,283	4,830	33,774

Scenario 4.b. Rezultati simulacije povišenja pouzdanosti uvođenjem preventivnog održavanja na 20000 km za grupu vozila G2

Rezultat simulacije 4b je smanjenje otkaza komponenti u proseku za 42,72% i apsolutno smanjenje otkaza u simulacionom modelu od 27,02 otkaza komponenti. Ovakav rezultat simulacije implicira zavidno povišenje pouzdanosti i sigurnije funkcionisanje dizel motora sa očitim smanjenjem izostanaka iz eksploatacije (Tabela 6.6.).

Tabela 6.6. G2 – K1, K2, K4, K5, K7, K10 (sto iteracija) rezultati simulacije akcija preventivnog održavanja na svakih 20.000 km u vreme redovnog servisa dizel motora

G2	K1	K2	K4	K5	K7	K10	4.b
Prosečan broj otkaza iz baze na 100000 km, urađena simulacija na osnovu podatak iz tabele 5.41. komponenti K1, K2,K4, K5, K7, K10 sa korektivnim održavanjem	1,525251	0,732764	0,961461	1,390843	1,236167	1,970944	7,817431
Prosečan simulacioni broj otkaza po uvođenju preventivnog održavanja na 100000 km za komponente K1, K2,K4, K5, K7, K10	0,941959	0,491995	0,562456	0,960502	0,766424	0,754062	4,477398
Smanjenja otkaza posle preventivnih radnji održavanja dato u procentima	38,24%	32,86%	41,50%	30,94%	38%	61,74%	42,72%
Apsolutno smanjenje otkaza na 100000 km po uvođenju preventivnog održavanja na 100000 km za komponente K1, K2,K4, K5, K7, K10	0,583291	0,24077	0,399005	0,430341	0,469744	1,216882	3,340034
Broj otkaza komponenti za deset godina eksploatacije, što je za sva vozila 808952 km	12,34	5,93	7,78	11,25	10	15,94	63,24
Broj otkaza odabranih komponenti sa uvedenim preventivnim održavanjem za deset godina eksploatacije što je za četiri vozila 808952 km	7,62	3,98	4,55	7,77	6,2	6,10	36,22
Apsolutno smanjenje otkaza odabranih komponenti sa uvedenim preventivnim održavanjem za deset godina eksploatacije, što je za četiri vozila 808952 km	4,72	1,95	3,23	3,48	3,8	9,84	27,02

Tabela 6.7. Prosečno smanjenje otkaza komponenti obe grupe vozila, upoređenje

Simulacioni podaci	K1	K2	K4	K5	K7	K9	K10	Scenario 4.(zbirno)
Smanjenja otkaza posle preventivnih radnji održavanjaza grupu vozila G1 dato u procentima (scenario 4.a)	45,06%	40,59%	36,99%	40,92%	40,20%	41,88%	40,25%	41,11%
Smanjenja otkaza posle preventivnih radnji održavanja za grupu vozila G2 dato u procentima (scenario 4.b)	38,24%	32,86%	41,50%	30,94%	38%	/	61,74%	42,72%

6.3. REZULTATI SIMULACIJE POVIŠENJA POUZDANOSTI DIZEL MOTORA PRI ADITIVIRANJU MOTORNOG ULJA

Simulaciona analiza pri aditiviranju motornog ulja se gleda kroz dve mogućnosti odvojeno, za grupu G1 i grupu G2. U poglavlju 5.4.3. data je simulaciona analiza. U ovom poglavlju se predstavljaju rezultati sa izdvojenim zaključcima.

Rezultati simulacija povišene pouzdanosti dizel motora za grupu vozila G1 putem aditiviranja motornog ulja pri nalivanju (mešanju) ulja i aditiva direktno u motor

Rezultat aditiviranja motornog ulja pri nalivanju ulja i aditiva direktno u motor i preventivnih radnji održavanja je smanjenje broja otkaza u proseku za **54,10%**.

Pre uvođenja aditiviranja sa preventivnim radnjama održavanja broj otkaza na 100000 km je bio zbirno za ceo dizel motor (za posmatrane komponente K1, K2, K4, K5, K7, K9, K10 iz simulacione baze podataka) **5,8**. Uvođenjem aditiviranja motornog ulja za grupu vozila G1 prilikom zamene motornog ulja pri svakom servisu na 20000 km i preventivnim radnjama održavanja (u simulacionom modelu) je broj otkaza za ceo dizel motor smanjen zbirno na **2,66**. U apsolutnoj vrednosti smanjenje otkaza na 100000 km je za **3,14** zbirno za ceo dizel motor. Kako je broj otkaza prilikom preventivnih radnji održavanja smanjen za 41,11% (scenario 4a), a sa aditiviranjem za 54,10% možemo zaključiti da se samo aditiviranje motornog ulja smanjilo broj otkaza dizel motora za **12,99%**.

Za vozila grupe G1 posle preventivnih radnji održavanja i aditiviranja motornog ulja broj otkaza komponenti koje su analizirane u simulacionom modelu na 100000 km se smanjuje sa 23,22 na 10,66 zbirno za sve odabrane komponente odnosno u ovom slučaju za ceo dizel motor (komponente koje nisu uvrštene su sa malim brojem otkaza).

Na osnovu simulacije pri sto iteracija dobijeni rezultati daju pozitivne ishode, pretpostavke da se problem smanjenja kvaliteta i dužine eksploatacije ulja u komunalnim vozilima grupe G1 može rešiti aditiviranjem, rezultati su više nego pozitivni a procenat od čak **54,10%** smanjenja otkaza je visok. U eksploatacionoj analizi u poglavlju 5.1. dobijeno je produženje upotrebe u odnosu na kilometražu od čak 25% pa se sa 54,10% smanjenja otkaza pri preventivnim radnjama održavanja i aditiviranju motornog ulja prilikom zamene direktno nalivanjem u motor ovaj scenario i mogućnost može prihvatiti kao dobro rešenje i potvrda hipoteze da se aditiviranjem rešava problem gubitka kvaliteta motornog ulja.

Kako je osnovni cilj bio da se ostvari zadovoljavajući nivo ulja u standardnom roku zamene od 20000 km u periodu redovnog servisa, odnosno u periodu preventivnih akcija održavanja koje su usvojene kao najpogodnije za specifične uslove eksploatacije, dobijeni simulacioni rezultati potvrđuju pretpostavku da aditivirano ulje može da zadovolji postavljeni uslov.

Zagrupu G2 sa normalnim radom dizel motora simulacioni model je pušten u rad radi dobijanja rezultata koji mogu da se koriste u analiziranju nekih novih mogućnosti povišenja pouzdanosti dizel motora. Rezultati su već predstavljeni u poglavlju 5.1.2. i 5.4.3.

U analizi u poglavlju 5.4.3. zaključeno je, takođe, da se aditiviranjem pri mešanju ulja i aditiva u laboratoriji nepostize neki veliki učinak pa je prva mogućnost najoptimalnija, odnosno aditiviranje ulja pri direktnom nalivanju aditiva za grupu komunalnih vozila G1 je primenjivo i najoptimalnije rešenje.

6.4. REZULTATI SIMULACIJE POVIŠENJA POUZDANOSTI SMANJENJEM GREŠKE KONTROLE PUTEM REZERVIRANJA DAVAČA (SENZORA)

Kako je analiza simulacije povišenja pouzdanosti smanjenjem greške kontrole putem rezerviranja davača (senzora) urađena kroz tri najrealnija slučaja i rezultati su predstavljeni tako:

- a) Rezultati simulacije povišenja pouzdanosti smanjenjem greške kontrole putem rezerviranja davača i preventivnih akcija održavanja na 20000 km u vreme redovnog servisa vozila grupe G1 pri ubacivanju novonastalog broja otkaza u simulaciju.
 - b) Rezultati simulacije povišenja pouzdanosti smanjenjem greške kontrole putem rezerviranja davača, preventivnih akcija održavanja i aditiviranja motornog ulja na 20000 km u vreme redovnog servisa vozila grupe G1 pri ubacivanju novonastalog broja otkaza u simulaciju.
 - c) Rezultati simulacije povišenja pouzdanosti smanjenjem greške kontrole putem rezerviranja davača i preventivnih akcija održavanja na 20000 km u vreme redovnog servisa vozila grupe G2 pri ubacivanju novonastalog broja otkaza u simulaciju.
- a) Rezultati simulacije povišenja pouzdanosti za dizel motore specijalnih komunalnih vozila G1 rezerviranjem davača posle preventivnih akcija održavanja**

Broj otkaza na 100000 km za komponente na koje je uticalo rezerviranje se smanjio sa 3,01 otkaza pre uvođenja preventivnog održavanja na 1,5 1 otkaza komponenti posle rezerviranja i preventivnog održavanja. Broj otkaza u simulacionom modelu sa uvođenjem preventivnog održavanja i rezerviranja (davača temperature i ulja) apsolutno se smanjuje za 1,5 otkaza na 100000 km, smanjenje otkaza se odnosi na komponentu K10 i komponente na koje je uticao otkaz davača K1, K2 i K7.

Radi boljeg uvida u pozitivne efekte rezerviranja, rezultati su predstavljeni kroz MPTF (srednji pređeni put do pojave otkaza – mean path to failure) kao kilometražu na kojoj je najveća verovatnoća pojave otkaza (Tabela 6.8.).

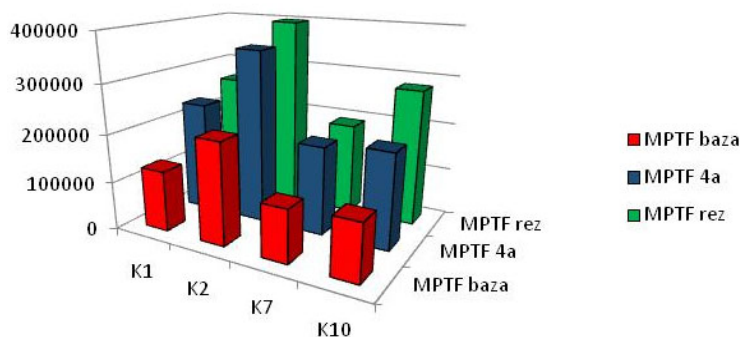
Tabela 6.8. MPTF (Srednji pređeni put do pojave otkaza – mean path to failure)

Komponente na koje je uticao otkaz davača	MPTF baza podataka	MPTF 4a simulacija	MPTF posle uvođenja rezerviranja
K1	127242,2 km	231634,8 km	260589,2 km
K2	212305,7 km	357395,6 km	397106,2 km
K7	110191,1 km	184282,5 km	191370,3 km
K10	117940,8 km	197390,5 km	281986,4 km

Ako se anuliraju otkazi nastali zbog otkaza davača temperature i ulja uvođenjem rezerviranja, komponente koje su bile direktno pod uticajem ovih otkaza produžavaju srednji pređeni put do pojave otkaza (produženje se odnosi na rezerviranje posle scenarija 4a):

- komponentu K1 produžuje MTPF za 28954,4 km,
- komponentu K2 produžuje MTPF za 39710,6 km,
- komponentu K7 produžuje MTPF za 7087,8 km,
- komponentu K10 produžuje MTPF za 84595,9 km.

Iz rezultata se vidi produženje srednjeg pređenog puta do pojave otkaza. (Slika 6.5.). Crvenom bojom su predstavljeni podaci iz simulacije korektivno održavanje, plavom bojom su predstavljeni podaci po uvođenju preventivnog održavanja i zelenom bojom su podaci produženja MPTFa posle rezerviranja. Na osnovu toga može se zaključiti da se akcijom rezerviranja može prilično podići pouzdanost dizel motora, a time sigurniji i pouzdaniji rad na većoj radnoj kilometraži.



Slika 6.5. Produženje MPTFa za komponente na koje je uticalo rezerviranje davača radi smanjenja greške kontrole

b) Rezultati simulacije povišenja pouzdanosti za dizel motore vozila G1 rezerviranjem davača posle preventivnih akcija održavanja i aditiviranja motornog ulja pri direktnom sipanju aditiva sa uljem u motor

Broj otkaza za komponente na 100000 km na koje je uticalo rezerviranje se smanjio sa 3,01 otkaza, pre uvođenja preventivnog održavanja, na 1,18 otkaza komponenti, posle rezerviranja, preventivnog održavanja i aditiviranja. Broj otkaza u simulacionom modelu sa uvođenjem preventivnog održavanja, aditiviranja i rezerviranja (davača temperature i ulja) apsolutno se smanjuje za 1,83 otkaza na 100000 km. Smanjenje otkaza se odnosi na komponentu K10 i komponente na koje je uticao otkaz davača K1, K2 i K7.

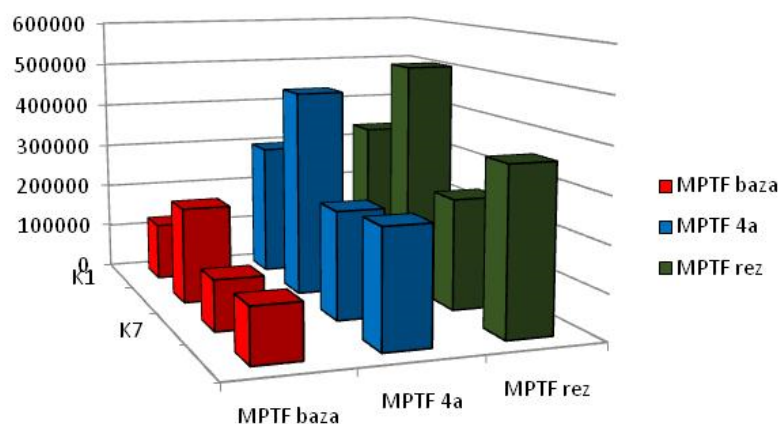
Ako se anuliraju otkazi nastali zbog otkaza davača temperature i ulja uvođenjem rezerviranja, komponente koje su bile direktno pod uticajem ovih otkaza, produžavaju srednji pređeni put do pojave otkaza (produženje se odnosi na rezerviranje posle scenarija 4.a i aditiviranja motornog ulja pri sipanju direktno u motor):

- komponentu K1 produžuje MTPF za 37148,2 km,
- komponentu K2 produžuje MTPF za 50948,5 km,
- komponentu K7 produžuje MTPF za 9093,6 km,
- komponentu K10 produžuje MTPF za 108535,7 km (Tabela 6.9.).

Tabela 6.9. MPTF (srednji pređeni put do pojave otkaza – mean path to failure) pri preventivnom održavanju, aditiviranju i rezerviranju

Komponente na koje je uticao otkaz davača	MPTF baza podataka	MPTF 4a simulacija sa aditiviranjem	MPTF posle uvođenja rezerviranja sa aditiviranjem
K1	127242,2 km	297185,7 km	334333,9 km
K2	212305,7 km	458536,8 km	509485,3 km
K7	110191,1 km	236432,3 km	245525,9 km
K10	117940,8 km	253249,8 km	361785,5 km

Iz rezultata se vidi produženje srednjeg pređenog puta (u kilometrima) do pojave otkaza (Slika 6.6.), na osnovu toga se može zaključiti da se ovim scenarijom, ovakvim akcijama rezerviranja i aditiviranja najviše podiže pouzdanost motora kod grupe vozila G1, odnosno imamo siguran i pouzdan rad na većoj radnoj kilometraži što je i bio cilj. Crvenom bojom su dati podaci iz simulacije sa korektivnim održavanjem, plavom bojom podaci po uvođenju preventivnog održavanja sa aditiviranjem ulja i zelenom bojom podaci produženja MPTFa posle rezerviranja i aditiviranja.



Slika 6.6. Produženje MPTFa za komponente na koje je uticalo rezerviranje davača, radi smanjenja greške kontrole pri aditiviranju

c) Rezultati simulacije povišenja pouzdanosti za dizel motore vozila G2 rezerviranjem davača posle preventivnih akcija održavanja

Rezultati simulacije rezerviranja davača radi smanjenja greške kontrole u cilju povišenja pouzdanosti u trećem slučaju, gde je rezerviranje primenjeno sa akcijama preventivnog održavanja, ne uzimajući u obzir aditiviranje.

Broj otkaza na 100000 km za komponente na koje je uticalo rezerviranje se smanjio sa 5,46 otkaza pre uvođenja preventivnog održavanja na 2,42 otkaza komponenti posle rezerviranja i preventivnog održavanja. Broj otkaza na 100000 km u simulacionom modelu sa uvođenjem preventivnog održavanja i rezerviranja (davača temperature i ulja) apsolutno se smanjuje za 3,05 otkaza za komponentu K10 i komponente na koje je uticao otkaz davača K1, K2 i K7 (Tabela 6.10.).

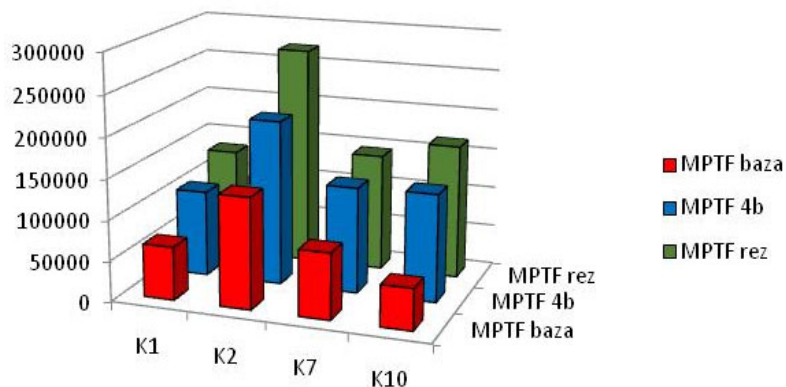
Tabela 6.10. MPTF (srednji pređeni put do pojave otkaza – mean path to failure) pri preventivnom održavanju i rezerviranju

Komponente na koje je uticao otkaz davača	MPTF baza podataka iz tabele 6.41.	MPTF 4b simulacija	MPTF posle uvođenja rezerviranja
K1	65562,98 km	106161,7 km	132702,2 km
K2	136469,6 km	203254,1 km	271005,5 km
K7	80895,22 km	130476,1 km	144973,4 km
K10	50737,11 km	132615,1 km	165768,9 km

Ako se anuliraju otkazi nastali zbog otkaza davača temperature i ulja uvođenjem rezerviranja, komponente koje su bile direktno pod uticajem ovih otkaza, produžavaju srednji pređeni put do pojave otkaza (produženje se odnosi na rezerviranje posle scenarija 4b).

- komponentu K1 produžuje MTPF za 26540,5 km,
- komponentu K2 produžuje MTPF za 67751,4 km,
- komponentu K7 produžuje MTPF za 14497,3 km,
- komponentu K10 produžuje MTPF za 33153,8 km.

Iz rezultata se vidi produženje srednjeg pređenog puta (u km) do pojave otkaza (Slika 6.7.), a na osnovu toga može se zaključiti da se ovim scenarijom sa rezerviranjem podiže pouzdanost dizel motora kod grupe vozila G2, a time i sigurniji i pouzdaniji rad na dužoj radnoj kilometraži što nam je i bio cilj.



Slika 6.7. Produženi srednji pređeni put do pojave otkaza, posle preventivnog održavanja i nakon uvođenja rezerviranja za grupu vozila G2

6.5. ZBIRNA ANALIZA REZULTATA SIMULACIJE POVIŠENJA POUZDANOSTI ZA DIZEL MOTORE

Pošto uslovi eksploatacije za posmatrane dve grupe vozila nisu isti, onda i način održavanja mora biti prilagođen uslovima, te postoje i dve analize dobijenih rezultata simulacionog modela povišenja pouzdanosti odnosno smanjenja otkaza komponenti dizel motora, a time i odvojene potvrde glavne hipoteze.

a) Zbirna analiza rezultata grupe vozila G1

Iz Tabele 6.11. zbirnih rezultata simulacionih analiza vidi se smanjenje otkaza pri uvođenju svake od pretpostavljenih aktivnosti od koje je očekivano povišenje pouzdanosti. Dobijeno smanjenje otkaza je i direktno smanjenje nepouzdanosti odnosno povišenje pouzdanosti dizel motora na kojima su sprovedene akcije preventivnog održavanja u vreme servisa na 20000 km, aditiviranja i rezerviranja.

Tabela 6.11. Smanjenja otkaza komponenti dizel motora za grupu vozila G1

komponente	Prosečan simulacioni broj otkaza komponenti iz baze podataka na 100000 km	Scenario 4a (uvedeno preventivno održavanje), broj otkaza na 100000 km	Scenario 4a (uvedeno prevent. održavanje), nasa rezerviranjem davača broj otkaza na 100000 km	Scenario 4a sa aditiviranjem motornog ulja(aditiv direk. u motor) br. otk. na 100000 km	Scenario 4a sa rezerviranjem i aditiviranjem motornog ulja, broj otkaza na 100000 km
K1	0,785903	0,431714	0,383746	0,33649	0,299102
K2	0,471019	0,279802	0,251822	0,218085	0,196277
K4	0,585364	0,368829	0,368829	0,287476	0,287476
K5	0,641071	0,378721	0,378721	0,295186	0,295186
K7	0,907514	0,542645	0,522547	0,422954	0,407289
K9	1,565997	0,910061	0,910061	0,709328	0,709328
K10	0,847883	0,50661	0,354627	0,394867	0,276407
Σ	5,804751	3,418383	3,170353	2,664387	2,471065

Sa povišenjem pouzdanosti posledično se dobija i sigurniji rad dizel motora grupe vozila G1. Kako je glavna hipoteza zasnovana na identičnoj pretpostavci i pošto je simulacija u novoformiranom modelu pouzdanosti zasnovana na stvarnim podacima iz eksploatacije dobijena je potvrda glavne hipoteze za grupu vozila G1.

Jedan od ciljeva postavljenih na samom početku istraživanja je bio pronalaženje slabih mesta, analiziranje istih iznalaženje načina za saniranje „uskih grla“ kod posmatranih dizel motora. U grupi G1 posmatranih vozila je to komponenta K9. U Tabeli 6.12. rezultata modela simulacije vidi se da se srednji pređeni put do pojave komponente K9 javlja najranije, a iz prethodnih analiza je zaključeno da je komponenta K9 slabo mesto („usko grlo“).

Tabela 6.12. MPTF(srednji pređeni put do pojave otkaza – mean path to failure) za grupu vozila G1 po komponentama

komponente	MPTF-mean path to failure Iz tabele 6.41. baza podataka simulacija sa korektivnim održavanjem.	Scenarijo 4a uvedeno preventivno održavanje, MPTF-mean path to failure (km)	Scenarijo 4a (preventivno održavanje)sa rezerviranjem MPTF-mean path to failure (km)	Scenarijo 4a (preventivno održavanje)sa aditiviranjem motornog ulja; MPTF-mean path to failure	Scenarijo 4a(preventivno održavanje) sa rezerviranjem i aditiviranjem MPTF-mean path to failure
K1	127242,2 km	231634,8 km	260589 km	297185,6 km	334334,1 km
K2	212305,7 km	357395,6 km	397105,9 km	458536,8 km	509484 km
K4	170833,9 km	271128,3 km	271128,3 km	347855,1 km	347855,1 km
K5	155988,9 km	264046,6 km	264046,6 km	338769,4 km	338769,4 km
K7	110191,1 km	184282,5 km	191370,3 km	236432,3 km	245525,9 km
K9	63857,08 km	109882,7 km	109882,7 km	140978,5 km	140978,5 km
K10	117940,8 km	197390,5 km	281986,4 km	253249,8 km	361785,3 km

Akcijama kojima je uticano na povišenje pouzdanosti u simulacionom modelu dobijeni su rezultati koji su višestruko pozitivni, srednji pređeni put do moguće pojave otkaza kod primenjenih akcija je u zavisnosti od komponenti više puta produžen, čak je i na komponenti K9, koja je inicirala istraživanje, efekat produženja puta do pojave otkaza 2,2 puta produžen.

b) Zbirna analiza rezultata grupe vozila G2

Iz Tabele 6.13. zbirnih rezultata simulacionih analiza vidi se smanjenje otkaza pri uvođenju svake od pretpostavljenih aktivnosti od kojih je očekivano povišenje pouzdanosti. Dobijeno smanjenje otkaza je i direktno smanjenje nepouzdanosti odnosno povišenje pouzdanosti dizel motora na koje smo sproveli akcije preventivnog održavanja u vreme servisa na 20000 km i rezerviranja.

Dizel motori grupe vozila G2 su u normalnom režimu rada, te za njih nije usvojena akcija aditiviranja motornog ulja, pa su rezultati simulacije bez tih podataka. Cilj povišenja pouzdanosti rada dizel motora je bio između ostalog i univerzalni model na osnovu koga će se omogućiti bolja organizacija održavanja sa smanjenim vremenom izostajanja specijalnih komunalnih vozila.

Kombinovano održavanje koje je analizirano u generisanom modelu, odnosno uvedene akcije preventivnog održavanja na 20000 km su identične za obe grupe vozila, a otkazi davača su uticali na iste komponente obe grupe komunalnih vozila, pa je i rezerviranje kao akciju identično za sve dizel motore obe grupe komunalnih vozila.

Sa povišenjem pouzdanosti dizel motora i kod grupe G2 posledično se dobija i sigurniji rad dizel motora, kako je glavna hipoteza zasnovana na identičnoj pretpostavci i pošto je simulacioni model zasnovan na stvarnim podacima iz eksploatacije dobijena je potvrda glavne hipoteze za grupu vozila G2.

Tabela 6.13. Smanjenja otkaza komponenti dizel motora za grupu vozila G2

komponente	Prosečan simulacioni broj otkaza iz baze podataka (tab.5.41) na 100000 km	Scenario 4b uvedeno prevent. održavanje, broj otkaza na 100000 km	Scenario 4b sa rezerviranjem davača broj otkaza na 100000 km
K1	1,525251	0,941959	0,753567
K2	0,732764	0,491995	0,368996
K4	0,961461	0,562456	0,562456
K5	1,390843	0,960502	0,960502
K7	1,236167	0,766424	0,689782
K10	1,970944	0,754062	0,60325
Σ	7,817431	4,477398	3,938553

Kao dodatni prikaz efekata uvođenja preventivnih radnji održavanja u intervalu 20000 km u vreme redovnog servisa u grupi vozila G2 kao i kod grupe G1 vidno je produženje srednjeg pređenog puta do pojave otkaza što je dato u Tabeli 6.14.

Tabela 6.14. MPTF (srednji pređeni put do pojave otkaza – mean path to failure) za grupu vozila G2 po komponentama

komponente	MPTF-mean path to failure(km) Iz Tab.5.41. baza podat.simulacija sa korektivnim održavanjem.	Scenario 4b (uvedeno preventivno održavanje), MPTF-mean path to failure (km)	Scenario 4b (preventivno održavanje) sa rezerviranjem MPTF-mean path to failure(km)
K1	65562,98 km	106161,73 km	132702,20 km
K2	136469,59 km	203254,10 km	271005,65 km
K4	104008,38 km	177791,68 km	177791,68 km
K5	71898,84 km	104112,23 km	104112,23 km
K7	80895,22 km	130476,08 km	144973,34 km
K10	50737,11 km	132615,10 km	165768,75 km

Pošto su sve analize posmatrane kroz pređeni put potrebno je napomenuti da je grupa vozila G2 imala u istom vremenu opservacije od 10 god. eksploatacije više od dva puta manje pređenih kilometara nego grupa komunalnih vozila G1. Iz prvih iskustvenih analiza se vidi da se otkazi kod grupe vozila G2 uglavnom odnose na zamenske delove koji su otkazali zbog manje eksploatacije, odnosno rada samo u jednoj smeni (npr. akumulatori, filtera goriva itd.) i većeg broja otkaz nastalih direktnim uticajem vozača (oštećenja zamajca, oštećenja hladnjaka, kartera itd.) primetna je pojava otkaza na manjem srednjem pređenom putu.

7. ZAKLJUČCI

Zaključci se mogu izvući iz poglavlja 5 i 6, a redosled analiziranja u prethodnim poglavljima je tako postavljen kako bi korak po korak vodio do konkretnih rezultata iz kojih se može zaključiti da je glavna hipoteza potvrđena.

7.1. DOKAZ GLAVNE I POMOĆNIH HIPOTEZA

U obličavanju istraživanja postavljeni su određeni zadaci koji su, u suštini oslikavali glavnu hipotezu, pa su ciljevi definisanje slabih mesta i utvrđivanje načina za otklanjanje otkaza na slabim mestima, izrada modela pouzdanosti dizel motora pomoću simulacije radi dobijanja slike pouzdanosti svih komponenti dizel motora sa ciljem povišenja pouzdanosti, maksimalno korišćenje podataka iz eksploatacije i eksperimenata radi formiranja tabela sa ulaznim podacima za izradu modela pouzdanosti u eksploataciji i razvijanje modela povišenja pouzdanosti na bazi softverske stimulacije radi analiziranja konkretnih mera za povišenje pouzdanosti. Pošto se u nekim slučajevima pojavljuje problem malog broja otkaza, ili nepostojanja ulaznih podataka za analizu, cilj je, između ostalog, bio da se formiranim simulacionim modelom prevaziđe i taj problem.

Tokom deset godina eksploatacije komunalnih vozila desili su se otkazi na dizel motorima posle kojih su vozila bila kraće, ili duže isključena iz redovnog rada. Svi ti otkazi su ostavili posledice po normalan rad čitavog sistema iznošenja i deponovanja smeća, jer je nepostojanje rezervnih vozila uvek komplikovalo kombinatoriku za prevazilaženje problema nedostatka specijalnog vozila. Specijalna komunalna vozila su obično duplo skuplja od identičnog teretnog vozila istih karakteristika pošto nadogradnja obično košta koliko i samo vozilo, pa je planska rezerva za komunalnim vozilima retka i kod jakih preduzeća. Specijalna komunalna vozila rade u otežanim uslovima sa specifičnim radom motora, posebno grupa vozila G1 koja je analizirana, gde se pojavljuje veća količina gareži u motornom ulju, a koja dovodi do nepravilnog rada i oštećenja motora i pratećih sklopova. Oštećeni dizel motori su veliki potencijalni zagađivači, a komunalna vozila najveći radijus kretanja imaju u naseljima. Kako je ciljna aktivnost bila povišenje pouzdanosti dizel motora u eksploataciji sprovedena je simulaciona analiza određenih radnji i postupaka organizacije održavanja dizel motora zasnovanih na zaključcima iz iskustvene analize.

U poglavlju 5 i 6 predstavljena je iskustvena i, u nastavku, simulaciona analiza (na osnovu generisanog modela) povišenja pouzdanosti uvođenjem preventivnih radnji održavanja na 20000 km u okviru redovnih servisa, i aditiviranje i rezerviranje kao dodatne radnje radi sigurnijeg funkcionisanja dizel motora. U zbirnim rezultatima u poglavlju 6.3. u tabelama 6.11. i 6.12. za grupu vozila G1 uočavaju se vidna smanjenja otkaza za analizirana scenarija za sve komponente koje su imale dovoljan broj otkaza da bi se moglo izvršiti simulaciono analiziranje, odnosno očigledno produženje srednjeg pređenog puta do pojave otkaza. Ako se izdvoji i analizira kritična komponenta i „usko grlo“ za grupu vozila G1, uočava se očigledno smanjenje otkaza i produženje srednjeg puta do pojave otkaza.

Prosečan simulacioni broj otkaza komponente K9 iz baze podataka na 100000 km je **1,565997**, kod scenarija 4a (uvođenjem preventivnog održavanje) broj otkaza K9 na

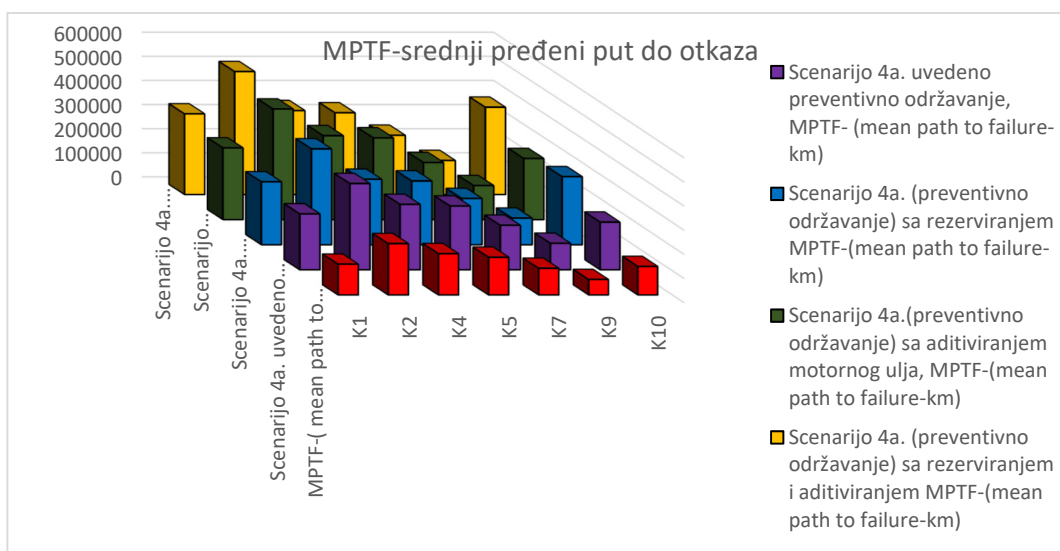
100000 km je smanjen na **0,910061**, a u slučaju proširenja scenarija 4a uvođenjem preventivnog održavanja sa rezerviranjem i aditiviranjem motornog ulja broj otkaza K9 na 100000 km je još manji i iznosi **0,709328**.

Nasuprot smanjenju broja otkaza produžen je pređeni puta do pojave otkaza MPTF - mean path to failure. Iz Tabele 5.41. baza podataka simulacija sa korektivnim održavanjem MPTF za komponentu K9 je **63857,08** km, pri scenariju 4a uvođenjem preventivnog održavanja MPTF za komponentu K9 je 109882,7 km, a u slučaju proširenja scenarija 4a uvođenjem preventivnog održavanja sa rezerviranjem i aditiviranjem motornog ulja MPTF za komponentu K9 je 140978,5 km.

U suštini, u izučavanje problema učestalih otkaza jednog broja elemenata dizel motora na komunalnim vozilima JKP „Zelenilo“ ušlo se zbog specifičnih uslova rada dizel motora definisane grupe vozila G1 gde se i uočio problem na komponenti K9. Može se iz Tabele 7.1. zaključiti da se pouzdanost kritične komponente K9 za G1, povisila zbog smanjenja broja otkaza za sva scenarija održavanja. Usvojeni način održavanja u ovom slučaju kombinovano, odnosno uvedeno preventivno održavanje, omogućuje bolju organizaciju održavanja sa smanjenim vremenom izostajanja vozila iz upotrebe, odnosno povećanje iskorišćenja vozila u eksploataciji.

Kako su se u simulacionoj analizi dobila produženja srednjeg pređenog puta do pojave otkaza za određene komponente, može se analizirajući ista dobiti i prilično optimalno vreme za zamenu vozila odnosno nabavku novog komunalnog vozila gledano kroz produženi vremenski rad motora. Kako su komunalna vozila najveći deo angažovanog radnog vremena u naseljenim mestima, svako oštećenje dizel motora, pa bilo ono i minimalno, prouzrokuje pojavu povećanja zagađenja sredine u kojoj vozilo radi sa neadekvatno sagorelim ili nedovoljno pročišćenim izduvnim gasovima. Adekvatnim održavanjem dizel motora smanjuje se pojava nepravilnog rada dizel motora i posebno sistema za prečišćavanje izduvnih gasova koji spadaju u komponentu K9. Na kraju se može zaključiti da se formiranjem modela pouzdanosti pomoću simulacije potvrđuje da uvođenjem preventivnog održavanja u servisnom intervalu uz aditiviranje i rezerviranja višestruko pozitivno utiče na sigurnost funkcionisanja dizel motora u procesu eksploatacije.

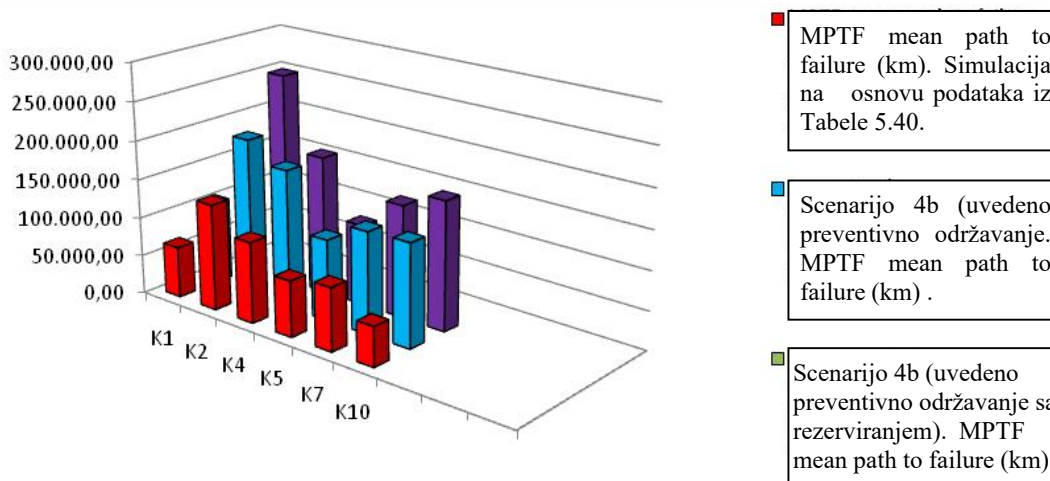
Produženje srednjeg pređenog puta do pojave otkaza u urađenoj simulaciji po komponentama najbolje se vidi koliki je pozitivan učinak preventivnog održavanja, aditiviranja i rezerviranja. (Slika 7.1.).



Slika 7.1. Grafik. MPTF – mean path to failure - srednji pređeni put do pojave otkazaza grupu vozila G1 po komponentama, (crveno simulacija na osnovu podataka iz tabele 5.40.)

U grupi vozila G2 pozitivan učinak preventivnih radnji održavanja dizel motora je, takođe, očigledan i vidi se iz Tabela 6.13. i 6.14, a rezultati simulacije rezerviranja još pojačavaju efekat povišenja pouzdanosti dizel motora.

Kao dodatni prikaz višestruko pozitivnih efekata uvođenja preventivnih radnji održavanja u intervalu 20000 km u vreme redovnog servisa i u grupi vozila G2 predstavice se kroz grafik produženja srednjeg pređenog puta do pojave otkaza na Slici 7.2.



Slika 7.2. Grafik produženja srednjeg pređenog puta do pojave otkaza na komponentama dizel motora za grupu vozila G2

Formiranim modelom pouzdanosti za dizel motore analizirane su uvedene akcije preventivnog održavanja, aditiviranja i rezerviranja. Predstavljani dobijeni rezultati

simulacije govore da su potvrđena očekivanja povišenja pouzdanosti i sigurnosti funkcionisanja dizel motora u procesu eksploatacije. Glavna hipoteza istraživanja je ovim potvrđena, povišenja pouzdanosti su potvrđena u svim simulacionim eksperimentima, odnosno za sve slučajevne scenarija kao i za aditiviranje i rezerviranje. Na osnovu predstavljenih rezultata poglavlja 5.1.1., 5.1.2., 5.4., i poglavlja 6. mogu se potvrditi pomoćne hipoteze: da formirani model pouzdanosti dizel motora može doprineti smanjenju zagađenja u naseljenim mestima nastalog eksploatacijom oštećenih motora, da može povećati eksploataciju dizel motora u komunalnim vozilima, kao i da može omogućiti adekvatnije planiranje nabavke novih vozila sa dizel motorima.

7.2. NAUČNI DOPRINOS

Rezerviranje kao metod za povišenje pouzdanosti obično se koristi kod izuzetno složenih tehničkih sistema kao što su svemirske letelice i avioni, gde se zahteva velika sigurnost funkcionisanja. Dizel motori su masovno u upotrebi više od sto godina i koriste se kako kod prevoznih sredstava tako i kod agregata sa visokim stepenom važnosti (agregati u nuklearnim postrojenjima, DEA dizel električni agregati u bolnicama, sigurnosne pumpe u hidro centralama pogonjene dizel motorima, postrojenja za dotok vazduha u rudnicima, takođe, pogonjene dizel motorima itd). Rezerviranje je model za povišenje pouzdanosti koji dozvoljava formiranje sistema čija pouzdanost može biti veća od pouzdanosti njihovih elemenata. Svaka metoda rezerviranja je zasnovana na principu suvišnosti. To znači da uporedo sa osnovnim elementima ili sistemima u celini, koji ispunjavaju zadatak, za njih, funkciju, predviđaju se i suvišni, tj. rezervni elementi ili sistemi. Oni nisu funkcionalno neophodni i predviđeni su za zamenu odgovarajućih jedinica u slučaju njihovog otkaza. U radu je primenjeno rezerviranje i na klasičan dizel motor koji se koristi na uobičajenim poslovima kakvi su u komunalnim preduzećima. Pozitivan efekat rezerviranja na elementima senzora sistema kontrole u sistemu havarijske zaštite savremenog dizel motora¹⁵⁸ koji je analiziran generisanim modelom pouzdanosti u opserviranom javnom preduzeću, daje povod da se rezerviranje analizira i na drugim dizel motorima pa čak i na automobilima za prevoz putnika.

Izrađeni model pouzdanosti u procesu eksploatacije na bazi softverskih simulacija je omogućio da analiziramo pouzdanost pri uvođenju preventivnih radnji održavanja, rezerviranja i aditiviranja. Model se pokazao kao izuzetno fleksibilan, nedostatak podataka o otkazima, ili mali broj otkaza komponenti kod složenih tehničkih sistema obično je prepreka formiranju modela pouzdanosti. Model koji je izrađen polazi od malog broja podataka o otkazima pa pomoću Vejbulove raspodele generiše metod za povišenje pouzdanosti. Činjenica je da složene popravljive tehničke sisteme gotovo nemoguće modelovati prema pouzdanosti zbog malog broja otkaza, pa formiranim modelom simulacije se premošćuje taj problem. Slično je i kada je u pitanju nepotpuna ili loše vođena dokumentacija o otkazima, posebno u mnogim preduzećima u Srbiji koja su bila transformisana iz jednog organizacionog oblika u drugi, kakav je slučaj sa opserviranim JKP "Zelenilo" u Smederevu.

Problem u generisanju simulacionog softvera leži u činjenici da modeli ne smeju da se odnose na preveliki broj kalkulacija, jer bi time bilo ugroženo vreme izvršenja simulacije,

¹⁵⁸Spasić, M. D, Radovanović, Lj, Adamović, Ž, Regulisanje senzora sistema kontrole u sistemu havarijske zaštite savremenog dizel motora, Energetska efikasnost, ISSN 1840-3573 Rad Br 1., BR 3,4 /2017.

ali sa druge strane ne smeju se odnositi ni na premali broj kalkulacija radi verodostojnosti rezultata.

Podaci o pouzdanosti celog sistema dizel motora dobijeni ovakvim modelom neuporedivo su kvalitetniji od onih koji bi se dobili nekom do sada primenjivanom metodom. Pogotovo je vreme za koje se dobija proračun na platformi personalnog računara i prosečna vrednost pouzdanosti komponenti za čak 10 godina operativnog rada vrlo prihvatljivo i time je model u potpunosti primenljiv. Ovaj model može analizirati bilo koje preventivne akcije održavanja kao i korektivne za popravljive komponente sistema i to mu daje fleksibilnost i mogućnost široke primene.

Formirani model, takođe, preko koeficijenta otkrivanja nepouzdanosti održavanja, procenjuje efektivnost preventivnog održavanja, ali daje i mogućnost da se utvrde posledice efektivnijeg ili manje efektivnog održavanja. Izrađeni model pouzdanosti na bazi simulacije nesumnjivo ukazuje da ne postoji nikakva mogućnost da se za duži vremenski period uobičajenim metodama kvalitetnije modeluje pouzdanost sistema jer je kretanje pouzdanosti tokom vremena jako dinamično i složeno. Kod izrađenog modela problem je prevaziđen uvođenjem koeficijenta otkrivanja nepouzdanosti održavanja C_{rf} koji promenom vrednosti opisuje širok dijapazon efekata preventivnih akcija održavanja. Kumuliranjem vrednosti pouzdanosti i dobijanjem prosečnih vrednosti za svaku od tačaka kalkulacije stiče se uvid u dugoročne posledice održavanja. Promenom efektivnosti održavanja koja je izražena različitim vrednostima koeficijenta C_{rf} stiče se uvid u posledice akcija održavanja i njihovu refleksiju na pouzdanost tehničkog sistema. Izlazni podaci o pouzdanosti se mogu kumulirati te dobiti kumulativne vrednosti pouzdanosti i time se direktno uporediti efekti različitih akcija održavanja. Prosečan broj otkaza komponenti je podesan za dobijanje finansijskih efekata koji se odnose na cene održavanja i zastoja. Promene nastale u prosečnom broju otkaza nakon primene preventivnog održavanja umnožene cenom zastoja lako daju uvid u finansijske efekte.

U generisani model je ubačena i problematika havarijske zaštite kroz rezerviranje određenih davaca i uočeno je iz dobijenih podataka da se uticaj upravljanja može podići na viši nivo i tehnički sistem adekvatnije zaštititi od velikih havarija¹⁵⁹.

Naučni doprinos izgrađenog modela pouzdanosti u eksploataciji na bazi simulacije se iz svega pomenutog očigledno vidi, a njegova primena na druge tehničke sisteme se sama nameće.

Simulacioni model ima naučni doprinos, pa se može zaključiti da:

- doprinosi svojom promenljivošću na mnoge složene tehničke sisteme,
- model uvažava postojanje korektivnih i preventivnih akcija održavanja različitog efekta na pouzdanost komponenti što omogućava realniju sliku o stanju dizel motora,
- uvodi veličinu C_{rf} koja odražava efekte održavanja na pouzdanost komponenti dizel motora, ali je ovaj koeficijent primenljiv i na druge tehničke sisteme,
- je model primenljiv za slučajeve nedostatka potpune evidencije o otkazima kao i u slučaju malog broja otkaza pojedinog podsistema što je čest slučaj kada je

¹⁵⁹Spasić, M. D, Radovanović, Lj, Adamović, Ž, Jovanov, N, Uticaj svojstava sistema upravljanja i efikasnost primene sistema havarijske zaštite dizel motora, Razvoj i upravljanje, vol. 3,4 /2017. ISSN 1840-3832

preventivno održavanje potrebno da bude često i kada je potrebno držati stalno visok nivo pouzdanosti,

- softver simulacije ima prihvatljivo vreme rada za dugo vreme opservacije u komunalnom preduzeću jer su elementi za analizu kvalitetno odabrani,
- softver simulacije je pogodan za brzo dobijanje rezultata,
- model predstavlja odličnu osnovu za dobijanje finansijskih efekata različitih scenarija kombinovanog održavanja,
- je model fleksibilan za implementaciju svake vrste preventivnog održavanja,
- ovakav model može poslužiti za optimizaciju akcija održavanja i time smanjenje troškova održavanja.

Kreirani model pouzdanosti u eksploataciji zasnovan na simulaciji napunjen podacima o otkazima pruža mnogo dobijenih informacija po izvršenim simulacijama za različite slučajeve i scenarija. Simulacijom dobijamo pouzdanost i nepouzdanost pojedinačno za svaku komponentu, za dizel motor kao celinu, za odabran deo ili određene komponente zajedno, a sve u cilju pronalaženja što boljeg održavanja u konkretnim uslovima.

7.3. DRUŠTVENI I PRIVREDNI DOPRINOS

U Srbiji ima preko 200 opština, svaka od njih ima barem jedno javno komunalno preduzeće koje se bavi poslom uklanjanja i odvoženja komunalnog otpada, u svakom preduzeću su na desetine komunalnih vozila sa dizel motorima, u pitanju je više od pet hiljada specijalnih komunalnih vozila čiji dizel motori rade u specifičnim i teškim uslovima. U simulacionoj analizi dobijeni su rezultati koji govore da se broj otkaza višestruko smanjio, a srednje vreme do pojave otkaza višestruko produžilo. U kolonama „vreme popravki i radni sati“ Tabele 5.40. i 5.41. može se videti koliki je bio izostanak komunalnih vozila zbog popravki na dizel motorima. Kako je problem svakog izostanka specijalnog komunalnog vozila u komunalnim preduzećima specifičan zbog male rezerve vozila ili neadekvatne rezerve, smanjenje vremena izostanka vozila je važan cilj koji smo uvođenjem preventivnog održavanja, rezerviranja i aditiviranja postigli. Prosečan broj otkaza komponenti je podesan za dobijanje finansijskih efekata koji se odnose na cene održavanja i zastoja. Promene nastale u prosečnom broju otkaza, nakon primene preventivnog održavanja umnožene cenom zastoja lako daju uvid u finansijske efekte.

Grupa vozila G1 je radno angažovana 24 sata, sedam dana u nedelji, te je svaki izostanak problem i gubitak novčanih sredstava zbog radnog neangažovanja.

U grupi vozila G1 za četiri komunalna vozila koja su opservirana zbog popravki na dizel motorima imamo 1840 radnih sati izostanka (podatak izvučen iz Tabele 5.40.). Ako broj otkaza za četiri opservirana vozila tokom 10 god., a bilo ih je 76, se podeli sa vremenom popravki dizel motora dobija se prosečan izostanak zbog svake popravke što je oko 24 sata, tri smene uzastopno ili jedan ceo radni dan. Takođe, prosečan broj sati izostanka zbog popravki po vozilu za 10 god. je 460 h, odnosno 46 h izostanka iz rada po godini.

Iz priloga br. 4. koji predstavlja cenovnik usluga JKP “Zelenilo”, Smederevo najniža cena po satu za rad komunalnog vozila je 3.519,13 dinara bez PDV-a. U proseku jedno komunalno vozilo je zbog otkaza motora grupe vozila G1 izostaje sa rada za 10 god. 460 radnih sati. Iz toga je prosečan gubitak po vozilu za čitav opservirani vremenski period 1.618.799,80 dinara ili nešto malo ispod 14.000 evra. Na godišnjem nivou usled

izgubljenog vremena zbog popravki dizel motora u proseku po vozilu imamo gubitak oko 1.400 evra. (kalkulaciju gubitka je po najnižoj ceni rada komunalnog vozila u JKP “Zelenilo”) (Tabela 7.2.).

Tabela 7.2. Smanjenje otkaza dizel motora za grupu vozila G1 u procentima i proporcionalno tome smanjenje novčanog gubitaka usled neangažovanja uvođenjem novih akcija održavanja u odnosu na simulacionu analizu

Broj otkaza za ceo dizel motor u odnosu na pređenih 100000 km	Prosečan simulacioni broj otkaza korektivno održava. svih komponenti iz baze podataka na 100000 km	Scenario 4a (uvedeno preventivno održavanje), broj otkaza na 100000 km	Scenario 4a (uvedeno preventivno održavanje), sa rezerviranjem davača broj otkaza na 100000 km	Scenario 4a sa aditiviranjem motornog ulja (aditiv direktno u motor) broj otkaza na 100000 km	Scenario 4a sa rezerviranjem i aditiviranjem motornog ulja, broj otkaza na 100000 km
Σ	5,804751	3,418383	3,170353	2,664387	2,471065
Smanjenje broja otkaza u odnosu na uvedeni scenario %	/	Smanjenje otkaza posle uvedenog preventivnog održavanja za 41.11%	Smanjenje otkaza posle uvedenog preventivnog održavanja i rezerviranja za 45.38%	Smanjenje otkaza posle uvedenog preventivnog održavanja i aditiviranja za 54.10 %	Smanjenje otkaza posle aditiviranja, rezerviranja i preventivnog održavanja za 57.43 %
Prosečni godišnji gubitak po vozilu zbog popravke dizel motora	161.879,98 dinara	95.331,12 dinara	88.418,85 dinara	74.302,91 dinara	68.912,31 dinara
Smanjenje prosečnog gubitka (jedno vozilo) zbog neangažovanja vozila	/	66.548,86 dinara	73.461,13 dinara	87.577,07 dinara	92.967,67 dinara

Ako se pretpostavi da je trećina vozila (10 vozila) JKP “Zelenilo” u Smederevo u usiljenom tempu rada 24 h (uslovi rada za grupu vozila G1), onda se godišnje samo po osnovu izostanka sa posla ove trećine vozila može uštedeti oko 7500 evra odnosno blizu milion dinara. Smanjenje otkaza se ostvaruje i za grupu G2 koju čine ostale 2/3 vozila JKP “Zelenilo”. Kalkulacija za drugu grupu je teže uraditi jer vozila u ovoj grupi rade samo jednu smenu i lakše ih je zameniti prilikom otkaza motora (Tabela 7.3.).

Tabela 7.3. Smanjenja otkaza svih komponenti dizel motora u procentima za grupu vozila G2

Broj otkaza za ceo dizel motor u odnosu na pređenih 100000 km	Prosečan simulacioni broj otkaza iz baze podataka (Tab.6.40) na 100000 km	Scenario 4b (uvedeno prevent. održavanje), broj otkaza na pređenih 100000 km (simulacija)	Scenario 4b (uvedeno prev. održ.), sa rezerviranjem davača broj otkaza pređenih 100000 km (simulacija)
Σ	7,817431	4,477398	3,938553
Smanjenje broja otkaza u odnosu na uvedeni scenarijo %	/	Smanjenje otkaza posle uvedenog preventivnog održavanja za 42.72 %	Smanjenje otkaza posle uvedenog preventivnog održavanja i rezerviranja za 49.62 %

Vidi se da se otkazi dizel motora grupe vozila G2 smanjuju za 50%, te će i vreme izostajanja sa posla biti duplo manje. Ovde je urađen samo jedan deo analize uštede materijalnih sredstava po osnovi smanjenja otkaza. Potpuna analiza bi bila kada bi uvrstili i troškove rada radnika na popravci, sredstva i delova potrebnih za popravku.

Na početku ovog poglavlja rečeno je da je u Srbiji preko 200 opština sa preko 5000 komunalnih vozila, sumirajući te podatke dobijaju se značajna uštedena sredstva, kvalitetniji rad javnih preduzeća i izuzetno važno smanjenje zagađenja u u gradovima. Kvalitetno održavanje zasnovano sa jedne strane na iskustvima iz eksploatacije i simulacionoj analizi sa uvođenjem novih mera održavanja može da postavi osnove produktivnijem i sigurnijem radu javnih preduzeća u Srbiji.

Sam model pouzdanosti u procesu eksploatacije je pogodan jer se bazira na pređenom putu, a velika većina preduzeća servisno prati vozila na osnovu tog parametra. Iz toga se može zaključiti da se simulacioni model može primeniti, osim u javnim komunalnim preduzećima i u transportnim, građevinskim, i svim drugim gde se koriste vozila, a sa ciljem iznalaženja najpogodnijeg načina održavanja.

Cilj formiranog modela je, osim povišenja pouzdanosti i sigurnosti funkcionisanja i uštede u novcu za održavanje, i produžetak veka eksploatacije. Očigledno je da zbog velikog broja ugrađenih dizel motora, svaki doprinos poboljšanja održavanja u pogledu povišenja pouzdanosti rada dizel motora donosi efekat uštede¹⁶⁰.

¹⁶⁰Nikolić, D., Spasić, D., Meza, S., Torbica, M., Ponašanje potrošača pri kupovini automobila sa dizel motorom, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika saobraćajnih vozila«, Vrnjačka Banja Goč, 01. i 02. 06. 2018., ISBN 978-86-83701-53-7

8. PRAVCI DALJEG ISTRAŽIVANJA

U formiranju modela pouzdanosti dotaknuto je havarijsko stanje kao kritično stanje kada je još uvek moguće preduzeti određene mere radi sprečavanja otkaza dizel motora. Takođe, u postavljanju modela bilo je reči o kontroli radne sposobnosti dizel motora, havarijskoj zaštiti, smanjenju grešaka kontrole rezerviranjem, a sve u cilju povišenja pouzdanosti rada dizel motora.

Komponenta K9 kod grupe vozila G1 je postavljena kao kritična i detaljnije je analizirana. Saznanja iz iskustva govore da se ova komponenta može još više istražiti, usavršiti njen rad (moguće povećanje snage motora), povećati pozitivan efekat posebno u kvalitetu izduvnih gasova, povisiti zaštitu od otkaza i poboljšati samo održavanje.

Već postoje istraživanja koja se bave ovom tematikom i vezana su za komponentu K9, poboljšanje performansi komponente K9 se može postići povećanjem količine recirkulacije hlađenog izduvnog gasa kod EGR ventila. Pojava lupanja u dizel motoru na malom broju obrtaja se reguliše povratkom jedne količine izduvnih gasova u motor pomoću EGR ventila, ohlađeni izduvni gas se recirkuliše kako bi se kontrolisala temperatura u cilindru, a time i lupanje. Smanjenjem temperature povratnog izduvnog gasa, analiza pokazuje da je toplotna efikasnost motora povećana oko 12% uz ohlađeni gas iz EGR-a¹⁶¹. Ohlađeni izduvni gas se može koristiti za smanjivanje temperature motora u cilindru, čime se smanjuje kočenje motora, kao i disocijacija gasova na visokoj temperaturi. Ovo dodatno povećava toplotnu efikasnost motora sa količinom ohlađenog gasa iz EGR-a do neke mere, izvan kojeg efekat smanjenja snage zbog EGR dominira nad efektom disocijacije i lupanja.

Povezivajući problematiku komponente K9 koju smo već analizirali, a posebno turbo punjač i slučaj gubitka kvalitetnog podmazivanja ležaja, pojavu dizbalansa i havarije pri zadiranju lopatica kompresora o kućište, kao i posledice iste, navodi nas na smer ispitivanja buke i vibracija rotirajućih delova dizel motora¹⁶².

Promena zvuka je izuzetno poznata kod dijagnostikovanja sluhom od strane majstora i ta metoda, iako iskustvena, postoji od kad postoje dizel motori. Savremeni davači mogu dati dovoljno kvalitetnih informacija prateći promenu buke određenih elemenata dizel motora. Vibracija kao¹⁶³ pojava rotirajućih elemenata motora može posledično da prouzrokuje određene probleme i otkaze nastale povećanom vibracijom. Istraživanje ove pojave je jedan od mogućih pravaca istraživanja dizel motora¹⁶⁴.

¹⁶¹Joseph, A., Reicevan, J., Shihabudeen, H., Thampi K.G, Approximate analysis of si engine knocking using wavelet and its control with cooled exhaust gas recirculation, FME Transactions, University of Belgrade, new series, volume 44, number 1, ISBN 1451-2092, 2016.

¹⁶²Vulović, S., Spasić, D., Mićanović, S., Adamović, Ž., Buka i vibracija i njihova primena, XVI konferencija, Vibrodijagnostičko i tribodijagnostičko proaktivno održavanje mašina« Vrnjačka Banja, 30.09.2016. ISBN 978-86-83701-45-2

¹⁶³Vulović, M., Otić, G., Spasić, D., Prvulović, S., Vbracija i buka, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika saobraćajnih vozila«, Vrnjačka Banja Goč, 01. i 02. 06. 2018., ISBN 978-86-83701-53-7

¹⁶⁴Vulović, M., Prvulović, S., Spasić, D., Otić, G., Posledice vibracije i buke, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika saobraćajnih vozila«, Vrnjačka Banja, Goč, 01. i 02. 06. 2018., ISBN 978-86-83701-53-7

Promenjiva geometrija određenih rotirajućih elemenata, kao što je turbina kompresora, ventilatora hladnjaka i sličnih delova motora, problem povišenih vibracija može smanjiti na minimum, te je i to jedan od pravaca istraživanja¹⁶⁵.

Novim zakonom o tehničkom pregledu¹⁶⁶ definisane su norme koje sve manje dozvoljavaju određene količine čestica čađi, gasova i nečistoća, usavršavanje sistema za prečišćavanje izduvnih gasova je jedan od najvažnijih pravaca daljeg razvoja dizel motora. Dizel motor nosi epitet zagađivača pa se taj epitet sve kvalitetnijim sistemima prečišćavanja izduvnih gasova polako gubi. Sigurno jedan od najvažnijih pravaca daljeg razvoja dizel motora je usavršavanje sistema za prečišćavanje izduvnih gasova, posebno DPF filtera.

Dizel motor je trenutno na vrhuncu svog eksploatacionog života, međutim, nije dostigao vrhunac razvoja i nove generacije dizel motora se sve češće pojavljuju. Noviteti se ogledaju na sve većem učešću elektronike, dijagnostike, senzorske kontrole, pa je moguće daće se u skorijoj budućnosti pojaviti i neke metode dijagnostike koje se nisu koristile do sada, kao na primer ultrazvučna metoda¹⁶⁷. Ultrazvukom je moguće odrediti stanje kompresionog prostora, sadržaj vazduha i goriva, i u odnosu na dobijene parametre pomoću motornog računara izvršiti korekcije kako bi se postigla maksimalna snaga sa minimalnim utroškom goriva.

Razvoj novih tipova motora, motori na elektro pogon, motori pogonjeni gorivim ćelijama, motori pogonjeni vodonikom pružaju mogućnost da se dizel motor upari sa nekim od noviteta, kao hibridni motor što, takođe, može biti jedan od pravaca daljeg istraživanja. Savremena automobilska industrija nema ograničenja, a ono što je najvažnije je da se dizel motor još dugo neće smeniti sa prvog mesta i najzastupljenijeg pokretača savremenog društva.

¹⁶⁵Vulović, M., Prvulović, S., Spasić, D., Otić, G., Model otklanjanja povišenog nivoa vibracija i deblansa, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika saobraćajnih vozila«, Vrnjačka Banja, Goč, 01. i 02. 06. 2018., ISBN 978-86-83701-53-7

¹⁶⁶Meza, S., Jovanov, G., Josimović, Lj., Spasić, D., Dijagnostika i merila u usvojenom pravilniku o tehničkom pregledu, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika saobraćajnih vozila«, Vrnjačka Banja Goč, 01. i 02. 06. 2018. ISBN 978-86-83701-53-7

¹⁶⁷Jovanović, Đ., Milošević, D., Jovanov, G., Spasić, D., Ultrazvučna dijagnostika, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika saobraćajnih vozila«, Vrnjačka Banja Goč, 01. i 02. 06. 2018., ISBN 978-86-83701-53-7

LITERATURA

- [1] Abramowitz, M., Stegun, Irene A., Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables, New York: Dover, 1965.
- [2] Adamović, Ž., Ilić, B., Nauka o održavanju tehničkih sistema, Srpski akademski centar, Novi Sad 2013.
- [3] Adamović, Ž., Radojević, M., Uvod u tehnologiju održavanja, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2006.
- [4] Adamović, Ž., Petrović, Lj., Malić, D., Modeli održavanja tehničkih sistema, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 2000.
- [5] Adamović, Ž., Radovanović, Lj., Ambrozi, M., Kopjuterski integrisano održavanje, TEHDIS, Beograd, 2004.
- [6] Adamović, Ž., Stanković, N., Savić, B., Pouzdanost mašina i postrojenja, Stylos art, Novi Sad, 2011.
- [7] Adamović, Ž., Tomić, M., Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 2006.
- [8] Adamović, Ž., "Pouzdanost mašina", Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 2006.
- [9] Adamović, Ž., Jovanović, R., Pouzdanost i dijagnostika mašina, OMO, Beograd, 2002.
- [10] Adamović, Ž., Pouzdanosti, Tehdis, Beograd, 1998.
- [11] Adamović, Ž., Brkić, M., Inženjerstvo pouzdanosti, Akademija inženjerstva održavanja, Beograd, 2008.
- [12] Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika u mašinstvu, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
- [13] Adamović, Ž., Nestorović, G, Josimović, Lj, Veljković, D, Paaunjarić, P, Savić, N., Adamović, M., Milošević, D., Stanojević, M., Teorija pouzdanosti, Akademija inženjerstva i održavanja, s. 151, Beograd, 2008.
- [14] Adamović, Ž., Voskresenski, V., Sigurnost funkcionisanja mašina, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2008.
- [15] Adamović, Ž., Jevtić, M., Računar u procesu održavanja tehničkih sistema, klub "Nikola Tesla", Beograd, 1994.
- [16] Adamović, Ž., Malić, D., Malić, M., Računar u funkciji upravljanja procesima održavanja, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2005.
- [17] Adamović, Ž., Golubović, D., Totalno održavanje tehničkih sistema, Pronalazaštvo, Beograd, 2000.
- [18] Adamović, Ž., Voskresenski, V., Sigurnost funkcionisanja mašina, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2008.
- [19] Alargić, P., Spasić, D, Kaurin, T., Održavanje prema pouzdanosti, na bazi rizika i totalnog održavanja, XXXIX Majska konferencija »Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja« Serbian Technical diagnostic society, rad br.76, Vrnjačka Banja, 20. 05. 2016., ISBN 978-86-83701-43-8
- [20] Alargić, P., Adamović, Ž., Spasić, D., Meza, S., Nikolić, N., Technical diagnostic maintenance of the situation with the control of level of reliability, Zbornik radova Vrnjacka Banja , rad 46, 2015.
- [21] Al-Fawzan, A, M., Methods for Estimating the Parameters of the Weibull Distribution, King Abdulaziz City for Science and Technology, Riyadh, Saudi Arabia, 2000.

- [22] Al-Najjar, Prediction of the vibration level when monitoring rolling element bearings in paper mill machines, *International Journal of COMADEM*, 4(2), 19-26., 2001.
- [23] Apeland, S., Scarf, P.A., A fully subjective approach to modeling inspection maintenance. *European Journal of Operational Research*, 148(2), 410-425., 2003.
- [24] Artana, K. B., Ishida, K., Spreadsheet modeling of optimal maintenance schedule for components in wear-out phase, *Reliability Engineering & System Safety*, 77(1), 81-91, 2002.
- [25] Asadzadehd, S., M., Salehib, N., Firoozic, M., Condition-based maintenance effectiveness for series-parallel power generation system-A combined Markovian simulation model, *Reliability Engineering & System Safety*, 142, 357-368. , 2015.
- [26] Барабаш, Ю., Варский, К., Вопросы статистической теории распознавания, М. Советское радио, 260 с, СССР, 1967.
- [27] Barbera, F., Schneider, H., Watson, E., A condition based maintenance model for a two-unit series system, *European Journal of Operational Research* 116 (2), 281-290., 1999.
- [28] Verđičevski, V., (Бердичевский, В.,Е., Оценка надежности аппаратуры автоматики Машиностроение), Moskva, SSSR, 276. str., 1966.
- [29] Barlow, R. E., Hunter, L. C., Optimum preventive maintenance policies, *Operations Research*, 8, 90-100., 1960.
- [30] Беляев Ю. К., Новые результаты и обобщения задач типа пересечений, кн, Г. Крамера и М.Литбеттера, Стационарные случайные процессы, М. Мир с341-388., Москва, СССР, 1969.
- [31] Березиков, В. Буров., Конструкция управляемых ракет.М. Воениздат.449 с., Москва, СССР, 1969.
- [32] Božić, R., Popović, M., Eksploatacija i održavanje vozila, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Saobraćajni Fakultet, Doboј, 2009.
- [33] Bukovac, O., Predviđanje parametara rada brodskog dizelskog motora primenom neuronskih mreža, doktorat, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Hrvatska, Rijeka, 2012.
- [34] Clausius, R., Ueber die mittlere lange der wege, *Ann. Phy. Lpzg*, 105., 239-258., 1858.
- [35] Cox, D. R., Oakes, D., *Analysis of Survival Data*, London: Chapman & Hall. 91-113., 1984.
- [36] Crow, L. H., *Reliability analysis for complex repairable systems*, in *Reliability and Biometry*, Philadelphia, Pennsylvania: SIAM, 379-410. , 1974.
- [37] Cupac, V., Lizier, J. T., Prokopenko, M., Comparing dynamics of cascading failures between network-centric and power flow models, *International Journal of Electrical Power& Energy Systems*, 49, 369-379., 2013.
- [38] C:\Users\kale\Desktop\Table D-4 α _MTTF Ratio as a function of β (Reliability Analysis Center 1995).htm
- [39] Čatić, D., Modeliranje pouzdanosti korišćenjem Vejbulove raspodele, *Tehnika, Savez inženjera i tehničara Srbije*, 55(5), 1-10., 2006.
- [40] Dekker, R., Groenendijk, W., Availability assessment methods and their application in practice, *Microelectron, Reliab.*, 35, 1257-1274., 1995.
- [41] Dey, S., Sarmah, P., Estimation of parametars of a model of a complex repairable system, *Microelectronics Reliability*, 37(4), 673-676., 1997.

- [42] Duan, D., Ling, X., Wu, X., OuYang, D., Zhong, B., Critical thresholds for scale-free networks against cascading failures, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 416, 252–258., 2014.
- [43] Dunin-Barkovski, I.V., Sminorv, N.V., *Probability theory and mathematical statistics in the technique*, M., Gostehizdat, 551 p. SSSR, 1955.
- [44] Дунин-Барковский, И. В., Смирнов, Н. В., *Теория вероятностей и математическая в технике*. М., Гостехиздат, 511 с., Москва, СССР, 1955.
- [45] Ebeling, C.E., *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, New York: The McGraw-Hill Company, 124-128. , 1997.
- [46] Ekanathan, M., Yeldose, B., Kallanickal, P., Mangalath, G., Root Cause Analysis to Identify the Problem Causing Turbine Failure, *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, 2(2), 527-535. , 2013.
- [47] Fiems, D., Steyaert, B., Bruneel, H., Analysis of a discrete-time GI-G-1 queuing model subjected to burst interruptions, *Computers & Operations Research*, 30(1), 139-153., 2003.
- [48] Finkelstein, M. S., A point-process stochastic model for software reliability, *Reliability Engineering & System Safety*, 63(1), 67-71, 1999.
- [49] Fontenot, R.A., Proschan, F., Some imperfect maintenance models, in *Reliability Theory and Models*, M.S, Abdel-Hameed, E. Cinlar, and J. Quinn, Editors, Academic Press, Inc: Orland, 83-101., 1984.
- [50] Генаденко А., *Курс теории вероятностей*, М., Физматгиз, 406 с, СССР, 1961.
- [51] Gurov, S.V., Utkin, L.V., Reliability of repairable systems with periodic modifications, *Microelectronics Reliability*, 36(1), 27-35., 1996.
- [52] He, Z., Gong, W., Xie, W., Zhang, J., Zhang, G., Hong, Z., NVH and reliability analyses of the engine with different interaction models between the crankshaft and bearing, *Applied Acoustics*, 101(1), 185–200., 2016.
- [53] Hoyland, A., Rausand, M., *System reliability Theory: Models and Statistical Methods*, New York: John Wiley & Sons, Inc. 1994.
- [54] Hoyland, A., Rausand, M., *System reliability Theory: Models and Statistical Methods*, New York: John Wiley & Sons, Inc. 1994.
- [55] Харкевич, А., *Очерки общей теории связи*. М. Физматгиз. 278 с., Москва, СССР, 1955.
- [56] <http://autoelektrika.forumotion.com/t131-senzori>
- [57] <http://tektion.rs/auto-kozmetika/aditivi-za-ulje/liqui-moly-ol-verlust-stop>,
- [58] <http://www.liquimoly.co.rs/>,
- [59] <http://www.eponuda.com/motorna-ulja-cene>
- [60] <http://www.autokes.com/auto-delovi-motorna-ulja-i-maziva/>
- [61] <http://www.renaultforumserbia.com/index.php?topic=7521.0>
- [62] <https://tabudic.wordpress.com>
- [63] <http://www.tpub.com/content/USACETechnicalletters/ETL-1110-2-560/ETL-1110-2-5600030.htm> (V 2012.).
- [64] IEC 61165, Application of Markov techniques
- [65] Janjić, N., Adamović, Ž., Nikolić, D., Josimović, Lj., Primena datih parametara stanja na model dijagnostike stanja motornih vozila, *Serbian Technical dijagnostic society*,” *Naučno – stručni časopis „Održavanje mašina”* Godina XI, Broj 1 - 2, str.4-10., 2015.

- [66] Janjić, N., Adamović, Ž., Nikolić, D., Istraživanje ekstremnih vrednosti pouzdanosti na ležajevima motornih vozila, časopis „Održavanja mašina“ godina X, broj 3-4, ISSN 1452- 9688 UDK 005, Smederevo, 2014.
- [67] Janjić, N., Adamović, Ž., Nikolić, D., Janjić, Z., Josimović, LJ., Istraživanja radnih temperatura na ležajevima motornih vozila, časopis „Menadžment znanja“ godina x broj 1-2-, ISSN 1452-9661, 2015.
- [68] Janošević, B., Spasić, D., Otić, G., Petrijeve mreže u tehničkoj dijagnostici, Zbornik radova, Majski skup održavaoca, Nove koncepcije održavanja, Vibrodijagnostičko održavanje tehničkih sistema u kompanijama, Vrnjačka Banja, 2014, ISBN978-86-89087-12-3
- [69] Jevtić, N., Adamović, Ž., Jovanov, G., Dijagnostika putničkih automobila, TEHDIS, Beograd, 2006.
- [70] Jovanov, G., Adamović, Ž., Radovanović, R., Spasić, D., Metode ocenjivanja funkcije održavanja, XVI konferencija, “Vibrodijagnostičko i tribodijagnostičko proaktivno održavanje mašina”, Vrnjačka Banja, 30.09.2016. ISBN 978-86-83701-45-2
- [71] Jovanov, G., Radovanović, R., Spasić, D., Arhitektura hibridnih Sistema, Zbornik rada Vrnjačka Banja, oktobar, 2015.
- [72] Jovanov, G., Jovanov, N., Vulovic, M., Radovanovic, R., Integrate Maintenance Model Based on Control Vibrations Based of Technical Systems, Conference Proceedings Of The 6TH International Symposium On Project Management (ISPM2018), pp. 552-558, 2018.
- [73] Joseph, A., Reicevan, J., Shihabudeen, H., Thampi, K.G., Approximate analysis of si engine knocking using wavelet and its control with cooled exhaust gas recirculation, FME Transactions, University of Belgrade, new series, volume 44, number 1, ISBN 1451-2092, 2016.
- [74] Jovanović, Đ., Milošević, D., Jovanov, G., Spasić, D., Ultrazvučna dijagnostika, XVIII konferencija “Tehnička dijagnostika saobraćajnih vozila”, Vrnjačka Banja, Goč, 01. i 02. 06. 2018. ISBN 978-86-83701-53-7
- [75] Kalos, M. H., Whitlock, P. A., Monte Carlo Methods, New York: John Wiley & Sons, 1986.
- [76] Kordonski, H.B., Test control aggregates, Standardizacija, 2, pp.30-38., SSSR, 1958.
- [77] Кородонский, X., Испытания контрольных агрегатов, Стандартизация, No 2., 30-38с., СССР, 1958.
- [78] Krstić, I., Krstić, V., Lazić, V., Krstić, B., Possibility expression characteristics quality of electronic devices motor engine, 42. Nacionalna konferencija o kvalitetu, 04-06, jun, 2015, Kragujevac, Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu, ISBN: 978-86-6335-016-8
- [79] Lange, O, (Ланге.О. Оптимальные решения Прогрес), (Optimalna rešenja), SSSR, Moskva, 398.str., 1967.
- [80] Левин, Б., Теоретические основы статистической радиотехники. М. Советскиерадио. 324 с., Москва, СССР, 1968.
- [81] Liu, Z., Liu, Y., Cai, B., Zhang, D., Zheng, C., Dynamic Bayesian network modeling of reliability of subsea blowout preventer stack in presence of common cause failures, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 38, 58–66., 2015.
- [82] Логинов, Э., Челькис, Ф., Расчет характеристик надежности систем контроля работоспособности. Измерительная техника. Но 9. с12-17., СССР, 1969.

- [83] Malić, D., Adamović, Ž., Meza, S., Stoiljković, P., Spasić, D., Menadžment rizika u proizvodno poslovnim sistemima, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, 172 str.. Beograd, 2016.
- [84] Marhavalas, P., Koulouriotis, D., Gemeni, V., Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 24, 477-523., 2011.
- [85] Maksimović, P., Spasić, D., Milošević, D., Dijagnostika motornih vozila sa dizel motorom, XVIII konferencija Vrnjačka Banja – Goč »Tehnička dijagnostika motornih vozila«, Vrnjačka Banja Goč, ISBN 978-86-83701-53-7, radbr 11., COBISS.SR-ID 264496140, Goč, 2018.
- [86] Marinković, J., Statističko modelovanje odnosa – regeresivni model i problemi predviđanja SAS i DS, Statistika za istraživače, Beograd, 2012.
- [87] Meza, S., Jovanov, G., Josimović, Lj., Spasić, D., Dijagnostika i merilau usvojenom pravilniku o tehničkom pregledu, XVIII konferencija Vrnjačka Banja – Goč »Tehnička dijagnostika saobraćajnih vozila«, Vrnjačka Banja Goč, 01. i 02. 06. 2018., Rad br 12. ISBN 978-86-83701-53-7, COBISS.SR-ID 264496140, Goč, 2018.
- [88] Meza, S., Adamović, Ž., Spasić, D., Nikolić, N., Upravljanje procesom eksploatacije i praćenje ponašanja tehničkog sistema, XV konferencija »Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja« Serbian Technical diagnostic society, rad br.17, Vrnjačka Banja, 30. 10. 2015., ISBN 978-86-83701-38-4
- [89] Milošević, D., Adamović, Ž., Reliability simulation model for the bucket wheel excavator, Journal Metalurgia International, Vol.18, No.11, 2013. pp.13-20, ISSN 1582-2214
- [90] Milošević, D., Josimović, Lj., Petrov, T., Adamović, Ž., Maintenance planning of btr system belt conveyors using a model based on reliability and maintenance costs, TTEM Journal in Vol.8, No.3 8/9. Sarajevo, BiH, (In press), 2013.
- [91] Milošević, D., Modeli obezbeđivanja pouzdanosti složenih postrojenja u termoelektranama, doktorska disertacija, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, Zrenjanin, 2016.
- [92] Мошкин, Е., Нестационарные режимы работы ЖРД . М. Машиностроение. 218 с., Москва, СССР, 1965.
- [93] Mojtaba, M, Mohamad, M, Optimization of age replacement policy using reliability based heuristic model, J SCI IND RES, Vol. 68, 2009.
- [94] Narmada, S., Jacob, M., Reliability analysis of a complex system with a deterioration standby unit under common-cause failure and critical human error, Microelectronics Reliability, 36(9), pp.1287-1290., 1996.
- [95] Nguyen, D. G., Murthy, D. N. P., Optimal preventive maintenance policies for repairable systems, Operations research, 29, pp.1181-1194., 1981.
- [96] Niewczas, A., Kordos, P., Koszałka, G., Laboratory method of reliability research of a diesel automotive engine,Transport and Telecommunication Vol.7, No 2, 2006.
- [97] Nikolić, D., Adamović, Ž., Spasić, D., Cukić, D., Uticaj modela dijagnostike stanja na pouzdanost motornih vozila, Naučno stručni časopis „Održavanje Mašina“, godina XIV, broj 1-2, str.27-32, ISSN 1452-9688, Smederevo, 2017.
- [98] Nikolić, D., Spasić, D., Meza, S., Torbica, M., Ponašanje potrošača pri kupovini automobila sa dizel motorom, XVIII konferencija »Tehnička

- dijagnostika saobraćajnih vozila «, Vrnjačka Banja Goč, 01. i 02. 06. 2018., Rad br 22. ISBN 978-86-83701-53-7
- [99] Noortwijk, J. M., Weide, J. A. M., Applications to continuous-time processes of computational techniques for discrete-time renewal processes, *Reliability Engineering & System Safety*, 93(12), 1853–1860. , 2008
- [100] Ордынацев, В., Математическое описание объектов автоматизации, М. Машиностроение, 218 с, СССР, 1965.
- [101] Otić, G., Stanković, M., Vulović, M., Spasić, D., Dijagnosis of balance circuitis, *Zbornik radova Majska skup održavaoca*, Vrnjačka Banja, 2016.
- [102] Palinkaš, I., Šikić, B., Radovanović Lj., Desnica, E., Pekez, J., Research on Reliability of Motor Vehicle, *International Conference on “Modern Trends in Engineering & Technology” (MTET-16) April 18-19, 2016 Istanbul, Turkey*, pp. 112-117., 2016.
- [103] Paunović, R., Omorjan, R., *Osnove numereičke metode u hemijskom inženjerstvu*, Fakultet tehničkih nauka , Univerzitet u Novom Sadu, 2011.
- [104] Paunjorić, P., Vulović, M., Spasić, D., Meza, S., Adamović, Ž., *Pouzdanost i proaktivno održavanje, XXXIX Majska konferencija »Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja«* Serbian Technical dijagnostic society, rad br.88, Vrnjačka Banja, 20. 05. 2016., ISBN 978-86-83701-43-8, Vrnjačka Banja, 2016.
- [105] Percy, D.F., Kobbacy, K.A.H., Fawzi, B., Setting preventive maintenance schedules when data are sparse. *International Journal of Production Economics*, 51(3), 223-234., 1997.
- [106] Пересада, В., Автоматическое распознавание образов. М. Энергия. 90 с., Москва, СССР, 1970.
- [107] Половко, А., *Основы теории надежности*. М. Наука. 446с. СССР, 1964.
- [108] Radunović, D., "Numeričke metode", *Грађевинска knjiga*, Beograd, treće (dopunjeno) izdanje: Akademska misao, Beograd, 2004.
- [109] Radovanović, Lj., *Metodologije održavanja sa aspekta njihove primene u industriji, doktorska disertacija*, Tehnički fakultet “Mihajlo Pupin”, Zrenjanin, 2012.
- [110] Rao, B.K.N., *Handbook of Condition Monitoring*, UK: Elsevier Advanced Technology, 1996.
- [111] Roberts, J.W.T., Mann, Jr.L., Failure predictions in repairable multi-component systems, *International Journal of Production Economics*, 29(1), 103-110., 1993.
- [112] Романенко, А., Сергеев, Г., *Вопросы прикладного анализа процессов* . М. Советское радио. 285 с. СССР, 1968.
- [113] Sheu, S.H., Yeh, R.H., Lin, Y.B., Yuang, M.G., A Bayesian approach to an adaptive preventive maintenance model. *Reliability Engineering & System Safety*, 71(1), 33-44., 2001.
- [114] Shina, J., Junb, H., On condition based maintenance policy, *Journal of Computational Design and Engineering*, 2(2), 119-127., 2015.
- [115] Spasić, D., Adamović, Ž., Meza, S., Alargić, P., Nikolic, N., *Tehnička dijagnostika i analiza korelacije u dijagnostici* , XV konferencija »Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja« Serbian Technical dijagnostic society, rad br.19, Vrnjačka Banja, 30. 10. 2015., ISBN 978-86-83701-38-4
- [116] Spasić, D., Adamović, Ž., Meza, S., Otić G., *Automatizacija tehničke dijagnostike, ekspertni sistemiu dijagnostici i roboti u održavanju*, XV konferencija »Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja« Serbian Technical

- dijagnostic society, rad br.18, Vrnjačka Banja, 30. 10. 2015., ISBN 978-86-83701-38-4
- [117] Spasić, D., Adamović, Ž., Radovanović, Lj., Prognoziranje pouzdanosti i uticaj svojstava sistema upravljanja na karakteristike i efikasnost objekta zaštite dizel motora, XVI konferencija, Vibrodijagnostičko i tribodijagnostičko proaktivno održavanje mašina« Vrnjačka Banja, 30.09.2016. ISBN 978-86-83701-45-2
- [118] Spasić, D., Adamović, Ž., Josimović, Lj., Osnove prognoziranja pouzdanosti dizel motora, Društvo za tehničku dijagnostiku i Akademija inženjerstva Srbije, ISBN 978-86-83701-43-8, Smederevo, 2016.
- [119] Spasić, D., Jovanov, N., Lutovac, M., Lutovac, D., Optimalre servation model for the increase of motor reliability, Proceedings of the International Conference “ Composite Materials , Ecology, Information Tehnology, Economics and Low” (ELaSA-2017)(1-3 July 2017, Tivat, Montenegro), Ivanovo (russia): G.A Krestov Institute of Solution Chemistry of Rusian Academi of Sciences (ISC-RAS), Russia, 2017, st. 351-357, 427. pp. ISBN 078-5-905364-09-9, 2017.
- [120] Spasić, D., Malić, D., Meza, S., Jeftić, N., Značaj Total productive maintenance TPM, Treći naučnostručni skup “Energeska efikasnost”Visoka tehnička škola strukovnih studija, Beograd, 25. oktobar, 2015, str.316- 320, ISSN 2334-914X
- [121] Spasić, D., Meza, S., Vulović, M., Otić, G., Fazzy logika kao tehnika u dijagnostici ispitivanja elektro energetske elemenata, Naučno stručni časopis, „Održavanje Mašina“, godina XII, broj 3-4, Str. 4-10, ISSN 1452-9688, Smederevo, 2015.
- [122] Spasić, D., Meza, S., Adamović, Ž., Kaizen i šest sigma u lean pristupu održavanja tehničkih sistema stilovi, vrste i alati, Naučno stručni časopis „Održavanje Mašina“, godina XI, broj 1-2, str.11-17, ISSN 1452-9688, Smederevo, 2015.
- [123] Spasić, D., Meza, S., Vulović, M., Otić, G., Fazzy logika kao tehnika u dijagnostici ispitivanja elektro energetske elemenata, Naučno stručni časopis, „Održavanje Mašina“, godina XII, broj 3-4, Str. 4-10, ISSN 1452-9688, Smederevo, 2015.
- [124] Spasić, D., Meza, S., Adamović, Ž., Implementacija računarskih sistema za upravljanje održavanjem (Computerized Maintenance Management System - CMMS), Naučno stručni časopis “Tehnička dijagnostika”, godina XV, broj 2, Srbija, ISSN 1451-1975, str. 40-46, Beograd, 2016.
- [125] Spasić, D., Meza, S., Meza, D., Radovanović, Lj., Automatization of the engine diesel control and error control, VII International Conference - Industrial Engineering and Environmental Protection (IIZS 2017), Srbija, 153- 158 str., Proceedings, ISBN 978-86-7672-303-4, Zrenjanun, 12-13. oktobar, 2017 god., 2017.
- [126] Spasić, D., Meza, S., Otić, G., Adamović, Ž., Optimalno rezerviranje kao metoda povećanja pouzdanosti motora, časopis Održavanje mašina, god. XIII, br. 1-2, ISSN 1452-9688, st.17-24, Smederevo, 2016.
- [127] Spasić, D., Meza, S., Alargić, P., Otić, G., Optimizacija rezerviranja motora, XXXIX Majska konferencija »Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja« Serbian Technical dijagnostic society, rad br.12, Vrnjačka Banja, 20. 05. 2016., ISBN 978-86-83701-43-8, Vrnjačka Banja, 2016..

- [128] Spasić, D., Milošević, D., Radovanović, Lj., Simulacioni model pouzdanosti dizel motora u eksploataciji, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika motornih vozila«, Vrnjačka Banja Goč, 01. i 02. 06. 2018., ISBN 978-86-83701-53-7
- [129] Spasic, M. D., Milosevic, D., Janjic, N., Vulovic, M., Radovanovic, Lj., Model of forecasting the reliability by reducing control errors in lubrication system of diesel engine, Is accepted for publication and will be included in book 3, Vol. 23 (2017) of J Balk Tribol Assoc., ISSN 1310-4772 SciBulCom Ltd, Sofia, Bulgaria, 2017.
- [130] Spasić, D., Radovanović, Lj., Adamović, Ž., Modeli pouzdanosti dizel motora kontrolni parametri, Časopis, Održavanje mašina, god. XIV, broj 1-2, ISSN 1452-9688, str. 54-59, Smederevo, 2017.
- [131] Spasić, D., Radovanović, Lj., Obradović, A., Janjić, N., Aditiviranje motornog ulja kod dizel motora radi povišenja pouzdanosti u eksploataciji, Naučno stručni časopis „Održavanje mašina“, godina XIV, broj 1-2, str.27-32, 2017. ISSN 1452-9688
- [132] Spasić, D., Radovanović, Lj., Milošević D., Adamović Ž., Jovanov, G., Neki tipovi havarijskih stanja dizel motora, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika motornih vozila«, Vrnjačka Banja, Goč, , rad. br. 1., 2018. ISBN 978-86-83701-53-7
- [133] Spasic, D., Radovanovic, Lj., Ilic, D., Bursac, Z., Tolmac J., Palinkas, I., Application of the model recognition emergency sheet in order to increase the reliability of the plant in the energy sector, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 12:7, 635-645, DOI:10.1080/15567249.2016.1252810, ISSN: 1556-7249 (Print) 1556-7257 (Online) Journal homepage: Vol. 12, No. 7, (2017).
- [134] Spasić, D., Radovanović, Lj., Radovanović, R., Jovanov, G., Prepoznavanje havarijskih stanja dizel motora i modeliranje havarijskih stanja dizel motora, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika motornih vozila«, Vrnjačka Banja, Goč, 2018. ISBN 978-86-83701-53-7
- [135] Spasić, D., Radovanović, Lj., Milošević, D., Meza, S., Kontrola radne sposobnosti dizel motora klasifikacija kontrole i sistema havarijske zaštite, XVIII konferencija »Tehnička dijagnostika motornih vozila«, Vrnjačka Banja, Goč, ISBN 978-86-83701-53-7
- [136] Spasić, D., Radovanović, Lj., Adamović, Ž., Regulisanje senzora sistema kontrole u sistemu havarijske zaštite savremenog dizel motora, Energetska efikasnost, rad br. 1., Br. 3/4, 2017. ISSN 1840-3573
- [137] Spasić, D., Radovanović, Lj., Adamović, Ž., Jovanov, N., Uticaj svojstava sistema upravljanja i efikasnost primene sistema havarijske zaštite dizel motora, Razvoj i upravljanje, rad br.2 Br. 3/4, 2017. ISSN 1840-3832,
- [138] Spasić, D., Vulović, S., Meza, S., Adamović, Ž., Višedimenzionalni markovljevi procesi u sistemu održavanja tehničkih sistema, XVI konferencija, Vibrodijagnostičko i tribodijagnostičko proaktivno održavanje mašina« Vrnjačka Banja, 30.09.2016. ISBN 978-86-83701-45-2, Vrnjačka Banja, 2016.
- [139] Sun, Y., "Reliability Prediction Of Complex Repairable Systems: An Engineering Approach", Thesis submitted in total fulfilment of requirements of the degree of Doctor of Philosophy, Faculty of Built Environment and Engineering, University of Technology, Queensland, 2006.

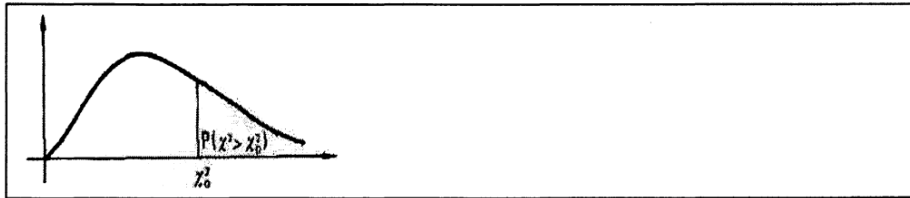
- [140] Sun, Y., Ma, L., Mathew, J., Prediction of system reliability for multiplecomponent repairs in: Proceedings of The IEEE Internat Conference Industrial Engineering and Engineering Management, Singapore IEEE, 1186-1190, 2007.
- [141] Stoer, J., Bulirsch, R., Introduction to Numerical Analysis, Springer, 1992.
- [142] Stefanović, S., Adamović, Ž., Nikolić, D., Janjić, N., Zarev, M., Preventivno održavanje mašina u tekstilnoj i duvanskoj industriji, TEHDIS, Beograd, ISBN 978-86-83701-18-6, 2008.
- [143] Šćepanović, S., Vujović, L., Inženjerstvo pouzdanosti, Visoka tehnička škola, Beograd, 2011.
- [144] Tomašević, M., Model za donošenje odluka o procesima prepoznavanja tipova funkcije pouzdanosti postrojenja, doktorska disertacija, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin”, Zrenjanin, 2007.
- [145] Васильев, Б., Козлов, Б., Ткаченко, Л., Надежность ракетные двигатели. М. Воениздат. 590 с., СССР, 1970.
- [146] Вентцель, Е., Теория вероятностей, М. Наука. 576 с. Москва, СССР, 1962.
- [147] Veljković, D., Spasić, D., Savić, N., Vulović, M., Petrov, T., Sistemi dijagnoze za određivanje stanja motornih vozila, Majski skup održavaoca, Zbornik radova , rad br. 2, Vrnjačka Banja, 2017.
- [148] Veljković, D., Savić, N., Petrov, T., Spasić, D., Optimizacija modela tehničke dijagnostike motornih vozila, XXXX Majska konferencija »Buka, vibracije i proaktivno održavanje mašina«, Vrnjačka Banja, 26. i 27. 05. 2017.«, Serbian Technical dijagnostic society, rad br. 29, ISBN 978-86-83701-47-6
- [149] Villemeur, A., Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment, Vol. 1. Chichester: John Wiley & Sons, 1992.
- [150] Vojinović, N., Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojno izdavački i novinski centar, Beograd, 1990.
- [151] Volkov, E.B., Sudokov R.S., Siricin, T.A., Basics of reliability theory of rocket engines, Mašinstroenie, Moskva, SSSR, 398 p., 1974.
- [152] Vujanović, N., Teorija pouzdanost tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, str. 120, Beograd, 1990.
- [153] Vujović, L., Primjena ekspertnih sistema u dijagnostici dizel motora, Tehnička dijagnostika (br. 4 - 2011), Fakulteta za pomorstvo iz Kotora, Crna Gora, Kotor, 2011. UDC: 629.10.02/.07:68-72/-833:641.48
- [154] Vukadinović, S., Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1986.
- [155] Vulović, M., Adamović, Ž., Sajfert, Z., Spasić, D., Implementacija proaktivnog održavanja u industriji, XVI konferencija “Vibrodijagnostičko i tribodijagnostičko proaktivno održavanje mašina”, Vrnjačka Banja, 30.09.2016. ISBN 978-86-83701-45-2
- [156] Vulović, M., Adamović, Ž., Sajfert, Z., Spasić, D., Osnovne metode za analizu rizika, Zbornik radova XVI konferencija “Vibrodijagnostičko i tribodijagnostičko proaktivno održavanje mašina”, Vrnjačka Banja, 30.09.2016. rad br. 13., ISBN 978-86-83701-45-2
- [157] Vulovic, M., Spasić, D., Prvulovic, S., Ispitivanje motornih vozila sa dizel motorom, XVIII konferencija “Tehnička dijagnostika saobraćajnih vozila”, Vrnjačka Banja, Goč, 01. i 02. 06. 2018., ISBN 978-86-83701-53-7

- [158] Vulović, M., Otić, G., Spasić, D., Prvulovic, S., Vbracija i buka, XVIII konferencija “Tehnička dijagnostika saobraćajnih vozila”, Vrnjačka Banja, Goč, 01. i 02. 06. 2018., rad br. 22., ISBN 978-86-83701-53-7
- [159] Vulović, M., Prvulovic, S., Spasić, D., Otić, G., Posledice vibracije i buke, XVIII konferencija “Tehnička dijagnostika saobraćajnih vozila”, Vrnjačka Banja Goč, 01. i 02. 06. 2018., rad br. 39. ISBN 978-86-83701-53-7
- [160] Vulović, M., Prvulovic, S., Spasić, D., Otić, G., Model otklanjanja povišenog nivoa vibracija i debalansa, XVIII konferencija “Tehnička dijagnostika saobraćajnih vozila”, Vrnjačka Banja, Goč, 01. i 02. 06. 2018., rad br. 30. ISBN 978-86-83701-53-7
- [161] Vulović, S., Spasić, D., Mićanović, S., Adamović, Ž., Buka i vbracija i njihova primena, XVI konferencija, “Vibrodijagnostičko i tribodijagnostičko proaktivno održavanje mašina”, Vrnjačka Banja, 30.09.2016. ISBN 978-86-83701-45-2
- [162] Wang, H. Z., A survey of maintenance policies of deteriorating systems, European Journal of Operational Research, 139(3), 469-489., 2002.
- [163] Wang, K.H., Ke, J.C., Probabilistic analysis of a repairable system with warm standbys plus balking and renegeing, Applied Mathematical Modelling, 27(3), 327-336., 2003.
- [164] Wolberg, J., Data Analysis Using the Method of Least Squares, Springer, 2006.

PRILOZI

PRILOG 1

Prilog 1. Vrednost χ_0^2 i pripadne vrednosti $P(\chi^2 > \chi_0^2)$ sa stepenom slobode $k=1,2,\dots,30$



Stepen slobode	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,000	0,001	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	5,412	6,635	10,827
2	0,020	0,040	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210	13,815
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,66-5	4,642	6,251	7,815	9,837	11,341	16,268
4	0,297	0,429	0,711	1,064	1,649	2,195	3,357	4,878	5,989	7,779	9,488	11,668	13,277	18,465
5	0,554	0,752	1,145	1,610	2,343	3,000	4,351	6,064	7,289	9,236	11,070	13,388	15,086	20,517
6	0,872	1,134	1,635	2,204	3,070	3,828	5,348	7,231	8,558	10,645	12,592	15,033	16,812	22,457
7	1,239	1,564	2,167	2,833	3,822	4,671	6,346	8,383	9,803	12,017	14,067	16,622	18,475	24,322
8	1,646	2,032	2,733	3,490	4,594	5,527	7,344	9,524	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090	26,125
9	2,088	2,532	3,325	4,168	5,380	6,393	8,343	10,656	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666	27,877
10	2,558	3,059	3,940	4,865	6,179	7,267	9,342	11,781	13,442	15,987	18,307	21,161	23,209	29,588
11	3,053	3,609	4,575	5,578	6,989	8,148	10,341	12,899	14,631	17,275	19,675	22,618	24,725	31,264
12	3,571	4,178	5,226	6,304	7,807	9,034	11,340	14,011	15,812	18,549	21,026	24,054	26,217	32,909
13	4,107	4,765	5,892	7,042	8,634	9,926	12,340	15,119	16,985	19,812	22,362	25,472	27,688	34,528
14	4,660	5,368	6,571	7,790	9,467	10,821	13,339	16,222	18,151	21,064	23,685	26,873	29,141	36,123
15	5,229	5,985	7,261	8,547	10,307	11,721	14,339	17,322	19,311	22,307	24,996	28,259	30,578	37,697
16	5,812	6,614	7,962	9,312	11,152	12,624	15,338	18,418	20,465	23,542	26,296	29,633	32,000	39,252
17	6,408	7,255	8,672	10,085	12,002	13,531	16,338	19,511	21,615	24,769	27,587	30,995	33,409	40,790
18	7,015	7,906	9,390	10,865	12,857	14,440	17,338	20,601	22,760	25,989	28,869	32,346	34,805	42,312
19	7,633	8,567	10,117	11,651	13,716	15,352	18,338	21,689	23,900	27,204	30,144	33,687	36,191	43,820
20	8,260	9,237	10,851	12,443	14,578	16,266	19,337	22,775	25,038	28,412	31,410	35,020	37,566	45,315
21	8,897	9,915	11,591	13,240	15,445	17,182	20,337	23,858	26,171	29,615	32,671	36,343	38,932	46,797
22	9,542	10,600	12,338	14,041	16,314	18,101	21,337	24,939	27,301	30,813	33,924	37,659	40,289	48,268
23	10,196	11,293	13,091	14,848	17,187	19,021	22,337	26,018	28,429	32,007	35,172	38,968	41,638	49,728
24	10,856	11,992	13,848	15,659	18,062	19,943	23,337	27,096	29,553	33,196	36,415	40,270	42,980	51,179
25	11,524	12,697	14,611	16,473	18,940	20,867	24,337	28,172	30,675	34,382	37,652	41,566	44,314	52,620
26	12,198	13,409	15,379	17,292	19,820	21,792	25,336	29,246	31,795	35,563	38,885	42,856	45,642	54,052
27	12,879	14,125	16,151	18,114	20,703	22,719	26,336	30,319	32,912	36,741	40,113	44,140	46,963	55,476
28	13,565	14,847	16,928	18,939	21,588	23,647	27,336	31,391	34,027	37,916	41,337	45,419	48,278	56,893
29	14,256	15,574	17,708	19,768	22,475	24,577	28,336	32,461	35,139	39,087	42,557	46,693	49,588	58,302
30	14,953	16,306	18,493	20,599	23,364	25,508	29,336	33,530	36,250	40,256	43,773	47,962	50,892	59,703

**PRILOG 2 – KOREKCIJA PARAMETARA Wejbulove raspodele
urađena je na osnovu algoritma korekcije parametara raspodele za
komponente sistema dizel motora obe grupe vozila u program Visual
Basic 6.0 i MS Excel**

```

Public Sub Command1_Click()
  NumOfIntervals = 1 + Int(3.3 * Log(CS)) '(u km)
  Interval = MaxFailure / NumOfIntervals
  i = 0
  Do
  i = i + 1
  MSimNumFailures = 0
  For Test = 1 To TN
    BrojTestova = Test
    LastChange = 0
    NFailures = 0
    Rel = Exp(-((MaxFailure - G) / A) ^ B)
    X = (1 - Rel) * (1 + (1 / (2 * NumOfIntervals)))
    Sp = 0
    For s = 0 To CS Step Interval
      Rel = Exp(-((s - LastChange - G + Sp) / A) ^ B)
      Sim = Rnd(1) * X
      If Sim <= (1 - Rel) Then
        NFailures = NFailures + 1
        LastChange = s
        Rel = 1
        Sp = 0
      End If
    End If
  Next s
  Form1.Refresh
  MSimNumFailures = (Val(MSimNumFailures) * (Test - 1) / Test) + (NFailures * 1
/ Test)
  Next Test
  If (Abs(1 - (Val(MSimNumFailures) / Val(NumOfFailures)))) < Val(Accuracy)) Then
  GoTo 200
  A = Val(A) * (1 - (1 - (Val(MSimNumFailures) / NumOfFailures)) / 30)
  B = Val(B) * (1 - (1 - (Val(MSimNumFailures) / NumOfFailures)) / 30)
  Form1.Show
  If i >= 1000 Then
    Stop
    i = 1
  End If
Loop
200
NumOfFailures = MSimNumFailures
'Stop 'UPISI REZULTATE
End Sub

```

PRILOG 3 – SIMULACIJA POUZDANOSTI na osnovu algoritma simulacije pouzdanosti dizel motora sa kombinovanim održavanjem (uvedene preventivne akcije održavanja) urađena je u Visual Basic 6.0 i MS Excel

PROGRAM: SYSTEM RELIABILITY SIMULATION - sluchaj za dizel motora 10
komponenata

```
Public Sub START_Click()
'OBEZBEDI SLUCHAJAN BROJ
objExcel.Workbooks.Open ("C:\Output.xls")
objExcel.Visible = True
objExcel.Sheets(1).Select
objExcel.Columns(1).Clear
objExcel.Columns(2).Clear
objExcel.Range("A7", "IV65000").Select
objExcel.Selection.Clear
'ODRREDJIVANJE KILOMETRAZE KALKULACIJE - cs
CS = Val(objExcel.Sheets(1).Cells(1, 27)) 'kilometraza obzevacije
'KRAJ ODRREDJIVANJA KRAJNJEG VREMENA KALKULACIJE
'ODREDJIVANJE INTERVALA KALKULACIJA (=1+3.3*log...)
BrojIntervala = 1 + Int(3.3 * Log(Val(objExcel.Sheets(1).Cells(4, 3 +
Val(BKS)))))) ' BKS- Broj komponenete sistema (1-10)
MaxOtkaz = Val(objExcel.Sheets(1).Cells(5, 3 + Val(BKS)))
Interval = Int(MaxOtkaz / BrojIntervala)
'KRAJ ODREDJIVANJE INTERVALA KALKULACIJA
objExcel.Sheets(1).Cells(7, 3 + Val(BKS)) = 1 'Rel
objExcel.Sheets(1).Cells(7, 1) = 0 'S
objExcel.Sheets(1).Cells(6, 3 + Val(BKS)) = 0 'BrOtkaza
'objExcel.Sheets(1).Cells(7, 2) kilometraza otkaza
'ITERACIJE SIMULACIJE (IT)
For iteracija = 1 To Val(IT)
Label1.Caption = iteracija
BrojOtkaza = 0
'SIMULACIJA POUZDANOSTI KOMPONENTE (pri svakom otkazu
pouzdanostpodsistema se dovodi na vrednost R=1
b = Val(objExcel.Sheets(1).Cells(2, Val(BKS) + 3))
a = Val(objExcel.Sheets(1).Cells(3, Val(BKS) + 3))
X = (1 - Exp(-((MaxOtkaz) / a) ^ b)) * (1 + (1 / (2 *
Val(objExcel.Sheets(1).Cells(4, 3 + Val(BKS)))))) 'BKS - broj komponente sistema -
unosi se u interfejsu
Crf = Val(objExcel.Sheets(1).Cells(2, Val(BKS) + 16))
Spm = 0
ZadnjePrevOdr = 0
ZadnjaZamena = 0
Upis = 1
BrOtkaza = 0
For s = 0 To CS Step Interval
Rel = Exp(-((s - Spm - ZadnjaZamena) / a) ^ b)
```

```

objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 3 + Val(BKS)) =
Val(objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 3 + Val(BKS))) * (iteracija - 1) / iteracija + (Rel
/ iteracija)
objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 1) = (s)
Upis = Upis + 1
For KmPrevOd = 1 To Int((s - ZadnjePrevOdr) / 20000) ' Vremena nedeljnih
odrzavanja
    If MedjuVremeNedOd = 1 Then Upis = Upis - 1
    Spm = Spm + (S - Spm - ZadnjaZamena) - ((a) * ((Log(1 / (Rel + ((1 - Rel) *
NPM / 100)))) ^ (1 / b)))
    Rel = Exp(-(s - Spm - ZadnjaZamena) / a) ^ b
    ZadnjePrevOdr = ZadnjePrevOdr + 20000 ' na 20000 km
    objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 3 + Val(BKS)) =
Val(objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 3 + Val(BKS))) * (iteracija - 1) / iteracija + (Rel
/ iteracija) ' upis nove pouzdanosti
    objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 1) = (ZadnjePrevOdr) 'upis preventivnog
odrzavanja
    Upis = Upis + 1
Next KmPrevOd
Sim = Rnd(1) * X
If Sim <= (1 - Rel) Then 'neplanirani otkaz
    Upis = Upis - 1
    BrOtkaza = BrOtkaza + 1
    Rel = 1
    Spm = 0
    ZadnjaZamena = s
    objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 3 + Val(BKS)) =
Val(objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 3 + Val(BKS))) * (iteracija - 1) / iteracija + (Rel
/ iteracija)
    objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 1) = (t)
    Upis = Upis + 1
    'objExcel.Sheets(1).Cells(Upis + 6, 2) = (s - Spm - ZadnjaZamena)
End If
Next s
'KRAJ SIMULACIJA POUZDANOSTI KOMPONENTE
'KRAJ ITERACIJE SIMULACIJE
objExcel.Sheets(1).Cells(6, 3 + Val(BKS)) = Val(objExcel.Sheets(1).Cells(6, 3 +
Val(BKS))) * (iteracija - 1) / iteracija + (BrOtkaza / iteracija)
If iteracija = 1 Then Stop
Next iteracija
Label1 = "KRAJ"
Stop
objExcel.Workbooks(1).Close SaveChanges:=True
objExcel.Quit
Set objExcel = Nothing

End Sub

```


PRILOG 4 – CENOVNIK USLUGA

ЈКП ЧИСТОБА
СМЕДЕРЕВО
Бр. 1503/11
13. VI 2016 год.
СМЕДЕРЕВО

Ценовник услуга средстава саобраћаја и механизације
(пречишћен текст)

Ред. бр.	Врста услуге	Јед. мере	Цена без пореза
1	Теретно возило носивости до 3т	час	3,519.13
2	Теретно возило носивости 5-7т	час	5,133.34
3	Специјално возило - подизач	час	4,667.20
4	Специјално возило - аутосмећар	час	4,706.94
5	Булдозер	час	4,956.73
6	Ауточистилица (мала)	час	3,516.04
7	Цистерна за воду 9m ³	час	8,454.39
8	Цистерна за воду 3m ³	час	5,168.00
9	Посипач соли ТК-12	час	139.78
10	Ротациони посипач соли	час	1,223.43
11	Хидраулични плуг	час	187.43
12	Машина за уклањање снега	час	218.10
13	Трактор- КУБОТА	час	2,417.78
14	Трактор- КУБОТА са четком и колектором са смеће	час	2,847.59
15	Даска за снег	час	49.33
16	Расипач соли	час	15.07

Напомена: пореска стопа ће се примењивати у зависности од извршене основне врсте услуга.

ДИРЕКТОР
[Својеручни потпис]

**PRILOG 5 – OČITANE SAOBRAĆAJNE SVIH OPSERVIRANIH
SPECIJALNIH KOMUNALNIH VOZILA****Čitač saobraćajne dozvole****Registarska oznaka: SD001-TM**

Datum izdavanja: 17.03.2011

Važi do: 17.03.2018

Saobraćajnu izdao: REPUBLIKA SRBIJA

Zabrana otuđenja:

PU U SMEDEREVU,
MINISTARSTVO UNUTRASNJIH POSLOVA REPUBLIKE SRBIJE

Broj saobraćajne: 1459580

Serijski broj: 67390014610168

Podaci o vlasniku

Vlasnik: JKP PARKING SERVIS SMEDEREVO

Ime vlasnika:

Adresa vlasnika: SMEDEREVO, SMEDEREVO, GORANSKA, BB,,

Jmbg vlasnika: 20782641

Korisnik:

Ime korisnika:

Adresa korisnika:

Jmbg korisnika:

Podaci o vozilu

Datum prve registracije: 14.03.2008

Godina proizvodnje: 2008

Marka: MERCEDES BENZ Model: SPRINTER NEW 511

Tip: - Homologacijska oznaka: -

Boja: 01 BELA

Broj osovina: 2

Broj šasijske: WDB9062531N371622

Zapremina motora: 2148

Broj motora: 64698551520436

Masa: 2700

Snaga motora: 80

Nosivost: 2300

Odnos snaga/masa: 0

Ukupna masa: 5000

Kategorija: TERETNO VOZILO

Pogonsko gorivo: EVRO DIZEL

Broj mesta za sedenje: 7

Broj mesta za stajanje: 0

Čitač saobraćajne dozvole

Registarska oznaka: SD005-SS

Datum izdavanja: 14.03.2011

Važi do: 14.03.2018

Saobraćajnu izdao: REPUBLIKA SRBIJA

Zabrana otuđenja:

PU U SMEDEREVU,
MINISTARSTVO UNUTRASNJIH POSLOVA REPUBLIKE SRBIJE

Broj saobraćajne: 1432309

Serijski broj: 67740014eefb4d

Podaci o vlasniku

Vlasnik: JKP " CISTOCA "

Ime vlasnika:

Adresa vlasnika: SMEDEREVO, SMEDEREVO, SALINACKA, BB,,

Jmbg vlasnika: 20782625

Korisnik:

Ime korisnika:

Adresa korisnika:

Jmbg korisnika:

Podaci o vozilu

Datum prve registracije: 14.03.2008

Godina proizvodnje: 2008

Marka: MERCEDES BENZ Model: SPRINTER 311 CDI NEW DOKA

Tip: - Homologacijska oznaka: -

Boja: OM BELA

Broj osovina: 2

Broj šasijske: WDB9062331N371611

Zapremina motora: 2148

Broj motora: 64698551520444

Masa: 2250

Snaga motora: 80

Nosivost: 1250

Odnos snaga/masa: 0

Ukupna masa: 3500

Kategorija: TERETNO VOZILO

Pogonsko gorivo: EVRO DIZEL

Broj mesta za sedenje: 7

Broj mesta za stajanje: 0

Čitač saobraćajne dozvole

Registarska oznaka: SD016-VG

Datum izdavanja: 25.08.2011 Važi do: 25.08.2018
Saobraćajnu izdao: REPUBLIKA SRBIJA Zabrana otuđenja:
PU U SMEDEREVU,
MINISTARSTVO UNUTRASNJIH POSLOVA REPUBLIKE SRBIJE
Broj saobraćajne: 2564474
Serijski broj: 670500144b339d

Podaci o vlasniku

Vlasnik: JKP " CISTOCA"
Ime vlasnika:
Adresa vlasnika: SMEDEREVO, SMEDEREVO, SALINACKA, BB,,
Jmbg vlasnika: 20782625
Korisnik:
Ime korisnika:
Adresa korisnika:
Jmbg korisnika:

Podaci o vozilu

Datum prve registracije: 27.08.2009 Godina proizvodnje: 2008
Marka: IVECO Model: ML 120EL 18
Tip: - Homologacijska oznaka: -
Boja: 0M BELA Broj osovina: 2
Broj šasije: ZCFA1ED0402551049 Zapremina motora: 3920
Broj motora: F4AE3481AR10300624200 Masa: 8530
Snaga motora: 130 Nosivost: 3470
Odnos snaga/masa: 0 Ukupna masa: 15500
Kategorija: TERETNO VOZILO
Pogonsko gorivo: EVRO DIZEL
Broj mesta za sedenje: 3 Broj mesta za stajanje: 0

Čitač saobraćajne dozvole

Registarska oznaka: SD014-GČ

Datum izdavanja: 22.07.2011

Važi do: 22.07.2018

Saobraćajnu izdao: REPUBLIKA SRBIJA

Zabrana otuđenja:

PU U SMEDEREVU,
MINISTARSTVO UNUTRASNJIH POSLOVA REPUBLIKE SRBIJE

Broj saobraćajne: 2343707

Serijski broj: 679200146c7a11

Podaci o vlasniku

Vlasnik: JKP ZELENIL I GROBLJA SMEDEREVO

Ime vlasnika:

Adresa vlasnika: SMEDEREVO, SMEDEREVO, NARODNOG FRONTA, 004,,

Jmbg vlasnika: 20782633

Korisnik:

Ime korisnika:

Adresa korisnika:

Jmbg korisnika:

Podaci o vozilu

Datum prve registracije: 18.07.2005

Godina proizvodnje: 2005

Marka: ZASTAVA Model: NEW TURBO RIVAL 49 10 HNP

Tip: - Homologacijska oznaka: -

Boja: 0M BELA

Broj osovina: 2

Broj šasijske oznake: ZCFC497000Z015168

Zapremina motora: 2800

Broj motora: S0FIM814043B43604105639

Masa: 2630

Snaga motora: 76

Nosivost: 2370

Odnos snaga/masa: 0

Ukupna masa: 5000

Kategorija: TERETNO VOZILO

Pogonsko gorivo: EVRO DIZEL

Broj mesta za sedenje: 7

Broj mesta za stajanje: 0

Čitač saobraćajne dozvole

Registarska oznaka: SD016-GY

Datum izdavanja: 22.08.2011 Važi do: 22.08.2018
Saobraćajnu izdao: REPUBLIKA SRBIJA **Zabrana otuđenja:**
PU U SMEDEREVU,
MINISTARSTVO UNUTRASNJIH POSLOVA REPUBLIKE SRBIJE
Broj saobraćajne: 2531644
Serijski broj: 676000144b720c

Podaci o vlasniku

Vlasnik: JKP " CISTOCA"
Ime vlasnika:
Adresa vlasnika: SMEDEREVO, SMEDEREVO, SALINACKA, BB,,
Jmbg vlasnika: 20782625
Korisnik:
Ime korisnika:
Adresa korisnika:
Jmbg korisnika:

Podaci o vozilu

Datum prve registracije: 18.08.2008 **Godina proizvodnje: 2008**
Marka: FAP Model: 2023 BD 42
Tip: - Homologacijska oznaka: -
Boja: OM BELA **Broj osovina: 2**
Broj šasijske: FAP2023BD42120478 **Zapremina motora: 6370**
Broj motora: 0M906LAIII0090696400714020 Masa: 8840
Snaga motora: 170 **Nosivost: 8840**
Odnos snaga/masa: 0 **Ukupna masa: 20000**
Kategorija: TERETNO VOZILO
Pogonsko gorivo: DIZEL
Broj mesta za sedenje: 6 **Broj mesta za stajanje: 0**

Čitač saobraćajne dozvole

Registarska oznaka: SD018-VC

Datum izdavanja: 26.09.2011 Važi do: 26.09.2018
Saobraćajnu izdao: REPUBLIKA SRBIJA Zabrana otuđenja:
PU U SMEDEREVU,
MINISTARSTVO UNUTRASNJIH POSLOVA REPUBLIKE SRBIJE
Broj saobraćajne: 2743250
Serijski broj: 670500144b33bc

Podaci o vlasniku

Vlasnik: JKP " CISTOCA"
Ime vlasnika:
Adresa vlasnika: SMEDEREVO, SMEDEREVO, SALINACKA, BB,,
Jmbg vlasnika: 20782625
Korisnik:
Ime korisnika:
Adresa korisnika:
Jmbg korisnika:

Podaci o vozilu

Datum prve registracije: 05.09.2008 Godina proizvodnje: 2008
Marka: FAP Model: 2023 BD 42
Tip: - Homologacijska oznaka: -
Boja: 0M BELA Broj osovina: 2
Broj šasije: FAP2023BD42120479 Zapremina motora: 6370
Broj motora: 0M906LAIII20090696400714028 Masa: 111160
Snaga motora: 170 Nosivost: 8840
Odnos snaga/masa: 0 Ukupna masa: 20000
Kategorija: TERETNO VOZILO
Pogonsko gorivo: EVRO DIZEL
Broj mesta.za sedenje: 5 Broj mesta za stajanje: 0

Čitač saobraćajne dozvole

Registarska oznaka: SD021-WB

Datum izdavanja: 14.11.2011

Važi do: 14.11.2018

Saobraćajnu izdao: REPUBLIKA SRBIJA

Zabrana otuđenja:

PU U SMEDEREVU,
MINISTARSTVO UNUTRASNJIH POSLOVA REPUBLIKE SRBIJE

Broj saobraćajne: 3024268

Serijski broj: 67390014610150

Podaci o vlasniku

Vlasnik: JKP PARKING SERVIS SMEDEREVO

Ime vlasnika:

Adresa vlasnika: SMEDEREVO, SMEDEREVO, GORANSKA, BB,,

Jmbg vlasnika: 20782641

Korisnik:

Ime korisnika:

Adresa korisnika:

Jmbg korisnika:

Podaci o vozilu

Datum prve registracije: 13.11.2008

Godina proizvodnje: 2008

Marka: FAP Model: 1418 RBSK 36 4X4

Tip: - Homologacijska oznaka: -

Boja: 2M NARANDZASTA

Broj osovine: 2

Broj šasijske: FAP1418RBK36120369

Zapremina motora: 4250

Broj motora: 0M904LAI590495100658461

Masa: 6450

Snaga motora: 180

Nosivost: 7550

Odnos snaga/masa: 0

Ukupna masa: 14000

Kategorija: TERETNO VOZILO

Pogonsko gorivo: EVRO DIZEL

Broj mesta za sedenje: 2

Broj mesta za stajanje: 0

Čitač saobraćajne dozvole

Registarska oznaka: SD002-AI

Datum izdavanja: 06.01.2011

Važi do: 06.01.2018

Saobraćajnu izdao: REPUBLIKA SRBIJA

Zabrana otuđenja:

PU U SMEDEREVU,
MINISTARSTVO UNUTRASNJIH POSLOVA REPUBLIKE SRBIJE

Broj saobraćajne: 1025684

Serijski broj: 81714d000002bf

Podaci o vlasniku

Vlasnik: JKP " CISTOCA"

Ime vlasnika:

Adresa vlasnika: SMEDEREVO, SMEDEREVO, SALINACKA, BB,,

Jmbg vlasnika: 20782625

Korisnik:

Ime korisnika:

Adresa korisnika:

Jmbg korisnika:

Podaci o vozilu

Datum prve registracije: 06.01.2009

Godina proizvodnje: 2008

Marka: FAP Model: 1318B 36

Tip: - Homologacijska oznaka: -

Boja: 2M NARANDZASTA

Broj osovina: 2

Broj šasijske: FAP1318B36120448

Zapremina motora: 4290

Broj motora: 0M904LAI590495100714174

Masa: 5600

Snaga motora: 130

Nosivost: 7900

Odnos snaga/masa: 0

Ukupna masa: 13500

Kategorija: TERETNO VOZILO

Pogonsko gorivo: EVRO DIZEL

Broj mesta za sedenje: 2

Broj mesta za stajanje: 0

PRILOG 6 – VELIČINE I KOEFICIJENTI

$F(a)$	– fun. nepouzdanosti,
$R(a)$	– funkcija pouzdanosti,
$\underline{R}(t)$	– procena (statistička vrednost) pouzdanosti,
$n_1(t)$	– broj uspešnih zadataka u vremenu t ,
$n(t)$	– ukupan broj izvedenih zadataka u vremenu t ,
$\underline{p}(t)$	– procena (statistička vrednost) frekvencija pojave stanja „u radu”,
y	– parametri radnog procesa,
I	– period ispravnog stanja,
HS	– period havarijskog stanja,
H	– stanje otkaza (havarije),
y_{gr}	– granične vrednosti parametara radnog procesa kod kojih nastupa otkaz,
τ_e	– vreme ekspozicija,
τ_s	– vreme reagovanja senzora (davača),
P_j	– verovatnoća da sistem kontroliše j -havarijsko stanje,
m	– broj havarijskih stanja,
P_k	– verovatnoća da se sva havarijska stanja kontrolišu,
P_{nk}	– verovatnoća nekontrolisanih havarijskih stanja,
α	– koeficijent opsega havarijskih stanja,
n	– opšti broj havarijskih stanja,
$\tilde{\alpha}$	– učestalost havarijskih stanja,
Gcu	– vrednost curenja (gubitka) dizel goriva,
F	– površina pukotine,
μ	– koeficijent utroška (potrošnje),
Δp	– kolebanje pritiska,
p_{mag}	– pritisak u cevovodu, magistrali,
p_{pu}	– pritisak pumpe visokog pritiska
$y_n(\tau)$	– zahtevane izmene funkcija kod ispravnog stanja
y_{il}	– polinom diferenciranja vektora koeficijenata parametara,
t	– momenti vremena, za koje se određuje stanje motora,
τ	– tekuće vreme,
p_{2T}	– pritisak vazduha u turbini,
a_M	– koeficijenti određeni razmerom radnog kola i ne zavise od režima rada,
b_M	– koeficijenti određeni profilom protočnog dela i ne zavise od režima rada,
p_1, p_2	– pritisci na krajevima magistrale,
Ro	– koeficijent hidrauličkog otpora,
Ro'	– koeficijent inercionog otpora,
$Ro(h)$	– promena hidrauličkog otpora magistrale u zavisnosti od pomeranja regulacionog organa sistema za regulaciju,
ρ	– gustina,

μ	– koeficijent protoka,
F_i^*	– površina nehermetičnosti i prolaznik preseka ventila,
M_{tr}^*	– dodatni momenta trenja turbine,
y_j	– fizička promenljiva,
b_j	– merni koeficijent,
u_j	– napon, koji modeluje fizičku promenljivu,
p_{2T}	– pritisak vazduha u turbini,
a_M, b_M	– koeficijenti određeni razmerom radnog kola i profilom protočnog dela, a koji ne zavise od režima rada,
$p_{iz i}$	– pritisak na izlazu pumpe
$p_{ul i}$	– pritisak ulazu pumpe,
b_j	– širina lopatica pumpe,
γ_j	– gustina komponenti goriva,
β_j	– ugao lopatica,
(MB)	– memorijski blok,
(ON)	– blokovi otkrivanja neispravnosti
(BK)	– blokirajuća kola koji zaustavljaju uticaj neispravnog sistema
O_r	– stanja motora radno,
O_i	– stanja motora isključeno,
O_h	– stanja motora havarijsko,
S_r	– sistem zaštite nalazi u ispravnom stanju (stanje radno),
S_L	– sistem zaštite u stanju lažnog otkaza,
S_n	– Neispravnom stanje,
A	– motor se može nalaziti u ispravnom stanju,
\bar{A}	– motor se može nalaziti u neispravnom stanju, kada je motor u havarijskom stanju,
B	– otkaz – stanje B,
L	– sistem zaštite nalazi u stanju lažnih otkaza L,
SAR	– sistem automatske regulacije,
SHZ	– sistem havarijske zaštite,
\bar{N}	– sistem havarijske zaštite ispravan /stanje \bar{N} /,
N	– sistem havarijske zaštite neispravan i nije u stanju da otkrije otkaz/stanje N/,
P_r	– verovatnoću radno sposobnog stanja - verovatnoća normalnog funkcionisanja,
P_v	– verovatnoću nehavarijskog stanja - verovatnoća gašenja bez problema - pre havarije,
P_h	– verovatnoća nesreće – havarije,
α	– koeficijent zahvatanja havarijskog stanja,
E_r	– verovatnoća neotkrivenih otkaza sistema havarijske zaštite,
q_L	– verovatnoća lažnih otkaza,
q_N	– verovatnoćom neotkrivenih otkaza,
n	– opšti broj elemenata,
l	– broj elemenata potrebnih za normalno funkcionisanje,
m	– broj rezervnih elemenata,
α	– multiplikativnost rezerviranja,
q_r	– verovatnoća da će se dogoditi otkaz sistema ,
P_i	– verovatnoća ispravnog rada i-elementa,
K_p	– koeficijent povećanja pouzdanosti ,

P_S	– verovatnoću ispravnog rada veze (skupa),
P_O	– verovatnoća ne pojavljivanja prekida u kolu elemenata,
P_{oks}	– verovatnoća odsustva kratkog spoja,
V	– vrednost sistema,
n_{rs}	– broj računskih delova sistema, gde je primenjeno rezerviranje,
V_i	– vrednost jednog elementa i-dela sistema,
$V_i^{(0)}$	– početna vrednost i-dela,
$P_i(m_i)$	– verovatnoća ispravnog rada i-dela uz prisustvo m_i rezervnih delova,
P_{Tr}	– zadata (tražena) verovatnoća,
V_{Tr}	– zadata (tražena) vrednost gubitaka na rezervnim elementima
$P(M)$	– vrednost verovatnoće ispravnog rada na M-koraku,
E	– efikasnost je odgovarajuće uvećanje pouzdanosti rezerviranog elementa,
$R = R_b$	– pouzdanost nerezerviranog elementa- uređaja,
K_{SHZ}	– koeficijent sistema havarijske zaštite,
R_{re}	– pouzdanost rezerviranog elementa-uređaja,
Q_{LD}	– verovatnoću lažnog signala ,
Q_{ND}	– verovatnoću neotkrivenog otkaza,
Υ_D	– zbirna karakteristika tačnosti sistema,
m_D	– veličina vrednosti parametara regulacije senzora ,
L_m	– događaj lažnog signala po svim m parametrima,
q_{LDM}	– verovatnoća pojave lažnog signala,
q_{Nbj}	– verovatnoća da sistem kontrole neće otkriti havarijsko stanje zbog nedovoljno brzog dejstva,
L_{Di}	– događaji lažnog aktiviranja i -kanala, zbog greške kontrole,
L_{ai}	– događaji lažnog aktiviranja i -kanala nedovoljne strukturne pouzdanosti,
N_{bi}	– događaji neotkrivenih otkaza po j -kanalu kontrole zbog ograničenosti brzine dejstva,
N_{ai}	– događaji neotkrivenih otkaza po j -kanalu kontrole zbog strukturne pouzdanosti sistema,
P_{Nn}	– verovatnoća lažnog aktiviranja ekvivalentnog senzora, niz N, se naziva ekvivalentni senzor,
$q_{L.e}$	– verovatnoća lažnih signala sistema,
β	– parametar oblika raspodele,
$MPTF$	– (<i>mean path to failure</i>) – srednji pređeni put do pojave otkaza,
\bar{S}_{ur}	– srednji pređeni put u radu,
$\lambda(s)$	– Intenzitet otkaza u odnosu na pređeni put,
$F(s)$	– funkcija nepouzdanosti u odnosu na pređeni put,
$R(s)$	– funkcija pouzdanosti u odnosu na pređeni put,
η	– parametar razmere,
A	– parametar razmere raspodele,
B	– parametar oblika raspodele,
CS	– <i>pređeni put (kilometraža)</i> kalkulacije,
$Int()$	– funkcija koja vraća celobrojnu vrednost,
$Interval$	– ređeni put (kilometraža) između dve tačke kalkulacije pouzdanosti,

$LastChange$	– pređeni put (kilometraža) poslednje korektivne akcije održavanja,
$MaxFailure$	– maksimalni pređeni put (kilometraža) do pojave otkaza u period obzervacije,
$MSimNumFailure$	– srednji broj otkaza tokom simulacije,
$NFailures$	– simulacioni broj otkaza,
$NumOfFailures$	– broj otkaza komponente,
$NumOfIntervals$	– broj interval,
Rel	– pouzdanost,
Sim	– pseudo-slučajni broj čija vrednost određuje otkaze komponente,
$Rnd()$	– funkcija koja vraća pseudo-slučajan broj,
$s(Path)$	– pređeni put (kilometraža),
$Test$	– trenutna iteracija za vreme simulacije,
C_{rf}	– koeficijent otklanjanja nepouzdanosti ,
S_{pm}	– kilometraža za koju se pređeni put s „vraća unazad“ usled preventivnih akcija održavanja,
IT	– broj iteracija,
X	– vrednost preostale nepouzdanosti posle maksimalne kilometraže do pojave otkaza komponente,
n_1	– broj kontrolisanih parametara,
K_{τ}	– koeficijentom merila vremena ,
P_i	– apriori stanja motora,
H	– entropija,
$H_0(y_i)$	– entropija stanja po i -parametru pre kontrole,
$H(y_i)$	– entropija stanja po i -parametru posle kontrole,
P_m	– verovatnoća ispravnog rada motora,
q_i	– verovatnoća neispoljavanja havarijskog stanja pri kontroli po i parametru,
Θ	– efikasnost kontrole stanja motora,
K_{ji}	– koeficijent preciznosti,
y_m	– parametri radnog procesa dizel motora,
D	– konstruktivne karakteristike dizel motora,
Z	– spoljašnji faktori,
Y	– dozvoljena vrednost parametra koji se kontroliše,
V_z	– vrednost ispitivanja u slučaju primene sistema zaštite,
P_j	– verovatnoća da sistem kontroliše j -havarijsko stanje,
n_k	– broj prognoziranih havarijskih stanja,

BIOGRAFIJA

M.Sc. Dejan M. Spasić



Rođen 18.12.1970. godine u Smederevu.

Dejan Spasić rođen 18.12.1970. godine u Smederevu. U Smederevu završio osnovnu školu. Srednju Vojnu školu smer tehničko – tehnološki, završio u Sarajevu na aerodromu u Rajlovcu.

Studije Mašinstva je završio na Višoj Tehničkoj školi u Požarevcu i stekao zvanje Inženjera mašinstva za proizvodno mašinstvo 1997. godine.

Na Tehničkom fakultetu „Mihajlo Pupin“ u Zrenjaninu završava osnovne studije i stiče zvanje diplomiranog inženjera za razvoj mašinske struke 2004. godine.

Master studije završava 2009. godine na Tehničkom Fakultetu „Mihajlo Pupin“ u Zrenjaninu - i stiče zvanje diplomiranog inženjera za industrijsko inženjerstvo- master.

Doktorske studije upisao 2013. godine na Tehničkom Fakultetu „Mihajlo Pupin“ u Zrenjaninu, i položio sve ispite 2016. godine sa prosečnom ocenom 9,625.

Od januara 1996. do 2004 godine radio u Sartidu a.d. Smederevo kao tehnolog za hidrauliku pnematiku i podmazivanje. Od 2000-ite godine učestvuje u formiranju Centra za zavarivanje i postaje Rukovodilac Laboratorije za zavarivanje u Sartid-u ad.

Od 2005 do 2008 je bio direktor ustanove Sportski centar Smederevo.

Od 2009 godine je zaposlen u JKP Smederevo kao rukovodioc održavanja i operative.

Trenutno zaposlen u JP ”Grejanje” Smederevo kao izvršni direktor.

Član je uređivačkog odbora u časopisima „Tehnička dijagnostika“, „Reinženjering“, „Održavanje mašina“ i „Menadžment znanja“. U časopisima „Održavanje mašina“ i „Menadžment znanja“ je zamenik glavnog i odgovornog urednika. Član je Društva za tehničku dijagnostiku Srbije, Društva održavalaca Srbije, Akademije mašinskih nauka Srbije – Beograd.

Autor je monografija, radova objavljenih u domaćim i međunarodnim časopisima, kao i u zbornicima sa domaćih i međunarodnih konferencija.

Oženjen je i ima dve ćerke.