

**UNIVERZITET U BEOGRADU
MAŠINSKI FAKULTET**

mr Vesna P. Dakić, dipl.maš.inž.

**RAZVOJ MODELA ZA OPTIMIZACIJU
GOTOVOSTI MOTORNIH VOZILA SA
STANOVIŠTA TROŠKOVA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Beograd, 2012

**UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY FOR MECHANICAL ENGINEERING**

mr Vesna P. Dakić, mech. eng.

**DEVELOPMENT OF MODEL FOR
AVAILABILITY OPTIMIZATION OF MOTOR
VEHICLES BASED ON MAINTENANCE COSTS**

DOCTORAL DISSERTATION

Belgrade, 2012

Komisija za pregled i odbranu disertacije:

Mentor:

Prof. dr Gradimir Ivanović,
redovni profesor,
Mašinski fakultet u Beogradu

Članovi komisije:

Prof. dr Dragutin Stanivuković,
redovni profesor,
Fakultet tehničkih nauka Novi Sad

Doc. dr Ivan Blagojević,
docent,
Mašinski fakultet u Beogradu

Datum odbrane:

PREDGOVOR

Disertacija koja je pred Vama, rezultat je četvorogodišnjeg teorijskog i eksperimentalnog istraživanja u oblasti eksploatacije i održavanja vozničkih parkova autobusa.

Provenstoeni zahvalnost dugujem upravi i zaposlenima u preduzeću Autotransport iz Pančeva, koji su mi omogućili prikupljanje podataka, korišćenih u svrhu sopstvenih istraživanja, uputili me u procese rada pomenutog preduzeća i svojim savetima, sugestijama i iskustvom doprineli kvalitetu ove disertacije. S tim u vezi, posebnu zahvalnost dugujem Bori Janjiću, Stojanu Tegeltiji, Zoltanu Šorbanu, Zori Kovačević, Slavku Marinu i Slobodanu Aleksiću.

Posebnu zahvalnost dugujem mentoru, prof. dr Gradimiru Ivanoviću, za nesebičnu pomoć, stalno usmeravanje i dragocene stručne savete, kako tokom vršenja istraživanja, tako i tokom izrade i pisanja disertacije.

Zahvaljujem se takođe i članovima moje porodice, koji su mi pružili podršku i pomoć u svim fazama mog dosadašnjeg stručnog usavršavanja.

mr Vesna P. Dakić, dipl. maš. inž.

U Beogradu, septembar 2012.

Autor: mr Vesna P. Dakić, dipl.maš.inž.

Naslov:

RAZVOJ MODELA ZA OPTIMIZACIJU GOTOVOSTI MOTORNIH VOZILA SA STANOVIŠTA TROŠKOVA

Apstrakt:

Disertacija je nastala sa ciljem praktičnog rešavanja problema optimizacije intervala periodičnog održavanja, koji se pojavljuje u oblasti održavanja motornih vozila i tehničkih sistema upošte. Predmet istraživanja bio je vozni park autobusa, a osnovni cilj da se ispita da li je moguće sistem održavanja organizovati tako da bi se zadovoljila dva protivrečna kriterijuma i maksimalna gotovost i minimalni troškovi održavanja. U disertaciji je razvijen model optimizacije preventivnih aktivnosti održavanja, koji se temelji na oba pomenuta kriterijuma za slučaj elemenata čija vremena otkaza se pokoravaju Weibull-ovom zakonu raspodele. Pomenuti model je proveren i potvrđen na realnom slučaju sistema održavanja voznog parka transportnog preduzeća ATP Pančevo. Rezultati istraživanja dali su podlogu za definisanje strategije za povišenje efektivnosti sistema održavanja. Budući da je razvijen model primenjiv na pojedine elemente sistema, razvijen je i poseban metod kojim se model može primenjivati i na održavanje složenih sistema, kakva su vozila u celini, po principu blok zamena. Ocena efektivnosti voznog parka vršena je na osnovu troškova održavanja i operativne gotovosti, parametara koji su usvojeni kao osnovni pokazatelji uspešnosti sistema održavanja.

Ključne reči: *optimizacija, modeli održavanja, pouzdanost, motorna vozila, vozni parkovi, gotovost, troškovi održavanja*

Naučna oblast: *Mašinstvo*

Uža naučna oblast: *Motorna vozila / Efektivnost sistema*

UDK broj: 629.114.53:658.58(043.3)

Author: mr Vesna P. Dakić, mech. eng.

Title:

**DEVELOPMENT OF MODEL FOR AVAILABILITY
OPTIMIZATION OF MOTOR VEHICLES BASED ON
MAINTENANCE COSTS**

Abstract:

The investigation in this dissertation was accomplished with a goal of solving practical problems arising in the field of vehicle maintenance, related to optimization of preventive maintenance intervals. The subject of investigation was the fleet of buses with the main purpose to examine whether it is possible to organize a maintenance system to meet two conflicting criteria: maximum of availability and minimum of maintenance costs. In this dissertation was developed a model for optimization of periodicity of preventive maintenance activities based on both named criteria for the case of elements whose MTBFs obey to Weibull distribution law. The model is verified and confirmed in the real system of fleet maintenance – transportation company ATP Pančevo. Research results substrate to define strategies for increasing the effectiveness of the system maintenance. Since the developed model is applicable to the individual elements of the system, a special method was defined to apply the optimization model for the maintenance of complex systems, such as vehicles in general (the principle of *block replacements*). Evaluation of the fleet effectiveness was carried out on the basis of operational availability and maintenance costs, which were adopted as the main performance indicators of system maintenance.

Key Words: *optimization, maintenance models, motor vehicles, bus fleets, reliability, availability, maintenance costs*

Scientific Field: *Mechanical Engineering*

Scientific Dicipline: *System Effectiveness*

UDC Number: 629.114.53:658.58(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Cilj i program istraživanja	3
1.2. Struktura doktorske disertacije	6
2. ORGANIZOVANI SISTEMI ODRŽAVANJA VOZILA I OSNOVNI POKAZATELJI NJIHOVE USPEŠNOSTI	10
2.1. Složenost sistema održavanja voznih parkova	13
2.2. Zadaci sistema održavanja	16
2.3. Proces održavanja	20
2.3.1. Tehnologija preventivnog održavanja	24
2.3.2. Hijerarhijsko održavanje vozila u voznim parkovima	27
2.3.3. Nesavršenost održavanja	30
2.4. Kriterijumi i merila za ocenu uspešnosti sistema održavanja	32
2.4.1. Gotovost	34
2.4.2. Pouzdanost	45
2.4.2.1. Funkcija pouzdanosti i funkcija gustine otkaza	48
2.4.2.2. Funkcija intenziteta otkaza	51
2.4.2.3. Očekivano vreme bezotkaznog rada	54
2.4.3. Intenzitet otkaza i vek trajanja sistema	56
2.4.4. Određivanje parametara pouzdanosti na osnovu empirijskih podataka	61
2.4.4.1. Empirijske funkcije pouzdanosti	62
2.4.4.2. Postupak utvrđivanja teorijskog zakona raspodele otkaza	65
2.4.4.3. Određivanje parametara Weibull-ove raspodele	67
2.4.5. Troškovi održavanja	70
3. SAVREMENE METODE OPTIMIZACIJE SISTEMA ODRŽAVANJA	74
3.1. Matematičko modeliranje sistema održavanja	76
3.2. Strategije preventivnog održavanja	78
3.2.1. Zamene prema fiksnom datumu	79
3.2.2. Zamene prema fiksnom vremenskom intervalu	80
3.2.3. Zamene prema stanju	81
3.3. Merila za evaluaciju primenjene strategije održavanja	82
3.4. Savremeni modeli optimizacije preventivnog održavanja	84
3.4.1. Modeli optimizacije perioda preventivnog održavanja na osnovu	85

	kriterijuma minimalnih troškova	
3.4.2.	Modeli optimizacije perioda preventivnog održavanja na osnovu kriterijuma maksimalne gotovosti	101
3.4.3.	Modeli optimizacije perioda preventivnog održavanja na osnovu kriterijuma maksimalne pouzdanosti	115
3.5.	Primena nehomogenog Poisson-ovog procesa za modeliranje ponašanja opravljivih sistema	121
4.	SOPSTVENA ISTRAŽIVANJA	126
4.1.	Teorijsko istraživanje - Optimizacija gotovosti sa stanovišta troškova	126
4.1.1.	Razvoj modela za određivanje optimalnog intervala zamene prema kriterijumu minimalnih troškova održavanja	128
4.1.1.1.	Optimalni interval u slučaju zamena prema fiksnom datumu	129
4.1.1.2.	Optimalni interval u slučaju zamena prema fiksnom vremenskom intervalu	133
4.1.2.	Razvoj modela za određivanje optimalnog intervala zamena prema kriterijumu maksimalne gotovosti	137
4.1.2.1.	Optimalni interval u slučaju zamena prema fiksnom datumu	137
4.1.2.2.	Optimalni interval u slučaju zamena prema fiksnom vremenskom intervalu	140
4.1.3.	Metod izbora optimalnog intervala preventivnih zamena na bazi kriterijuma maksimalne gotovosti i minimalnih troškova	143
4.1.4.	Grupisanje komponenata na bazi optimalnih troškova održavanja i gotovosti - mogućnost primene blok zamena	149
4.2.	Ekperimentalno istraživanje - Primena optimizacionog modela preventivnog održavanja na voznom parku autobusa	155
4.2.1.	Osnovna obeležja voznog parka	155
4.2.1.1.	Uslovi eksploatacije	158
4.2.1.2.	Objekti za održavanje i služba održavanja	159
4.2.1.3.	Organizacija, planiranje i evidencija održavanja	160
4.2.1.4.	Proces rada u sektoru održavanja i tokovi informacija o stanju vozila - radni dokumenti	160
4.2.1.5.	Informacioni sistem sektora održavanja	163
4.2.1.6.	Podaci i dokumenti za analizu efektivnosti poslovanja voznog parka	166

4.2.2.	Rezultati istraživanja	168
4.2.2.1.	Gotovost voznog parka	169
4.2.2.2.	Parametri raspodele otkaza komponenata autobusa i troškovi održavanja	172
4.2.2.3.	Primena razvijenog modela za izračunavanje optimalnog intervala preventivne zamene	190
4.2.2.4.	Grupisanje komponenata u cilju organizovanja blok zamena	200
4.2.2.5.	Završni komentar rezultata	206
5.	ZAVRŠNA RAZMATRANJA	210
5.1.	Kritički osvrt na analizirani sistem	212
5.2.	Organizovanje sistema održavanja na bazi predloženog modela	214
5.3.	Realne mogućnosti za unapređenje postojećeg sistema održavanja voznog parka	217
5.3.1.	Poboljšanja u akviziciji podataka i modifikacije informacionog sistema	219
5.3.2.	Određivanje optimalnog perioda eksploatacije autobusa	221
5.3.3.	Proširivanje spiska aktivnosti za izvođenje dnevnog pregleda	223
5.3.4.	Poboljšanja u sektoru obezbeđenja materijala i rezervnih delova	224
5.3.5.	Formiranje sektora za osiguranje kvaliteta	226
5.3.6.	Smernice za planiranje održavanja	227
5.3.7.	Kombinovani pristup – održavanje prema pouzdanosti i održavanje prema stanju	229
5.4.	Pravci daljih istraživanja	232
6.	LITERATURA	234
7.	NOMENKLATURA	252
8.	PRILOZI	256

1. UVOD

Tehničko održavanje motornih vozila, kao jedan vrlo specifičan segment autotransportnih preduzeća, zbog stohastičnosti pojave otkaza, načina njihove manifestacije i intervencija koje sprovodi, predstavlja sistem koji je veoma nepogodan za upravljanje. Stoga upravljačke odluke u ovom sektoru moraju biti pažljivo odmerene i strogo usklađene sa stvarnim potrebama, jer se u protivnom mogu dobiti potpuno suprotni efekti. Održavanje određenog stepena operativne gotovosti motornih vozila za rad u svakom trenutku vremena postiže se primenom različitih postupaka (politika i modela) tehničkog održavanja koncipiranih shodno oblasti upotrebe motornih vozila.

Da bi se jedan sistem održavanja ocenjivao, odnosno sagledao njegov uticaj po mestu i vremenu na ukupnu efektivnost transportnog sistema, neophodno je da se što preciznije identifikuju svi bitni parametri koji opisuju pokazatelje pojedinih karakteristika tog sistema i da se odredi karakter uticaja na sistem održavanja motornih vozila u celini. Problem preciznog definisanja i određivanja uspešnosti održavanja leži u širokom spektru uticajnih faktora, koje je nemoguće obuhvatiti jednim postupkom. Nepostojanje jasnih rešenja za ovaj problem, dovelo je do toga da su rukovodioci sektora održavanja uglavnom usmereni na sopstvenu inventivnost i poznavanje upravljačkih mehanizama, načina na koje funkcioniše održavanje, mogućih načina za sprečavanje otkaza, kao i tehnologija koje to omogućavaju. Dakle, činjenica je da se i kod nas i u svetu propisivanje postupaka održavanja u bilo kojim tehničkim uslovima vrši iskustveno. Konkretno vrednosti vremena zamene ili kontrole tehničkog stanja novoprodučenih motornih vozila određuje se na bazi iskustvenih pokazatelja ili primenom već ustaljenih podataka o vremenu zamene kod sličnih sredstava, koje propisuje proizvođač. Jedan od problema u ovom prilazu je i činjenica da proizvođači vrše uglavnom analizu podataka

vozila koja su pod garantnim rokom, što znači maksimalno do pet godina upotrebe. Iz tog razloga se preporuke koje daju ne mogu shvatiti generalno za ceo životni vek vozila. Dakle, preventivni pregledi, kontrole, podešavanje i zamene delova nakon izlaska vozila iz garantnog roka vrše se danas bez egzaktnih pokazatelja koji bi sa određenom verovatnoćom pokazivali da su te operacije neophodne u propisanom trenutku, odnosno da je to optimalno rešenje. Razvoj terotehnologije i primena teorije pouzdanosti u oblasti održavanja tehničkih sistema omogućava rešenje pomenutog problema s ciljem postizanja najvišeg stepena efektivnosti sistema u celini. Odatle se nameće pitanje na koji način je moguće proveriti uspešnost održavanja nekog sistema i kako bi se različiti sistemi održavanja mogli direktno upoređivati.

Budući da je osnovni cilj sistema održavanja postizanje maksimalne gotovosti uz minimalno ulaganje resursa, može se zaključiti da gotovost predstavlja pogodnu veličinu za praćenje uspešnosti i upravljanje održavanjem tehničkih sistema, u ovom slučaju motornih vozila. Naročito iz razloga što je udeo vremena u radu i u otkazu, u ukupnom vremenu pokazatelj koji eliminiše bilo kakvu razliku između tipova tehnoloških sistema, te je vrlo pogodan za poređenje uspešnosti različitih sistema održavanja. Međutim, organizovanje sistema održavanja samo sa ciljem da se ostvari što viši nivo gotovosti može dovesti do znatnog povećanja troškova održavanja.

Odatle održavanje tehničkih sistema u pogledu dinamike i sadržaja sprovođenja postupaka preventivnog održavanja mora biti brižljivo odmereno i strogo usklađeno sa stvarnim potrebama, jer se u protivnom mogu dobiti suprotni efekti od željenih i značajno smanjiti pouzdanost i efektivnost sistema, uz osetno povećanje troškova. Zbog toga se za optimizaciju održavanja koriste modeli ili uprošćene šeme procesa održavanja, koji se opisuju različitim oblicima matematičkih modela. Prevazilaženje problema koji mogu nastati u oblasti optimizacije gotovosti sa stanovišta troškova, usled prirodno suprotstavljenih zahteva, pretpostavlja projektovanje niza procesa i aktivnosti

unutar održavanja, čijim se sprovođenjem omogućava ostvarenje postavljenih ciljeva, a što će u ovoj disertaciji biti izvršeno. U ovom slučaju se postupak optimizacije svodi na optimizaciju definisanog modela procesa održavanja, a ne fizičku suštinu održavanja, kao stohastičkog procesa.

1.1. CILJ I PROGRAM ISTRAŽIVANJA

Kao što je već rečeno zadatak upravljanja sistemom održavanja organizovanih vozničkih parkova sastoji se u postizanju optimalnog nivoa tehničkog stanja i eksploatacione gotovosti, koji obezbeđuju maksimalnu efektivnost funkcionisanja vozila. Ovakav vid upravljanja nemoguće je postići ako se ne vrši premanentni monitoring postojećeg stanja i donose efektivne upravljačke odluke kojima se interveniše u slučaju pogoršanja parametara pouzdanosti sistema. U konkretnom slučaju, u sistemu održavanja organizovanih vozničkih parkova potrebno je za poboljšanje upravljačke funkcije na osnovu postavljenih ciljeva, jasno definisati kriterijume za ocenu efektivnosti, uz teorijsku analizu politike održavanja vozila, i prema njima prilagoditi kompjuterski podržan informacijski sistem.

Svako tehničko održavanje savremenih vozničkih parkova temelji se na kombinovanom održavanju preventivnih aktivnosti (planskog održavanja) i određenom procentu neplaniranih opravki koje nastaju kao posledica slučajnih otkaza. U opštem slučaju izvođenje neplaniranih korektivnih opravki izaziva znatne troškove, jer ne samo da uzrokuje troškove vezane za same zamene komponentata, nego i značajno utiče na gubitke preduzeća usled kvara sistema u eksploataciji. Poseban problem predstavlja i značajan pad gotovosti u ovom slučaju, jer period proveden u otkazu sistema, ili u konkretnom slučaju vozila,

predstavlja ne samo vreme koje je neophodno da se neka otkazala komponenta zameni, nego i vreme transporta sistema do pogona za održavanje (npr. šlepanje autobusa sa linije), zatim period dijagnostike i lokalizacije otkaza iz razloga što je otkaz slučajnog karaktera i ponekad je teško utvrditi njegov uzrok, vreme neophodno za neplansko snabdevanje rezervnim delovima iz magacina, gubici u vremenu usled eventualne neraspoloživosti delova, itd. Imajući u vidu ove nedostatke, logično bi bilo zaključiti da bi generalna tendenca svih organizovanih sistema održavanja trebalo da bude da se procenat korektivnog održavanja smanji na što niži mogući nivo. Međutim, kako bi se smanjio procenat korektivnih aktivnosti bilo bi potrebno vršiti preventivne zamene što je češće moguće, a upravo takva strategija znatno smanjuje gotovost sistema, jer je vozilo konstantno na preventivnim pregledima, čime se takođe povećavaju i troškovi održavanja. Pored toga treba imati u vidu da se zahtevi koji se predstavljaju pred neki vozni park mogu veoma razlikovati. U vojnim sistemima ili voznim parkovima za policijske potrebe akcenat se stavlja na gotovost, pa se sistemi održavanja organizuju tako da se veličina gotovosti maksimizira. U civilnim voznim parkovima, koji se prevashodno koriste za pružanje usluga prevoza putnika ili robe, potrebno je međutim zadovoljiti oba kriterijuma, smanjiti troškove održavanja kako bi se povećala rentabilnost uslužne delatnosti, ali takođe ostvariti i što višu vrednost gotovosti, kako bi se obezbedilo zadovoljenje uslugom od strane korisnika. Proučavajući postojeću literaturu iz oblasti održavanja i teorije efektivnosti, kao i terotehnologije autor je došao do zaključka da postoji veoma malo metoda koje se bave problemom iznalaženja kompromisnog rešenja na bazi kriterijuma troškovi održavanja – gotovost. Upravo ovaj protivrečni zahtev doveo je do formulacije predmetne disertacije.

Cilj istraživanja u ovoj disertaciji je da se na osnovu informacionog sistema transportnog preduzeća sa organizovanim sopstvenim sistemom održavanja, dobije realna slika stanja voznog parka, odnosno da se odrede

parametri efektivnosti (pouzdanosti, gotovosti), da se identifikuju aspekti održavanja autobusnog transporta koji na njega najviše utiču, identifikuje koji su pokazatelji dobro organizovanog sistema održavanja, kako bi se sistem odlikovao visokom pouzdanošću rada, i da se definišu strategije za efektivno upravljanje sistemom održavanja, kako bi se mogla predložiti poboljšanja u sistemu akvizicije podataka i izvršiti reorganizacija upravljačkog i tehnološkog segmenta sistema održavanja. Ideja je, dakle, prvenstveno da se osigura izvor podataka na osnovu kojih bi se mogla kvantitativno oceniti organizacija službe održavanja, identifikovati faktori koji povećavaju gotovost, a smanjuju troškove održavanja i dati smernice za poboljšanja u organizaciji sektora održavanja. Krajni cilj ovog istraživanja je da se formuliše model za optimizaciju gotovosti sa stanovišta troškova, koji bi bio generalno korišćen za projektovanje sistema održavanja motornih vozila, sa mogućnošću njegove šire primene i na sve ostale tehničke sisteme sličnih zahtevanih performansi.

Pretpostavljeno je da:

- postojeći informacioni sistem obezbeđuje podlogu za prikupljanje potrebnih i dovoljnih podataka za analizu i upravljanje efektivnošću voznog parka;
- je ocenu uspešnosti poslovanja voznog parka moguće doneti na osnovu funkcija gotovosti (odnosno srednjeg vremena u radu i u otkazu) i troškova održavanja;
- i da će razvijeni model za optimizaciju gotovosti sa stanovišta troškova omogućiti povećanje ukupne vrednosti efektivnosti (pouzdanosti, gotovosti) voznog parka i omogućiti uslove za projektovanje jednog uspešnog sistema održavanja.

Iako je razvijeni model nastao na osnovu proučavanja sistema održavanja motornih vozila potrebno je istaći da je primenu modela nepotrebno ograničiti

samo na ovu oblast primene, iz razloga što se održavanje bilo kog drugog kompleksnog tehničkog sistema sprovodi prema sličnim principima.

1.2. STRUKTURA DOKTORSKE DISERTACIJE

Disertacija koja je pred Vama nastala je kao rezultat četvorogodišnjeg istraživanja problema održavanja i specifičnosti koje se javljaju pri primeni različitih politika održavanja. Teorijska razrada razvijenog modela potkrepljena je simulacijom modela sa konkretnim podacima iz eksploatacije.

Disertacija je strukturno podeljena u 5 poglavlja.

U uvodnom poglavlju (*poglavlje 1*) dat je uvod u problematiku istraživanja, formulisani ciljevi i program istraživanja i predstavljena struktura doktorske disertacije.

U *poglavlju 2* date su definicije osnovnih pokazatelja iz oblasti teorije održavanja i osnovne teorijske postavke za određivanje gotovosti tehničkih sistema i troškova održavanja. U ovom poglavlju dat je i pregled osnovnih klasifikacija načina organizovanja sistema održavanja koje u u aktuelnoj promeni kako kod nas tako i u svetu. Takođe je dat prikaz specifičnosti organizacije sistema održavanja motornih vozila, kao kompleksnih sistema i definisani su osnovni parametri na osnovu kojih je moguće vršiti efikasno ocenjivanje efektivnosti i efikasnosti sistema održavanja. Poglavlje ima za cilj predstavljanje osnovnih pokazatelja pouzdanosti i predstavlja teorijski uvod za kasniju razradu modela optimizacije.

U *poglavlju 3* izvršena je analiza modela održavanja koji se koriste u svetu i napravljena osnovna klasifikacija ovih modela, koji su podeljeni u četiri

osnovne kategorije: modeli za maksimiziranje gotovosti, modeli za maksimiziranje pouzdanosti i modeli za minimiziranje troškova. U ovom poglavlju prezentovani su najznačajniji modeli iz ove oblasti i napravljena je analiza ograničenosti oblasti njihove primene. Za preventivnu politiku je konstatovano da ima smisla primeniti je ako se preventivnim akcijama zamene sastavnih delova postiže da se svi sastavni delovi održavaju stalno u zoni u kojoj je intenzitet otkaza konstantnog karaktera i/ili kada su troškovi preventivne zamene manji od troškova zamene u slučaju korektivnog održavanja, odnosno kada deo otkáže. U svim predstavljenim modelima je pretpostavljeno da je raspodela vremena pojava otkaza poznata i da su svi njihovi parametri, kao i troškovi održavanja već izmerene veličine, što u suštini znači da je pre svake primene modela optimizacije neophodno snimiti realnu situaciju i odrediti karakteristike pouzdanosti, pa tek onda pristupiti primeni mera poboljšanja. Za sve navedene modele obrađene su operacione karakteristike kojima se one opisuju i koje su dovoljne i za matematičko opisivanje takvog procesa održavanja.

U *poglavljju 4* dat je prikaz spostvenih istraživanja. U tački 4.1. ovog poglavlja predstavljena su teorijska istraživanja i razvijen model za optimizaciju preventivnih zamena na bazi kompromisnog rešenja, zadovoljenja kriterijuma maksimalne gotovosti i minimalnih troškova održavanja. Model je razvijen za komponente tehničkih sistema čija vremena otkaza se pokoravaju Weibull-ovoj raspodeli. U nastavku je opisana primena razvijenog modela i definisana njegova ograničenja i uslovi za praktičnu upotrebu u sistemima upravljanja održavanjem. Budući da se model temelji na određivanju optimalne preventivne zamene komponente sistema, kako bi se zadovoljila dva protivrečna kriterijuma: i maksimalna gotovost i minimalni troškovi održavanja, primena optimalnog perioda zamene samo na jednu komponentu sistema bi bila kontraproduktivna i dodatno negativno uticala na gotovost ili troškove održavanja. Iz tog razloga je u okviru ovog poglavlja predložen metod

za grupisanje komponenata, sa bliskim optimalnim preventivnim periodima zamene, kako bi se postigao optimalni nivo gotovosti vozila u celini. Detaljnija razrada ove metode data je u tački 4.2. u okviru eksperimentalnih istraživanja. Razvijeni model primenjen je na podatke prikupljene tokom 4 godine u transportnom preduzeću Autoprevoz Pančevo (ATP).

U okviru tačke 4.2. dat je prikaz organizacije sistema održavanja transportnog preduzeća u kome se vršilo istraživanje: opisana je struktura sistema, planiranje aktivnosti održavanja i kompjuterski podržan informacioni sistem, koji se koristi za upravljanje sektorom održavanja navedenog preduzeća, pri čemu su istaknuti i izvesni nedostaci u sistemu akvizicije i obrade podataka. Sprovedeno je istraživanje istorije održavanja kako bi se ocenili osnovni pokazatelji pouzdanosti u eksploataciji i kako bi se izvršila analiza mogućnosti za eliminisanje otkaza, ili njihovo odlaganje primenom razvijenog modela za optimizaciju gotovosti na bazi troškova. Na osnovu prikupljenih i obrađenih podataka izvršena je simulacija modela u koji su uvršćeni podaci o komponentama (troškovi održavanja i parametri Weibull-ove raspodele), a takođe identifikovane i „slabe tačke sistema“, odnosno otkazi vozila koji su najkritičniji za ispunjenje zadate misije. U cilju unapređenja programa održavanja sprovedeno je istraživanje kritičnosti delova sistema sa aspekta mogućnosti posledica pojave otkaza, sa ciljem da se izoluju uzročnici otkaza i ocene troškovi njihove pojave, pa je stoga napravljena lista kritičnih delova u pogledu posledica otkaza, koja predstavlja podlogu za izbor koncepcije održavanja delova sistema. Na kraju ovog poglavlja je realizovan postavljeni metod na izabranim komponentama autobusa za koje se raspolagalo nepohodnim tehničkim podacima. Detaljniji prikaz rezultata istraživanja dat je u Prilogu (poglavljje broj 8).

Iz navedenih primera i rezultata dobijenih njihovim rešavanjem vidi se svrsishodnost novog predloženog modela za iznalaženje vremena preventivne zamene sastavnih delova vozila po nivoima održavanja. Imajući u vidu da su

rezultati pouzdaniji ukoliko su povratne informacije o tehničkim parametrima, tj. operacionim karakteristikama tačnije, odatle se vidi važnost primene informacionog sistema u održavanju motornih vozila, ali i tehničkih sistema uopšte. Kao što je u ovom poglavlju prikazano primena razvijenog modela optimizacije gotovosti na bazi troškova omogućava i definisanje potrebne radioničke opreme i alata, kao i njihovo distribuiranje po nivoima održavanja, za koju se dosada obično koristio iskustveni način koncipiranja elemenata sistema održavanja.

U *poglavlju 5* predstavljena su zaključna razmatranja o politici preventivnog održavanja, mogućim modelima u okviru ove politike, njihovoj praktičnoj primeni i istaknuti pravci daljih istraživanja u cilju usavršavanja sistema održavanja u celini. U završnim razmatranjima je dat kritički osvrt na ostvarene i postavljene ciljeve i utvrđeni program rada, izneseni osnovni zaključci o sistemu održavanja koji je bio predmet istraživanja i istaknuta primena automatizovanih upravljačkih informacionih sistema u organizovanim voznim parkovima. U ovom poglavlju posebna pažnja poklonjena je mogućnostima unapređenja sistema održavanja predmetnog voznog parka, sa stanovišta ostvarivanja višeg nivoa efektivnosti sistema. Iz ovakvog pristupa projektovanju sistema održavanja ogleda se veliki, pre svega ekonomski, značaj izučavanja i praktičnog rešavanja problema održavanja. Složenost tehničkih sredstava, sve veći zahtevi koji se pred njih postavljaju, tehnološke promene i porast troškova, bez obzira na činjenicu da je tehnološki razvoj omogućio podizanje nivoa pouzdanosti komponenata, ukazuju koliko je nepohodno posvetiti posebnu pažnju projektovanju sistema održavanja, koji se bazira kako na ekonomskim pokazateljima uspešnosti poslovanja, tako i na pokazateljima pouzdanosti komponenata.

2.

ORGANIZOVANI SISTEMI ODRŽAVANJA VOZILA I OSNOVNI POKAZATELJI NJIHOVE USPEŠNOSTI

Osnovni zadatak i cilj organizovanih voznih parkova jeste vršenje prevoza putnika, pa su odatle i osnovni proizvodni sektori ovih preduzeća, odnosno njihovi radni elementi: *prevozni rad* i *tehničko održavanje* voznog parka. Efektivnost i efikasnost su merila uspešnosti navedenih poslovnih sistema. Pod efektivnošću se podrazumeva merilo ostvarenja cilja, dok se pod efikasnošću podrazumeva merilo uspešnosti transformacionog procesa, koje se izražava veličinom utrošenih resursa po jedinici proizvoda, odnosno u ovom slučaju usluge prevoza. Da bi jedno preduzeće koje se bavi transportom putnika opstalo u uslovima otvorenog tržišta, neophodno je da obezbedi kontinuirani rast efektivnosti i efikasnosti, a to je zadatak funkcije upravljanja.

Za specifičan profil sposobnosti za funkcionisanje bilo kog modernog industrijskog sistema uglavnom su odgovorna dva faktora [1]:

1. *unutrašnje karakteristike sistema* kao što su: radna sposobnost, pouzdanost, trajnost, i pogodnost održavanja, čime se direktno određuje učestalost izvođenja radnih zadataka i zadataka održavanja, složenost ovih zadataka i lakoća izvršavanja funkcije podrške,
2. *karakteristike korišćenja sistema* koje pokreće radni scenario, koncept/politika održavanja i logistička funkcija, određenog korisnika u određenom radnom okruženju, tokom korisnog veka trajanja sistema.

Shodno tome, deo vremena tokom koga je razmatrani sistem funkcionalan, zavisi od interakcije između unutrašnjih karakteristika sistema, počev od funkcije projektovanja i korišćenja, pod vođstvom određenih poslovnih zahteva i misija.

Sva ova pitanja zajedno sačinjavaju jedinstvenu karakteristiku sistema poznatu kao njegova *radna efektivnost*, koja predstavlja sposobnost tog sistema da ispuni svoju očekivanu ulogu tokom svog veka trajanja. Radna efektivnost je zajednička mera tehničke efektivnosti i poslovne politike korisnika u pogledu rada, održavanja i logistike. U skladu sa tim organizaciona struktura preduzeća u idealnom slučaju treba da predstavlja zatvorenu celinu, koja omogućava najveću operativnost, punu odgovornost rada, najažurniju cirkulaciju poslova kroz pojedine službe i organizacione jedinice i maksimalnu rentabilnost rada. Sve ovo utiče na efektivnost funkcionisanja vozila i voznog parka u celini i definiše troškove rada i cenu prevoza, odnosno konkurentnost na transportnom tržištu. Iz tog razloga transportna preduzeća trebalo bi tako tehnološki i informaciono organizovati da razmena informacija i podataka bude vrlo efikasna, odnosno u realnom vremenu, radi pravovremenog reagovanja na promene, u smislu odlučivanja o brojnim procedurama i zahtevima sa kojima se svakodnevno suočavaju, i to od izmene propisa, regulative, zahteva u pogledu zaštite okoline, informacija i podataka o njihovoj tehničkoj ispravnosti, uz zadovoljenje i svih ostalih kriterijuma.

U atmosferi sveprisutnih smanjenja u budžetu poslednjih godina, upravljanje sistemom održavanja vozničkih parkova autobusa dobija na sve većem značaju, pa zato *menadžeri održavanja* moraju konstantno da vrše monitoring svih operacija održavanja, kako bi osigurali da radna snaga, oprema, objekti za održavanje i finansijski resursi budu korišćeni na najefektniji mogući način. S tim u vezi, ovde se svakako javlja problem nedostatka kvalitetnih uputstava za upravljanje održavanjem, kako bi se osigurao što viši nivo efektivnosti voznog parka. Bez standardizovanog pristupa ovom problemu, menadžeri su ostavljeni

da samostalno prave planove održavanja, koji se obično temelje na preporukama proizvođača. Pored toga, primetno je da se u manjim voznim parkovima upravljanje održavanjem uglavnom još uvek oslanja na tradicionalne postavke kojima se trendovi troškova po pravilu dobijaju neautomatizovano.

U uslovima transporta putnika kontrola sistema održavanja se sprovodi sa ciljem da se maksimiziraju performanse transportnog sistema, kako bi se povećala efikasnost vozila, a time direktno uticalo i na povećanje isplativosti, ali i sigurnosti putnika. Sa druge strane proizvođači motornih vozila vrše monitoring sistema održavanja njihovih kupaca, kako bi eventualnim poboljšanjima u konstrukciji vozila, mogli da utiču na njegovu pouzdanost, pogodnost za održavanje i uopšte zadovoljenje zahteva korisnika. Zanimljivo je, međutim, da preduzeća na našim prostorima, koja se bave transportom putnika imaju za cilj obavljanje iste delatnosti, ali skoro svako od njih ima jedinstven način kontrole efektivnosti sistema održavanja. Razlikuju se kako u tumačenju rezultata, tako i u kriterijumima za ocenjivanje, pa je samim tim i nemoguće vršiti bilo kakve analize u smislu upoređivanja njihovih rezultata. Današnji organizovani vozni parkovi u našoj zemlji suočavaju se i sa problemom zastarelosti i potrebom da što hitnije budu osavremenjeni, a pored ovog problema, javlja se i potreba da se proširi prostor njihovog delovanja, poboljša frekventnost i efektivnost usluge. Stoga je potrebno naći organizacioni sistem i metode jedinstvenog rukovođenja delatnošću preduzeća, kao i usmeravanje njihovog rada u cilju dobijanja visokokvalitetnog i jeftinijeg izvršenja saobraćajnih usluga.

S obzirom na činjenicu da je upravljačke odluke, sa ciljem poboljšanja poslovanja transportnih preduzeća, nemoguće donositi bez konkretnih ocena postojećeg stanja osnovnih proizvodnih sektora ovih preduzeća, u koje spada eksploatacija i održavanje, neophodno je sprovesti detaljna istraživanja u cilju

otklanjanja svakodnevnih problema i neizvesnosti u radu i mogućnosti uvođenja savremenih tehnologija upravljanja ovakvim sistemima.

Kao što je rečeno, kvalitet sistema održavanja u voznim parkovima može se utvrđivati preko efektivnosti vozila koja učestvuju u sistemu pružanja usluga prevoza putnika, jer je postignuti nivo efektivnosti upravo rezultat organizacijskih, konceptijskih i tehnoloških rešenja primenjenih u sistemu održavanja. Za ocenu efektivnosti i sistema održavanja autobusa mogu se u načelu koristiti dva pristupa:

- *kvalitativni pristup*, koji se zasniva na sagledavanju svih pokazatelja koji utiču na kvalitet efektivnosti i sistema održavanja, rangiranjem njihovog značaja i dobijanjem ukupne ocene te alternative održavanja
- *kvantitativni pristup*, koji se zasniva na matematičkom povezivanju svih ili što većeg broja pokazatelja kvaliteta sistema održavanja, prikupljanju podataka tih pokazatelja iz realnih uslova i izračunavanju vrednosti kriterijuma

U praksi se najčešće koristi kvantitativni pristup, jer isključuje mogućnost subjektivnog tumačenja, pa je samim tim i verodostojniji, i iz tog razloga biće primenjen i u okviru ove disertacije.

2.1. SLOŽENOST SISTEMA ODRŽAVANJA VOZNIH PARKOVA

Tehničko održavanje vozila predstavlja sektor od kojeg bitno zavisi uspešnost rada vozila, a veza između transportne tehnologije i tehničke

eksploatacije (održavanja) može se uočiti preko osnovnih ciljeva održavanja koji se svode na [2]:

- stalnu spremnost transportnog vozila za pružanje usluga,
- pouzdanost transportnog vozila u određenim uslovima primene,
- optimalnu (minimalnu) potrošnju pogonske energije, maziva i drugih materijala,
- minimalne troškove održavanja, a time i nižu cenu usluge i dr.

Kako danas treba više razmišljati o održavanju ilustruju i sledeći pokazatelji [3]:

- od ukupnog broja zaposlenih gotovo svaki treći radi u službi održavanja. U SAD i Velikoj Britaniji je taj procenat nešto manji, ali je zato nivo tehničko-tehnološke opremljenosti funkcije održavanja znatno viši;
- zastupljenost viših kvalifikacija (VSS i VS) u održavanju je relativno niska. U SAD procenat inženjera u održavanju iznosi 14%, što je indirektni pokazatelj tehničkog nivoa ove funkcije;
- dugoročno planiranje u održavanju danas se primenjuje u oko 40%, a praćenje istorije opreme se vrši u 55% proizvodnih sistema. U industriji SAD u oko 80% proizvodnih sistema se primenjuju standardna vremena za aktivnosti održavanja, u 75% se koriste tehnike mrežnog planiranja, za planiranje, terminiranje i upravljanje radovima održavanja, a u više od dve trećine proizvodnih sistema se vrši praćenje istorije opreme.

Dakle, projektovana sigurnost funkcionisanja ili funkcija efektivnosti nekog voznog parka obezbeđuje se tehnologijom održavanja uz prikladno odabranu koncepciju i organizaciju, koristeći raspoložive elemente logističke podrške. Povećanje stepena ispravnosti ili pouzdanosti pojedinačnih vozila, odnosno autobusa koji se koriste u organizovanim voznim parkovima i održavaju u organizovanim sistemima održavanja, a time i povećanje kvaliteta

prevoza sa stanovišta urednosti, tačnosti i bezbednosti uz smanjenje troškova, može da se smatra misijom, odnosno funkcijom cilja jednog sistema održavanja¹.

Uobičajeni uzroci nefunkcionalnosti sistema održavanja su:

1. nedostatak u organizaciji
2. nedostatak obuke kadra
3. nedostatak resursa
4. nedostatak radne discipline
5. nedostatak ekspertske upravljačke podrške

U slučaju održavanja vozila u organizovanim voznim parkovima autobusa postoji specifična dimenzija upotrebnoq kvaliteta u okviru koje se smatra da je održavanje dužno da omogući da vozilo, u svakom trenutku kada se za to ukaže potreba bude raspoloživo, odnosno spremno za izvršenje postavljenog zadatka. Odatle sledi da postizanje visokog kvaliteta održavanja predstavlja praktično tumačenje zahteva za postizanjem najveće moguće sigurnosti funkcionisanja, odnosno efektivnosti vozila. U tom slučaju komponente efektivnosti sistema ili sigurnosti funkcionisanja imaju sledeće značenje [4]:

- *raspoloživost* određuje sposobnost vozila da "pristupi" izvršenju postavljenog zadatka (u trenutku kada se ukaže potreba);
- *gotovost* označava meru iskorišćenja vremena u radu u odnosu na ukupno vreme korišćenja sistema, koje je jednako zbiru vremena u radu i ukupnog vremena provedenog u stanju otkaza;

¹ Isti cilj može da se postavi i prilikom usavršavanja postojećeg sistema održavanja u voznim parkovima.

- *performanse pouzdanosti* predstavljaju sposobnost sistema, koji se pozitivno odazvao pozivu da stupi u dejstvo, da tu svoju sposobnost zadrži sve dok za tim postoji potreba;
- *performanse pogodnosti održavanja* označavaju spremnost sistema održavanja da sve neophodne postupke održavanja izvrši u za to predviđenom vremenu;
- *performanse logističke podrške održavanja* određuju potrebni (ili poželjni) nivo podrške održavanju i stepen iskorišćenja ukupnog raspoloživog potencijala.

Svaka od ovih veličina je dovoljno kompleksna i u sebi sadrži veći broj kvalitativnih i kvantitativnih pokazatelja efektivnosti. Lako je uočiti da se veličina gotovosti dobija kada se raspoloživost izrazi u funkciji vremena, a ona predstavlja još jedan od vitalnih atributa sposobnosti sistema da postigne neophodnu sigurnost funkcionisanja. Monitoring gotovosti može da se tumači kao sredstvo za postizanje visoke efektivnosti vozila koje se održava, ali i kao mera kojom se podržava postizanje najveće moguće efektivnosti samog sistema održavanja². U saglasnosti sa tim raspoloživost, gotovost i pouzdanost možemo da smatramo njegovim inherentnim svojstvima.

2.2. ZADACI SISTEMA ODRŽAVANJA

Sistem održavanja u organizovanim voznim parkovima autobusa ima zadatak da omogući neprekidno održavanje potrebnog nivoa pouzdanosti i

² Za kompleksne sisteme gubici usled pojave otkaza, kao i njihova ukupna efektivnost, mogu da se poboljšaju ako se gotovost održava na utvrđenom nivou. Iz tog razloga je maksimiziranje gotovosti usvojeno kao kriterijum za određivanje periodičnosti preventivnog održavanja, tj. određivanje intervala održavanja, jer se tako kao što će biti pokazano posredno utiče i na troškove održavanja.

gotovosti vozila, uzimajući u obzir i komponentu troškova³. Odatle je osnovni cilj sistema održavanja da održava stanje, funkcionalnost i operativnost komponenata i sistema u celini, a osim funkcionalnosti da obezbeđuje [3]:

- operativnu efikasnost,
- kvalitet i pouzdanost,
- efektivno tehničko održavanje i
- bezbednost funkcionisanja.

S tim u vezi elementi sistema održavanja trebalo bi da budu uspešno integrisani kako bi se dostigli sledeći ciljevi:

- održavanje stanja, funkcionalnosti i operativnosti sistema;
- redukovanje broja otkaza ili srednjeg vremena između otkaza;
- redukovanje vremena provedenog u otkazu ili srednjeg vremena opravki;
- redukovanje broja kritičnih otkaza;
- poboljšanje obučenosti kadra;
- povišenje pouzdanosti i gotovosti sistema.

Da bi se jedan sistem održavanja ocenjivao, tj. sagledao njegov uticaj po mestu i vremenu na ukupnu gotovost voznog parka, neophodno je da se svi bitni parametri koji opisuju pokazatelje pojedinih svojstava tog sistema što preciznije identifikuju i da se odredi karakter uticaja na sistem održavanja motornih vozila u celini. U tu svrhu je veoma prikladno da se upotrebe

³ Prilikom organizovanja sistema održavanja treba imati na umu da se nivo pouzdanosti sistema utvrđuje u toku projektovanja sistema i ne može se povećavati iznad vrednosti ugrađene pouzdanosti povećavanjem obima održavanja, tj. više održavanja ne znači bolju pouzdanost sistema. Za složene sisteme kakva su vozila, efektivnost održavanja uglavnom se temelji na smanjenju broja korektivnih intervencija.

kvalitativni i kvantitativni pokazatelji održavanja⁴. Kada se upravljanje održavanjem odnosi na organizovane vozne parkove autobusa, ovi pokazatelji mogu da se razvrstaju u sledeće grupe [4]:

- *pokazatelji o voznom parku*: sastav i struktura voznog parka, broj i struktura vozača i radnika na održavanju, itd.
- *pokazatelji obima rada voznog parka*: broj linija i njihova dužina, broj(mesta)x(km) ili (putnik)x(km), radno vreme vozila, eksploatacijska brzina, itd.
- *pokazatelji kvaliteta vozila u voznom parku*: pouzdanost, gotovost, srednje vreme rada između otkaza, broj otkaza, koeficijenti iskorišćenja voznog parka, koeficijent ispravnosti voznog parka, ostvarenje reda vožnje,
- *pokazatelji kvaliteta sistema održavanja*: pogodnost održavanja, srednje vreme opravke, odnos ukupnog vremena trajanja preventivnih i korektivnih održavanja, odnos broja pojava otkaza prema ukupnom broju održavanja, iskorišćenost kapaciteta za održavanje, snabdevenost rezervnim delovima, potrošnim i pogonskim materijalima, obučenosť radnika i dr,
- *pokazatelji troškova korišćenja, održavanja i troškova zaliha itd.*

Pokazatelji kvaliteta sistema održavanja su pojedinačni ili skup parametara kojim se posredno ili neposredno broјčano iskazuju pojedina rešenja sistema održavanja, odnosno koji omogućavaju upoređivanje dve ili više mogućnosti sistema održavanja kao i ocenjivanje kvaliteta održavanja. Na osnovu činjenice da je opšti cilj, kojem sistem treba da odgovori, postizanje

⁴ Kvalitativni pokazatelji održavanja opisuju kakvo održavanje treba da bude da bi se postigli željeni efekti, a kvantitativni pokazatelji održavanja se obično izražavaju preko funkcije pogodnosti održavanja, gotovosti (raspoloživosti) ili neke druge osnovne ili pomoćne karakteristike sistema održavanja.

takvog stanja autobusa kojim se obezbeđuje tražena pouzdanost i gotovost uz minimalne troškove održavanja, može se vršiti ocenjivanje kvaliteta sistema održavanja.

Kvalitativni zahtevi za održavanje vozila mogu da se izraze kroz zahteve da održavanje doprinese da posmatrana vozila budu u stanju da:

- izvrše sa uspehom zadatu funkciju cilja, tj. da ostvare zahtevane performanse,
- ostvare zahtevano ili očekivano trajanje faze korišćenja u okviru životnog ciklusa, a naročito u pogledu dužine trajanja rada prema ukupnom kalendarskom vremenu.

Pored toga kvalitativni zahtevi za održavanje vozila mogu da se odnose i na samo održavanje tako što se traži da budu:

- ispunjeni zahtevi u pogledu postavljene koncepcije, tehnologije i organizacije održavanja, uključujući i elemente logistike;
- ispunjeni i eventualni zahtevi u vezi sa okolinom u kojoj se autobusi koriste i u kojoj sistem održavanja izvršava svoju misiju.

Kako bi se odredili kvalitativni i kvantitativni pokazatelji efektivnosti održavanja neophodno je raspolagati podacima koji opisuju realne sisteme održavanja. Podaci o održavanju treba da osiguravaju sistematski pregled i analizu efektivnosti sistema održavanja, a "istoriju održavanja" bi trebalo obavezno koristiti kako bi se utvrdio:

1. nivo dostizanja ciljeva sistema održavanja
2. trendovska analiza stanja sistema
3. frekvencija pojave otkaza sistema
4. uzroci i posledice otkaza sistema

Na osnovu analize podataka iz eksploatacije, odnosno uzroka koji dovode do pojava stanja u otkazu sastavnih elemenata vozila i intenziteta otkaza, sistem održavanja treba da ostvari:

- uslove za potpuno opterećenje vozila, još u početnom periodu eksploatacije eliminisanjem "slabih delova", kao i stvaranjem povoljnih uslova za uzajamnu razradu svih elemenata, prema uputstvima proizvođača,
- da obezbedi sistem za zamenu ili obnavljanje samo slučajno nastalih otkaza, u periodu korišćenja vozila, i
- da u cilju ostvarenja traženih tehničko-eksploatacionih karakteristika obezbedi sprovođenje pravovremenih zamena svih delova čiji je vek trajanja ograničen.

Prvi zahtev je moguće ostvariti pod uslovom da je sistem održavanja tako organizovan da zadovoljavajuće eliminiše pojave otkaza, koji nastaju kao posledica ugrađenih grešaka u toku projektovanja i fabrikacije vozila⁵, dok se drugi zahtev ostvaruje koncipiranjem takvog sistema održavanja, koji je osposobljen da brzo i efikasno otkloni slučajne otkaze, koji nastaju kao posledica inherentnosti svakog sastavnog dela sistema i nepoštovanja uputstava vezanih za pravilno korišćenje sistema.

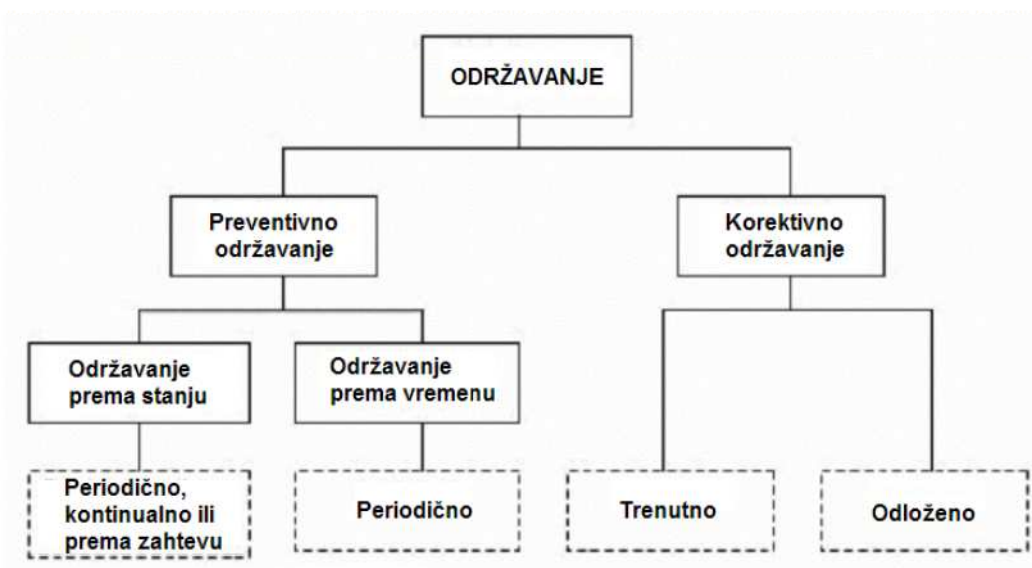
2.3. PROCES ODRŽAVANJA

Proces održavanja predstavlja skup postupaka i aktivnosti koje se tokom vremena sprovode nad nekim tehničkim sistemom u cilju sprečavanja ili otklanjanja pojave stanja u otkazu, a karakteriše se određenim odnosima

⁵ To je uglavnom garantni period za koji je odgovoran proizvođač.

između pojedinih postupaka održavanja i vremena u kojima se postupci izvode. Održavanje je određeno primenjenom koncepcijom, organizacijom i tehnologijom, tako da svaka komponenta održavanja na svoj način doprinosi povećanju kvaliteta tehničkog sistema, kroz podršku obezbeđenju željenog upotrebnog kvaliteta ili efektivnosti sistema. Sistemi održavanja u organizovanim voznim parkovima su koncepcijski obično rešeni tako da omogućće korektivno i preventivno održavanje (slika 2.1).

Preventivni postupci održavanja uključuju preventivne aktivnosti, koje se sprovode po unapred propisanim intervalima i proceduri izvršavanja, a korektivne aktivnosti, se iniciraju nakon što je otkaz već nastao kako bi vratile sistem ponovo u operativno stanje i za njih je nemoguće u detalje propisati proceduru izvodjenja ili egzaktno odrediti vreme neophodno za njihovo izvodjenje.



Slika 2.1. Koncepcije održavanja

Uopšteno gledano je funkcionisanje sistema održavanja u uslovima transporta putnika jedna dinamička operacija. Vozila su konstantno ili u operaciji ili na održavanju, usled periodičnih preventivnih pregleda ili

korektivnog održavanja usled iznenadnih otkaza. To znači da menadžer održavanja konstantno vrši usmeravanje vozila ili u eksploataciju, ili u održavanje, s obzirom na raspoložive resurse i zahteve koji se postavljaju pred transportni sistem.

U cilju povišenja efektivnosti sistema održavanja u celini ne treba gubiti iz vida da je cilj postupaka održavanja, koji uključuju preventivne aktivnosti ne samo minimalizacija verovatnoće otkaza (ili degradacije) sistema i/ili neke njegove komponente, nego i otkrivanje skrivenih nedetektovanih otkaza rezervnih komponenata sistema, čime se zapravo smanjuje verovatnoća pojave iznenadnih otkaza u eksploataciji. Postupci korektivnog održavanja, koji se veoma često u anglo-saksonskoj literaturi jednostavno nazivaju opravkom (engl. *repair*) obuhvataju aktivnosti: detekcije i lokalizacije otkaza, lokalizaciju, korektivnu aktivnost opravke i funkcionalni test pre ponovnog puštanja u rad.

U organizovanim voznim parkovima problem održavanja može podeliti u tri kategorije: dnevno održavanje (opsluživanje), preventivno održavanje i interventno (korektivno) održavanje, a postupci koji spadaju u ove kategorije su sledeći:

- *opsluživanje* - obuhvata npr. aktivnosti snabdevanja vozila gorivom, sredstvima za podmazivanje, fluidom u rashladnom sistemu, održavanje radnog pritiska u pneumaticima i sl. Ovi postupci se u zavisnosti od interne organizacije održavanja sprovode jedanput dnevno ili pre svakog izlaska vozila u operaciju, tako da posebno planiranje periodičnosti ovih aktivnosti nije neophodno;
- *nadzor* - obuhvata generalno aktivnosti povremene kontrole stepena zagrejanosti fluida u sistemu za hlađenje, pritiska i kontaminacije ulja, zauljenosti motora i sistema hidraulike i sličnih pojava. U zavisnosti od operatera ove aktivnosti se takođe mogu sprovoditi i tokom dnevnog

opsluživanja, ali se obično sprovode kao deo aktivnosti plansko-preventivnog održavanja;

- *provera funkcija* - obuhvata aktivnosti kontrole radnih karakteristika autobusa u odnosu na data područja dozvoljenih odstupanja. Ova aktivnost obavezno se sprovodi nakon izvodjenja aktivnosti održavanja, bilo ono preventivnog ili korektivnog karaktera;
- *preventivne zamene* - su aktivnosti preventivnog odražavanja kojima se zapravo produžava vek sistema i smanjuje rizik da dodje do iznenadnih otkaza u eksploataciji. Budući da su preventivne zamene zapravo najskuplji postupci preventivnog održavanja, kako bi se ostvarila efikasnost poslovanja neophodno je sprovesti optimizaciju perioda zamena, ali tako da se postignu minimalni troškovi uz maksimalnu gotovost. O ovom problemu biće više reći u nastavku.;
- *opravke* - su aktivnosti koje spadaju u interventno, tj. korektivno održavanja što znači da se sprovode nakon pojave otkaza i imaju za cilj vraćanje vozila u stanje u radu po posebno razrađenom postupku rada od strane proizvođača. Shodno tome one obuhvataju aktivnosti podešavanja (otklanjanje nečistoća, pritezanje, zamene zaptivnih elemenata, kalibracije i sl) i zamene otkazalih komponenata. Opravke se sprovode kao posledica pojave iznenadnih otkaza u eksploataciji, i to su zapravo najskuplji postupci održavanja iz razloga što ne obuhvataju samo troškove koji nastaju kao posledica zamene otkazalog dela, nego i gubitke usled prekida rada vozila, njegovog fizičkog povlačenja iz eksploatacije (šlepanja), i troškove koji odlaze na dijagnostiku sistema, u slučaju da otkaz koji je nastao nema jednoznačne manifestacione karakteristike.

2.3.1. TEHNOLOGIJA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA

Tehnologijom preventivnog održavanja definisan je postupak i način odvijanja preventivnog održavanja tehničkih sistema i odvija se na osnovu propisanih tehnoloških postupaka za izvođenje aktivnosti održavanja.

Preventivno održavanje takođe može imati različite koncepcije. Neke od osnovnih koncepcija koje su prisutne u svetu su: *održavanje prema stanju*, *održavanje prema pouzdanosti*, *kampanjsko održavanje* i *konzervaciono održavanje*.

- **Održavanje prema stanju** (engl. *Condition Based Maintenance*) - sastoji se od niza dijagnostičkih postupaka sa ciljem utvrđivanja stanja sistema i trendovskih analiza. Aktivnosti održavanja se sprovode samo ako se utvrdi da su neophodne za pravilno funkcionisanje sistema u budućnosti kako bi se sprečili otkazi.
- **Održavanje prema pouzdanosti** (engl. *Reliability Centered Maintenance*) - koristi analitičke metode kako bi se definisao program održavanja na osnovu nivoa pouzdanosti pojedinih komponenata sistema. Fokusira se na kontinuiranu analizu istorije stanja sistema. Ovaj pristup održavanju se više bazira na analizi funkcionisanja sistema u celini nego njegovih pojedinih komponenata. Primena održavanja prema pouzdanosti uslovljava specijalističko znanje i iskustvo, kako bi se vršila pravilna ocena pouzdanosti.
- **Kampanjsko održavanje** - vezuje se obično za preventivno održavanje, ali zapravo obuhvata i postupke korektivnog održavanja, koji nisu bili toliko kritični za funkcionisanje sistema pa su odloženi. Kampanjsko održavanje se izvodi isključivo u vreme kada sistem nije odnosno ne bi trebalo da bude u upotrebi. Najpovoljnije je ako se izvodi planski.
- **Konzervaciono održavanje** - primenjuje se u slučaju kada sistem treba da se isključi iz upotrebe i da ostane u tom stanju tokom nekog perioda.

Tada se sprovode aktivnosti održavanja preventivnog karaktera sa ciljem konzerviranja sistema.

Koja od koncepcija preventivnog održavanja će biti primenjena zavisi prvenstveno od uslova kojima se ostvaruju minimalni troškovi održavanja ili maksimalna gotovost.

Proces preventivnog održavanja organizovanih vozničkih parkova sastoji se od dva osnovna podprocesa koji su međusobno povezani i zavisni [5]. To su:

- *Preventivno – operativno održavanje*, i
- *Preventivno – investiciono održavanje*

U okviru svakog od ovih podprocesa postoje određene aktivnosti, koje se fazno odvijaju u okviru preventivnog održavanja.

Preventivno – operativno održavanje operativno prati tehnološki sistem proizvodnje (u datom slučaju pružanja usluga prevoza). Ono ima za zadatak da obezbedi radnu sposobnost tehničkih sistema u toku procesa proizvodnje u smislu sprečavanja pojave otkaza, kako bi se proces odvijao neprekidno i bez zastoja.

Sa druge strane *preventivno-investiciono održavanje* organizaciono je odvojeno od operativne proizvodnje i odvija se u okviru posebnih organizacionih celina. Ono se obavlja u vidu planskih opravki u životnom ciklusu vozila (kao remontno održavanje).

Preventivno-operativno održavanje obuhvata sledeće preventivne poslove održavanja:

1. *Periodične preglede*: preventivne preglede, čišćenje, antikorozivnu zaštitu, podmazivanje;

2. *Traženje i otkanjanje slabih mesta u vozilima* (ili u tehničkim sistemima uopšte);
3. *Kontrolne preglede*;
4. *Tehničku dijagnostiku nižeg nivoa* (u slučaju primene koncepcije održavanja prema stanju);
5. *Otklanjanje otkaza* (svih nastalih otkaza između pojedinih opravki sastavnog dela ili sistema u celini);
6. *Male opravke* (ponekad i srednje opravke) u zavisnosti od organizacije sistema održavanja.

Preventivno-investiciono održavanje obuhvata sledeće preventivne poslove održavanja:

- *male opravke* – koje obuhvataju opravku ili zamenu sastavnih delova vozila s najkraćim radnim vekom, a potrebna demontaža vrši se na nivou agregatskih celina (kompletnih modula) kako bi se smanjilo trajanje aktivnosti održavanja. Ove opravke odvijaju se preventivno na vozilu, pri čemu nije neophodno da se vozilo pomera u specijalne radionice.
- *srednje opravke* – obuhvataju zamenu ili opravku komponenata sa dužim radnim vekom. Vozilo se obično šalje u radionicu za korektivno održavanje gde se sprovode sledeće aktivnosti: tehnička dijagnostika, demontaža sastavnih komponenata, regeneracija sastavnih delova, funkcionalna regulacija i provera funkcionisanja sastavnih celina višeg reda.
- *velike opravke* – nazivaju se još generalnim remontima, predstavljaju najviši nivo preventivnih aktivnosti, kojima se vrši regeneracija sistema u celini. Ona obuhvata opravku ili zamenu komponenata sistema koje imaju najduži radni vek. Kod velike opravke vozilo se šalje u posebne radionice za investiciono održavanje, gde se vrši totalna demontaža sistema do nivoa sastavnih elemenata. Ostale

aktivnosti su analogne kao i kod srednje opravke, s tim što su ovde obimnije i detaljnije.

2.3.2. HIJERARHIJSKO ODRŽAVANJE VOZILA U VOZIM PARKOVIMA

U većini organizovanih sistema održavanja motornih vozila, održavanje se sprovodi na hijerarhijskom principu. U tom slučaju, koja će se preventivna aktivnost održavanja sprovoditi i na kojem nivou treba da pokaže analiza pouzdanosti svakog elementa vozila koji ima tendenciju istrošenja (tj. ima rastuću brzinu pojave intenziteta otkaza), kao i analiza troškova održavanja. U principu se sistemi organizuju tako da su najučestalije aktivnosti male opravke i osnovno održavanje, u koje spadaju preventivni pregledi, čišćenje, antikorozivna zaštita, podmazivanje i kontrolni pregledi za utvrđivanje stanja komponenata, koji obuhvataju tehničku dijagnostiku nižeg nivoa, a srednje i velike opravke sprovode se samo u slučaju velikog kvara ili godišnjeg remonta. Broj nivoa održavanja zavisi od koncepcije sistema koji ga realizuje, ali takođe i od složenosti tehničkog sistema koji se održava. Prihvatanje određenog broja nivoa, bez vršenja optimizacije, može imati negativne ekonomske posledice, i čak uticati na smanjenje gotovosti voznog parka, uprkos činjenici da je cilj ove organizacije upravo suprotan. Iz tog razloga optimizacija mora da se vrši na bazi pouzdanosti komponenata vozila, teorije verovatnoće i operacionih istraživanja. Svaki nivo održavanja treba da bude opremljen kadrovski i materijalno u skladu sa propisanim zadacima pojedinih nivoa.

Najčešće su sistemi održavanja motornih vozila podeljeni u četiri nivoa.

1. *nivo* – osnovno održavanje,
2. *nivo* – laki remont,

3. *nivo* – srednji nivo,

4. *nivo* – generalni remont.

Kao što je već opisano u prethodnoj tački na *prvom nivou* se obično sprovode aktivnosti preventivno - operativnog održavanja i u tom slučaju vozilo nije neophodno slati u neku specijalnu radionicu. Na ovom nivou se takođe vrše i korektivne zamene, koje se mogu izvesti bez specijalnog obezbeđenja rezervnih delova ili alata, tj. zamenama rezervnih delova kojima raspolaže komplet svakog vozila i pomoću alata koga ima u svakom kompletu svako vozilo.

Na *drugom nivou* se sprovode nešto komplikovanije aktivnosti u radionici za lake opravke. Naime preventivno održavanje na ovom nivou svodi se na postupke pregleda i podešavanja veličina, koje su se zbog rada vozila promenile. Propisima je učestalost tih aktivnosti fiksirana i podešavanje se vrši bez obzira na stanje komponente. Nastali otkazi na vozilu, koji prema određenim kriterijumima spadaju u grupu otkaza za koje je nadležan ovaj nivo održavanja, otklanjaju se takođe u radionici za laki remont.

Na *trećem nivou* su aktivnosti koje je moguće sprovesti samo u radionici za srednje opravke, gde se sprovode sledeće aktivnosti: tehnička dijagnostika, demontaža sastavnih komponenata, regeneracija sastavnih delova, funkcionalna regulacija i provera funkcionisanja sastavnih celina višeg reda, a takođe otklanjaju i otkazi koji su postavljenim kriterijumom određeni za otklanjanje na tom nivou.

Na *četvrtom nivou* je generalni remont vozila, koji se obično vrši u radionici za generalne opravke ili se vozilo, što je najčešći slučaj, upućuje u neku spoljnu radionicu, koja je specijalizovana za generalne opravke određenog tipa vozila.

Pojedini hijerarhijski sistemi organizovani su u tri nivoa održavanja, pa se u tom slučaju nivo lakog i srednjeg remonta objedinjuje u okviru jednog nivoa

sa proširenim nadležnostima, a kod hijerarhijskih sistema sa pet nivoa zapravo se uvodi još jedan nivo između trećeg i četvrtog nivoa.

Ovde treba naglasiti da najveći uticaj na broj nivoa preventivnog održavanja ima proizvođač, koji propisuje do kojeg maksimalnog intervala je neophodno zameniti neku komponentu ili izvršiti dodatno podešavanje. Budući da su organizovani parkovi vozila, obično nehomogeni (tj. u okviru voznog parka zastupljeni su tipovi vozila različitih proizvođača), kako bi se vozni park što efektivnije organizovao neophodno je vršiti podešavanje dužine intervala preventivnih aktivnosti. Tu se naravno uvek postavlja pitanje *cost-benefit* optimizacije, budući da ako proizvođač na primer savetuje da se svećice zamene na svakih 15.000 km, pitanje je koliki je rizik da se ovaj interval produži. Ova dilema je značajna sa stanovišta gotovosti i pouzdanosti, kao i sa stanovišta ekonomskih kriterijuma. Generalno su intervali koje propisuje proizvođač osrednjene vrednosti, koje se temelje na osrednjenim uslovima eksploatacije i to tako kako ih proizvođač ocenjuje, što se ulgavnom temelji na pretpostavkama. Stoga pravu ocenu kada treba vršiti preventivno održavanje ili zamenu komponente treba da da kompleksna analiza i to na osnovu zahteva kriterijuma i ograničenja, koji su bitni za taj sistem.

Na osnovu iznetih specifičnosti sistema hijerarhijskog održavanja može se zaključiti da postoje realne mogućnosti optimizacije održavanja primenom preventivnog i korektivnog održavanja i raznih modela između njih. Optimizacijom preventivnog održavanja preko njegovih operacionih karakteristika mogu se smanjiti potrebe za korektivnim održavanjem na svim nivoima i time postići viši nivo efektivnosti sistema u kome vozila funkcionišu.

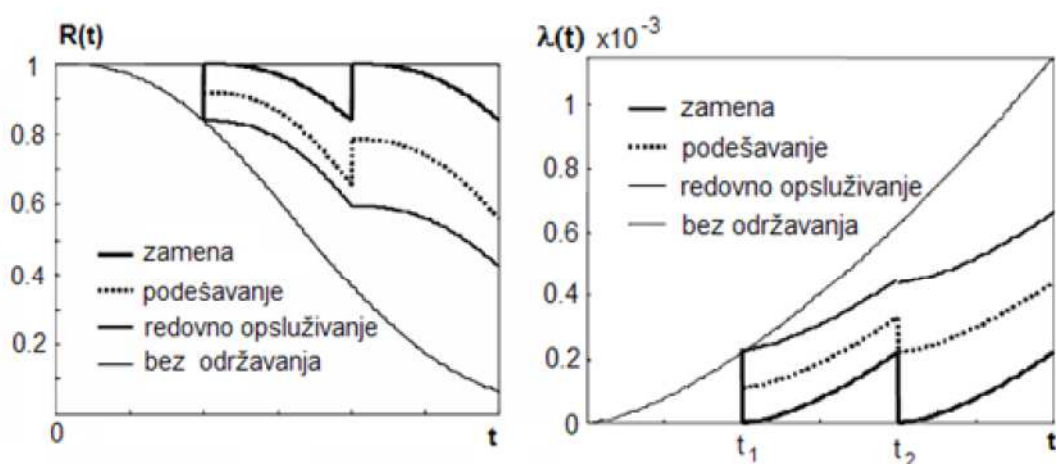
2.3.3. NESAVRŠENOST ODRŽAVANJA

Teorijski se obično usvaja da aktivnosti održavanja vraćaju sistem u početno stanje (stanje kad je sistem bio nov), dok se praksa, međutim, razlikuje. Na primer, u kompleksnim sistemima, u koje spadaju i motorna vozila, čim neka komponenta bude zamenjena može se smatrati da se sistem nalazi u nekom "međustanju" između stanja kada je bio nov i stanja u kome je bio pre zamene komponente. Prema nekim istraživanjima kad su u pitanju motorna vozila, kao što je izloženo u [6], ustanovljeno je da sprovedena aktivnost održavanja na najvišem nivou (generalni remont) ne obezbeđuje vraćanje funkcije pouzdanosti na početni nivo, već samo na nivo 50-60% od početnog (slika 2.2). Obično se u smislu navedenog, zbog opadanja funkcije pouzdanosti nakon izvesnog perioda eksploatacije vozila, preduzima akcija preventivnog održavanja, neposredno pre nego će ona pasti na unapred zadatu vrednost. Taj postupak preventivnog održavanja ima zadatak da vrati pouzdanost u idealnom slučaju na početni nivo, što se po pravilu ne dešava. Za koliku vrednost će se funkcija pouzdanosti popraviti sprovođenjem navedenih aktivnosti održavanja prevashodno zavisi od složenosti, ekonomičnosti i svrsishodnosti postupaka održavanja. Evidentno je da posle više uzastopnih postupaka održavanja na nižim nivoima održavanja (odnosno jednostavnijih zahvata održavanja koji se sastoje u podešavanjima i zameni manjeg broja dotrajalih komponenata), funkcija pouzdanosti vozila ipak značajno opadne u odnosu na početnu vrednost.

Jedan od načina modeliranja "nesavršenosti" održavanja je da se smatra da je stanje sistema nakon sprovedene aktivnosti održavanja isto kao i pre nego što je ona sprovedena (princip minimalne opravke, eng. *minimal repair*). Uobičajene aktivnosti održavanja kao što je čišćenje ili podmazivanje, ili parcijalna zamena sistema, zapravo vraćaju sistem u takvo stanje da je "dobar

kao nov", dok se time ne eliminišu monotono-dejstvujući uzroci otkaza, kao što je trošenje frikcionih površina. Iz tog razloga se modeliranje obično sprovodi tako da se usvaja da postoje dva tipa otkaza, otkazi koje je moguće otkloniti primenom osnovnog održavanja i otkazi koje je moguće otkloniti samo zamenom otkazale komponente.

U skladu sa razvijenim mehanizmima poboljšanja, koja se održavanjem ostvaruju na sistemu, mogu se podeliti u dve kategorije. Prva je zamena otkazalih komponenata sistema novim ili repariranim, a druga poboljšanje preostalih komponenata nad kojima su primenjeni postupci redovnog opsluživanja i opravki. Praktična realizacija projektovanih postupaka održavanja zavisna je od niza logističkih faktora, kao što su: način primene konkretnog postupka, raspored pojedinih funkcija i nadležnosti održavanja, tokovi vozila i dokumenata, tehnološki procesi, mesta izvršenja radova (objekti i njihova dispozicija, broj, raspored i kapacitet radnih mesta), oprema, uređaji, alati i pribori koje treba koristiti, izvršioci (broj i struktura), elementi infrastrukture (energija, osvetljenje, itd.), informatička podrška (dokumentacija za rad, informacioni sistema i sl). Na slici 2.2. dat je prikaz promene nivoa pouzdanosti i intenziteta otkaza primenom različitih aktivnosti održavanja.



Slika 2.2. Promena pouzdanosti i intenziteta otkaza u zavisnosti o primenjenih aktivnosti održavanja

(Slika preuzeta iz [7])

2.4. KRITERIJUMI I MERILA ZA OCENU USPEŠNOSTI SISTEMA ODRŽAVANJA

Već je poznato da se kao komponente efektivnosti po nekim definicijama pojavljuju pouzdanost, gotovost i funkcionalna podobnost [8]:

$$E_s(t) = A(t) \cdot R(t) \cdot FP \quad (2.1)$$

Gde je:

- $A(t)$ - gotovost sistema;
- $R(t)$ - pouzdanost sistema;
- FP - funkcionalna podobnost

Praktično proučavanje efektivnosti tehničkih sistema u suštini je vezano za proučavanje uzroka, oblika raspodele i načina predviđanja stanja u otkazu, što zapravo znači da efektivnost vozila zavisi od njihove gotovosti - $A(t)$ i pouzdanosti - $R(t)$. Pouzdanost se najčešće izražava preko funkcija pouzdanosti i intenziteta otkaza, a navedene funkcije u načelu je moguće dobiti na osnovu podataka o ponašanju vozila, odnosno njihovih elemenata u eksploataciji i održavanju.

Budući da funkcionalna podobnost sistema predstavlja sposobnost sistema za uspešno prilagođavanje uslovima okoline u projektovanom eksploatacionom periodu i daje podlogu za ocenu fleksibilnosti sistema, na koju se može uticati samo u fazi projektovanja i proizvodnje sistema, može se prihvatiti da sistem održavanja vozila ne utiče na njihovu funkcionalnu podobnost.

Izborom koncepcije preventivnog održavanja i primenom adekvatnih modela na tehničkim sistemima mogu se ostvariti mnogi pozitivni efekti - povećati pouzdanost i gotovost i smanjiti troškovi održavanja.

Srednja vremena *u radu* i *u otkazu* takođe mogu da se koriste kao kriterijumi za analizu sistema održavanja. Ova vremena se određuju na osnovu podataka koji se prikupljaju za određivanje gotovosti voznog parka, a suština njihovog određivanja je u tome da se dobiju što precizniji podaci o vremenu *u radu* i vremenu *u otkazu* vremenu vozila, kako bi se na osnovu ovih pokazatelja pristupilo optimizaciji sistema održavanja sa stanovišta ostvarenja što veće gotovosti putem procentualno veće zastupljenosti postupaka preventivnog u odnosu na korektivno održavanje.

Srednje vreme rada do preventivne zamene elementa izražava se u obliku:

$$m_{prev} = \int_0^{T_p} R(t) dt \quad (2.2)$$

Pri zameni svih elemenata posle otkaza srednje vreme rada izračunava se prema izrazu:

$$m_{corr} = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.3)$$

Apsolutna vrednost neiskorišćenog srednjeg vremena rada (neiskorišćenog resursa elemenata) pri preventivnoj zameni (ΔT) određuje se izrazom (2.4):

$$\Delta T = m_{corr} - m_{prev} = \int_{T_p}^{\infty} R(t) dt \quad (2.4)$$

Drugi kriterijum za ocenu uspešnosti održavanja je kao što je navedeno efikasnost sistema koja se meri veličinom utrošenih resursa po jedinici proizvoda, što u ovom slučaju predstavlja troškove, koji se izdvajaju na održavanje.

Na osnovu napred navedenog, pod merilima za ocenu kvaliteta sistema održavanja (njegove efektivnosti i efikasnosti) podrazumevaju se kvantitativne vrednosti pojedinih pokazatelja. Budući da vrednosti srednjih vremena u radu i u otkazu utiču na pouzdanost i operativnu gotovost, a time i na efektivnost autobusa kao sistema i voznog parka u celini, potrebno je izučavati taj uticaj i putem povratne sprege vršiti moguća poboljšanja vremenskih intervala koji ih sačinjavaju. Glavni cilj je, naravno, smanjenje ukupnog vremena koje vozilo provede u stanju otkaza, a samim tim i povećanje efektivnosti voznog parka u celini. U skladu sa tim, merilima za ocenu efektivnosti sistema održavanja treba smatrati dobijene kvantitativne vrednosti za pouzdanost, gotovost i vrednosti srednjeg vremena u radu i u otkazu, dobijene pri izračunavanju ovih kriterijuma za konkretne uslove eksploatacije i održavanja.

Kao merilo za ocenu efikasnosti korišćiće se uložena finansijska sredstva za izvođenje preventivnog održavanja i troškovi, koji se javljaju usled korektivnih akcija, kao i gubici, koji se javljaju usled neplaniranih zastoja vozila u eksploataciji, što osim za ocenu sistema održavanja može biti i od neposredne koristi za usavršavanje sistema u pogledu pojedinih tehnoloških rešenja, definisanja potrebnih kapaciteta i radne snage.

2.4.1. GOTOVOST

Dostizanje visoke vrednosti gotovosti uz minimiziranje troškova održavanja sistema je osnovni cilj sistema održavanja, projektovanja i optimizacije uopšte. Prema definiciji, gotovost predstavlja verovatnoću da će sistem uspešno stupiti u dejstvo i ostvariti projektovane izlazne veličine u okviru dozvoljenih odstupanja postavljene funkcije kriterijuma u neophodno

minimalnom vremenu trajanja i datim uslovima okoline (režima rada i radne sredine) [8]. Uobičajeno je da se eksploatacione osobine tehničkog sistema izražavaju funkcijom gotovosti, koja uzima u obzir i vreme u radu i vreme u otkazu, pri čemu gotovost podrazumeva verovatnoću da će tehnički sistem biti ispravan u bilo kom trenutku njegovog životnog ciklusa. Međutim u slučaju opravljivih sistema gotovost ne daje nikakvu informaciju koliko se ciklusa opravki desilo na nekom intervalu $[0, t]$. Takvu informaciju moguće je dobiti samo određivanjem srednjeg broja očekivanih otkaza na nekom intervalu.

Ovde je bitno naglasiti da postoje dva osnovna „tipa gotovosti“ koje se u anglosaksonskoj literaturi označavaju istim terminom *availability*, dok se u srpskoj literaturi distinkcija vrši jednoznačno, koristeći dva različita termina: *raspoloživost* i *gotovost*.

- *Raspoloživost* ⁶ (engl. *point availability*) predstavlja verovatnoću da je neka komponenta ili sistem u operativnom stanju u proizvoljnom trenutku t , uzimajući kao pretpostavku da je u trenutku $t = 0$ komponenta započela svoj rad kao nova.

Ona je jednaka:

$$A_R(t) = 1 - F(t) + \int_0^t h_d(x)(1 - F(t - x))dx \quad (2.5)$$

Pri čemu $1-F(t)$ predstavlja verovatnoću da komponenta neće biti u otkazu u intervalu $[0, t]$, dok je $h_d(x)dx$ verovatnoća da bilo koji od momenata obnavljanja leži u intervalu $(x, x+dx)$, a $1-F(t-x)$ je verovatnoća da se u toku intervala (x, t) neće desiti nijedan otkaz.

⁶ U ovoj disertaciji je usvojeno da se gotovost označava kao $A(t)$, a raspoloživost kao $A_R(t)$, kako bi se napravila razlika između ove dve veličine, koja se u stranoj literaturi ne pravi.

$$A_R(t) = 1 - F(t) + \int_0^t h_d(x)(1 - F(t - x))dx \quad (2.6)$$

Iz formule se vidi da ako nema obnavljanja (znači u slučaju neopravljivih sistema) onda se raspoloživost svodi na pouzdanost, odnosno: $A_R(t) = R(t)$, dok je u slučaju opravke $R(t) < A_R(t)$.

Praktični značaj raspoloživosti ogleđa se u činjenici da gotovost ne može biti kriterijum za sisteme koji se čuvaju kao rezerva, budući da za vozila u rezervi važi načelo da se u rezervi ostavljaju samo ispravna vozila. Nije stručno opravdano koristiti kao vreme u otkazu za ova vozila samo vreme za vršenje pregleda, kako je to propisima predviđeno. U tom slučaju neophodno je kao kriterijum uvesti veličinu raspoloživosti. Raspoloživost je takođe slučajna funkcija, ali ona zavisi ne samo od osobina sistema i njenih elemenata, već i od okoline u kome sistem radi, tj. u kome se čuva i održava. Raspoloživost dakle zavisi i od pouzdanosti sistema i od uslova čuvanja i sistema održavanja, tj. od znatno više činilaca.

U praksi se raspoloživost voznog parka $A_R(t)$ određuje kao verovatnoća da će vozila tog sistema biti uspešno puštena u rad u realnim uslovima aktiviranja.

$$A_R(t) = \frac{n_{isp}(t)}{n} \quad (2.7)$$

Gde je:

- $n_{isp}(t)$ - broj ispravnih vozila u slučajno izabranom trenutku
- n - ukupan broj vozila poslovnog sistema koji se stavlja u pogon

Praktično određivanje raspoloživosti vozila nekog voznog parka može da se vrši prilikom njihovog aktiviranja, na delu ili na nivou celog voznog parka. Raspoloživost se može takođe određivati i za dve situacije. Prva situacija se odnosi na slučajno aktiviranje vozila poslovnog sistema, odnosno kada poslovni sistem nije upoznat sa tim da će određenog trenutka njegova vozila biti aktivirana. Druga situacija, za koju se određuje raspoloživost, je onda kada je poslovni sistem upoznat da će njegova vozila biti aktivirana, ali se ne zna tačan trenutak aktiviranja. Iz opisa situacija, za koje se određuje raspoloživost, može se pretpostaviti da će se dobijene brojčane vrednosti za raspoloživost razlikovati.

- *Gotovost* (engl. *average availability*) - predstavlja očekivanu proporciju vremena u kome komponenta radi u intervalu (0,t).

$$A(t) = \frac{1}{t} E(\text{ukupno vreme u radu u intervalu } (0, t)) \quad (2.8)$$

$$A(t) = \frac{1}{t} \int_0^t PA(x) dx \quad (2.9)$$

Na osnovu parametara kojima se izračunava gotovost, odnosno na osnovu toga koja vremena sačinjavaju strukturu vremena u otkazu, za ocenu kvaliteta sistema održavanja moguće je koristiti:

- *operativnu gotovost*
- *sopstvenu (unutrašnju) gotovost*
- *ostvarenu (postignutu) gotovost*

Operativna gotovost se određuje prema obrascu (2.10):

$$A(t) = \frac{T_{ur}}{T_{ur} + T_{uo}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ur_i}}{\sum_{i=1}^n t_{ur_i} + \sum_{j=1}^n t_{uo_j}} \quad (2.10)$$

Gde je:

- T_{ur} - srednje vreme u radu određene grupe ili svih vozila voznog parka
- T_{uo} - srednje vreme zastoja određene grupe ili svih vozila, usled aktivnosti preventivnog i korektivnog održavanja i drugih aktivnosti u sistemu održavanja (administrativna vremena, vremena transporta do remontne radionice i nazad, vreme čekanja na rezervne delove i sl.)

Unutrašnja gotovost predstavlja verovatnoću da će vozila koja čine organizovani vozni park na zadovoljavajući način započeti sa obavljanjem svoje funkcije u realnim uslovima upotrebe i podrške pri održavanju, tj. uzimanjem u obzir da nema nikakvih gubitaka u vremenu izuzev vremena potrebnog samo za izvršenje radova održavanja. Unutrašnja gotovost se na osnovu ove definicije izračunava prema obrascu (2.11):

$$A_u(t) = \frac{T_{ur}}{T_{ur} + T_{ok}} \quad (2.11)$$

Gde je:

- T_{ok} - srednje vreme zastoja određenog broja vozila zbog izvođenja aktivnosti korektivnog održavanja na svim nivoima održavanja.

Ostvarena (postignuta) gotovost predstavlja verovatnoću da će neka grupa ili svi autobusi poslovnog sistema obavljati na zadovoljavajući način svoju funkciju cilja, u realnim uslovima eksploatacije i održavanja

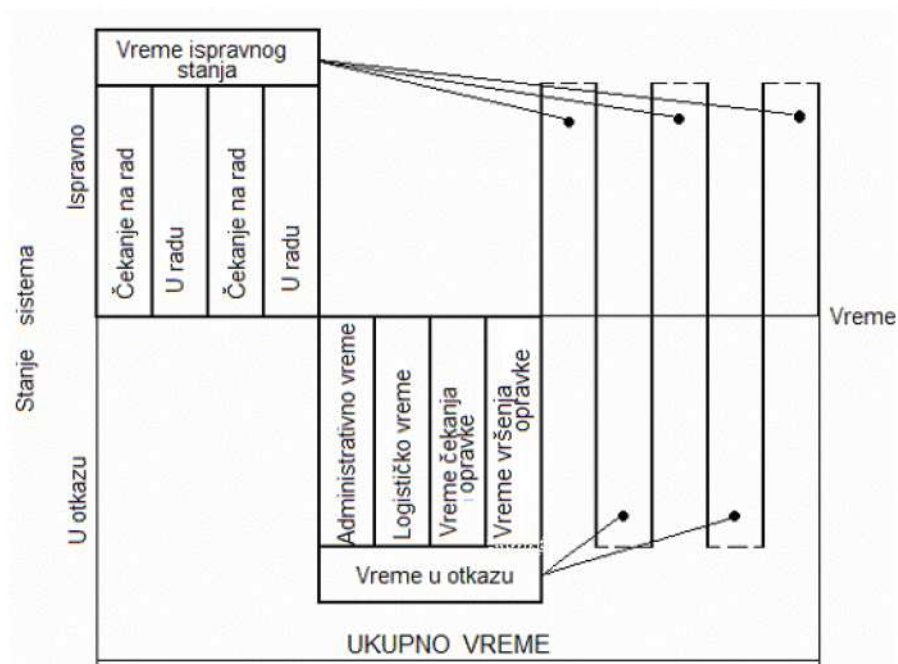
(preventivnog i korektivnog) uz idealnu podršku sistema održavanja. Ostvarena gotovost određuje se prema obrascu:

$$A_{Os}(t) = \frac{T_{ur}}{T_{ur} + T_{oa}} \quad (2.12)$$

Gde je:

- T_{oa} - srednje vreme zastoja samo usled izvođenja aktivnosti preventivnog i korektivnog održavanja.

Kao što se iz navedenih definicija može uočiti unutrašnja i ostvarena gotovost mogu se primeniti kao relevantni kriterijumi samo u sistemima koji su organizovani tako da se u potpunosti izbegne vreme u otkazu usled čekanja na početak izvođenja aktivnosti održavanja. Budući da to nije slučaj kad su u pitanju sistemi održavanja vozničkih parkova autobusa, realno je usvojiti da se kao kriterijum ocene ovakvih sistema uzima operativna gotovost, koja u obzir uzima sva vremena u otkazu koja se u praksi mogu pojaviti, kao što je prikazano na slici 2.3.



Slika 2.3.
Struktura vremena stanja sistema

Pored navedenih tipova gotovosti, postoje i specijalne vrste gotovosti razvijene kao pojmovi za specifične potrebe proučavanja. Tako je u literaturi [9] moguće naći i:

- **Gotovost misije** (engl. *mission availability*) koja predstavlja verovatnoću da u toku misije u trajanju $(0,t)$ svaki otkaz može da bude otklonjen za određeno vreme t_0 .
- **Gotovost sistema održavanja** (engl. *work mission availability*) koja predstavlja verovatnoću da ukupna suma vremena opravki u toku misije ne prelazi unapred definisnu vrednost.
- **Složena gotovost** (engl. *joint availability*) koja predstavlja verovatnoću da neka komponenta koja radi do nekog vremena t će raditi i do nekog vremena $t+\theta$. U tom slučaju je ova verovatnoća zapravo jednaka:

$$A_j(t, t + \theta) = A_R(t) \cdot A_R(\theta) \quad (2.13)$$

U graničnom slučaju kada $t \rightarrow \infty$ izrazi za gotovosti postaju konstantne (*steady state*) vrednosti i međusobno jednake, tj: $A_R = A$:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} A_R(t) = A_R = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (2.14)$$

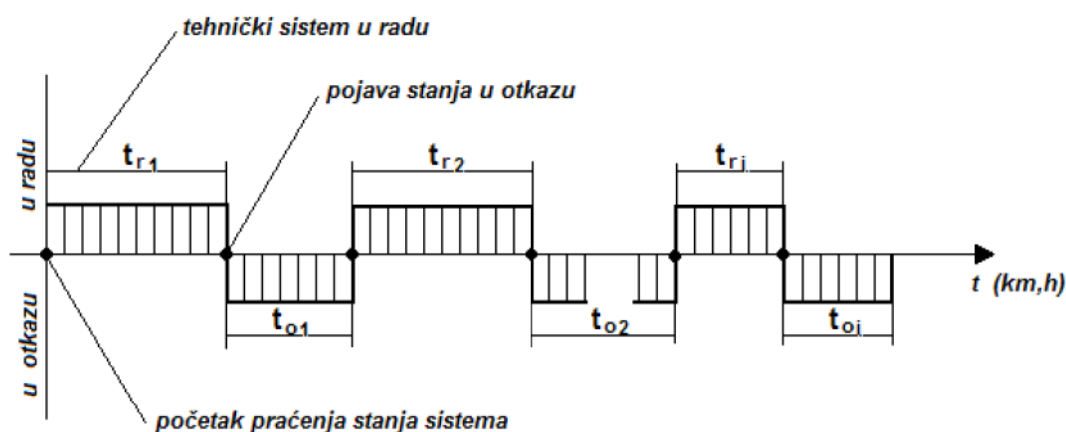
$$\lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = A_R \quad (2.15)$$

Gotovost sistema se obično analizira na osnovu vremenske slike stanja (slika 2.4.) na kojoj se može uočiti smenjivanje osnovnih stanja sistema, dato u obliku vremena koje sistem provede u radu i vremena u otkazu.

Srednje vreme ispravnog stanja osigurava konstruktor motornog vozila koji ugrađuje u konstrukciju određenu vrednost pouzdanosti, ali ono zavisi i od uslova i režima eksploatacije vozila. Vrednost srednjeg vremena u otkazu zavisi

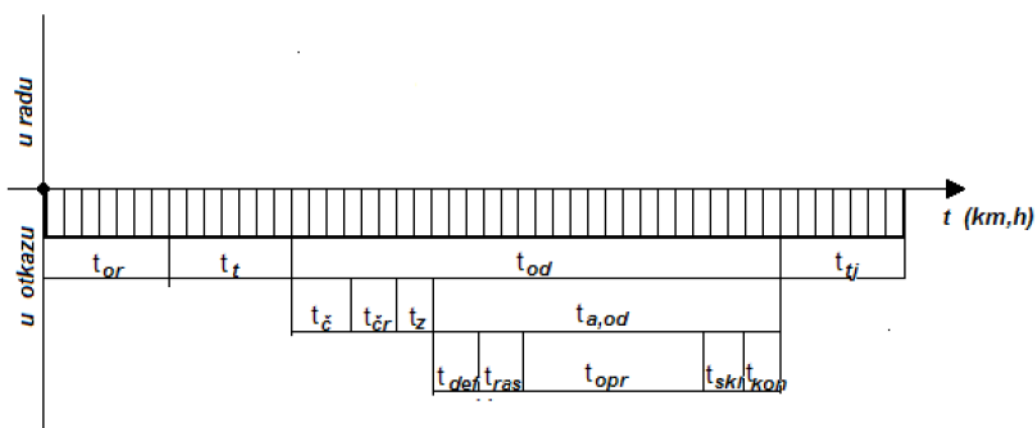
od realnog sistema održavanja, odnosno zavisi od komunikacije među sektorima, planiranja sistema, obavezne opreme, snabdevanja rezervnim delovima i ostalih resursa, a naravno i od samih aktivnosti održavanja.

Tokom planiranja izvođenja održavanja, prema datoj podeli aktivnosti, vreme koje je neophodno za izvođenje aktivnosti održavanja i optimizacija rada sistema utiču na sadržaj aktivnosti. Izrazito stohastički karakter procesa održavanja tehničkih sistema proističe iz dve bitne slučajne veličine, koje ga određuju. Prva slučajna veličina je vreme rada do trenutka početka sprovođenja postupaka održavanja, a druga je vreme potrebno za sprovođenje tih postupaka, tj. vreme neophodno za ponovno vraćanje sistema iz stanja u otkazu u stanje u radu. Prva slučajno promenljiva je određena osobinama tehničkog sistema, odnosno njegovom pouzdanošću, a druga kvalitetom sistema održavanja. Navedene slučajne promenljive se naizmenično smenjuju, pa se proces održavanja analizira pomoću vremenske slike stanja (slika 2.4), koja interpretira promene stanja sistema i redosled sprovođenja pojedinih postupaka i aktivnosti održavanja u životnom ciklusu sistema.



Slika 2.4. Vremenska slika stanja sistema [3]

Jedan pojednostavljen sastav vremena stanja tehničkog sistema u otkazu dat je na slici 2.5.



Slika 2.5. Struktura vremena u otkazu [3]

Kao što se može videti sa slika 2.4. i 2.5. vremensku sliku mogućih stanja tehničkog sistema sačinjavaju:

- *srednje vreme u radu* (T_{ur}), koje predstavlja aritmetičku sredinu vremena u kome je tehnički sistem u stanju da vrši postavljenu funkciju kriterijuma u datim uslovima i datom periodu vremena, i
- *srednje vreme u otkazu* (T_{uo}), koje predstavlja aritmetičku sredinu vremena izvođenja postupaka održavanja, odnosno vremena u kome tehnički sistem nije u stanju da vrši postavljenu funkciju kriterijuma u datim uslovima i datom periodu vremena (t_{oi}).

Zbir vremena u radu i u otkazu predstavlja vreme između otkaza, ili MTBF (engl. *Mean Time Between Failures*).

Srednje vreme u otkazu se može izraziti pomoću izraza (2.16):

$$t_o = t_{or} + t_t + t_{tj} + t_{od} \quad (2.16)$$

Gde je:

- t_{or} - organizaciono vreme koje je potrebno da se ustanovljeno stanje u otkazu prijavi nadležnom sektoru za izvršenje aktivnosti otklanjanja tog stanja,

- t_t - vreme transporta vozila u radionicu radi preuzimanja postupaka održavanja
- t_j - vreme vraćanja vozila iz radionice
- t_{od} -vreme trajanja održavanja.

Vreme trajanja održavanja (t_{od}) se sastoji iz zbira više vremenskih intervala:

$$t_{od} = t_{\check{c}} + t_{\check{c}rd} + t_z + t_{aod} \quad (2.17)$$

Gde je:

- $t_{\check{c}}$ - vreme čekanja vozila izvan radionice
- $t_{\check{c}rd}$ - vreme čekanja u radionici
- t_z - vreme čekanja na rezervne delove
- t_{aod} - vreme aktivnog održavanja u kome se vrše radovi neposredno vezani za otklanjanje otkaza kroz rasklapanje (t_{ras} - vreme rasklapanja), defektaciju (t_{def} - vreme defektacije), opravku (t_{opr} - vreme opravke), sklapanje (t_{skl} -vreme sklapanja) i kontrolu (t_{kon} - vreme kontrole).

Osnovni problem koji se javlja prilikom ocene uspešnosti funkcionisanja projektovanog sistema održavanja je raspoloživost podataka koji precizno govore o gore navedenim komponentama vremena koje sistem, a u datom slučaju vozilo, provede u stanju otkaza. U većini slučajeva preduzeća ne vode automatizovano evidentiranje ovih vremena, što je i jedan od osnovnih nedostataka implementiranih kompjuterski podržanih informacionih sistema.

Vreme ispravnog stanja predstavlja zbir vremena čekanja na rad i vremena u radu, odnosno:

$$t_I = t_{I,r} + t_{I,\check{c}r} \quad (2.18)$$

Gde je:

- $t_{I,čr} = t_{čr}$ - vreme čekanja na rad (funktionalni zastoji, osnovno održavanje, čekanje na rad), a $t_{I,r} = t_r$ - vreme u radu.

Gotovost se izračunava, kao što je ranije prikazano, preko odgovarajućeg odnosa vremena ispravnog stanja sistema i vremena stanja sistema u otkazu. Gotovost sistema (ili njegovih komponenata) prema slici 2.4. i za slučaj vremena ispravnog stanja i vremena u otkazu, ako je ukupno vreme dovoljno veliko, može se napisati kao:

$$A(t) = \frac{T_I}{T} = \frac{T_I}{T_I + T_o} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{I,i}}{\sum_{i=1}^n t_{I,i} + \sum_{j=1}^m t_{o,j}} \quad (2.19)$$

Gde je:

- T - ukupni životni vek sistema
- T_I - ukupno vreme u radu
- T_o - ukupno vreme u otkazu
- $t_{I,i}$ - i -to vreme u radu
- $t_{o,j}$ - j -to vreme u otkazu
- n - ukupan broj segmenata vremena ispravnih stanja u ukupnom vremenu
- m - ukupan broj segmenata stanja u otkazu u ukupnom vremenu

ili kao odnos srednjih vremena (pri čemu je $n \cong m$, odnosno $i = j$) u obliku:

$$A(t) = \frac{m}{m + m_o} \quad (2.20)$$

Gde je:

- srednje vreme ispravnog stanja (m):

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \tag{2.21}$$

- srednje vreme u otkazu (m_o):

$$m_o = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m t_{o,j} \tag{2.22}$$

2.4.2. POUZDANOST

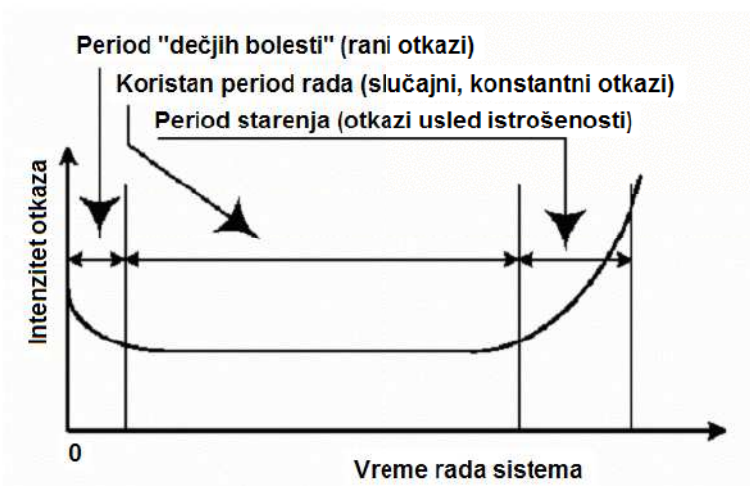
Pouzdanost tehničkih sistema predstavlja verovatnoću da će sistem uspešno obaviti funkciju za koju je namenjen, bez otkaza i unutar specificiranih granica performansi, uzimajući u obzir prethodno vreme korišćenja sistema, u toku određenog vremena trajanja zadatka (namene), kada se koristi na propisani način i u svrhu za koju je namenjen pod specifičnim nivoima opterećenja [8]. Sa praktičnog stanovišta, pouzdanost sistema može se shvatiti kao svojstvo sistema da radi bez otkaza u određenim uslovima (režima rada i uslova okoline) i u određenom vremenskom periodu.

Vreme trajanja zadatka (funkcionisanja sistema) je obrnuto proporcionalno nivou pouzdanosti. Ako se želi veoma visoka pouzdanost, onda treba težiti da vreme funkcionisanja sistema (trajanje misije) bude što kraće. U slučaju da je priroda zadatka takva da mu se ne može skratiti trajanje, onda se mora drugim metodama delovati na postizanje visoke pouzdanosti.

Otkazi pri posmatranju veka trajanja sistema mogu biti trojake prirode: (1) rani otkazi (u periodu “dečjih bolesti” sistema), (2) slučajni tj. konstantni

otkazi (u korisnom periodu rada sistema), i (3) otkazi usled istrošenja (u periodu starenja sistema). Navedene vrste otkaza, u idealizovanom slučaju, mogu se prikazati na tzv. dijagramu kade (slika 2.6), gde se uočava veći broj otkaza u periodu uhadavanja sistema i njihovo opadanje, relativno konstantan broj otkaza u periodu stabilne eksploatacije i manji broj slučajnih otkaza i porast otkaza usled istrošenja u periodu starenja sistema.

Međutim navedeni dijagram ne treba primenjivati uopšteno, jer je prema istraživanjima sa kraja sedamdesetih godina prošlog veka utvrđeno da dijagram kade nije karakterističan za sve tipove tehničkih komponenata sistema, kao što je opisano u istraživanju Noalana i Heap-a [11].



Slika 2.6. Intenzitet otkaza u funkciji vremena rada sistema [10]

Pouzdanost kao verovatnoća može da se predstavi kao odnos između broja uspešnih zadataka i ukupnog broja zadataka u vremenu specificiranom za funkcionisanje sistema:

$$R(t) = \frac{n_{isp}(t)}{n} \quad (2.23)$$

Gde je:

- $R(t)$ - pouzdanost,

- $n_{isp}(t)$ - broj uspešnih zadataka u vremenu t ,
- n - ukupan broj izvedenih zadataka u vremenu t ,
- t - vreme specificirano za funkcionisanje sistema.

Vrednost $R(t)$ predstavlja procenjenju pouzdanost usled toga što je broj zadataka n konačan. Zato se stvarna pouzdanost $R(t)$ dobija kada broj zadataka teži beskonačnosti:

$$R(t) = \lim_{n(t) \rightarrow \infty} R(t) \quad (2.24)$$

Nepodudarnost prikazanih veličina $R(t)$ u izrazima (2.23) i (2.24) zahteva uvođenje pojma nivoa poverenja. Statističke procene se obično predstavljaju u vidu intervala, uz verovatnoću ili poverenje da će stvarna vrednost biti u tom intervalu. Krajnje tačke tog intervala zovu se granice poverenja i mogu se izračunati kada je poznata raspodela datog parametra ⁷.

Osnovni pokazatelji ili parametri za određivanje pouzdanosti sistema, koji su neophodni za poređenje više sistema ili povišenje pouzdanosti određenog sistema, su sledeće tri funkcije: *pouzdanost*, *raspodela otkaza* i *gustina otkaza*.

2.4.2.1. FUNKCIJA POUZDANOSTI I FUNKCIJA GUSTINE OTKAZA

Sistem će raditi u određenom vremenskom trenutku (t) ukoliko ne otkaze u nekom ranijem trenutku (T), što izražava verovatnoća pojave otkaza (P) i funkcija raspodele otkaza (F):

⁷ Ako se kaže da je pouzdanost nekog sistema jednaka 0,95 na nivou poverenja 90%, to znači da postoji rizik od 10% da je pouzdanost manja od 0,95.

$$P(T \leq t) = F(t); \quad t \geq 0 \quad (2.25)$$

Gde je:

- T - slučajna promenljiva veličina koja označava vreme pojave otkaza,
- t - razmatrano vreme od značaja za rad sistema, $t = T$,
- P (T ≤ t) - verovatnoća otkaza sistema pre vremena t,
- F(t) - funkcija raspodele otkaza u vremenu t (funkcija nepouzdanosti).

Veličina F(t) kao funkcija raspodele otkaza istovremeno iskazuje verovatnoću otkaza (pre vremena t) i u teoriji se naziva kumulativna funkcija raspodele otkaza, a ako se pouzdanost definiše kao verovatnoća bezotkaznog rada, odnosno kao verovatnoća da će sistem obaviti svoju funkciju u određenom vremenu t, onda se može smatrati da je F(t) funkcija nepouzdanosti ili jednostavnije verovatnoća otkaza.

Funkcija pouzdanosti se određuje na osnovu funkcije raspodele vremena pojave otkaza F(t) na bazi vremenske slike stanja, a to pruža osnovna statistička jednačina data u obliku:

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (2.26)$$

Gde je :

- F(t) - verovatnoća pojave stanja u otkazu
- R(t) - verovatnoća pojave stanja u radu

odakle se dobija *funkcija pouzdanosti* kao:

$$R(t) = 1 - F(t) = P (T \leq t), \quad t = 0 \quad (2.27)$$

Funkcije verovatnoća pojave određenih stanja sistema mogu u opštem slučaju biti dvojake, tj. funkcije prekidnih promena (diskretne funkcije) i funkcije neprekidnih promena (kontinualne funkcije).

Diskretne funkcije su funkcije kod kojih promenljive uzimaju konačan broj vrednosti, pa se pouzdanost određuje prema formuli:

$$R(t) = \frac{n - N(t)}{n} \quad (2.28)$$

Gde je:

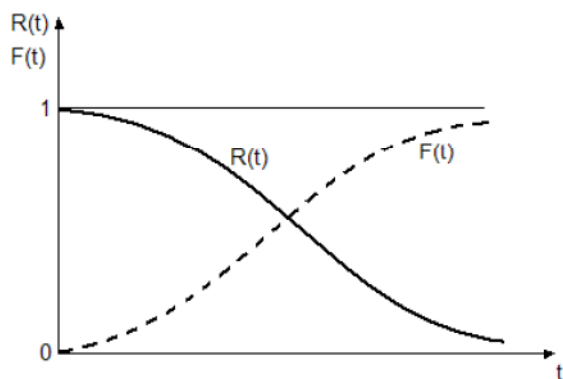
- $R(t)$ - funkcija pouzdanosti
- n - ukupan broj pojava stanja u sistemu
- $N(t)$ - ukupan broj stanja u otkazu sistema u trenutku t

Funkcija nepouzdanosti, tj. funkcija raspodele verovatnoće otkaza dobija se kao:

$$F(t) = \frac{N(t)}{n} = \frac{N(t)}{n} \cdot 100\% \quad (2.29)$$

Grafička interpretacija funkcija $R(t)$ i $F(t)$ prikazana je na slici 2.7.

Kontinualne funkcije predstavljaju funkcije kod kojih promenljive uzimaju bilo koju vrednost u okviru datog intervala, a u opštem slučaju izražavaju se preko funkcije gustine otkaza.



Slika 2.7. Grafički prikaz funkcija $R(t)$ i $F(t)$

Funkcija gustine otkaza $f(t)$ određuje se na osnovu zakona teorije verovatnoće (gde se naziva funkcija gustine verovatnoće otkaza) kao prvi izvod funkcije raspodele otkaza $F(t)$:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \tag{2.30}$$

Dok za diskretne promenljive iznosi:

$$f(t) = \frac{N(\Delta t)}{n} \tag{2.31}$$

Gde je :

- n - ukupan broj elemenata u trenutku $t = 0$
- N - broj elemenata sistema u otkazu
- Δt - posmatrani vremenski period (interval posmatranja)

Proizilazi da se i funkcija raspodele otkaza (F) može odrediti integraljenjem iz funkcije gustine otkaza (f), i dalje, funkcija pouzdanosti (R) iz funkcije gustine otkaza (f):

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt \tag{2.32}$$

Funkcija učestalosti (gustine) stanja u radu, odnosno *funkcija bezotkaznog rada* sistema za slučaj:

- neprekidnih promena dobija se na osnovu izraza (2.33):

$$\rho(t) = \frac{dR(t)}{dt} \quad (2.33)$$

- prekidnih promena dobija se na osnovu izraza (2.34):

$$\rho(t) = \frac{n - N}{N} \quad (2.34)$$

Funkcija gustine bezotkaznog rada predstavlja diferencijalnu funkciju raspodele verovatnoća stanja u radu posmatranog tehničkog sistema. Na temelju funkcije pouzdanosti definiše se funkcija intenziteta otkaza koja u mnogim slučajevima predstavlja najčešće korišćenu karakteristiku za neposredno ocenjivanje i merenje pouzdanosti sistema.

2.4.2.2. FUNKCIJA INTENZITETA OTKAZA

Pouzdanost $R(t)$ može se utvrditi ispitivanjem n sistema, tako da ako posle nekog vremena t ima n_{isp} ispravnih sistema (koji nisu otkazali), onda je $N = n - n_{isp}$ broj onih koji su otkazali, te se pouzdanost, odnosno verovatnoća bezotkaznog rada određuje na osnovu izraza (2.28). Može se uočiti da je pouzdanost funkcija vremena rada sistema, pošto sa porastom vremena ispitivanja ima sve više neispravnih sistema, odnosno pouzdanost opada.

Podesnijim pisanjem (2.28) u obliku (2.35) i diferenciranjem obeju strana u (2.36) za konstantno n , određuje se frekvencija otkaza sistema (2.37):

$$R(t) = \frac{n - N(t)}{n} = 1 - \frac{N(t)}{n} \quad (2.35)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \frac{d\left[1 - \frac{N(t)}{n}\right]}{dt} = -\frac{1}{n} \cdot \frac{dN(t)}{dt} \quad (2.36)$$

$$\frac{dN(t)}{dt} = -n \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (2.37)$$

Deljenjem leve i desne strane sa $n_{isp}(t)$ dobija se (2.38) funkcija intenziteta otkaza⁸ $\lambda(t)$, što je podesno pisati posredstvom funkcije pouzdanosti u obliku (2.39), koja se koristi za slučaj neprekidnih promena stanja:

$$\frac{1}{n_{isp}} \cdot \frac{dN(t)}{dt} = -\frac{n}{n_{isp}(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (2.38)$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{n_{isp}(t)} \cdot \frac{dN(t)}{dt} = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (2.39)$$

Iz funkcije intenziteta otkaza $\lambda(t)$ može se odrediti opšti izraz za funkciju pouzdanosti $R(t)$. Množenjem (2.39) sa $(-dt)$ i daljom integracijom imajući u vidu da je $R = 1$ za $t = 0$, dobija se (2.42), te sa rešenjem integrala leve strane antilogaritmovanjem nastaje konačni izraz (2.43) koji opisuje funkciju po $R(t)$ na najopštiji način i može se primeniti za bilo koju funkciju gustine otkaza $\lambda(t)$.

$$\frac{dR(t)}{R(t)} = \lambda(t)dt \quad (2.40)$$

⁸ Intenzitet otkaza se često naziva *stopom otkaza*, a ponekad i *brzinom pojave neispravnosti*. Osnovna namena funkcije $\lambda(t)$ sastoji se u iskazivanju promene frekvencije otkaza u toku životnog veka sistema. Na primer, dva sistema mogu imati istu pouzdanost u određenom trenutku vremena, ali se intenziteti otkaza u prethodnom periodu mogu razlikovati.

$$\int_1^R \frac{dR(t)}{R(t)} = - \int_0^t \lambda(t) dt \quad (2.41)$$

$$\ln R(t) = - \int_0^t \lambda(t) dt \quad (2.42)$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (2.43)$$

Izražavanjem funkcije pouzdanosti $F(t)$ iz (2.26) pomoću (2.44) i zamenom u (2.30) dobija se funkcija gustine otkaza $f(t)$ u (2.45), a zatim zamenom u (2.39) određuje se funkcija intenziteta otkaza $\lambda(t)$ u obliku (2.46) pogodnom za primenu u slučaju bilo koje funkcije gustine otkaza $f(t)$ i frekvencije otkaza $R(t)$.

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2.44)$$

$$f(t) = - \frac{dR(t)}{dt} \quad (2.45)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.46)$$

Za prekidne promene stanja u sistemima, intenzitet otkaza se dobija na osnovu istog prilaza kao odnos broja neispravnih elemenata u vremenskom intervalu $\Delta t = [t-(t+\Delta t)]$ i srednje vrednosti broja ispravnih elemenata u istom intervalu što daje:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{N}{n \cdot \Delta t}}{\frac{n - N}{n}} = \frac{N}{(n - N) \cdot \Delta t} \text{ [pojava } s^{-1}] \quad (2.47)$$

Gde je :

- $(n-N)$ - broj elemenata sistema u radu.

Kako se radi o intervalu t u kome su na početku svi elementi u stanju u radu, a na kraju je broj ovih elemenata $(n-N)$ to se za izračunavanje intenziteta otkaza uzima srednja vrednost broja elemenata u radu u obliku:

$$(n - N)_{sr} = \frac{n + (n - N)}{2} \quad (2.48)$$

Odatle je:

$$\lambda(t) = \frac{N}{(n - N)_{sr}} \text{ [pojava } s^{-1}] \quad (2.49)$$

2.4.2.3. OČEKIVANO VREME BEZOTKAZNOG RADA

Pouzdanost se često predstavlja srednjim vremenom rada sistema, tj. bezotkaznog rada. Očekivano vreme bezotkaznog rada sistema $E(T)$ može se dati izrazom (2.50) ili (2.52).

$$E(T) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (2.50)$$

$$E(T) = - \int_0^{\infty} t \cdot dR(t) = t \cdot R(t)|_0^t + \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.51)$$

$$E(T) = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.52)$$

Može se pokazati da prvi sabirak u (2.51) ima vrednost 0, pošto su obe granice jednake 0, pa se odatle dobija da *očekivano vreme bezotkaznog rada* može da se odredi na osnovu izraza (2.52). Jasno je da za $t = 0$ i donja granica $R(t)$ postaje 0, dok gornja granica postaje 0 usled toga što $R(t)$ iz (2.51) ima vrednost 0 kada $t \rightarrow \infty$, imajući u vidu da za eksponencijalnu funkciju važi:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} x \cdot e^{-x} = 0 \quad (2.53)$$

Očekivano vreme bezotkaznog rada za opravljive sisteme poznato je pod nazivom srednje vreme u radu (m), smatrajući pri tome da se sistem posle otkaza i opravke ponaša kao da je nov. U stranoj literaturi češće se u iste svrhe koristi pojam *srednjeg vremena između otkaza* (MTBF - *Mean Time Between Failures*). Kod nepopravljivih sistema mora se razmatrati vreme do prvog otkaza, drugog itd, odnosno *srednje vreme do otkaza* (odnosno MTTF - *Mean Time To Failure*). Između ovih veličina često se ne pravi razlika, ali je potrebno imati na umu da su one međusobno jednake samo kod neopravljivih sistema. Navedena srednja vremena kod jednoparametarskog sistema određuju i parametar, a kod višeparametarskih sistema daju novu funkcionalnu vezu među parametrima. Srednja vremena treba uvek koristiti kada je specificirana funkcija gustine otkaza, jer nivo pouzdanosti koji se može pripisati određenoj vrednosti za srednje vreme zavisi od oblika te funkcije.

Na primeru ispitivanja n sistema i beleženju njihovih vremena otkaza (t_1, t_2, \dots, t_n) određuje se *srednje vreme između otkaza* izrazom:

$$m = MTBF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (2.54)$$

Kod sistema jednokratnog dejstva otkazi ne zavise od vremena, te se za njih koristi koncept verovatnoće uspeha.

Srednje vreme između otkaza za neprekidne promenljive može da se dobije integraljenjem funkcije $R(t)$ po vremenu, odakle se vidi da je ono zapravo brojno jednako recipročnoj vrednosti intenziteta otkaza:

$$m = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.55)$$

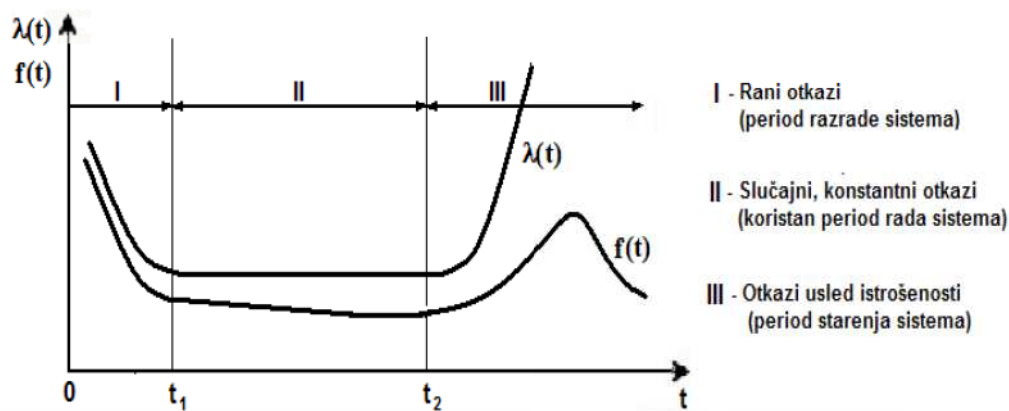
U specijalnom slučaju kada se raspodele vremena u otkazu pokoravaju eksponencijalnoj raspodeli, srednje vreme u radu jednako je recipročnoj vrednosti intenziteta otkaza:

$$m = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.56)$$

2.4.3. INTENZITET OTKAZA I VEK TRAJANJA SISTEMA

U toku rada sistema, u početku se javlja veći broj tzv. ranih otkaza koji se mogu pripisati početnim slabostima ili propustima u toku proizvodnje (izrade), a kasnije nastupaju otkazi za koje je teško utvrditi uzrok. U opštem slučaju takva vrsta otkaza, nazvana slučajni otkazi, nastaje pri naprezanjima u toku korišćenja sistema koja prevazilaze ugrađenu otpornost, pa se tim otkazima ne može predvideti nastupanje, ali se može reći da će im frekvencija

javljanja biti konstantna. Starenjem sistema počinju da se javljaju otkazi usled istrošenosti. Na slici 2.8. su prikazane funkcije gustine raspodele i intenziteta otkaza sa označenim periodima veka trajanja sistema.



Slika 2.8. Opšti oblik funkcije gustine raspodele $f(t)$ i intenziteta otkaza $\lambda(t)$ [11]

Na prikazanom grafiku uočljiva su tri karakteristična perioda. U periodu ranih otkaza za $t \in (0, t_1)$ obe funkcije opadaju, slučajni otkazi za $t \in (t_1, t_2)$ imaju približno konstantnu vrednost $\lambda(t)$ i približno eksponencijalnu funkciju $f(t)$, dok period starenja $t \in (t_2, \infty)$ karakteriše rastuće $\lambda(t)$ i nagli rast $f(t)$ sa vrhom oko koga se dešava najviše otkaza⁹.

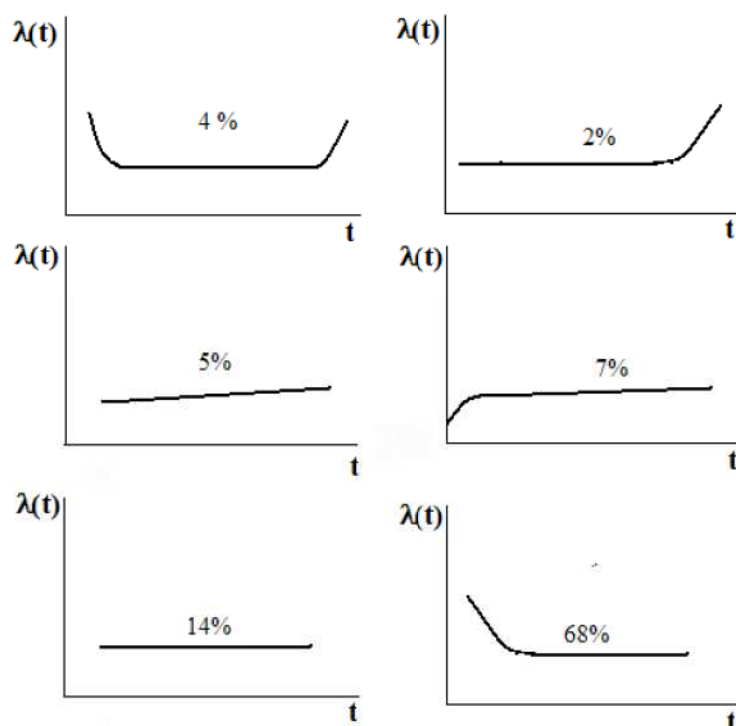
Kao što se može videti intenzitet pojave otkaza je rastuća funkcija, a ranije smo videli da je pouzdanost izrazito opadajuća funkcija sa vremenom. Da bi se posledice ovog efekta na pouzdanost tehničkog sistema eliminisale potrebno je preduzeti postupke održavanja, tj. opravke ili zamene dotrajalih otkazalih komponenata sistema, kojim se one vraćaju u prvobitan funkcionalni status. Najveća pouzdanost postiže se preventivnom zamenom u trenutku t_2 (slika 2.8), a nepotrebne su zamene u periodu $t_2 - t_1$ pošto u tom periodu otkazi ne zavise od vremena ($\lambda = const.$).

⁹ Pri manjoj upotrebi sistema na kraju opada gustina raspodele otkaza.

U idealnom slučaju pouzdanost bi trebala biti ugrađena u komponente vozila još u fazi projektovanja. Međutim to je još uvek nemoguće u potpunosti dostići, jer postoji problem neadekvatnog kvalitativnog i kvantitativnog određivanja karakteristika pouzdanosti, usled neostatka podataka. Greške se prvenstveno odnose na neadekvatno definisanje posmatranog perioda rada, izbora i broja podsistema i/ili elemenata u sistemu i broja otkaza u posmatranom periodu. Drugi deo problema se odnosi na primenu metoda matematičke statistike i zakona raspodela pri obradi podataka, koji su dobijeni na osnovu prethodno navedenih "pogrešnih" pretpostavki iz razloga što mnogi sistemi nemaju navedene karakteristike da bi se njihovi intenziteti otkaza prikazali kao napred, o čemu će biti reči kasnije.

Ovde je bitno napomenuti da je tradicionalni prilaz problematici planiranja preventivnih postupaka održavanja značajno revidiran sedamdesetih godina prošlog veka, o čemu je već bilo reči. Do tog perioda se obično smatralo da postupke preventivnih održavanje ne treba izvoditi u periodu razrade sistema, ili u periodu kada sistem uđe u stanje stabilne eksploatacije (ravni deo na krivoj kade, kada je intenzitet otkaza konstantan). Međutim rezultati istraživanja Nolana i Heap-a, koje su 1978. godine objavili u studiji Federalne vazduhoplovne agencije SAD-a uticalo je na promenu dotadašnjeg prilaza ovom problemu [11]. Prema navedenim istraživanjima postoji 6 tipova krivih koje opisuju stanje aviona uključenih u vazdušni sistem odbrane SAD-a. Pri tome je profil krive intenziteta pojave otkaza tzv. dijagram kade (koga karakterišu visoke vrednosti u periodu ranih otkaza - period „*dečjih bolesti*“, približno konstantna vrednost otkaza u dužem periodu rada sistema - period stabilne eksploatacije i naglo povećanje intenziteta otkaza kao rezultat degradacije i trošenja sistema) primenjiv je samo kod malog procenta komponenata. Tačnije samo 4 % stanja pojedinih komponenata se podudaralo sa pomenutim dijagramom. 6% komponenata pokazivalo dobro definisane oblasti otkaza usled starenja, a kod 5% iako ove oblasti nisu bile jasno izražene,

dobijanjem podataka o intenzitetima otkaza, bilo je jasno da ove vrednosti rastu sa starošću sistema. Ovo je značilo da 89% testiranih komponenata ne podleže teoretskom zakonu raspodele poznih otkaza, što zapravo znači da je nemoguće propisivati vremenske intervale preventivnog održavanja za taj period. Kasnije studije tokom 70-tih godina sprovedene na putničkim avionima, 80-ih sprovedene na vojnim brodovima i 90-ih godina prošlog veka sprovedene na nuklearnim podmornicama donele su iste rezultate. Procenat komponenata čiji otkazi se pokoravaju *dijagramu kade* iznosio je u proseku od 2 do 4%.

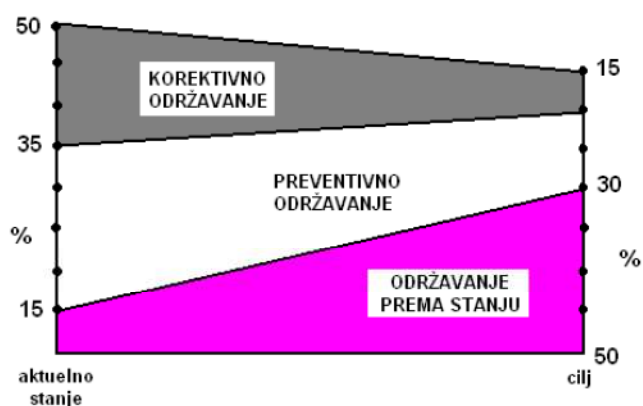


Slika 2.9. Šest različitih dijagrama intenziteta otkaza u studiji Federalne vazduhoplovne agencije SAD-a [11]

Ovo revolucionarno otkriće donelo je neke bitne promene u prilazu planskom održavanju, jer se kao rezultat ovih studija pokazalo da starost sistema nije presudna karakteristika za pravljenje programa održavanja. Rezultati su pokazali da u periodu kada dolazi do naglog povećanja intenziteta otkaza, usled trošenja ili zamora materijala, primena invazivnih aktivnosti

preventivnog održavanja može biti kontraproduktivna, što je opovrglo ideju da je primena preventivnog održavanja obavezno najefektivnija strategija za sprečavanje nastajanja poznih otkaza.

Kao jedno od rešenja javila se već pomenuta metodologija održavanja poznata pod nazivom *održavanje prema stanju*, koja je omogućila identifikovanje početnih grešaka pre nego što one mogu postati kritične. A budući da se u slučaju održavanja prema stanju aktivnosti održavanja ne sprovode, ako za njima ne postoji potreba, to direktno utiče na smanjivanje ukupnih troškova.



Slika 2.10. Zastupljenost politike održavanje prema stanju u odnosu na tradicionalne metode održavanja

Dakle, primena *održavanja prema stanju* u fazi stabilne eksploatacije i starenja sistema izgleda mnogo logičnije nego periodično održavanje, ako se uzme u obzir da u proseku 80% uzoraka iz pomenutih studija nisu uopšte dostizali fazu ubrzanog starenja. Međutim, kao jedan od najznačajnijih problema koji se javlja u procesu upravljanja sistemom održavanja prema stanju jeste problem određivanja optimalne periodičnosti kontrole stanja (odnosno pregleda) vozila, i organizacije takvog jednog sistema održavanja. Takođe još jedan od razloga zašto održavanje prema stanju još uvek nije potpuno zaživelo u praksi leži u nedostatku adekvatnih informacija o sistemima, na osnovu kojih bi se mogli praviti kvalitetni planovi preventivnih pregleda.

2.4.4. ODREĐIVANJE PARAMETARA POUZDANOSTI NA OSNOVU EMPIRIJSKIH PODATAKA

Ceo proces određivanja karakteristika pouzdanosti, koji se primenjuje u okviru eksperimentalnog istraživanja u ovoj disertaciji, sastoji se iz nekoliko nezavisnih, ali međusobno povezanih faza, kroz koje treba prolaziti sukcesivno.

Svaka od navedenih faza sastoji se od nekoliko podfaza, a čiji izlazni rezultati treba da daju brojne vrednosti karakteristika pouzdanosti, među kojima su sledeće najvažnije:

- srednje vreme u radu \bar{t} ,
- srednje standardno odstupanje σ ,
- funkcija pouzdanosti $R(t)$,
- funkcija nepouzdanosti $F(t)$,
- funkcija gustine otkaza $f(t)$,
- funkcija intenziteta otkaza $\lambda(t)$.

Prilikom obrade podataka i određivanja funkcija gustine otkaza, intenziteta otkaza i pouzdanosti moguća su dva pristupa: ili odabrati jednu od statističkih raspodela koja najviše odgovara datom sistemu (na osnovu teorijskih postavki i iskustva) ili da se na osnovu datih podataka odredi tzv. empirijska funkcija gustine otkaza $f_e(t)$. U praksi je najpodesnije kombinovati ova dva pristupa, pa se tako i za potrebe sopstvenih istraživanja u okviru ove disertacije usvaja princip prema kome se na osnovu prikupljenih podataka prvo izračunaju empirijske funkcije, a zatim se pretpostavi raspodela koja će na najbolji mogući način interpretirati rezultate. Nakon toga se pomoću statističkih testova može izvršiti provera, da li su prikupljeni podaci saglasni sa usvojenom raspodelom i eventualno odabrati podesnija raspodela. Na primer, u poglavlju 4.2. za potrebe ocenjivanja ispunjenosti postavljene hipoteze o važećoj teorijskoj raspodeli koristi se test Kolmogorov-Smirnova.

2.4.4.1. EMPIRIJSKE FUNKCIJE POUZDANOSTI

Empirijska funkcija gustine otkaza određuje se razmatrajući n sistema i merenja (utvrđivanja broja otkaza) u vremenskim intervalima dužine Δt_i , imajući u vidu da, polazeći od trenutka $t = 0$, u bilo kom trenutku vremena t ima $n_{isp}(t)$ ispravnih sistema (koji nisu do tog momenta otkazali). Odgovarajuća funkcija intenziteta otkaza se prema tome određuje izrazom (2.31). Za praktičnu analizu značajno je da $f_e(t)$ predstavlja meru sveukupne brzine dešavanja otkaza, dok je $\lambda_e(t)$ mera trenutne brzine dešavanja otkaza. Izbor vremenskih intervala Δt nije strogo specificiran i zavisi od konkretnog problema. U opštem slučaju, intervali mogu biti nejednake dužine (kada je mali broj otkaza) ili jednake dužine (za veći broj otkaza). Optimalan broj jednakih intervala z može se odrediti na osnovu broja otkaza primenom različitih obrazaca koji se mogu sresti u literaturi, izrazi od (2.57) do (2.60).

$$z = \sqrt{n} \quad (2.57)$$

$$z = 2 \cdot \sqrt[3]{n} \quad (2.58)$$

$$z = 1 + 3,32 \cdot \log_{10}(n) \quad (2.59)$$

$$z = 5 \cdot \log_{10}(n) \quad (2.60)$$

Navedene izraze ne treba šablonski primenjivati, ali je neophodno pridržavati se osnovnog principa da što je veći broj podataka, broj intervala treba da je veći. Potrebno je izbegavati prazne intervale, spajanjem susednih, a takodje, ako se pretpostavlja simetrična raspodela preporučuje se neparan broj intervala.

Empirijska funkcija pouzdanosti $R_e(t)$ izračunava se iz jednačine (2.28) gde je $n(t)-N(t)$ zapravo broj ispravnih sistema na kraju vremenskog intervala Δt_i .

Budući da istraživanja vezana za pouzdanost sistema (elemenata sistema) iziskuju statističku obradu podataka, postupak obrade izdvojenih podataka treba da sadrži sledeće korake:

- određivanje veličine uzorka,
- izdvajanje podataka i grupisanje podataka,
- obradu podataka,
- grafičko predstavljanje izdvojenih podataka,
- postavljanje hipoteze o teorijskom zakonu raspodele,
- određivanje teorijskog zakona raspodele i
- testiranje hipoteze o teorijskom zakonu raspodele.

Osnovni cilj ove obrade je dobijanje predstave o stanjima sistema (komponenata sistema) na način koji omogućava lako određivanje teorijskog zakona raspodele, koji najbolje aproksimira izdvojene podatke. Pri tome, najveći problem predstavlja postavljanje hipoteze o teorijskom zakonu raspodele.

Izdvajanje velikog broja podataka obeležja i određivanje raspodele frekvencija ne daje preglednu sliku statističkog skupa, jer se dobija veliki broj razreda. U tom slučaju interval statističkog skupa dat izrazom (2.61):

$$I = t_{\max} - t_{\min} \quad (2.61)$$

koji se deli na "z" intervala dužine "i" tako da je:

$$I = i \cdot z \quad (2.62)$$

Kako bi se preliminarno postavila hipoteza o teorijskom zakonu raspodele slučajne promenljive potrebno je kod izdvojenog uzorka odrediti:

- srednju vrednost \bar{t} ,

- standardnu devijaciju σ ,
- medijan t_{50} , i
- funkciju intenziteta otkaza $\lambda(t)$.

Srednja vrednost ili aritmetička sredina, koja određuje srednji položaj rasporeda frekvencija, oko koga se raspoređuju ostale vrednosti, identična je matematičkom očekivanju $E(t)$ i izračunava se pomoću izraza (2.63).

$$\bar{t} = E(t) = \sum_{i=1}^n t_i \cdot p_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \cdot f_i \quad (2.63)$$

odnosno, za slučaj da su vrednosti slučajne promenljive razvrstane u podintervale dužine Δt :

$$\bar{t} = D + \frac{\Delta t}{n} \sum_{i=1}^z d_i \cdot f_i \quad (2.64)$$

Gde je:

- Δt - širina intervala,
- f_i - frekvencija pojava u i-tom intervalu,
- d_i - parametar koji se određuje pomoću izraza.

$$d_i = \frac{1}{\Delta t} (t_{zi} - D) \quad (2.65)$$

Pri čemu je :

- t_{zi} - srednja vrednost i-tog intervala,

- D - sredina intervala sa najvećom frekvencijom.

Kao osnovna mera rasipanja koristi se pozitivan kvadratni koren varijanse D(t), prema relaciji (2.66):

$$\sigma = |\sqrt{D(t)}| = \left| \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \cdot p_i} \right| = \left| \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \cdot f_i} \right| \quad (2.66)$$

koji se naziva *standardnom devijacijom*.

Za slučaj da su vrednosti razvrstane u intervale koristi se izraz (2.67):

$$\sigma = \Delta t \cdot \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^z (d_i^2 \cdot f_i) - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^z (d_i \cdot f_i) \right)^2} \quad (2.67)$$

Medijan, oznake t_{50} , predstavlja vrednost oko koje postoji jednaki broj elemenata skupa sa manjom, odnosno, većom vrednošću.

2.4.4.2. POSTUPAK UTVRĐIVANJA TEORIJSKOG ZAKONA RASPODELE OTKAZA

Utvrdjivanje teorijskog zakona raspodele vremena u radu ili vremena u otkazu, koja najbolje aproksimira eksperimentalne podatke, predstavlja jedan od krajnjih ciljeva u istraživanju pouzdanosti tehničkih sistema. Izbor

najpovoljnijeg teorijskog zakona raspodele zasniva se na prethodno utvrđenoj hipotezi. Postavljanje hipoteze o teorijskom zakonu raspodele vrši se, kao što je već navedeno, preliminarnom ocenom ponašanja osnovnih statističkih pokazatelja uzorka u koje spadaju srednja vrednost \bar{t} , medijan t_{50} i standardna devijacija σ i osnovnog pokazatelja pouzdanosti, koga reprezentuje funkcija intenziteta otkaza $\lambda(t)$. Upoređivanjem eksperimentalno dobijenih pokazatelja sa ponašanjem pokazatelja koji se pokoravaju teorijskim raspodelama usvaja se ona teorijska raspodela čiji pokazatelji se odlikuju "najsličnijim ponašanjem". Tako je :

- u slučaju kada su približno jednake srednja vrednost i standardna devijacija ($T_{ur} = \sigma$) i kada je intenzitet otkaza konstantan ($\lambda(t) = \text{const}$) potrebno ispitati mogućnost aproksimacije osnovnog skupa podataka eksponencijalnim zakonom raspodele,
- kada su približno jednake srednja vrednost i medijana ($T_{ur} = t_{50}$), treba proveriti hipotezu o normalnom zakonu raspodele,
- u slučaju da intenzitet otkaza raste u vremenu i da je srednja vrednost veća od standardne devijacije ($\lambda(t + \Delta t) > \lambda(t); \forall t \in (0, \infty)$ i $\bar{t} > \sigma$) treba proveriti hipotezu o Weibull - ovoj raspodeli.
- kada intenzitet otkaza $\lambda(t)$ raste, a zatim opada u vremenu treba proveriti mogućnost aproksimacije logaritamsko-normalnim zakonom raspodele,
- ako intenzitet otkaza opada i ako je srednja vrednost manja od standardne devijacije ($T_{ur} < \sigma$) treba ispitati Weibull - ov zakon raspodele sa parametrom oblika manjim od 1 ($\beta < 1$),
- u slučaju da ni jedan od prethodnih uslova nije zadovoljen, a poznato je da polazni podaci predstavljaju minimume slučajno-promenljive treba proveriti hipotezu o raspodeli minimalnih (ekstremnih) vrednosti ili kada je poznato da polazni podaci predstavljaju maksimume (ekstreme)

slučajno-promenljive, treba ispitati mogućnost aproksimacije raspodelom maksimalnih (ekstremnih) vrednosti i/ili Γ - raspodelom.

2.4.4.3. ODREĐIVANJE PARAMETARA WEIBULL-OVE RASPODELE

Vremena otkaza komponenata motornih vozila u većini slučajeva pokoravaju se Weibull-ovom zakonu raspodele. Prednost ove raspodele je u tome što se podešavanjem njenih parametara može opisati većina pojava slučajnih otkaza komponenata primenjenih u inženjerskoj tehnici. Kojem tipu raspodele se pokoravaju otkazi neke komponente u Weibullo-ovoj formuli određuje se pomoću faktora oblika β . Tako na primer, ako je:

- $\beta=1$, radi se o eksponencijalnom zakonu raspodele,
- $1,5 < \beta < 2,5$ radi se o Reyleigh-ovoj raspodeli, ili logaritamsko-normalnoj raspodeli,
- $2,5 < \beta < 4,5$ radi se o normalnom zakonom raspodele.

Osnovne karakteristike pouzdanosti prema Weibull-u određuju se na osnovu sledećih izraza:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.68)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.69)$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.70)$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.71)$$

U slučaju da je preliminarnom analizom utvrđeno da se vremena otkaza pokoravaju Weibull-ovoj raspodeli neophodno je odrediti parametre ove raspodele. Za to u principu postoji nekoliko metoda:

1. Metod linearizacije
2. Gumbel-ov metod
3. Metod maksimalne sličnosti (Maximum Likelihood Method)
4. Metod momenata

Budući da daje najtačnije rezultate u okviru ove disertacije biće primenjen metod linearizacije.

Metod linearizacije polazi od izraza za nepouzdanost komponente u slučaju Weibull-ove raspodele (2.69). Dvostrukim logaritmovanjem datog izraza dobija se:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} / \ln / \ln \quad (2.72)$$

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right) = \beta \ln(t) - \beta \ln(\eta) \quad (2.73)$$

Iz izraza (2.73) je očigledno da ako konstruišemo koordinatni sistem u kome je x-osa sa podelom $\ln(t)$, a y-osa sa podelom (2.74), Weibull-ova teorijska raspodela nepouzdanosti postaje prava linija oblika (2.75), odnosno (2.76):

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right) \quad (2.74)$$

$$y = \beta \cdot x - \beta \cdot \ln(\eta) \quad (2.75)$$

$$y = ax + b \quad (2.76)$$

Odatle se vidi da je parametar oblika β zapravo i nagib prave linije dobijene linearizacijom, dok se η dobija izvođenjem iz obrasca (2.77):

$$a = -\beta \cdot \ln(\eta) \quad (2.77)$$

$$\eta = e^{-\frac{a}{b}} \quad (2.78)$$

Najčešći i najtačniji postupak dobijanja parametara a i b je korišćenjem *metode najmanjih kvadrata*. Pa se odatle a i b mogu izračunati pomoću izraza (2.78) i (2.79):

$$a = \frac{i \cdot \sum(x \cdot y) - (\sum x) \cdot (\sum y)}{i \cdot \sum(x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.79)$$

$$b = \frac{\sum(x^2) \cdot (\sum y) - (\sum x) \cdot \sum(x \cdot y)}{i \cdot \sum(x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.80)$$

Parametre raspodele moguće je dobiti i *grafičkim putem*, pri čemu se očitavanje može vršiti ili na Weibull-ovom verovatnosnom papiru ili se može izvršiti regresiona analiza u okviru programskog paketa Excel, pa se Weibull-ovi parametri dobijaju preko koeficijenta intersekcije linearizovane prave i koordinata.

Kao što je već prikazano, nepouzdanosti elemenata na krajevima intervala moguće je odrediti i preko *medijalnog ranga*.

$$MR(t) = \frac{N(t) - 0,3}{n + 0,4} \quad (2.81)$$

Postupak koji je obavezan za uzorak manji od 50, ali se ne primenjuje za veće uzorke, zbog obimnijeg posla oko izračunavanja. Razlika između $MR(t)$ i $F(t)$ za veće uzorke je zanemarljiva, ali je u ovom slučaju to neophodno, jer je

potrebno logaritmovati vrednosti, tako da ekstremne vrednosti $F(t)$, koje iznose 0 i 1 ne bi mogle da daju rezultate.

2.4.3. TROŠKOVI ODRŽAVANJA

Uticaj konstrukciono-eksploatacionih osobina sastavnih delova sistema na efektivnost primene različitih strategija održavanja, a time i na efikasnost programa održavanja u celini treba obavezno analizirati kroz promene pokazatelja pouzdanosti, gotovosti i troškova održavanja. Koliko je važno da sistem održavanja omogući proizvodno-tehnološkom sistemu maksimalnu gotovost – isto tako je važno da i troškovi održavanja ne budu veliki, jer se dobit ostvarena zbog povišenja gotovosti, može znatno smanjiti. Iz praktičnih razloga, pogotovo nemogućnosti da se predvidi koliko dugo će sistem biti u upotrebi ili nemogućnosti da se predvidi njegovo ponašanje u periodu starenja, obično se efikasnost sistema izražava troškovima na godišnjem nivou.

Ovde je bitno napomenuti da stvarni troškovi neke opreme ili sistema nisu samo troškovi investicija za opremu, nego i svi troškovi koji proizilaze iz njihove instalacije, upotrebe, podrške i na kraju odlaganja. Troškovi životnog ciklusa (engl. *life cycle costs* - LCC) su u današnje vreme postali osnovni kriterijum preko koga se utvrđuje efikasnost nekog sistema, budući da troškovi akvizicije predstavljaju otprilike samo 28% ukupnih troškova životnog ciklusa.

Korisnik može samo uticati na operativne troškove i troškove održavanja. Troškovi akvizicije i odlaganja su troškovi koji ne zavise od delovanja korisnika.

Ako uzmemo u obzir samo troškove održavanja onda su ukupni troškovi održavanja tokom nekog kumulativnog vremena T jednaki:

$$C_{uk} = C_p + C_k \quad (2.82)$$

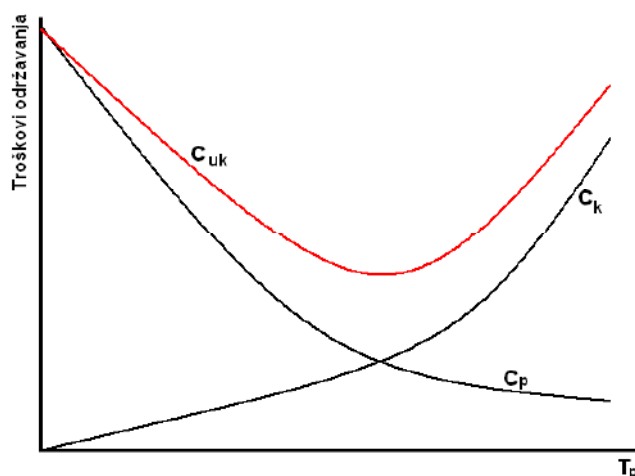
Očekivana vrednost troškova opravke tokom kumulativnog vremena T, ako je λ (T) intenzitet otkaza, a c_k trošak pojedinačne opravke je:

$$C_k = N_f \cdot c_k = \lambda(t) \cdot T \cdot c_k \quad (2.83)$$

Gde je N_f broj opravki u kumulativnom vremenu T.

Obično se očekuje da će sistem na početku i većim delom svoga veka imati niske troškove održavanja i da će tek pri njegovom kraju troškovi osetnije porasti. Ova pretpostavka bazira se na promeni intenziteta otkaza prikazanom na klasičnoj predstavi dijagrama kade. Takav porast troškova bi u stvari trebalo očekivati, ako bi na sistemu dolazilo samo do onih oštećenja s kojima je proizvođač prilikom konstruisanja i računao. Ako je sistem dobro konstruisan, tada je i svaki pojedini deo tako dimenzionisan da može da ispadne iz pogona tek pošto prođe vek trajanja celog sistema. Kada bi se sistemi tako ponašali i u praksi, tada tokom svog veka trajanja, osim niskih troškova preventivnog održavanja i zamene jeftinih habajućih delova sistemi ne bi trebalo da prouzrokuju nikakve osetljive troškove održavanja. Međutim, najveći deo tehničkih sistema ispada iz pogona tokom svog optimalnog radnog veka, prateći zakonitosti slučajnih događaja. U proseku takva slučajna oštećenja prouzrokuju gotovo polovinu ukupnih troškova. Ostalu polovinu čine troškovi usled ispadanja sistema iz pogona zbog pohabanosti (starenja sistema), a jedan deo toga otpada i na troškove koji nastaju u periodu uhodavanja sistema, kada su intenziteti otkaza izuzetno visoki, i postepeno se stabilizuju. Generalno su troškovi zastoja zbog otkaza u većini slučajeva veći od troškova održavanja.

Preventivni troškovi održavanja smanjuju se sa povećanjem intervala preventivnih aktivnosti, što je i logično jer će broj preventivnih aktivnosti na nivou godine biti manji, dok se troškovi korektivnog održavanja povećavaju zajedno sa povećanjem intervala T_p (slika 2.11). Ovo iz razloga što u slučaju produženja intervala T_p postoji veća verovatnoća da će se između dve uzastopne preventivne aktivnosti desiti otkaz, pa je ukupan očekivani broj otkaza, odnosno frekventnost korektivnih aktivnosti usled iznenadne pojave otkaza veća. U procesu optimizacije preventivnih aktivnosti, tendencija je upravo da se pronade onaj preventivni interval T_p , za koji će troškovi održavanja biti minimalni.



Slika 2.11. Zavisnost troškova održavanja (ukupnih, preventivnih i korektivnih) od intervala preventivnih aktivnosti održavanje

I pored poteškoća koje prate određivanje troškova održavanja, oni se mogu unapred predvideti na osnovu:

- praćenja prosečnih troškova održavanja u proteklim razdobljima,
- podataka o troškovima održavanaj sličnih sistema, i
- postotka nove vrednosti.

Postotak nove vrednosti zasniva se na saznanju da su troškovi održavanja u normalnom veku trajanja sistema približno jednaki nabavnoj vrednosti sistema i da su u vremenu trajanja, odnosno rada sistema približno ravnomerno raspoređeni. Iz toga proizilazi da nabavnu vrednost treba podeliti sa životnim vekom – da bi se dobio očekivani godišnji iznos troškova.

Upotrebom posebnog tehničko-ekonomskog modela može se relativno brzo pronaći optimalna strategija održavanja koja će garantovati pružanje usluge prevoza odgovarajućeg kvaliteta i nivoa gotovosti. Proces formiranja modela obuhvata više uzastopnih etapa i po pravilu je iterativan. U prvoj etapi vrši analiza tehnoloških režima rada sistema, struktura vozila i istorijat njihove tehničke i ekonomske efektivnosti eksploatacije. Druga etapa obuhvata početnu izračunavanje karakterističnih pokazatelja efektivnosti i efikasnosti, a u trećoj etapi se biraju optimalne karakteristike efektivnosti (pouzdanosti, gotovosti i troškova održavanja). U četvrtoj etapi se koristeći ekonomske pokazatelje (direktnih i indirektnih troškova održavanja) i zadati kriterijum gotovosti bira optimalna strategija održavanja.

3.

SAVREMENE METODE OPTIMIZACIJE SISTEMA ODRŽAVANJA

Dostizanje optimalnog vremena korišćenja sistema, u toku koga bi sistem trebalo da uz kvalitetnu podršku (pravovremeno i efektivno održavanje) obavlja svoju funkciju u skladu sa zadatom funkcijom kriterija je problem koji se u svetskoj literaturi i praksi pokušava rešiti različitim mehanizmima.

Uopšteno je moguće podeliti ova rešenja na nekoliko kategorija, a to su:

- *Procesni pristupi*
- *Tehnike za poboljšanje poslovanja*
- *Napredne tehnologije praćenja vozila u eksploataciji* (engl. *Advanced vehicle highway systems - AVHS*).
- *Matematičko modeliranje sistema održavanja u cilju povećanja efektivnosti*

Procesni pristupi imaju opšti karakter i primenjivi su na različite sisteme poslovanja, a kada je reč o organizovanim voznim parkovima imaju za cilj reorganizaciju procesa održavanja, kako bi se u njega izvršila inkorporacija osnovnih zadataka sa stanovišta ostvarenja zadatih kriterijuma efektivnosti. U domenu održavanja u svetu su trenutno najzastupljeniji postupci *reinženjeringa* i *benchmarkinga*¹⁰.

¹⁰ *Benchmarking* je strukturalni prilaz koji se koristi u upravljanju i strateškom odlučivanju u preduzećima, u cilju identifikovanja najboljih praksi iz industrije i upravljanja, i poređenjem tih

U *metode i tehnike za poboljšanje poslovanja spadaju*: krugovi kvaliteta (engl. *quality circles*), razne vrste reorganizacije (horizontalna hijerarhija, profitno troškovni centri, *down & right sizing*, itd.), inverzno inženjerstvo, konvergentno inženjerstvo, uvođenje informacionih sistema (CIMM, MRPS, IIS, DSS, itd.), ekspertni sistemi i sl. Sve ove metode temelje se uglavnom na statističkoj oceni pouzdanosti i pogodnosti održavanja i donošenju odluka na osnovu dobijenih rezultata.

Termin *Advanced vehicle highway systems* - AVHS odnosi se na razvijene tehnologije koje su primenjene u transportu motornim vozilima, a u njih spadaju: automatska identifikacija vozila i naplata usluga prevoza, sistemi za izbegavanje sudara, navigacioni sistemi, napredna kontrola saobraćajne signalizacije i optimizacija, automatska detekcija incidenata, automatska korekcija putanje vozila (bočna i podužna), itd. Danas je u ovim tehnologijama prepoznata i potreba za boljom kontrolom saobraćaja, kao i potreba za povećanjem efikasnosti i efektivnosti drumskog transporta.

Matematičko modeliranje sistema održavanja u cilju povećanja efektivnosti odnosi se na optimizaciju sistema održavanja prema različitim kriterijumima i ograničenjima. Jedan od najvećih problema u primeni savremenih politika održavanja je određivanje perioda za izvođenje postupaka preventivnog održavanja, kao i perioda za utvrđivanje (dijagnostikovanje) stanja vozila, pod uslovom da ti periodi utiču samo na povećanje ukupne efektivnosti sistema, a ne na njeno smanjivanje. Do sada je objavljen veliki broj radova sa predlozima modela za optimizaciju periodičnosti preventivne zamene elemenata, a uopšteno su funkcije kriterijuma postavljene kao potreba postizanja:

- maksimalnog učinka

praksi i njihovim prilagođavanjem datoj organizaciji. Sam termin *benchmarking* odnosi se na upoređivanje rezultata i procesa rada preduzeća ili njegovih sektora sa procesima u drugim kompanijama koje se bave sličnim aktivnostima i vodeće su u tom polju.

- maksimalnog kvaliteta
- maksimalne pouzdanosti
- maksimalne gotovosti
- maksimalne ekonomičnosti i sl.

Sve ove funkcije kriterijuma obuhvataju tri osnovna cilja:

- maksimiziranje učesća vremena u radu (T_{ur}) u vremenu životnog ciklusa sistema ($T_{ur}+T_{uo}$), odnosno maksimiziranje operativne gotovosti sistema (A);
- maksimiziranje pouzdanosti u radu (ukoliko su troškovi održavanja različitih varijanti politika održavanja približno isti);
- minimiziranje očekivanih troškova održavanja (C_{uk}) u vremenu trajanja sistema za varijante održavanja, koje obezbeđuju približno isti nivo pouzdanosti, ili za varijante održavanja koje obezbeđuju različite nivoe pouzdanosti sistema; i
- maksimiziranje očekivanog dohotka po jedinici vremena u toku trajanja sistema.

3.1. MATEMATIČKO MODELIRANJE SISTEMA ODRŽAVANJA

Analiza i optimizacija sistema održavanja uobičajeno se sprovodi primenom nekog od matematičkih modela koji predstavljaju pojednostavljene prikaze procesa promene stanja i održavanja sistema u obliku matematički izraženog odnosa određenih parametara tih procesa. Pomoću modela održavanja određuje se nepoznati parametar odabrane koncepcije održavanja. Modeli održavanja, dakle, opisuju uticaje pojedinih parametara u sistemu održavanja na izlazne veličine.

U opštem smislu optimizacija tehničkog sistema može da se realizuje u više varijanti, koje se mogu razlikovati više ili manje prema osnovnim obeležjima pojedinih rešenja. Ovaj proces ima za neposredni zadatak izbor najpovoljnijeg rešenja, koje u opštem smislu ne mora obavezno da bude matematički ekstrem odgovarajuće kriterijumske funkcije, već može da bude i neko kompromisno rešenje, koje ispunjava uslove postavljene kriterijumima i ograničenjima. Bez obzira koje se metode koriste u optimizaciji, postupak optimizacije zahteva da se prethodno precizno definišu kriterijumi prema kojima treba odabrati optimalno rešenje, kao i bitna ograničenja o kojima treba voditi računa. Sa ovog stanovišta u inženjerstvu održavanja postoje dva osnovna prilaza:

- Rešenje koje obezbeđuje minimum troškova
- Rešenje koje obezbeđuje maksimalnu gotovost sistema.

U praktičnom smislu to znači da ako su troškovi definisani kao kriterijum optimizacije, onda se minimalno dozvoljeni nivo gotovosti definiše kao ograničenje, i obrnuto. Ako se optimizacija vrši prema gotovosti, onda maksimalni nivo prihvatljivih troškova predstavlja ograničenje optimizacije.

Prema podeli datoj u [12] modeli održavanja generalno se mogu podeliti na modele koji opisuju tri osnovne politike održavanja:

- Modeli preventivnog održavanja;
- Modeli korektivnog održavanja;
- Modeli preventivno-korektivnog održavanja.

U svetskoj literaturi modeli korektivnog održavanja nisu toliko razvijeni, budući da se njima ne rešava problem optimizacije sistema održavanja, nego samo tretira efikasnije sprovođenje korektivnog održavanja,

koji omogućavaju da se sistem vrati što hitnije u stanje u radu. Jedan od modela korektivnog održavanja razvio je Clarotti [13]. Prema ovom modelu tokom upotrebe neke komponente prati se intenzitet otkaza komponenata u skupu i komponente zamenjuju pre nego što dolazi do značajnog povećanja intenziteta otkaza, tako da se uvek ostaje u nivou konstantne stope otkaza.

Modeli preventivno-korektivnog održavanja kombinuju modele korektivnog i preventivnog održavanja kako bi obezbedili i povećanu efikasnost sistema održavanja i što efikasnije izvođenje korektivnih postupaka održavanja. U okviru ove disertacije posebno su zanimljivi modeli preventivnog održavanja, koji se odnose na kriterijumske funkcije sistema održavanja, iskazane kao minimalni troškovi ili maksimalna gotovost. U svetskoj literaturi ima malo modela koji povezuju kriterijume gotovosti i troškova, tako da se definiše određeno kompromisno rešenje optimizacije, odnosno razmena koja ide od jednog u korist drugog kriterijuma. Najšeće su razvijeni modeli koji se odnose samo na minimizaciju troškova ili maksimiziranje gotovosti, a u tom slučaju se ili gotovost ili troškovi iskazuju kao zadata ograničenja.

3.2. STRATEGIJE PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA

Za obezbeđivanje optimalnosti kriterijuma maksimalne gotovosti i minimalnih troškova održavanja najprikladniji za primenu u održavanju su preventivni modeli održavanja prema vremenu. U svim modelima preventivnog održavanja vremenski intervali za preventivne zamene ili preglede određuju se kao slučajno promenljive, preko kojih se definiše i funkcija pouzdanosti.

Modeli preventivnog održavanja su zapravo uvek primenjeni u okviru politike kombinovanog održavanja (preventivnog i korektivnog) iz sledećeg razloga. Naime, prema ovim modelima postupci preventivnog održavanja se izvode posle definisanog vremenskog perioda T_p , za koji se definiše zahtevani nivo pouzdanosti. Samim tim je jasno, da će u toku vremenskog perioda T_p ipak doći do otkaza pojedinih elemenata, za koje je neophodno organizovati korektivno održavanje. Naravno cilj primene ovih modela jeste da se korektivno održavanje svede na minimum, ali kao što će biti reči kasnije, preventivno održavanja nije svrsishodno za sve raspodele otkaza komponenata, tako da se u zavisnosti od zahtevanog nivoa pouzdanosti (gotovosti) i troškova održavanja primenjuju i strategija korektivne zamene sastavnih delova sistema.

Karakteristične su tri vrste preventivnih zamena:

1. *Zamene komponenata prema fiksnom datumu*
2. *Zamene komponenata prema fiksnom vremenskom intervalu*
3. *Zamene komponenata prema stanju*

3.2.1. ZAMENE PREMA FIKSNOM DATUMU

(engl. Age Replacement)

U slučaju da je neka komponenta zamenjena nakon definisanog vremenskog intervala T_p bez obzira da li je u tom vremenskom trenutku T_p komponenta u stanju u otkazu ili stanju u radu ovakva politika održavanja naziva se *preventivna zamena prema fiksnom datumu*. Strategija zamena prema fiksnom datumu se različito objašnjava od strane različitih autora, ali ideja je zapravo u tome da će se neka komponenta zameniti i pre isteka akumuliranog

vremena za preventivnu zamenu T_p . Zamene prema fiksnom datumu imaju dva značajna obeležja:

- Primena preventivne zamene prema fiksnom datumu ne vodi računa o tome da li je u toku vremenskog intervala T_p neki element već otkazao i bio zamenjen. Kada sistem dostigne interval T_p sve previđene komponente za zamenu biće zamenjene bez obzira da li su startovale svoj rad zajedno sa sistemom na početku vremenskog intervala T_p , ili su ugrađene kasnije. Iz tog razloga je svodjenje broja otkaza po vremenskom intervalu T_p na najmanji mogući nivo jedan od značajnih uticajnih faktora na ostvareni nivo troškova održavanja.
- Drugi razlog je grupisanje elemenata koji imaju slične karakteristike pouzdanosti (tzv. *blok zamene*). Termin blok zamene potiče odatle što se u okviru ove politike u istom vremenskom intervalu zamenjuje blok ili grupa komponenata koje imaju potpuno nezavisnu istoriju otkaza, ali približna srednja vremena do otkaza. U tom slučaju će se za elemente koji imaju duži vremenski ciklus nego što je to unapred definisani interval T_p izgubiti određeni nivo resursa, u skladu sa izrazom (2.4). Iz tog razloga optimizacija sistema održavanja ima upravo za cilj da se izgubljeni deo resursa svede na minimum.

3.2.2. ZAMENE PREMA FIKSNOM VREMENSKOM INTERVALU

(engl. *Block Replacement*)

U slučaju da se preventivne zamene izvode prema konstantnom intervalu, to znači da će neka komponenta biti zamenjena uvek nakon nekog perioda T_p , koji biva određen na osnovu jednog od već pomenutih kriterijuma

(maksimiziranja gotovosti i pouzdanosti ili minimiziranja troškova). Nedostatak ove strategije zamena ogleda se u činjenici da je ova metoda dosta nepogodna za kompleksne sisteme održavanja iz razloga što se izvođenje preventivnih aktivnosti ne može najbolje planirati. Ovo se dešava stoga što neka komponenta može biti zamenjena ili nakon isteka određenog vremena T_p , ili nakon pojave iznenadnog otkaza komponente, čija učestalost se može pretpostaviti, ali ne i garantovati. Tako će, bez obzira da li su neki sistemi započeli rad istovremeno, svi dospevati na preventivnu zamenu u kalendarski različito vreme, pa je u takvim uslovima nemoguće korektno oceniti kapacitete ili organizaciju radne snage. Ono što je međutim prednost ove strategije je činjenica da je gubljenje resursa komponentata svedeno na minimum.

3.2.3. ZAMENE PREMA STANJU (engl. *Condition Based Replacement*)

Kao što je već rečeno u prethodnom poglavlju istraživanje Nolana i Heap-a [11] donelo je još jednu strategiju održavanja, koja se bazira na činjenici da većina komponentata koje se ugrađuju u mobilne tehničke sistem ne poseduje karakteristiku otkaza, koja prati klasični *dijagram kade*. Kao što smo videli 80% komponentata koje se ugrađuju u avione nikad ne dodje u stanje kada intenzitet otkaza počne naglo da raste (to jeste ne doživi fazu starenja). Iz tog razloga se u sistemima održavanja, koji su prevashodno orijentisani na minimalizaciju troškova, i u uslovima tehničkih sistema, čiji su sastavni delovi veoma skupi, primenjuje zamena prema stanju. Pored problema da je u slučaju primene ove strategije održavanja kao i u prethodno opisanim zamenama prema konstantnom vremenskom intervalu, otežano planiranje aktivnosti preventivnog održavanja, strategija zamena komponentata prema stanju suočava se i sa problemom smanjenja gotovosti i povećanja troškova održavanja, usled činjenice da je neophodno planirati i organizovati aktivnosti

dijagnostike stanja i kontrole sistema. Međutim, situacija se i dodatno komplikuje iz razloga što kontrola stanja takođe ima neku verovatnoću da li će biti uspešno izvedena, odnosno nije baš moguće najbolje odrediti sa kojom pouzdanošću se može tvrditi da neki element neće otkazati do sledećeg trenutka u vremenu kada će kontrola biti ponovo izvršena. Iz tog razloga se u savremenim tehničkim sistemima stanje elementa u većini slučajeva prati automatskim samo-dijagnostičkim sistemima ugrađenim u vozilo, čime se izbegava isključivanje sistema iz rada sa ciljem sprovođenja kontrole stanja. Svakodnevnim prikupljanjem kontrolnih parametara i proučavanjem nivoa degradacije sistema se onda u određenom tolerantnom periodu izvodi preventivna zamena kritičnih komponenata za vreme sledećeg nivoa preventivnog održavanja.

3.3. MERILA ZA EVALUACIJU PRIMENJENE STRATEGIJE ODRŽAVANJA

U dosad razvijenim modelima prisutnim u literaturi koriste se različita merila za ocenu modela preventivnog održavanja. Očekivani broj otkaza i očekivani broj preventivnih zamena u određenom vremenskom intervalu su veličine koje su naročito istaknute u radu Flehinger-a [14]. Druga značajna veličina za evaluaciju je verovatnoća broja otkaza u posmatranom vremenskom intervalu, koja je detaljnije obrađivao Weiss [15]. Ovde takođe treba istaći da preventivna zamena nije prihvatljiva za određene raspodele otkaza komponenata, što ističu različiti autori. Na primer Herd [16] je bazirao svoja razmatranja samo na intenzitetu otkaza, navodeći da je preventivna zamena adekvatan oblik održavanja sistema, samo za one komponente kod kojih je intenzitet otkaza rastuća funkcija. Weiss [15] je razmatrao preventivnu politiku održavanja prema fiksnom vremenskom intervalu, ako se u definisanom

vremenskom intervalu za zamenu ne dese otkazi. On je predložio da bi preventivna zamena prema fiksnom vremenskom intervalu bila dobar izbor, u slučaju da je očekivano vreme pojave otkaza u toku misije sistema u zavisnosti od vremena, opadajuća funkcija. Drugi kriterijum koji je koristio je srednji vek preživljavanja komponente (engl. *residual life*). Prema tom razmatranju ako je srednji vek preživljavanja komponente opadajuća funkcija onda takođe ima smisla primenjivati preventivne zamene prema konstantnom vremenu. U starijoj literaturi ovim problemom bavili su se Lotka [17] i Campbell [18] koji su u svojim radovima napravili komparativnu analizu zamene uličnih sijalica pojedinačno nakon otkaza svakog od njih i preventivne zamene sijalica kada se približe kraju svog životnog ciklusa. Naravno u analizi je jasno dokazano da su troškovi preventivne zamene bili niži ako su se upoređivali sa gubicima koji bi nastajali usled nepredviđenih otkaza, ili kako su to oni definisali u slučaju neplaniranih opravki (engl. *random replacements*).

U seriji svojih izveštaja Weiss [15;19] je razmatrao efekte na pouzdanost sistema i troškove održavanja u slučaju primene politike planiranih zamena prema fiksnom vremenskom intervalu i neplaniranih zamena nakon pojave otkaza, a sličan pristup imali su i Flehinger [14] i Brender [20].

Revoluciju u proćavanju ove problematike donela je i spoznaja da vreme neophodno za zamenu komponente ne može biti zanemarljivo malo, što je naravno dovelo do modeliranja stohastićkog procesa sa dva stanja: *u otkazu* i *u radu*, i razmatranja tehnićke pogodnosti konstrukcije za održavanje, kako bi se vreme u otkazu svelo nanajmanju moguću meru. Pioniri u razvoju modela ovog tipa bili su Takács [21] i Barlow i Hunter [22], a od tog vremena problemi zamene su počeli da se tretiraju primenom teorije obnavljanja i stohastićkih procesa, kao u radovima Smith-a [23] i kasnijim radovima Barlow-a [24;25].

U oceni varijanti održavanja od posebnog interesa su sledeće velićine:

- verovatnoća da će komponenta koja se zamenjuje nakon otkaza biti u stanju u radu u definisanom vremenskom intervalu zamene;
- verovatnoća da će komponenta biti u stanju u radu tokom vremena t ili duže od definisanog vremenskog intervala zamene;
- očekivano vreme u radu komponente tokom definisanog intervala zamene;
- raspodela otkaza tokom definisanog intervala zamene;
- očekivani broj otkaza tokom definisanog intervala zamene.

Barlow [26] naziva ove veličine operativnim karakteristikama politike održavanja i one su osnova za svako upoređivanje politika održavanja i određivanje neophodnih zaliha rezervnih delova za zamene. U većini slučajeva pretpostavlja se da je mehanizam otkaza habajućeg karaktera, što znači da je intenzitet otkaza rastuća funkcija.

U praktičnom smislu to znači da je za bilo kakvu ozbiljinu analizu, koji interval zamene bi bio optimalan za dati sistema održavanja, neophodno prikupiti podatke o otkazima vozila i odrediti: raspodelu intenziteta otkaza i očekivani broj otkaza u intervalu T_p , broj planiranih zamena u nekom vremenskom trenutku t i ukupan broj zamena (planiranih i neplaniranih) u nekom proizvoljnom vremenskom trenutku t . Poznajući ove veličine moguće je razviti matematičke modele koji bi dali optimalni interval za sprovođenje aktivnosti preventivnih zamena.

3.4. SAVREMENI MODELI OPTIMIZACIJE PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA

Kao što je već rečeno, u predmetnoj disertaciji su od posebnog interesa modeli koji su razvijeni za potrebe optimizacije preventivnog održavanja, pa će

iz tog razloga u nastavku biti dat kratak opis modela koji su zaživeli u praksi i premenjuju se za poboljšanje organizacije održavanja.

3.4.1. MODELI OPTIMIZACIJE PERIODA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA NA OSNOVU KRITERIJUMA MINIMALNIH TROŠKOVA

U slučaju primene modela za optimizaciju perioda preventivnog održavanja na osnovu kriterijuma minimalnih troškova za izbor optimalne varijante održavanja vrši se minimalizacija funkcije ukupnih troškova održavanja (direktnih i indirektnih), bez gubitaka koji mogu nastati u drugim pogonima iz tehnološkog lanaca proizvodnje. Ovi modeli se primenjuju u svim varijantama održavanja, pri čemu su gotovost i pouzdanost sistema približno istog nivoa.

Osnovu modela čini upoređivanje troškova preventivnog i korektivnog održavanja. U slučaju kada su troškovi korektivnog održavanja veći od troškova korektivnog održavanja ($C_k > C_p$) i kada elementi imaju intenzitet otkaza (λ), koji je rastuća funkcija postoji optimalni interval preventivnog održavanja (T_p), koji daje minimum ukupnih troškova održavanja.

Prema modelu datom u literaturi [12], kriterijumska funkcija u tom slučaju se izražava preko ukupnih troškova održavanja:

$$C_{uk} = C_k \cdot \lambda_{kT_p} + C_p \cdot \lambda_{pT_p} \quad (3.1)$$

Optimalno rešenje za vrednost intervala preventivnog održavanja T_p , koji minimizira troškove, dobija se preko prvog izvoda kriterijumske funkcije po T_p , odnosno:

$$\frac{dC_{uk}}{dT_p} = 0 \quad (3.2)$$

Troškovi korektivnog održavanja se određuju prema izrazu (3.3):

$$C_k = C_{krd} + C_{krs} + C_{kposl} \quad (3.3)$$

Gde je:

- C_{krd} – troškovi rezervnih delova
- C_{krs} – troškovi radne snage u slučaju korektivnog održavanja
- C_{kposl} – troškovi posledica otkaza

Troškovi korektivnog održavanja se određuju prema izrazu:

$$C_p = C_{prd} + C_{prs} \quad (3.4)$$

Gde je:

- C_{prd} – troškovi rezervnih delova
- C_{prs} – troškovi radne snage u slučaju preventivnog održavanja

Prema postavljenom modelu preventivna zamena se vrši nakon nekog vremenskog intervala T_p . Dok se u period od 0 do T_p vrše korektivne zamene, tako da će se sledeća preventivna zamena obaviti posle T_p časova od trenutka otkaza (ako se ne koristi princip blok zamena o kojima je već bilo reči).

U ovom slučaju je intenzitet otkaza za elemente koji se korektivno održavaju prema [12] :

$$\lambda_{kT_p} = \frac{1 - R(T_p)}{\int_0^{T_p} R(t) dt} \quad (3.5)$$

Dok je intenzitet otkaza za elemente koji se preventivno održavaju:

$$\lambda_{pT_p} = \frac{R(T_p)}{\int_0^{T_p} R(t) dt} \quad (3.6)$$

U slučaju blok zamene elementa sistema, preventivna zamena se obavlja posle fiksnog intervala T_p , bez obzira na to da li je prethodno obavljeno korektivno održavanje (korektivna zamena zbog otkaza u periodu od 0 do T_p). U tom slučaju intenzitet otkaza za korektivno održavanje ima oblik,

$$\lambda_{kT_p} = \frac{T_p - \int_0^{T_p} R(t) dt}{T_p \cdot \int_0^{T_p} R(t) dt} \quad (3.7)$$

a intenzitet otkaza za preventivno održavanje:

$$\lambda_{pT_p} = \frac{1}{T_p} \quad (3.8)$$

Zamenom izraza za intenzitete otkaza u formulu za ukupne troškove održavanja (3.1) dobija se izraz za ukupne jedinične troškove održavanja. Uspešnost rešavanja ovih jednačina zavisi od matematičke složenosti funkcije raspodele vremena do otkaza. U većini slučajeva optimalni interval ne može se naći analitičkim putem, pa se koriste grafičke i numeričke metode.

- **MODEL VAJSBAUMA**

Problem izbora optimalnog intervala preventivnih zamena moguće je takođe rešiti primenom modela koji je razvio Vajsbaum, a predstavljenom u [8]. Matematički izraz za ovaj model se može dobiti sledećom postavkom problema: proizvod ukupnih troškova i srednjeg vremena do pojave otkaza za interval 0 do t je jednak zbiru troškova naknadne intervencije pomnoženih sa verovatnoćom pojave otkaza u tom intervalu i troškova preventivne intervencije pomnoženih sa verovatnoćom da neće doći do pojave otkaza. Ovako postavljen problem se može matematički izraziti preko sledećih jednakosti:

$$T_u \cdot \int_0^t R(t)dt = T_k \cdot F(t) + T_p \cdot R(t) \quad (3.9)$$

$$T_u \cdot \int_0^t R(t)dt = T_k \cdot (1 - R(t)) + T_p \cdot R(t) \quad (3.10)$$

$$T_u \cdot \int_0^t R(t)dt = T_k - T_k \cdot R(t) + T_p \cdot R(t) \quad (3.11)$$

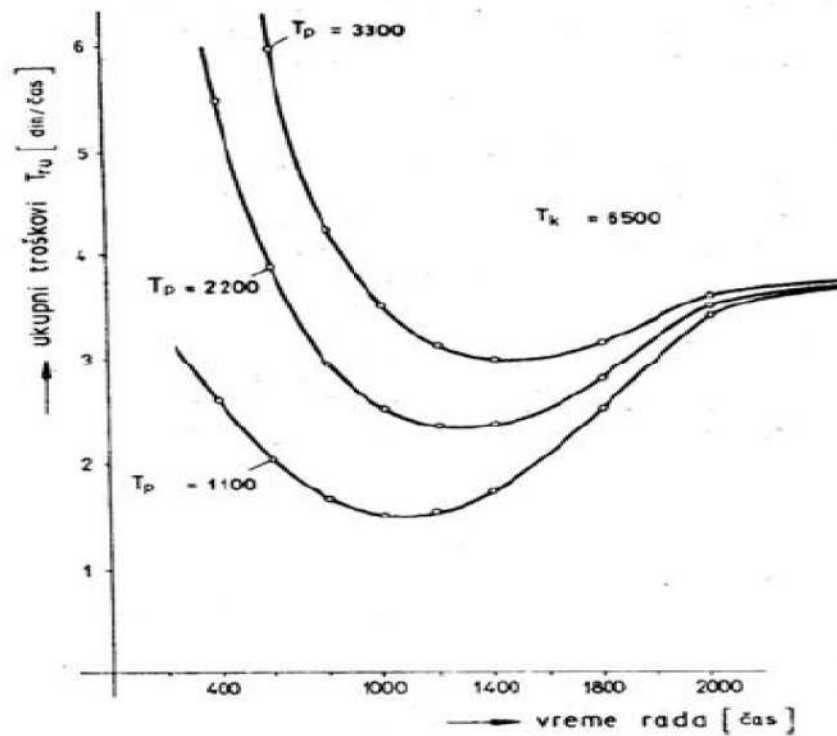
Tako se dobija krajnji izraz za ovaj model u sledećem obliku:

$$T_u(t) = \frac{T_k - (T_k - T_p) \cdot R(t)}{\int_0^t R(t)dt} \quad (3.12)$$

Gde su:

- $T_u(t)$ – ukupni troškovi odražavanja svedeni na čas rada;
- T_k – troškovi korektivne zamene;
- T_p – troškovi preventivne zamene;
- $R(t)$ – verovatnoća da će posmatrani element biti ispravan do trenutka t .

Za rezultate određene primenom ovog modela na primeru datom u knjizi [8] na slici 3.1. data je zavisnost ukupnih troškova od vremena rada sistema.



Slika 3.1. Zavisnost troškova od intervala preventivne zamene prema modelu Vajsbauma (Slika preuzeta iz [8])

Kao što se sa dijagrama 3.1. vidi izvršen je iterativni proračun za različite intervale preventivnih zamena odakle se direktno može videti koja učestalost preventivnih zamena izaziva najmanje troškove.

Problem ovog modela je što se optimalni interval T_p ne dobija direktno, nego iterativnim postupkom, što znatno komplikuje proces, a njegova tačnost zavisi od koraka iteracije.

- **MODEL BARLOWA I PROSCHANA**

Sličan modelu Vajsbauma je i model koji su razvili Barlow i Proschan [27]. Oni su u svom modelu definisali koeficijent troškova (odnosno jedinične

troškove) koji nastaju usled zastoja sistema zbog postupaka održavanja sledećim izrazom:

$$C_{sr} = \frac{C_{uk}}{T_p} = \frac{C_k(1 - p(T)) + C_p \cdot p(T)}{\overline{t_{sr}}} \quad (3.13)$$

Imajući u vidu da je srednje vreme u radu sistema zapravo:

$$\overline{t_{sr}} = \int_0^{T_p} (1 - F(t)) dt \quad (3.14)$$

Uvrštavanjem izraza (3.14) u jednakost (3.13) dobija se:

$$C_{sr} = \frac{C_k(1 - p(T)) + C_p \cdot p(T)}{\int_0^{T_p} (1 - F(t)) dt} \quad (3.15)$$

U slučaju *blok zamena*, a za M komponentata koje se istovremeno zamenjuju, gornji izraz se samo pomnoži sa brojem komponentata:

$$C_{srM} = M \cdot \frac{C_k(1 - p(T)) + C_p \cdot p(T)}{\int_0^{T_p} (1 - F(t)) dt} \quad (3.16)$$

Kao i u modelu Vajsbauma optimalni interval zamene prema minimalnim troškovima održavanja određuje se iterativnim postupkom.

Postoje i drugi modeli ovog tipa, koji na sličan način optimiziraju politike održavanja sa stanovišta troškova, kao na primer modeli koje su razvili: Jorgenson, McCall i Radner [28]. Ovi modeli odnose se na koncepcije održavanja koje su zasnovane u najvećem broju slučajeva na već pomenutim

istraživanjima Barlowa i Proschana i drugih autora, a ovde će ukratko biti predstavljen model Jorgensona.

- **MODEL JORGENSONA**

Kao što je već rečeno, model Jorgensona [28] razvijen je sa ciljem da se dobiju intervali preventivnih zamena komponenata, koji daju najmanje troškove održavanja. A iako je razvijen za bilo koju raspodelu vremena do pojave otkaza, ovaj model se najviše primenjuje na komponente koje se pokoravaju Weibull-ovoj raspodeli.

Jorgenson je ovaj model razvio polazeći od osnovne relacije za pouzdanost elemenata, a pod pretpostavkom važnosti Weibull-ove raspodele ona se daje relacijom:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.17)$$

Logaritmovanjem gornjeg izraza dobija se:

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \quad (3.18)$$

Ako ga ponovo logaritmujeemo dobija se:

$$\ln(\ln R(t)) = -\beta \cdot \ln\left(\frac{t}{\eta}\right) \quad (3.19)$$

$$\ln(\ln R(t)) = \beta \cdot \ln\left(\frac{t}{\eta}\right) - \beta \ln\left(\frac{t}{\eta}\right) \quad (3.20)$$

$$\ln(t) = \ln(\eta) - \frac{1}{\beta} \cdot \ln(\ln R(t)) \quad (3.21)$$

$$\ln(t) = \ln \frac{\eta}{\ln R(t)^{\frac{1}{\beta}}} \quad (3.22)$$

$$t = \frac{\eta}{\ln R(t)^{\frac{1}{\beta}}} \quad (3.23)$$

Ako se u gornji izraz uvede smena:

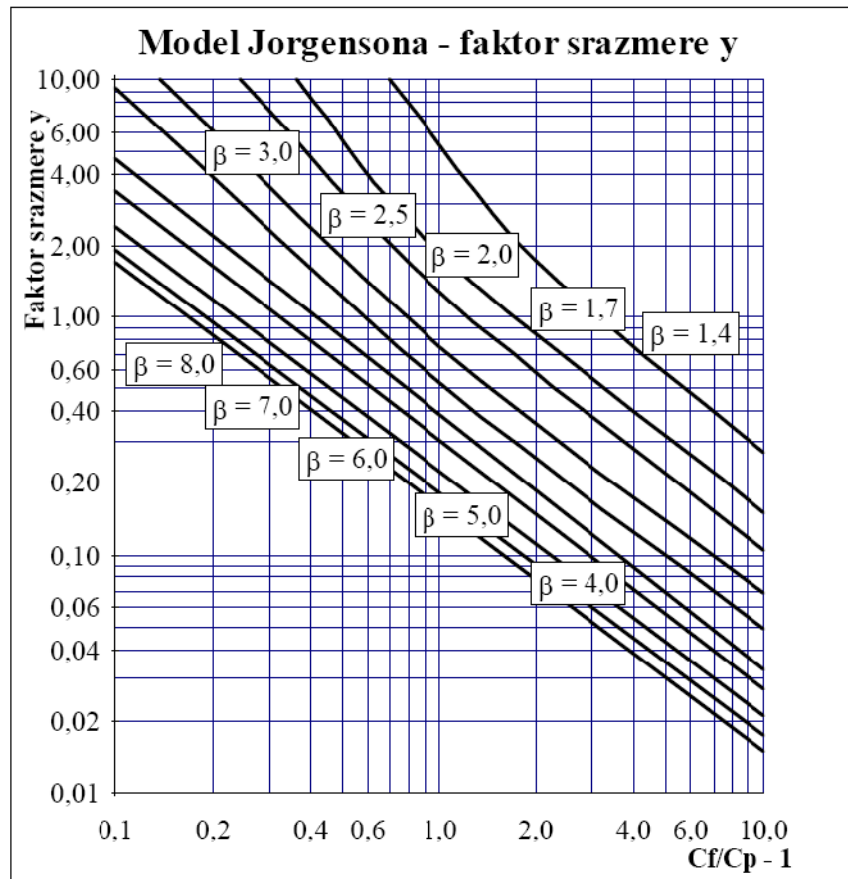
$$y = \frac{1}{\ln R(t)} \quad (3.24)$$

Dobije se izraz za Jorgenson-ov model optimalne periodičnosti zamene:

$$t = y^{1/\beta} \cdot \eta \quad (3.25)$$

Jorgenson je dalje razvio izraz za faktor srazmere y u zavisnosti od minimalnih troškova za zahtevani nivo pouzdanosti, a budući da je izračunavanje faktora y skopčano sa komplikovanim matematičkim operacijama, zbog toga se kao pomoćno sredstvo koristi nomogram sa koga se u zavisnosti od β i η i odnosa troškova korektivnog i preventivnog održavanja y direktno očitava sa dijagrama (slika 3.2).

Pri tome se pretpostavlja da su već poznati parametri Weibull-ove raspodele komponenata i ncene korektivne C_k i preventivne zamene C_p (obično se ovaj faktor daje tablično kao odnos C_k/C_p).



Slika 3.2. Vrednosti faktora srazmere y u zavisnosti od vrednosti parametra oblika i odnosa troškova preventivne i naknadne zamene [29]

Interesantno je još pomenuti model koji je razvio Sheu [30], a koji za obračun troškova uzima u obzir da oni nisu nezavisni od starosti sistema. On predlaže da se troškovi održavanja obračunavaju tako da se sastoje od dve komponente: $C(y)$ koja predstavlja slučajnu veličinu, koja zavisi od pojave iznenadnih otkaza, i $c(y)$, determinističke veličine, koja zavisi od starosti sistema i broja minimalnih opravki koje su prethodno sprovedene nad sistemom. Prema ovom modelu komponenta se zamenjuje kada ili dostigne predviđeno vreme za zamenu T ili ako se desi otkaz čija verovatnoća pojave je $p(y)$.

Cleroux [31] je na osnovu ovih pretpostavki razvio formulu za izračunavanje minimalnih troškova uzimajući u obzir da je verovatnoća izbijanja otkaza $p(y)$ konstantna:

$$C(T, L) = \frac{\left\{ (c_\infty - c_0) + \int_0^L \frac{c(y)}{\bar{K}(L)} dy \right\} \cdot \{1 - \exp[-Q(T) \cdot \bar{K}(T)]\} + c_0}{\int_0^T \exp[-Q(t) \bar{K}(L)] dt} \quad (3.26)$$

Gde su:

- $C(T, L)$ - troškovi održavanja po jedinici vremena
- c_∞ - troškovi neplaniranih zamena
- c_0 - troškovi planiranih zamena
- $\bar{K}(L)$ - funkcija preživljavanja komponente (tj. funkcija pouzdanosti)

Još jedan model koji se temelji na minimalizaciji troškova održavanja je i model koji opisuje Blanks [32], a koji tretira optimizaciju zamena u uslovima kada troškovi rastu usled porasta intenziteta otkaza, koji se pokorava Weibull-ovoj raspodeli. Ako se pretpostavi da su sve buduće zamene identične i ne uzme u obzir pojeftinjenje opreme zbog starenja sistema, onda se ukupni troškovi mogu predstaviti izrazom 3.27:

$$C(t) = C_A + C_O t + \left(\int_\gamma^t \beta \lambda (t - \gamma)^{\beta-1} dt \right) C_F \quad (3.27)$$

Gde su:

- C_A - neto troškovi akvizicije za koje se pretpostavlja da ne zavise od starosti opreme,

- C_O - operativni troškovi i troškovi otkaza u periodu upotrebe sistema kada je intenzitet otkaza konstantan,
- C_F - srednji troškovi opravke nakon otkaza.

Odatle su troškovi po jedinici vremena jednaki:

$$C = \frac{C_A}{t} + C_O + \lambda(t - \gamma)^\beta \cdot \frac{C_F}{t} \quad (3.28)$$

Diferenciranjem gornjeg izraza po t i izjednačavanjem sa nulom ($dC/dt=0$) dobija se jednačina 3.29:

$$\beta t(t - \gamma)^{\beta-1} - (t - \gamma)^\beta = \frac{C_A}{\lambda C_F} \quad (3.29)$$

Odnosno ako se izraz sredi dobija se jednakost 3.30:

$$(\beta - 1)t + \gamma = \frac{C_A}{\lambda C_F} (t - \gamma)^{1-\beta} \quad (3.30)$$

Izraz 3.30. može se rešiti grafičkim putem po t , tako što se u dijagramu predstave obe strane jednačine u zavisnosti od t i nadje tačka preseka, koja daje periodičnost preventivnih zamena za minimalne troškove održavanja.

U slučaju da je $\gamma = 0$, iz izraza 3.30 se direktno može izračunati optimalni period preventivnih zamena t_a prema:

$$t_a = \left(\frac{C_A}{(\beta - 1)\lambda C_F} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (3.31)$$

U literaturi su generalno najzastupljeniji modeli optimizacije perioda preventivnog održavanja sa ciljem minimalizacije troškova. Pored navedenih modela u ovom poglavlju interesantni su i modeli izloženi u sledećoj literaturi: [33-47].

- **MODELI MAKSIMIZIRANJA PROFITA**

Posebnu grupu čine modeli koji kao kriterijum optimizacije troškova tretiraju profit. Jedan od takvih modela opisali su Jardin [48] i Kainfar [49].

Jardin [48] je na primer pretpostavio da postoji relacija između frekvencije preventivnih aktivnosti i frekvencije pojave iznenadnih otkaza. U modelu se takođe usvaja da preventivne aktivnosti ne mogu biti sprovedene kada je sistem u stanju čekanja na rad.

U tom slučaju neto finansijska dobit (P) po godini je:

$$P = TV - n \cdot T_1 \cdot V - \left(\frac{T}{MTBF}\right) \cdot MTTR \cdot V - n \cdot T_1 \cdot c_1 - \left(\frac{T}{MTBF}\right) \cdot MTTR \cdot c_R \quad (3.32)$$

Gde su:

- V – finansijska dobit od rada tehničkog sistema po satu rada,
- c_1 – troškovi preventivnih aktivnosti po satu,
- c_R – troškovi preventivnih aktivnosti po satu,
- n – broj preventivnih aktivnosti,
- T – očekivano vreme rada tehničkog sistema po godini,
- T_1 – srednje vreme izvodjenja preventivne aktivnosti,
- MTTR – srednje vreme za izvodjenje korektivne aktivnosti,
- MTBF – srednje vreme između otkaza.

Kao što se može videti u izrazu 3.32. prvi sabirak predstavlja dobit koja bi mogla biti ostvarena pod uslovom da nije dolazilo da otkaza sistema, drugi sabirak je gubitak profita usled izvodjenja preventivnih aktivnosti, treći sabirak je gubitak profita usled otklanjanja posledica otkaza, a četvrti i peti sabirak su direktni troškovi preventivnih i korektivnih aktivnosti održavanja.

U slučaju da se usvoji takva strategija održavanja da se preventivne aktivnosti mogu sprovoditi i za vreme planiranih dnevnih zastoja, kada se od tehničkog sistema ne očekuje da bude u operaciji, onda se drugi sabirak može izostaviti. U izrazu je pretpostavljeno da su $MTTR$ i T_1 veoma mali u odnosu na $MTBF$ i da su u c_R i c_1 uključeni i troškovi rezervnih delova i potrošnog materijala.

Ako pretpostavimo da se relacija između $MTBF$ i n može dobiti izrazom 3.33:

$$MTBF = kn^a \quad (3.33)$$

i uvrstimo ovu relaciju u jednačinu (3.32), a potom prvi izvod funkcije dB/dn izjednačimo sa nulom, dobije se optimalan broj preventivnih aktivnosti, kako bi profit bio maksimalan pomoću izraza (3.34):

$$n = \left\{ \left(\frac{aT}{k} \right) \left(\frac{MTTR}{T_1} \right) \left(\frac{V + c_R}{V + c_1} \right) \right\}^{\frac{1}{1+a}} \quad (3.34)$$

Gornja relacija pretpostavlja da je relacija između $MTBF$ i n poznata iz podataka koji su prikupljeni iz eksploatacije. Ovde se takođe pretpostavlja da svaka aktivnost održavanja vraća sistem u stanje kao da je nov, dakle isključuje strategiju minimalnih opravki.

Još jedan interesantan model koji se bazira na maksimiziranju profita je nešto stariji model, o kome je već bilo reči, a koji je razvio Smith [23] proučavajući zamene komponenata traktora. Ovaj model uzima u obzir i

pojeftinjenje opreme tokom godina upotrebe, a budući neto profit daje se relacijom (3.35):

$$P = \sum_{k=0}^{\infty} e^{-rkn} \left(\int_0^n [R(kn, t) - E(kn, t)] e^{rt} dt - A + S(n)e^{rn} \right) \quad (3.35)$$

Gde su:

- A - troškovi akvizicije,
- n - starost opreme u trenutku zamene,
- S(n) - iskorišćena dobit nakon n godina upotrebe sistema,
- r - interesna stopa kapitala investicije,
- k - broj zamena,
- t - starost opreme, tj. broj proteklih godina od prethodne zamene,
- R(kn,t) - godišnja bruto obrtna stopa,
- E(kn,t) - troškovi eksploatacije na godišnjem nivou.

Iako je navedeni model razvijen sa ciljem da se obračuna dobit na dužem vremenskom periodu upotrebe sistema, moguće ga je koristiti i za pojedinačne zamene, pri čemu je k=1.

S obzirom na primenjenu strategiju preventivnog održavanja navedeni modeli zamene mogu neposredno da se koriste i za određivanje optimalnih perioda obavljanja dijagnostičkih pregleda sistema. U ovom slučaju optimizira se period vremena u kome treba da se obavi pregled stanja sistema. Uz uslov poznavanja funkcije raspodele vremena rada sistema između otkaza optimizira se vremenski interval T_i , posle koga treba da se izvodi dijagnostika stanja sastavnih elemenata sistema, pri čemu je ovaj vremenski interval manji od srednjeg vremena između otkaza ($T_i < MTBF$). I u ovom slučaju je period dijagnostike stanja T_i optimalan, ako su troškovi održavanja minimalni.

- **MODEL BALDINA**

Jedan od najčešće korišćenih modela, koji se bazira na optimizaciji perioda dijagnostike stanja na osnovu minimalnih troškova, prikazao je Baldin [50]. Model koji je razvio Baldin zasniva se na činjenici da svi realni tehnički sistemi u fazi korišćenja između dva granična stanja *u radu* i *u otkazu* prolaze kroz mnoga međustanja. Osnovna pretpostavka je da stanja elementa nisu u svakom trenutku poznata, već samo u trenucima pregleda. Ako je izmerena vrednost parametra stanja veća od dozvoljene vrednosti, pristupa se sprovođenju postupaka održavanja sistema. Ovako postavljen problem svodi se na ocenu verovatnoće da će jedan sastavni element otkazati u intervalu između dva uzastopna dijagnostička pregleda. Kao kriterijum Baldin daje minimalne ukupne troškove održavanja. Pri tome se pretpostavlja da su troškovi dijagnostičkih pregleda C_i konstantni. Na osnovu toga se može zaključiti da su troškovi korektivnog održavanja C_k proporcionalni vremenu između trenutka kada nastane događaj koji vodi sistem u stanje degradacije performansi i trenutka kada je taj događaj otkriven, odnosno: $C_k(T_i - t_x)$, gde je t_x vreme nastanka otkaza (slučajno promenljiva, a T_i interval dijagnostičkih pregleda stanja).

U tom slučaju se optimalna strategija dijagnostike stanja može postići svođenjem troškova dijagnostike i troškova korektivnog održavanja na minimum.

Ako pretpostavimo takvu strategiju dijagnostike stanja, koja će uvek težiti da jednu vrednost „ p “ zadrži na konstantnom nivou, onda je verovatnoća nastanka otkaza između dve dijagnostike:

$$p = \frac{F(T_i) - F(T_{i-1})}{R(T_{i-1})} = \text{const.} \tag{3.36}$$

Gde je:

- $R(T_{i-1})$ – pouzdanost sistema na intervalu $(0, T_{i-1})$
- $F(T_i), F(T_{i-1})$ - verovatnoća otkaza na intervalu $(0, T_i)$, odnosno $(0, T_{i-1})$

Odatle se može dobiti jednačina nepouzdanosti kao:

$$F(T_i) = 1 - (1 - p)^i = 1 - q^i \quad (3.37)$$

Srednji broj dijagnostika n_i do otkaza može se odrediti kao:

$$n_i = \sum_{i=1}^{\infty} (1 - p)^{i-1} \cdot p = \frac{1}{p} \quad (3.38)$$

Pa se optimalna strategija dijagnostike stanja za očekivane ukupne troškove koji iznose:

$$C_{uk} = \frac{C_i}{p} + C_k t_z(p) \quad (3.39)$$

dobija se u slučaju da je: $\frac{dC_{uk}}{dp} = 0$

Model je moguće primeniti za različite raspodele.

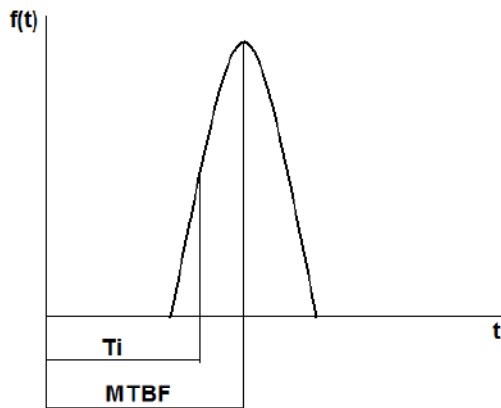
U slučaju, na primer, da se radi o eksponencijalnoj raspodeli, onda se dijagnostički pregledi izvode u konstantnim vremenskim intervalima, pa očekivana vrednost ukupnih troškova iznosi:

$$C_{uk} = \frac{C_i}{p} + C_k \cdot T_i \sum_{i=1}^{\infty} q^{i-1} \cdot p - C_k \left(\frac{1}{\lambda}\right) = \frac{C_i}{p} - C_k \cdot \left(\frac{\ln(1-p)}{\lambda \cdot p}\right) T_i \sum_{i=1}^{\infty} q^{i-1} \cdot p - \frac{C_k}{\lambda} \quad (3.40)$$

Uvrščavanjem jednačine (3.40) u uslov $\frac{dC_{uk}}{dp} = 0$ dobija se:

$$e^{\lambda \cdot T_i} - \lambda \cdot T_i = 1 + \lambda \frac{C_i}{C_k} \quad (3.41)$$

pa se optimalni interval dijagnostike stanja dobija se rešenjem jednačine (3.41) po T_i .



Slika 3.3. Optimalni interval inspekcije [50]

3.4.2. MODELI OPTIMIZACIJE PERIODA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA NA OSNOVU KRITERIJUMA MAKSIMALNE GOTOVOSTI

Za sisteme koji se koriste u vojnoj tehnici, motorna vozila i druga saobraćajna sredstva, generalno se kao kriterijum uspešnosti održavanja koristi maksimalna gotovost ili raspoloživost. U ovim modelima se analiziranjem stanja tehničkog sistema u uslovima korišćenja definiše funkcija gotovosti, čijim se rešavanjem određuje optimalni interval preventivnog održavanja, koji obezbeđuje maksimalnu gotovost. Bitna specifičnost ovih sistema je da imaju izražene pozne otkaze, koji potiču od starenja, korozije, zamora, habanja ili drugih sličnih procesa slabljenja materijala. Ovo je naročito izraženo kod

nemetalnih elemenata, kao što su semerinzi, gumeni zaptivači u ulju, gumene cevi, remenovi, i dr, čiji intenziteti otkaza imaju rastući karakter u vremenu. Budući da ova vrsta otkaza dovodi do toga da pouzdanost sastavnih elemenata ovih sistema tokom vremena bitno opada, čak i u vremenu kada ne rade, tj. u vremenu skladištenja, kada su sistemi u ispravnom stanju i čekaju na uključenje u rad, izazivajući značajno opadanje gotovosti, njima se mora posvetiti posebna pažnja u definisanju periodičnosti preventivnog održavanja. Vrlo često je za ovakve sisteme pogodna primena isključivo korektivnog održavanja, jer se tako ostvaruje maksimalna gotovost, a optimalni vremenski interval za preventivno održavanje koji obezbeđuje maksimalnu gotovost moguće je dobiti samo u slučaju da je srednje vreme za izvođenje preventivnog održavanja manje od srednjeg vremena korektivnog održavanja i kada funkcija otkaza ima rastući karakter.

Model za maksimiziranje gotovosti postavlja se na sledeći način: sistem radi neko slučajno vreme t , pri čemu se preventivno održavanje sprovodi na intervalu T_p . Ukoliko se otkaz dogodi u intervalu $(0, T_p)$ vrši se korektivno održavanje, a ukoliko se otkaz ne dogodi sistem se u trenutku T_p šalje na preventivno održavanje. Dakle postoji verovatnoća p da će se sistem posle preventivnog održavanja vratiti u ispravno stanje i verovatnoća $1-p$ da će sistem biti podvrgnut korektivnom održavanju, jer je otkazao pre isteka vremenskog perioda T_p .

Po ovoj strategiji upravljanja najveći značaj predstavlja optimizacija parametra T_p , koji karakteriše prelaz sistema iz stanja *u radu* u stanje preventivnog održavanja, jer je periodičnost preventivnog održavanja u funkciji pouzdanosti sistema. Kao što je već rečeno, ukoliko je srednje vreme za izvođenje postupaka preventivnog održavanja, manje od srednjeg vremena za izvođenje postupaka korektivnog održavanja ($MTTR_{prev} < MTTR_{kor}$), što je uglavnom slučaj, onda postoji optimalni interval T_p koji obezbeđuje maksimalnu gotovost sistema. Određivanjem optimalnog intervala

preventivnog održavanja omogućava se upravljanje preventivnim održavanjem po vremenu na bazi maksimalne gotovosti.

Znači osnovni zadatak ovog modela, odnosno optimizacija vremena T_p , posle koga se sistem upućuje na preventivno održavanje, rešava se pomoću funkcije gotovosti u obliku:

$$A(T_p) = \frac{T_{ur}}{T_{ur} + T_{uo}} = \frac{\int_0^{T_p} R(t)dt}{\int_0^{T_p} R(t)dt + [1 - R(T_p)] \cdot MTTR_{kor} + MTTR_{prev}} \quad (3.42)$$

Maksimalna vrednost gotovosti dobija se rešavanjem jednačine:

$$\frac{dA(T_p)}{dT_p} = 0 \quad (3.43)$$

Ovaj model moguće je primeniti kod tehničkih sistema ako postoje podaci o srednjem vremenu trajanja preventivnog održavanja ($MTTR_{prev}$), srednjem vremenu korektivnog održavanja ($MTTR_{kor}$) i podaci o vremenima rada do otkaza sistema ($MTTF$).

U nekim situacijama zapravo je prikladnije da se ne uzima u obzir maksimalna gotovost, nego zapravo minimalno vreme u otkazu (engl. *downtime*), kojim se takođe postiže istovetan cilj. U tom slučaju je ukupno vreme u otkazu po godini jednako (3.44):

$$T_D = nT_I + \frac{T}{MTBF} \cdot MTTR \quad (3.44)$$

Pod uslovom da važi Jardinova [48] relacija (3.33) gornji izraz postaje:

$$T_D = nT_I + \frac{T}{kn^a} \cdot MTTR \quad (3.45)$$

Ako nađemo prvi izvod jednačine (3.45) i izjednačimo ga sa nulom ($dT/dn=0$) dobije se optimalan broj preventivnih aktivnosti na godišnjem nivou:

$$n = \left[\left(\frac{aT}{k} \right) \cdot \frac{MTTR}{T_I} \right]^{\frac{1}{1+a}} \quad (3.46)$$

U svom modelu koji se takođe temelji na minimalizaciji vremena provedenog u otkazu Kabir [51] polazi od jednačine funkcije pouzdanosti na određenom intervalu $[t_1, t_2]$:

$$R(t) = e^{-\int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt} \quad (3.47)$$

Ako se uzme da komponenta ima Weibull-ovu raspodelu onda je pouzdanost u trenutku t , nakon što je komponenta doživela svoj radni vek T jednaka:

$$R(t) = \exp\left(-\frac{(T+t)^\beta - T^\beta}{\eta^\beta}\right) \cong 1 - \frac{(T+t)^\beta - T^\beta}{\eta^\beta}, \quad \text{za } R(t) > 0,9 \quad (3.48)$$

Odatle je izveden izraz za optimalan interval prve preventivne inspekcije dat je relacijom (3.49):

$$t_p = \left(\frac{\beta + 1}{\beta} \eta^\beta T_I \right)^{\frac{1}{\beta+1}} \quad (3.49)$$

Dok se intervali sledećih inspekcija, pod uslovom da je u slučaju utvrđivanja otkaza tokom inspekcije izvedena minimalna opravka, dat izrazom (3.50):

$$T_j = \frac{\eta^\beta (\beta + 1) T_I - T_{j-1}^{\beta+1}}{\beta T_j - (\beta + 1) T_{j-1}} \quad (3.50)$$

Slični problemi optimizacije gotovosti obrađeni su i u radovima [52], [53], [54], i [55].

- **MODEL MAKSIMIZIRANJA GOTOVOSTI I NESAVRŠENO ODRŽAVANJE**

Ovde je interesantno prikazati i model koji su razvili Tsai i Wang [7], a koji uzima u obzir nesavršenost preventivnog održavanja. Naime, u skladu sa razvijenim mehanizmima, poboljšanja koja se održavanjem ostvaruju na sistemu mogu se podeliti u dve kategorije. Prva je zamena otkazalih komponentata sistema novim ili repariranim, a druga poboljšanje preostalih komponentata nad kojima su primenjeni postupci redovnog servisiranja i popravki.

Idealno, pouzdanost "preživelih" komponentata može da se modelira korišćenjem modela redukcije godišta. Prema ovom modelu pouzdanost sistema je funkcija starosti sistema i svake aktivnosti održavanja koja je nad njim sprovedena. U zavisnosti od procenta preostalih komponenta sistema kada je on bio održavan, konstruiše se model pouzdanosti sistema nad kojim se sprovodi preventivno održavanje. Pouzdanost sistema na j-tom nivou preventivnog održavanja definiše se kao:

$$R_j(t) = R_{0,j} \cdot R_{v,j}(t) \tag{3.51}$$

Gde je :

- $R_{0,j}$ - vrednost pouzdanosti na početku j-tog nivoa, tj. verovatnoća da će sistem izdržati j-1 perioda održavanja

- R_{vj} - pouzdanost degradacije preostalih komponenta sistema na datom nivou.

Uzimajući da je interval preventivnog održavanja t_p , pouzdanost preostalih (preživelih) komponentata može da se definiše kao:

$$R_{vj}(t) = R \cdot \left(\frac{1}{m_1} (t - (j-1) \cdot t_p) \cdot t_p \right); \quad (j-1)t_p \leq t \leq j \cdot t_p \quad (3.52)$$

Gde je $m_1(0 < m_1 < 1)$ - faktor poboljšanja usled primene aktivnosti redovnog servisiranja. Može da se posmatra kao odnos između vremena koje preživele komponente provedu u radu, u odnosu na njihov originalni životni vek. Na primer, preostali resurs neke komponente je t_1 nakon redovnog servisiranja, a njen originalni životni vek je t_0 ($t_0 > t_1$), pa je faktor $m_1(t_1/t_0)$. Poseban slučaj je kada je $m_1 = 1$, što se dešava u slučaju ako se nakon izvođenja aktivnosti preventivnog održavanja sistem vrati u stanje kao kada je bio nov.

Generalno, poboljšanja koja na sistemu izazovu preventivne opravke mogu da se ocene pomoću faktora poboljšanja m_2 , koji takođe može da bude između 0 i 1, a kojim se reprezentuje nivo oporavka komponentata sistema ne uzimajući u obzir preživele komponente. Prema definiciji početna vrednost pouzdanosti sistema na kome se vrše preventivne opravke može da se izrazi kao 1, označavajući početnu i krajnju vrednost na $(j-1)$ -tom nivou. Početna pouzdanost prilikom izvođenja preventivnih opravki izražava se kao:

$$R_{0j} = R_{f,j-1} + m_2(R_o - R_{f,j-1}) \quad (3.53)$$

gde R_0 izražava početnu pouzdanost novog sistema.

Normalno, preventivne zamene trebalo bi da vrate sistem u njegovo originalno stanje, što znači da su oba faktora poboljšanja $m_1=m_2=1$. U ovom

slučaju početna pouzdanost $R_{0,j} = R_0$, a pouzdanost preživelih komponenti dobija se kao:

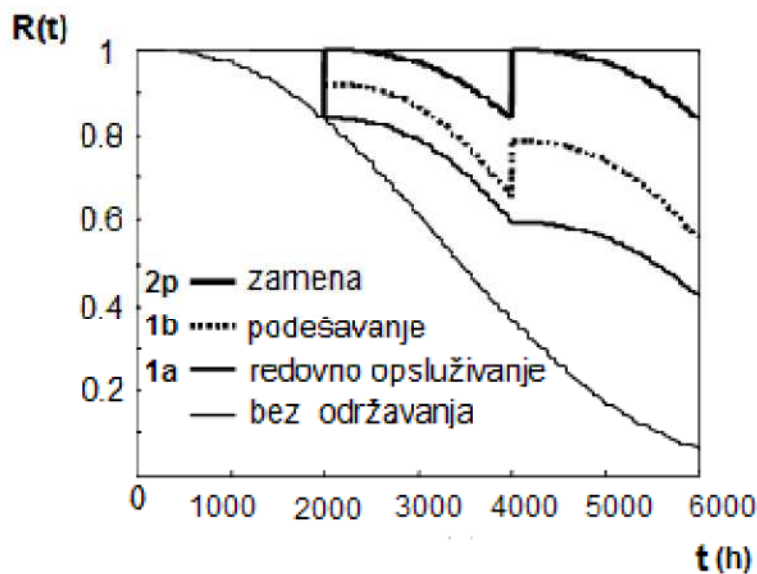
$$R_{v,j}(t) = R(t - (j - 1) \cdot t_p) \quad (3.54)$$

Kako bi se ilustrovali efekti različitih aktivnosti održavanja na pouzdanost i intenzitet otkaza sistema, koristi se sistem čiji otkazi se pokoravaju Weibull-ovoj raspodeli. Pouzdanost sistema izražava se u tom slučaju kao:

$$R_j(t) = R_{0,j} \cdot e^{-\left[\frac{1}{m} \frac{1 - (j-1)t_p}{\eta}\right]^\beta} \quad (3.55)$$

Gde su sa η i β označeni parametar razmere i parametar oblika raspodele respektivno.

Na slici 3.4 data je promena pouzdanosti komponente s obzirom na primenjenu aktivnost preventivnog održavanja.



Slika 3.4. Promena pouzdanosti komponente s obzirom na primenjenu aktivnost preventivnog održavanja [7]

Prema relaciji između pouzdanosti i rizika, funkcija rizika može da se predstavi kao:

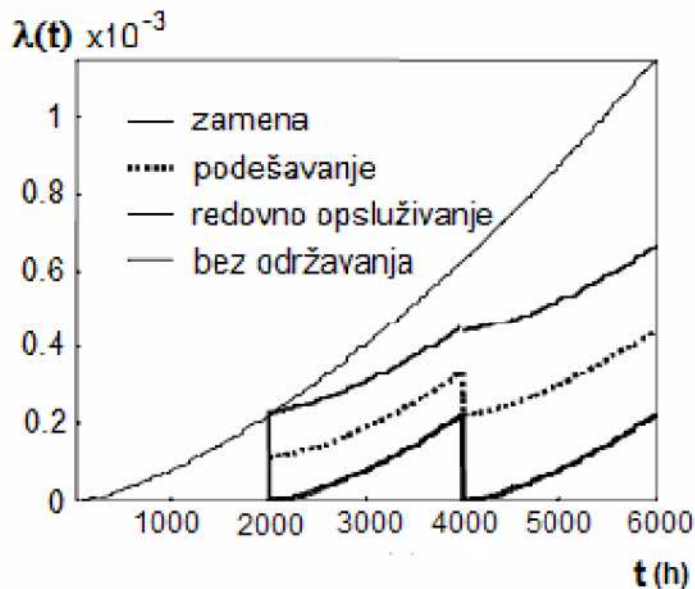
$$h_j(t) = -\frac{1}{R_i(t)} \cdot \frac{dR_j(t)}{dt}; \quad (j-1) \cdot t_p \leq t \leq j \cdot t_p \quad (3.56)$$

A intenzitet otkaza na j-tom nivou može da se izrazi kao:

$$\lambda_j(t) = h_j(t) = h_{0,j} + \frac{1}{m_1} \cdot \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{1}{m_1 - (j-1) \cdot t_p} \right]^{\beta-1} \quad (3.57)$$

Gde je $h_{0,j}$ početna vrednost intenziteta otkaza sistema na j-tom nivou.

Poboljšanja koja se mogu postići održavanjem u odnosu na intenzitet otkaza su ista kao i za pouzdanost sistema. U tom slučaju promena intenziteta otkaza može da se predstavi kao na slici 3.5.



Slika 3.5. Promena intenziteta otkaza s obzirom na primenjenu aktivnost preventivnog održavanja [7]

Kako bi se napravio plan preventivnog održavanja, koji se bazira na gotovosti sistema, potrebno je odrediti prethodno nekoliko parametara, u koje spadaju faktori poboljšanja m_1 i m_2 . Oba faktora su u vezi sa pogodnošću održavanja. Za mehaničke sisteme dva mehanizma su odgovorna za pojavu otkaza: spoljni i unutrašnji. Spoljni mehanizam odnosi se na probleme vezane za loše podmazivanje, zagrevanje, spoljnja prigušivanja i ometanja izazvana kontaminacijom (prljavština i prašina) i loše veze ili pritisak koji izaziva trošenje komponenata.

Unutrašnji mehanizam obuhvata unutrašnja oštećenja, u koje spadaju naprsline, mehanički lomovi, hemijske promene (korozija), zamor i starenje materijala, itd. Redovno servisiranje sadrži aktivnosti koje mogu uticati samo na spoljne mehanizme degradacije sistema. Najzastupljeniji otkazi, koji se razmatraju kada se ocenjuju faktori poboljšanja su zamor, trošenje, starenje i slične pojave, kao npr. korozija, deformacije, puzanje, lom, itd. Relativne verovatnoće pojave ovih otkaza su $p_{f,i}$ i prvo se one određuju, a zatim se određuju uzroci koji izazivaju ove otkaze, kao što su preopterećenje, temperatura, vlažnost, prašina itd.

Nakon toga se određuje faktor poboljšanja m_1 koji za redovno servisiranje koje utiče na spoljne mehanizme degradacije iznosi:

$$m_1 = \sum_1^4 p_{f,i} \cdot I_i \tag{3.58}$$

Gde je: $\sum_1^4 p_{f,i} = 1$, a I_i stepen radne sredine u početno stanje eksploatacije i može biti između 0 i 1.

Sa druge strane poboljšanja koja na sistem ostavljaju preventivne zamene izražava se preko faktora poboljšanja m_2 , koji se definiše kao:

$$m_2 = \sum_1^4 p_{f,i} \cdot d_i \quad (3.59)$$

Gde d_i označava procenat otkaza opravljenih popravkom. Na primer, mogući otkazi mehaničke komponente su zamor i trošenje.

U ovom modelu se takođe pretpostavlja da vreme izvođenja aktivnosti održavanja nije zanemarljivo, nego da ono utiče na gotovost sistema. Ovo vreme predstavlja takođe konkretan indeks kojim se opisuje pogodnost održavanja sistema. Kako bi se planirale preventivne aktivnosti održavanja koje se baziraju na gotovosti, potrebno je napraviti procenu neophodnog vremena za izvođenje preventivnog održavanja. Uopšte, vreme održavanja može da se definiše kao suma trajanja sledećih podaktivnosti:

- t_1 - *vreme neophodno za pristup otkazaloj komponenti*, tj. vreme preliminarnih poslova održavanja, (npr. uklanjanje prepreka, skidanje zaštitnih ploča, itd.),
- t_2 - *vreme neophodno za dijagnostiku sistema*. To je ukupno vreme neophodno za utvrđivanje pravog uzroka otkaza sistema i stepena degradacije sistema. Uključuje i vreme za podešavanje i postavljanje dijagnostičkih aparata i vreme neophodno za izolovanje otkaza,
- t_3 - *aktivno vreme opravke ili zamene*. Njegova veličina zavisi od stepena kompleksnosti otkaza,
- t_4 - *vreme verifikacije i podešavanja*. Uključuje vreme ponovne montaže sistema kako bi se napravila kontrola da li je sistem vraćen u operativno stanje.

Uzimajući u obzir napred navedene komponente vremena preventivnog održavanja, ono se može odrediti kao:

$$t_a = \sum_{i=1}^4 t_i \quad (3.60)$$

Ako se krene od pretpostavke da vreme izvođenja aktivnosti opravke nije zanemarljivo, onda korektivno održavanje takođe mora još da uključi i vreme neophodno za kašnjenje snabdevanja rezervnim delovima i materijalima i kašnjenja u održavanju zbog nemogućnosti ciljanog prilaza dijagnostici sistema ili preopterećenja objekata za održavanje. Bilo koje kašnjenje usled nedostatka rezervnih delova i opreme uzrokuje ili kašnjenje u nabavci ili kašnjenje u izvođenju održavanja. Iz tog razloga vreme korektivnog održavanja izražava se kao:

$$t_b = \sum_{i=1}^6 t_i \quad (3.61)$$

Gde se dva dodatna člana t_5 i t_6 odnose na kašnjenja u nabavci i održavanju.

Kada se odrede vremena preventivnog održavanja pravljenje plana održavanja se nastavlja procesom modeliranja pouzdanosti sistema, budući da gotovost sistema zavisi i od pouzdanosti i od pogodnosti održavanja sistema. Izraz pomoću koga se određuje operativna gotovost sistema izražava se preko srednjeg vremena u radu (*MUT - mean up time*) i srednjeg vremena u otkazu (*MDT - mean down time*):

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad (3.62)$$

Ako se u obzir uzmu i preventivne zamene onda je srednje vreme u otkazu:

$$MUT = t_p - t_b \cdot \int_0^{t_p} h(t) dt \quad (3.63)$$

Gde su t_p , t_a i t_b intervali preventivnog održavanja, preventivne i korektivne zamene respektivno, a $h(t)$ funkcija rizika.

Srednje vreme u otkazu definiše se kao:

$$MDT = t_a + t_b \cdot \int_0^{t_p} h(t) dt \quad (3.64)$$

pa se zamenom izraza (3.63) i (3.64) u jednačinu (3.62) gotovost određuje kao:

$$A(t) = \frac{t_p - t_b \cdot \int_0^{t_p} h(t) dt}{t_p + t_a} \quad (3.65)$$

Odatle sledi da je interval preventivnog održavanja sa maksimiziranom gotovosti, ako se izvrši diferenciranje jednačine (3.65) po t_p jednak:

$$\frac{dA}{dt_p} = 0 \quad (3.66)$$

a kao rezultat diferenciranja izraza (3.65) dobija se:

$$(t_p + t_a)h(t_p) - \int_0^{t_p} h(t) dt = \frac{t_a}{t_b} \quad (3.67)$$

Rešenje gornje jednačine predstavlja optimalni interval t_p .

Uzimajući u obzir složeni sistem, t_p (optimalno vreme zamene komponente) može da se dobije jednačinom (3.67), ako smo već odredili parametre t_a , t_b , $h(t)$.

Za sistem kod koga su pojedine komponente zamenjivane u zavisnosti od njihovog vremena t_p gotovost sistema će biti znatno manja, jer će frekvencija stanja u otkazu biti velika. Kako bi se izbegao ovaj problem, bira se minimalno t_p , tj. interval preventivnog održavanja je:

$$T = \min(t_p) \tag{3.68}$$

Sa druge strane slučaj $t_p > T$ se primenjuje kod redovnog servisiranja i preventivnih opravki.

Prilikom pravljenja plana preventivnog održavanja pojavljuju se dva problema. Prvi se odnosi na to da li komponenta kod koje je $t_p > T$ treba da bude održavana u tom vremenu, tj. koje aktivnosti je potrebno uključiti u dati interval, a drugi je odlučivanje u odnosu na status degradacije pouzdanosti komponente. Ako je nivo pouzdanosti u sledećem intervalu preventivnog održavanja manji od minimalnog, što znači $R(2T) < R_{\min}$ komponenta mora da bude uključena u plan održavanja za ovaj nivo. Odluka se donosi na osnovu analize isplativosti održavanja.

S tim u vezi isplativost održavanja neke komponente na j-tom nivou definiše se kao:

$$B_{i,k} = \frac{\int_{t_j}^{\infty} R_{i,j+1}(t)dt - \int_{t_j}^{\infty} R_{i,j}(t)}{C_{i,k}} \tag{3.69}$$

Gde se i,k odnose na i-tu komponentu i tri aktivnosti respektivno. Brojnik označava produženi vek i-te komponente prilikom izvođenja aktivnosti k, a imenilac odgovarajuće troškove. Aktivnost koja dovodi do maksimalne dobiti od održavanja, tj. $B_i^* = \max(B_{i,k})$ se mora odrediti za datu komponentu. Čim se

ona odredi moguće je odrediti gotovost za bilo koji nivo sistema, prema relaciji (3.70):

$$A_{s,j} = \frac{MUT_{s,j}}{MUT_{s,j} + MDT_{s,j}} = \frac{T - t_{b,m} \sum_{i=1}^n \int_{t_{j-1}}^{t_j} h_{i,j}(t) dt}{T + \sum_{i=1}^n t_{i,k,a}} \quad (3.70)$$

Gde je:

- n - broj komponenata
- $t_{i,k,a}$ - predstavlja vremena preventivnih aktivnosti redovnog servisiranja, preventivnih opravki i zamena, respektivno, koje mogu da uzmu isti opseg kao i troškovi $C_{i,k}$
- $t_{b,m}$ - je srednje vreme korektivnog održavanja u slučaju otkaza sistema i određuje se kao:

$$t_{b,m} = f \cdot t_{a,m} \quad (3.71)$$

U ovom slučaju je:

$$t_{a,m} = \frac{t_{a,1a} + t_{a,1b} + t_{a,2p}}{3} \quad (3.72)$$

a f uzima vremensku jedinicu.

Oznake t_{1a} , t_{1b} i t_{2a} , u izrazu (3.72) odnose na vremena utrošena na pojedine aktivnosti preventivnog održavanja u skladu sa oznakama na slici 3.4. Troškovi održavanja na bilo kom nivou sistema definišu se kao:

$$C_{s,j} = \sum_{i=1}^n C_{i,k} + C_0 \cdot t_{b,m} \cdot \int_{t_{j-1}}^{t_j} h_{i,j}(t) dt \quad (3.73)$$

Gde se dva faktora odnose na troškove preventivnog i korektivnog održavanja. C_0 označava predstavlja troškove korektivnog održavanja sistema po jedinici otkaza i određuje se kao:

$$C_0 = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3} \tag{3.74}$$

Normalno je da će gotovost sistema opadati prateći vremena preventivnog održavanja. Planiranje preventivnog održavanja biće zaustavljeno u slučaju da sistem dostigne njegov očekivani životni vek.

3.4.3. MODELI OPTIMIZACIJE PERIODA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA NA OSNOVU KRITERIJUMA MAKSIMALNE POUZDANOSTI

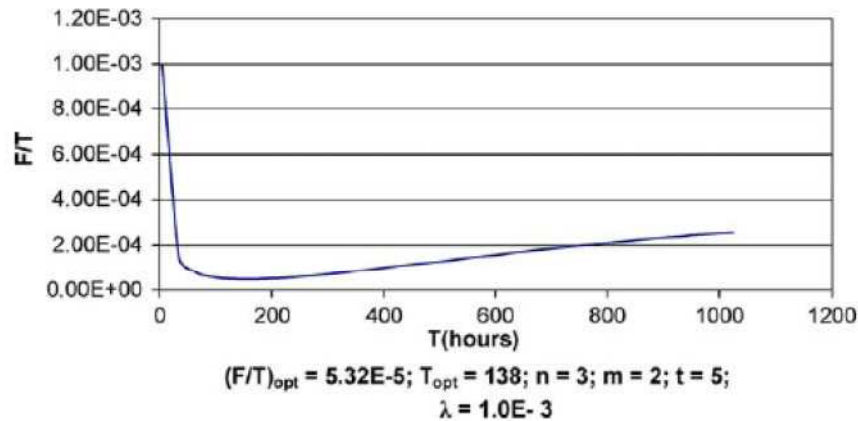
U ovom slučaju se vrši maksimiziranje pokazatelja pouzdanosti u zavisnosti od vrste i uloge sistema u procesu eksploatacije. Naime, postoje sistemi od kojih se zahteva maksimalna pouzdanost u radu, tj. da funkcija intenziteta otkaza bude približno konstantna, jer bi u slučaju niske pouzdanosti takvi sistemi mogli izazvati značajne posledice. U takvim slučajevima se kriterijum minimalnih troškova zanemaruje, odnosno direktni troškovi održavanja (gubici nastali zbog zastoja, koji se ne mogu novčano kvantifikovati ili su pak enormno visoki) se mogu povećati na račun povišenja nivoa pouzdanosti. Istraživanja su pokazala da kod ovakvih tehničkih sistema, gde je intenzitet otkaza približno konstantan najcelishodnije je primenjivati strategiju održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti. Kod primene ovih modela moguća su dva slučaja. U prvom slučaju, kada je funkcija raspodele

poznata najčešće se određuje tzv. konstantna periodičnost¹¹. Zamena elemenata se vrši po isteku utvrđenih perioda bez obzira na njegovo stanje. Ukoliko element otkáže pre isteka utvrđenog intervala zamene vrši se korektivno održavanje.

Drugi slučaj odnosi se na situaciju kada nam nije poznata funkcija raspodele vremena između otkaza neke komponente sistema, pa se u tu svrhu koriste specijalne matematičke metode. Jedan od načina da se ostvari pomenuti cilj je i primena Bajesovih mreža, pomoću kojih je moguće predstaviti degradacione procese, koji se dešavaju u mašinskim sistemima [56]. Bajesove mreže opisuju glavne verovatnoće stanja sistema i odnosa promenljivih pokazatelja rada sistema i omogućavaju lako određivanje zbirnih raspodela promenljivih koje su uključene u kompleksne procese. Broj traženih verovatnoća eksponencijalno raste sa brojem promenljivih koje se razmatraju. Bez obzira kako odredili traženu raspodelu u ovom slučaju je moguće odrediti samo tzv. adaptivnu periodičnost, jer će tokom vremena, kako se prikupe dodatne informacije o radu elemenata i raspodeli vremena u otkazu utvrđena vrednost morati da se modifikuje.

Kod modela za optimizaciju periodičnosti preventivne zamene na osnovu funkcija raspodele elemenata do otkaza, razmatraju se samo dva osnovna stanja elemenata: stanje *u radu* i stanje *u otkazu*, odnosno početno i granično dopušteno stanje posle koga element mora biti zamenjen ili će nastupiti otkaz sistema. Jedan takav model predstavljen je u radu Courtois-a i Delsarte-a [57]. Razvijeni model temelji se na zameni komponente u trenutku kada je njen intenzitet otkaza najmanji, upravo pre nego što počne da se rapidno uvećava. Na slici 3.6. data je zavisnost intenziteta otkaza od učestalosti preventivnih inspekcija.

¹¹ Naziv potiče odlatle što se jedanput utvrđeni period tokom životnog ciklusa sistema najčešće ne menja.



Slika 3.6. Zavisnost intenziteta otkaza od učestalosti preventivnih inspekcija [57]

Sličan problemom obradio je i Lapa [58], a ovde će kao primer biti predstavljen model optimizacije pouzdanosti prilagođen za Weibull-ovu i normalnu raspodelu [3]. Primena ovog modela je prikladna za komponente vozila čiji otkaz bitno utiče na bezbednost saobraćaja.

Verovatnoća bezotkaznog rada elemenata za pređeni put između planiranih intervencija (l_0) određuje se izrazom:

$$R(l_0) = 1 - \int_0^{l_0} f(x) dx \quad (3.75)$$

U slučaju da se radi o normalnoj raspodeli relativni put biće:

$$x_r = \frac{l_0}{\bar{x}} \quad (3.76)$$

Gde je: \bar{x} - srednje vreme rada između otkaza (odnosno MTBF).

U tom slučaju verovatnoća bezotkaznog rada $R(x_r)$ dobija se kao:

$$R(x_r) = \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \Phi \left(\frac{x_{r-1}}{\bar{V} \cdot \sqrt{2}} \right) \right] \quad (3.77)$$

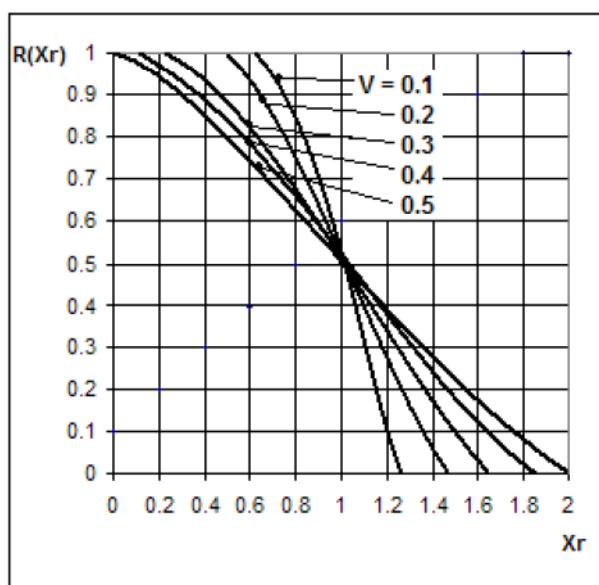
gde je:

$$\bar{V} = \frac{s}{x} - \text{koeficijent varijacije} \quad (3.78)$$

Dalje se izraz (3.77) može prikazati u vidu:

$$1 - 2R(x_r) = \Phi \left(\frac{x_{r-1}}{\bar{V} \cdot \sqrt{2}} \right) \quad (3.79)$$

Ova jednačina može se rešiti analitički ili grafički, prema slici 3.7.



Slika 3.7. Zavisnost verovatnoće bezotkaznog rada $R(x_r)$ od relativnog vremena rada x_r za različite vrednosti koeficijenta varijacije V [3]

U slučaju Weibull-ove raspodele relativni put dobija se prema izrazu:

$$x_{rv} = \frac{l_0}{\eta} \quad (3.80)$$

Gde je:

- η - parametar razmere Weibull-ove raspodele.

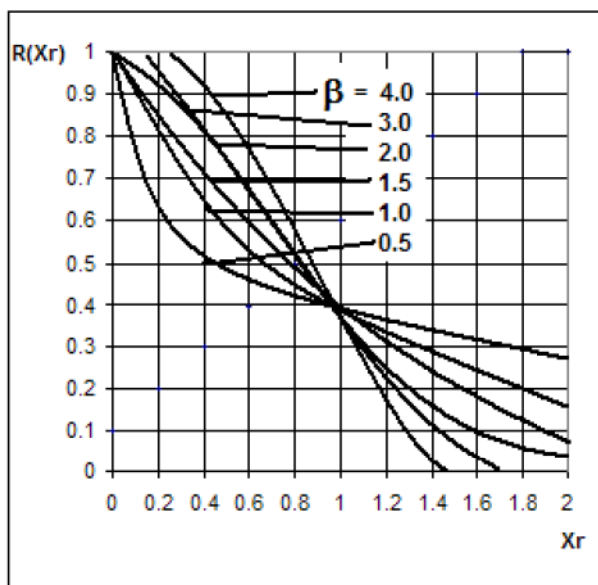
Za slučaj Weibull-ove raspodele verovatnoća rada bez otkaza određuje se izrazom:

$$R(x_{rv}) = e^{-x_v^\beta} \quad (3.81)$$

Gde je:

β - parametar oblika Weibull-ove raspodele

Na osnovu usvojene vrednosti $R(x_{rv})$ iz uslova tražene bezbednosti rada elemenata period zamene se dobija analitički ili grafički očitavanjem sa dijagrama (slika 3.8.)



Slika 3.8. Zavisnost verovatnoće bezotkaznog rada $R(x_{rv})$ od relativnog vremena rada za Weibull-ov zakon raspodele [3]

Optimalne periodičnosti preventivne zamene se određuju prema sledećim izrazima:

- za normalnu raspodelu:

$$l_0 = x_r \cdot \bar{x} \quad (3.82)$$

- za Weibull-ovu raspodelu:

$$l_0 = x_{rv} \cdot \eta \quad (3.83)$$

Za tačnost modela u praksi od velike je važnosti da se osiguraju što realniji podaci koji reprezentuju stanja sistema, kako bi se odredila što približnija raspodela, jer se u protivnom mogu dobiti neadekvatni rezultati, koji nemaju praktičnu primenu. Pomenutu situaciju moguće je ilustrovati sledećim primerom. Razmotrimo slučaj Weibull-ove raspodele kada imamo veliko rasipanje oko srednje vrednosti, tj. ako je $v = 1$, odnosno $\beta = 1$.

Usvojimo da je na primer $\eta = 10.000$ km, a minimalna dopuštena vrednost pouzdanosti $R_d(x) = 0.80$. Sa dijagrama (slika 3.7) se može očitati da je relativno vreme rada $x_{rv} = 0.20$, pa kada uvrstimo te podatke u relaciju (3.83) dobijemo optimalnu periodičnost preventivne zamene u iznosu:

$$l_0 = 0,20 \cdot 10.000 = 2.000 \text{ km}$$

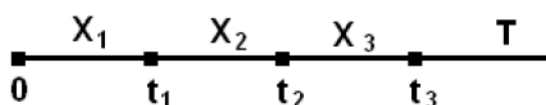
Praktično nema ekonomskog opravdanja, a samim tim ni smisla menjati element posle svakih 2000 km, što znači da se željena pouzdanost za slučaj velikog rasipanja ne može obezbediti. Ovim se još jedanput podcrtava važnost formiranja kvalitetnih baza podataka o bivšim stanjima sistema.

3.5. PRIMENA NEHOMOGENOG POASONOVOG PROCESA ZA MODELIRANJE PONAŠANJA OPRAVLJIVIH SISTEMA

Kao što se u prikazanim modelima može videti, glavni problem u proceni ukupnih troškova održavanja ili negotovosti sistema predstavlja određivanje troškova i negotovosti izazvanih pojavom slučajnih otkaza. Većina kompleksnih sistema, kakva su i motorna vozila, spadaju u grupu opravljivih sistema, odnosno sistema koji se nakon pojave otkaza vraćaju u stanje pre otkaza otklanjanjem kvara. U slučaju ovih sistema, a kao što je već izloženo u poglavlju 2, najvažnije je da se odredi koji broj otkaza možemo očekivati na nekom vremenskom intervalu, ako komponenta ili sistem ima određene karakteristike pouzdanosti. U opštem slučaju za određivanje broja otkaza na nekom intervalu nije pogodno koristiti raspodele, kao što je npr. Weibull-ova, iz prostog razloga što sve raspodele zapravo tretiraju samo verovatnoću pojave prvog otkaza, odnosno jednog događaja. Kako bi se odredio broj otkaza koji se može desiti na nekom određenom intervalu neophodno je modelirati sekvencijalne pojave otkaza pomoću stohastičkog procesa. Za modeliranje sistema održavanja koristi se najčešće *Power Law model* (koji se bazira na postavkama nehomogenog Poasonovog procesa - NHPP), a koji ima praktičnu podlogu kad je u pitanju minimalna opravka, koja je u ovom slučaju zapravo najprimenjivije rešenje. U opštem slučaju, ako se sistem nakon opravke vraća u stanje u kakvom je bio kao nov, onda se vremena između otkaza kompleksnih opravljivih sistema ne pokoravaju istovetnoj raspodeli, pa u tom slučaju nehomogeni Poasonov proces nije primenjiv. Ali takva situacija u posmatranom sistemu nije moguća, budući da je u organizovanim sistemima održavanja motornih vozila princip minimalne opravke najpribližniji realnoj situaciji. Naime, kao što se dalo zaključiti proučavanjem predmetnog sistema održavanja, u većini slučajeva neplanirane (korektivne) opravke se sprovode tako što se pažnja fokusira na otklanjanje otkaza koji je nastao. U praktičnom

smislu to znači da se nakon sprovođenja korektivnih aktivnosti održavanja vozilo ne vraća u stanje kao da je novo (što bi se postiglo jedino u slučaju da se nakon svakog otkaza izvodi remontno održavanje), nego se vraća u stanje u kojem je bilo pre pojave datog otkaza. Odatle se se svaka korektivna aktivnost može posmatrati kao minimalna opravka sistema. Konkretnije je ovo moguće objasniti ako posmatramo vozilo kod koga je u trenutku $t = 0$ ugrađena neka komponenta. Kada komponenta otkáže, ona se momentalno zamenjuje sa novom komponentom istog tipa. Svaka ugrađena komponenta ima svoju raspodelu vremena do otkaza, iz razloga što je uvek u pitanju njen prvi otkaz. Sekvenca otkaza sistema usled otkaza pomenute komponente predstavlja zapravo proces obnavljanja. Na slici 3.9. data je ilustracija ovog procesa, gde su X_i vreme rada komponente do otkaza, a t_i je vreme rada sistema do i -tog otkaza.

Budući da se radi o potpuno identičnim komponentama, koje rade u identičnim radnim uslovima, svaki životni vek komponente X_i ima istu raspodelu otkaza, odnosno verovatnoća da će nova komponenta otkazati nakon vremena do vremena x takođe ima istu raspodelu.



Slika 3.9. Životni ciklus komponente i životni ciklus sistema

U slučaju opisanog sistema, dati sistem ima mnogo otkaza i svaki otkaz (odnosno vreme između otkaza) pokorava se istoj raspodeli, tj. vremena između otkaza ovih komponentata su međusobno nezavisna. Svaki put kad neka komponenta otkáže ona se zamenjuje i sistem se ponovo vraća u stanje u radu. Ovaj proces se neprekidno ponavlja tokom životnog ciklusa sistema.

U opštem slučaju ako neki tehnički sistem predstavlja samo jedan od podistema mnogo kompleksnijeg sistema, onda se može smatrati da je

kompleksni sistem sastavljen od podistema koji se pokoravaju procesima obnavljanja, koji su upravljani raspodelama otkaza komponenata podistema. Uzmimo da svaki otkaz komponente dovodi i do otkaza sistema u celini. Nakon izvođenja korektivnog održavanja pomenuti sistem ne može da bude vraćen u stanje u kakvom je bio kao nov, jer su ostale komponente, koje nisu otkazale u nekom vremenskom trenutku, akumulirale operativno vreme, koje utiče na pouzdanost sistema u celini. Na primer, ako zamenimo glavnu spojnicu na vozilu zbog otkaza, ne možemo smatrati da je vozilo vraćeno u stanje u kakvom je bilo kao novo. Iz tog razloga je nemoguće primenjivati statističke raspodele za određivanje karakteristika pouzdanosti kompleksnih sistema.

U opštem slučaju starost sistema kad je sistem pušten u rad je 0. Ako usvojimo da je u pitanju nehomogeni Poasonov proces (NHPP) onda se prvi otkaz sistema pokorava Weibull-ovom zakonu raspodele $F(t)$, sa intenzitetom otkaza $r(t)$. Svaki sledeći otkaz se pokorava intenzitetu otkaza procesa $u(t)$. Ako je t starost sistema, a Δt veoma mali interval, verovatnoća da će sistem koji je star t vremena otkazati u vremenskom trenutku $t + \Delta t$ određuje se funkcijom $u(t)\Delta t$. Treba obratiti pažnju da ova verovatnoća nije uslovljena time da se do vremena t nije desio nijedan otkaz, kao kad je u pitanju intenzitet otkaza.

Intenzitet otkaza NHPP procesa $u(t)$ ima istu funkcionalnu formu kao i intenzitet u slučaju prvog otkaza $r(t)$, odnosno: $u(t) = r(t)$.

Ako prvi otkaz sistema podleže Weibull-ovoj raspodeli, onda je njegov intenzitet otkaza jednak:

$$r(t) = \lambda\beta t^{\beta-1} \tag{3.84}$$

U slučaju primene minimalne opravke intenzitet otkaza sistema je prema Power Law modelu:

$$u(t) = \lambda \beta t^{\beta-1} \quad (3.85)$$

Ako sistem radi tokom nekog vremena T , onda je ukupan broj otkaza sistema u tom periodu na intervalu $(0, T)$ dat jednačinom srednje vrednosti *Power Law* funkcije, tj:

$$E[N(T)] = r(t) = \lambda T^\beta \quad (3.86)$$

Pri čemu je $N(T) = n$ dato Poisson-ovom verovatnoćom:

$$\frac{(\lambda T)^n \cdot e^{-\lambda T}}{n!}; \quad n = 0, 1, 2 \dots \quad (3.87)$$

U slučaju kada je $\beta = 1$ iz izraza (3.87) je vidljivo da se ovde radi o homogenom Poasonov procesu (HPP) zato što nema promena u intenzitetu, što je specijalan slučaj *Power Law* modela. Odatle se može zaključiti da je *Power Law* model zapravo generalizacija homogenog Poasonovog procesa, koja dozvoljava promenu funkcije intenziteta kako sistem stari.

Za *Power Law* model intenzitet raste ako je $\beta > 1$, opada ako je $\beta < 1$ i ne menja se za $\beta = 1$. Takođe, ako prvi otkaz sistema podleže Weibull-ovoj raspodeli, onda se svaki sledeći otkaz u slučaju primene koncepta minimalne opravke pokorava *Power Law* modelu, koji je zapravo prošireni oblik Weibull-ove raspodele.

Kao što se može videti u jednačini (3.85) u postavci *Power Law* modela se notacija razlikuje u notaciji, koja se najčešće primenjuje u formuli Weibull-ove raspodele. Ako se u jednačinu (3.85) uvede smena:

$$\lambda = \frac{1}{\eta^\beta} \quad (3.88)$$

Onda jednačina (3.85) postaje:

$$E[N(T)] = \lambda T^\beta = \frac{1}{\eta^\beta} \cdot T^\beta \quad (3.89)$$

Odnosno dobija se da je očekivani broj otkaza na intervalu T:

$$E[N(T)] = \left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta \quad (3.90)$$

Identično rešenje moguće je dobiti i pomoću kumulativne hazardne funkcije, koja u opštem slučaju ima oblik:

$$E[N(T)] = \int_0^T \lambda(t) dt \quad (3.91)$$

U slučaju da se radi o Weibull-ovom zakonu raspodele, intenzitet otkaza je:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (3.92)$$

Ako to uvrstimo u izraz za kumulativnu hazardnu funkciju (3.91), dobije se:

$$E[N(T)] = N_f(t) = \int_0^t \lambda(t) dt = \int_0^t \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} dt \quad (3.93)$$

$$N_f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \frac{1}{\eta^{\beta-1}} \int_0^t t^{\beta-1} dt = \frac{\beta}{\eta^\beta} \int_0^t t^{\beta-1} dt = \frac{\beta}{\eta^\beta} \cdot \frac{t^{\beta-1+1}}{\beta-1+1} \Big|_0^t = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \quad (3.94)$$

Dakle identično, kao u slučaju primene *Power Law* modela (izraz 3.90).

4.

SOPSTVENA ISTRAŽIVANJA

U skladu sa zadatim ciljem i programom istraživanja u okviru ovog poglavlja izloženi su rezultati sopstvenih teorijskih i eksperimentalnih istraživanja. U prvom delu poglavlja 4.1. je izložena matematička postavka razvijenog modela koji se temelji na Weibull-ovoj raspodeli neispravnosti, a u drugom delu 4.2. detaljno izložen sam proces istraživanja i rezultati.

4.1. TEORIJSKO ISTRAŽIVANJE - OPTIMIZACIJA GOTOVOSTI SA STANOVIŠTA TROŠKOVA

Kao što je već rečeno u uvodnom izlaganju krajnji cilj istraživanja u okviru ove disertacije bio je da se razvije matematički model za dobijanje optimalnog kompromisnog rešenja, koje zadovoljava oba uslova: i minimalne troškove održavanja i maksimalnu gotovost, jer je uglavnom to problem sa kojim se sukobljavaju ne samo korisnici sistema, nego i proizvođači. U savremenim uslovima poslovanja, specijalno kada su u pitanju strogo kontrolisani sistemi saobraćaja (kao što je vazduhoplovni ili železnički saobraćaj), proizvođači dobijaju u okviru ugovora uslov da ispune oba zahteva: i propisani nivo troškova i propisani nivo gotovosti.

Osnovni preduslov za primenu razvijenog modela je da informacioni sistem preduzeća, u kome se model implementira, obezbeđuje podlogu za što tačnije prikupljanje potrebnih ulaznih parametara. U tom slučaju će njegova primena obavezno dovesti do povišenja ukupne vrednosti efektivnosti voznog parka i omogućiti uslove za projektovanje jednog uspešnog sistema održavanja.

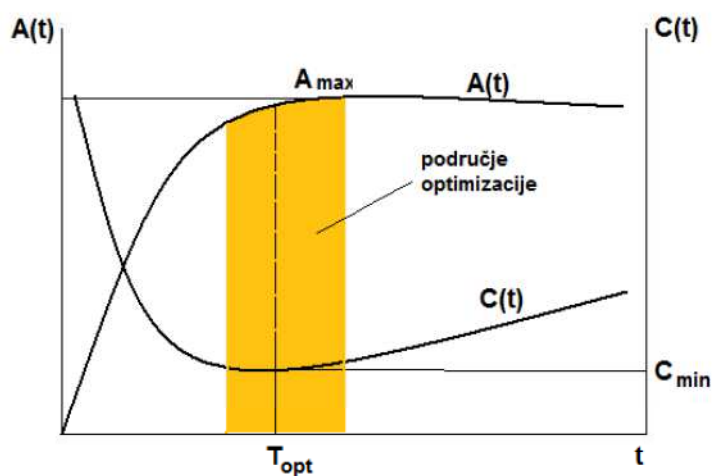
Ideja optimizacije u ovom slučaju svodi se na problem istovremenog ispunjavanja oba kriterijuma: i minimalnih troškova i maksimalne gotovosti. Tradicionalni kvantitativni prilaz optimizaciji preventivnog intervala održavanja je izračunavanje ukupnih očekivanih troškova za dati planirani vremenski period i minimizacija istih. Sledeći takvu logiku moguće je primenom preventivnog održavanja negativno uticati na sveukupni profit preduzeća. Naime, ako troškovi preventivnog održavanja nisu veliki, sledeći samo kriterijum minimalnih troškova menadžer održavanja će se odlučiti da češće sprovodi preventivne aktivnosti, kako bi održao što viši nivo pouzdanosti sistema, ali svaka preventivna aktivnost će znatno uticati na smanjenje gotovosti tog sistema.

Odatle je jasno da je optimizaciju preventivnog održavanja moguće sprovesti samo uzimajući u obzir oba kriterijuma kao ograničenja, i troškove održavanja i gotovost sistema.

Jedan od načina rešavanja ovog problema je da se nekim od metoda višekriterijumske optimizacije povežu oba modela: model minimalnih troškova sa modelom maksimalne gotovosti, dajući jedno kompromisno rešenje za određivanje intervala preventivnog održavanja.

U literaturi nema mnogo modela koji se bave ovom problematikom. Stoga je, kao što je već rečeno, predmet istraživanja u okviru ove disertacije upravo razvijanje jednog kompromisnog modela troškovi-gotovost, koji omogućava jednostavno rešenje za praktičnu upotrebu upravljanja organizovanim sistemima održavanja i softversku primenu.

Analizom promena nivoa gotovosti i troškova održavanja u zavisnosti od primenjenog nivoa preventivnog održavanja, kao što je prikazano na slici 4.1. može se uvideti da postoji jedno područje optimizacije u kome je moguće obezbediti i zadovoljavajući nivo gotovosti, a održati troškove održavanja na prihvatljivo niskom nivou.



Slika 4.1. Područje optimizacije preventivnih pregleda na bazi minimalnih troškova i maksimalne gotovosti

4.1.1. RAZVOJ MODELA ZA ODREĐIVANJE OPTIMALNOG INTERVALA ZAMENE U SLUČAJU MINIMALNIH TROŠKOVA ODRŽAVANJA

U slučaju da želimo da odredimo optimalni interval preventivne zamene neke komponente, koji će izazvati najmanje troškove održavanja, moguće je modelirati troškove uzimajući u obzir usvojenu strategiju zamena na sledeći način.

4.1.1.1. OPTIMALNI INTERVAL U SLUČAJU ZAMENA PREMA FIKSNOM DATUMU

Kao što je već rečeno u poglavlju 3, u organizovanim voznim parkovima najčešće se primenjuje strategija zamena prema fiksnom datumu. U slučaju primene ove strategije komponente sistema se zamenjuju nakon nekog definisanog vremenskog intervala T_p , bez obzira da li je u tom vremenskom trenutku data komponenta bila u stanju u otkazu ili stanju u radu. Dakle, ovde se ne vodi računa o tome koja je starost komponentata nego starost sistema u celini. To znači da kada sistem dostigne interval T_p sve predviđene komponente za zamenu biće zamenjene bez obzira da li su započele svoj rad zajedno sa sistemom na početku vremenskog intervala T_p , ili su ugrađene kasnije. U tom slučaju će se za elemente koji imaju duži vremenski ciklus nego što je to unapred definisani interval T_p izgubiti određeni nivo resursa. Iz tog razloga optimizacija sistema održavanja ima upravo za cilj da se izgubljeni deo resursa svede na minimum.

U okviru predmetne diesertacije problem se postavlja na sledeći način. Ako posmatramo neki interval T_p na kome se planira vršiti preventivna zamena, pri čemu je primenjena strategija zamena prema fiksnom datumu, onda će troškovi za dati period T_p biti jednaki troškovima za izvođenje preventivne aktivnosti i sumi svih troškova za sve korektivne aktivnosti, koje su se izvodile na intervalu T_p usled pojave slučajnih otkaza. Ako se zanemari stohastičnost procesa obnavljanja, odnosno pretpostavi se da je korektivna aktivnost izvršena uvek nakon pojave otkaza u planiranom vremenu, onda se ukupni troškovi za dati period vremena mogu izračunati prema jednačini (4.1):

$$C_{uk}(T_p) = C_p + N_f(T_p) \cdot C_K \quad (4.1)$$

Gde su:

- C_p - troškovi pojedinačne preventivne zamene komponente, koja se obavezno sprovodi nakon isteka vremena T_p ,
- C_k - troškovi pojedinačne korektivne zamene komponente,
- N_f - očekivani broj slučajnih otkaza na intervalu $(0, T_p)$.

Jednakost (4.1) lako je interpretirati. Ako posmatramo troškove održavanja u trenutku T_p , onda u tom momentu imamo jednu aktivnost preventivnog održavanja i nepoznat broj korektivnih aktivnosti koje se sprovedu do intervala T_p iz razloga pojave slučajnih otkaza sistema tokom trajanja perioda T_p . U slučaju strategije zamena prema fiksnom datumu preventivna zamena se obavezno vrši nakon isteka intervala T_p , bez obzira da li zamena komponente već izvršena netom pre isteka tog datuma usled pojave otkaza.

Jedinični troškovi za interval zamene T_p pod uslovom primene strategije zamene prema fiksnom datumu iznose:

$$c_{uk}(T_p) = \frac{C_{uk}(T_p)}{T_p} = \frac{C_p + N_f(T_p) \cdot C_k}{T_p} \quad (4.2)$$

Kako bi se dobio minimum jediničnih troškova data formula se diferencira po T_p i pronade ekstremna vrednost, kada se diferencijal izjednači sa nulom.

$$\frac{\partial c_{uk}(T_p)}{\partial T_p} = \frac{\partial}{\partial T_p} \left(\frac{C_p + N_f(T_p) \cdot C_k}{T_p} \right) = 0 \quad (4.3)$$

Kao što se u matematičkoj postavci problema datog jednačinom 4.3. može videti jedina veličina koja je zapravo nepoznata je broj otkaza koji možemo očekivati na nekom vremenskom intervalu T_p . U poglavlju 3.5. opisan je postupak prema kome se za slučaj Weibull-ove raspodele srednji broj otkaza na nekom intervalu može odrediti korišćenjem stohastičkih procesa, koji se u ovom slučaju pokoravaju *Power Law* modelu ili preko kumulativne hazardne funkcije. Odatle je očekivani broj otkaza na intervalu T_p moguće, u slučaju Weibull-ove raspodele vremena između otkaza, dobiti korišćenjem izraza (3.90). Ako izraz (3.90) uvrstimo u jednačinu (4.3). dobijemo:

$$\frac{\partial c_{uk}(T_p)}{\partial T_p} = \frac{\partial}{\partial T_p} \left(\frac{C_p + \left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta \cdot C_K}{T_p} \right) = 0 \quad (4.4)$$

$$-\frac{C_p}{T_p^2} + \frac{C_K}{\eta^\beta} \cdot (\beta - 1) \cdot T_p^{\beta-2} = 0 \quad (4.5)$$

U slučaju da obe strane pomnožimo sa T_p^2 onda se dobije:

$$\frac{C_K}{\eta^\beta} \cdot (\beta - 1) \cdot T_p^\beta = C_p \quad (4.6)$$

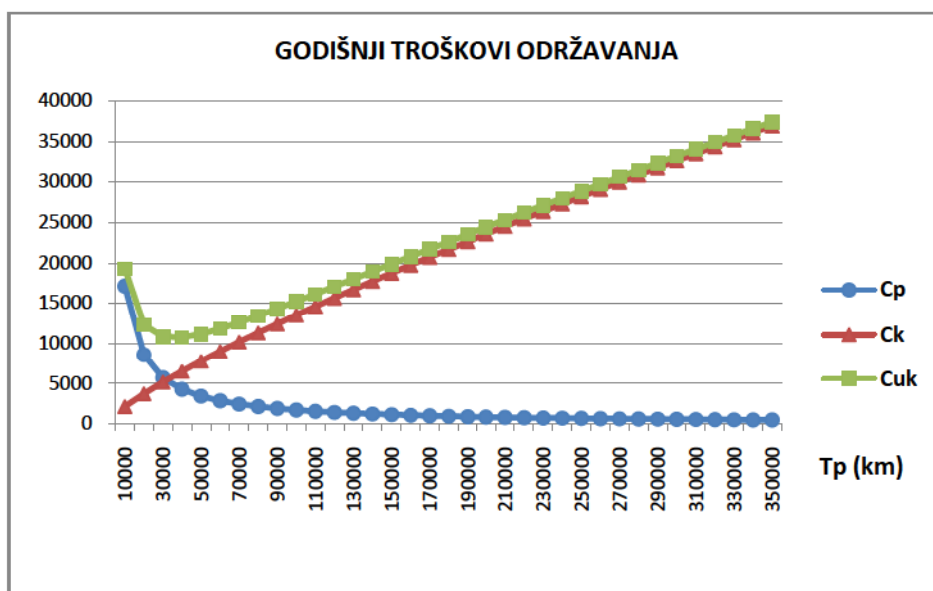
Odnosno interval zamene koji izaziva najmanje troškove održavanja:

$$T_{P_{min} C(t)} = \sqrt[\beta]{\frac{C_p}{C_K} \cdot \left(\frac{1}{\beta - 1}\right) \cdot \eta^\beta} \quad (4.7)$$

Kao što se može videti iz jednačine (4.7) ona nema rešenje u slučaju da β nije veće od 1 (u slučaju da je $\beta = 1$, tj. važenja eksponencijalne raspodele $T_p = \infty$), pa se može reći da je ovom formulom dobijena i matematička interpretacija

već pomenutog stava da je preventivne zamene opravdano izvoditi samo u slučaju kad je intenzitet otkaza rastući u vremenu.

Za različite nivoe troškova preventivnog održavanja ukupni troškovi održavanja u zavisnosti od vremena rada sistema do određenog vremena se smanjuju, a zatim počinji da rastu (slika 4.2.), ali ponekad ova karakteristika nije izražena. Na dijagramu 4.2. prikazana je zavisnost troškova održavanja od primenjenog intervala preventivnog održavanja, pri čemu su vrednosti određene iterativno za različite vrednosti T_p primenom jednačine 4.2.



Slika 4.2. Zavisnost troškova održavanja od intervala preventivne zamene

Kao što se vidi na dijagramu na slici 4.2. promenom troškova preventivnog održavanja, uz nepromenjene troškove korektivnog održavanja, minimumi ukupnih troškova pomeraju se u zone dužih perioda rada sistema.

Dakle ukoliko se troškovi preventivnog održavanja povećavaju, produžiće se i interval preventivnog održavanja elemenata sistema, koji odgovara minimumu ukupnih troškova održavanja.

4.1.1.2. OPTIMALNI INTERVAL U SLUČAJU ZAMENA PREMA FIKSNOM INTERVALU

U slučaju zamena prema fiksnom intervalu T_p eliminiše se mogućnost pojave preventivne zamene neposredno po izvršenju zamene dela usled otkaza. To znači da se u slučaju zamene otkazale komponente, trenutak u kome je izvršena korektivna zamena uzima za početak intervala preventivne zamene, a ne striktno trenutak prethodne preventivne zamene, kao u slučaju strategije zamena prema fiksnom datumu.

Problem je dakle moguće postaviti na sledeći način: ako posmatramo neki interval T_p na kome se planira vršiti preventivna zamena prema staretegiji zamena prema fiksnom intervalu, onda se troškovi preventivne zamene na tom intervalu mogu javiti samo u slučaju da komponenta nije otkazala na intervalu T_p , tj. nije već korektivno zamenjena pre isteka intervala. Verovatnoća da neka komponenta nije otkazala na nekom intervalu T_p predstavlja zapravo pouzdanost te komponente na datom intervalu $R(T_p)$, pa se ukupni troškovi održavanja na intervalu T_p mogu odrediti sledećom formulom razvijenom u okviru date disertacije:

$$C_{uk}(T_p) = R(T_p) \cdot C_p + N_f(T_p) \cdot C_K \quad (4.8)$$

Primenjena notacija ista je kao i u tački 4.2.1.

Jedinični troškovi za interval zamene T_p u ovom slučaju su:

$$c_{uk}(T_p) = \frac{C_{uk}(T_p)}{T_p} = \frac{R(T_p) \cdot C_p + N_f(T_p) \cdot C_K}{T_p} \quad (4.9)$$

Kao što se može videti nepoznate veličine u jednačini 4.9. su pouzdanost komponente i očekivani broj otkaza na intervalu T_p .

Pod pretpostavkom važenja Weibull-ove raspodele, pouzdanost komponente u trenutku T_p je jednaka:

$$R(T_p) = e^{-\left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta} \quad (4.10)$$

Srednji broj očekivanih otkaza na intervalu T_p moguće je odrediti primenom jednačine Power Law modela (3.90), kao što je urađeno u slučaju strategija zamene prema fiksnom datumu.

Ako uvrstimo izraz (4.10) kao i izraz za (3.90) za određivanje broja otkaza u jednačinu (4.9) dobijemo:

$$c_{uk}(T_p) = \frac{e^{-\left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta} \cdot C_p + \left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta \cdot C_K}{T_p} \quad (4.11)$$

Kako bi se dobio minimum jediničnih troškova koristi se identičan postupak kao i u prethodnom modelu, ali da bi se diferenciranje vršilo bez primene komplikovanog matematičkog aparata, moguće je uz uslov da je:

$$\left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta < 0.1 \quad (4.12)$$

aproksimirati funkciju pouzdanosti sa:

$$R(T_p) = e^{-\left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta} \approx 1 - \left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta \quad (4.13)$$

Ako se dati izraz uvrsti u jednačinu (4.11) dobije se:

$$c_{uk}(T_P) = \frac{\left[1 - \left(\frac{T_P}{\eta}\right)^\beta\right] \cdot C_P + \left(\frac{T_P}{\eta}\right)^\beta \cdot C_K}{T_P} \quad (4.14)$$

Pa je diferencijal jednačine (4.14) po T_P jednak:

$$\frac{\partial c_{uk}(T_P)}{\partial T_P} = \frac{\partial}{\partial T_P} \left(\frac{\left[1 - \left(\frac{T_P}{\eta}\right)^\beta\right] \cdot C_P + \left(\frac{T_P}{\eta}\right)^\beta \cdot C_K}{T_P} \right) = 0 \quad (4.15)$$

Odnosno:

$$\frac{\partial c_{uk}(T_P)}{\partial T_P} = \frac{\partial}{\partial T_P} \left(\frac{C_P + \left(\frac{T_P}{\eta}\right)^\beta \cdot (C_K - C_P)}{T_P} \right) = 0 \quad (4.16)$$

$$-\frac{C_P}{T_P^2} + \left(\frac{C_K - C_P}{\eta^\beta}\right) \cdot (\beta - 1) \cdot T_P^{\beta-2} = 0 \quad (4.17)$$

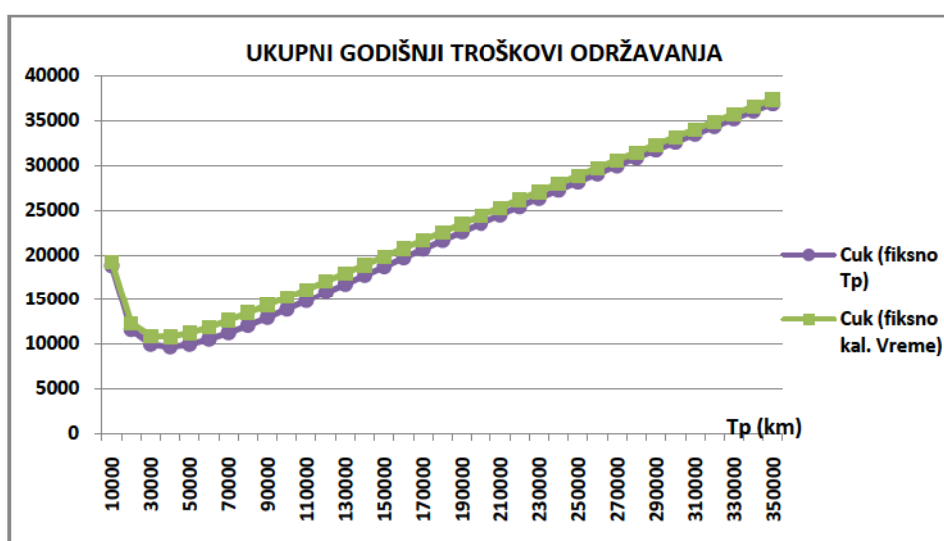
Ako obe strane pomnožimo sa T_P^2 dobije se:

$$\left(\frac{C_K - C_P}{\eta^\beta}\right) \cdot (\beta - 1) \cdot T_P^\beta = C_P \quad (4.18)$$

Odnosno interval zamene koji izaziva najmanje troškove održavanja moguće je odrediti izrazom (4.19):

$$T_{P_{min} c(t)} = \sqrt[\beta]{\frac{C_P}{C_K - C_P} \cdot \left(\frac{1}{\beta - 1}\right) \cdot \eta^\beta} \quad (4.19)$$

I u ovom slučaju bitno je naglasiti da jednačina (4.19) nema rešenje u slučaju da β nije veće od 1, kao i u slučaju da su troškovi preventivnog održavanja veći od troškova korektivnog održavanja. Odatle se da zaključiti da je preventivno održavanje svrsishodno samo ako su ispunjena dva uslova: da su troškovi naknadne zamene veći od preventivnih troškova i da je intenzitet otkaza rastuća funkcija u vremenu, što je i logično. Upoređenjem izraza (4.7) i (4.19) za ukupne troškove može se videti da će troškovi u slučaju primenjene strategije preventivne zamene prema fiksnom intervalu zamene prouzrokovati manje troškove preventivnog održavanja (slika 4.3). Troškovi preventivnog održavanja biće manji za faktor $R(T_p)$, a optimalni preventivni interval T_p dobijen pomoću izraza (4.19) će biti veći, što je i logično jer će smanjenje troškova preventivnog održavanja smanjiti ukupne troškove održavanja. Pomeranje optimalnog intervala moguće je videti na dijagramu (slika 4.3), koji je dobijen iterativnim izračunavanjem ukupnih troškova održavanja za različite preventivne intervale zamene T_p , korišćenjem jednačina (4.2) i (4.9).



Slika 4.3. Pomeranje optimalnog intervala s obzirom na primenjenu strategiju preventivnih zamena

4.1.2. RAZVOJ MODELA ZA ODREĐIVANJE OPTIMALNOG INTERVALA ZAMENE PREMA KRITERIJUMU MAKSIMALNE GOTOVOSTI

Kao i kada su u pitanju minimalni troškovi održavanja i u slučaju određivanja preventivnog intervala uz čiju primenu bi se postigla maksimalna gotovost može se modelirati u zavisnosti od primenjene strategije preventivnih zamena.

4.1.2.1. OPTIMALNI INTERVAL U SLUČAJU ZAMENA PREMA FIKSNOM DATUMU

U skladu sa činjenicama izloženim u poglavlju 4.2.1. preventivne zamene prema fiksnom datumu sprovode se bez obzira da li je neka komponenta zamenjena zbog korektivnog otkaza u prethodnom periodu ili ne. Zamena se dakle obavezno sprovodi prilikom dostizanja intervala T_p . Matematički se u okviru ove disertacije problem postavlja sledećom jednačinom, kojom se opisuje negotovost komponente na intervalu zamene T_p :

$$\bar{A}(T_p) = \frac{MTTR_p + N_f(T_p) \cdot MTTR_K}{T_p} \quad (4.20)$$

Interpretacija gornje jednačine je jasna. Na intervalu T_p sistem je u stanju negotovosti ili ako se na njemu izvodi preventivna aktivnost zamene za vreme $MTTR_p$ ili ako se na njemu vrši korektivna zamena usled pojave slučajnih otkaza. I u ovom slučaju je neophodno odrediti broj otkaza na nekom intervalu T_p , a ideja ove postavke je da se zapravo minimizira negotovost, jer uzimajući u

obzir relaciju (4.21) to ujedno znači i maksimalnu gotovost, pa je na pomenutom intervalu neophodno naći minimum funkcije (4.20), odnosno minimalnu vrednost negotovosti.

$$A(T_p) + \bar{A}(T_p) = 1 \quad (4.21)$$

Minimum negotovosti (tj. maksimalna gotovost) dobija se ako se formula (4.31) diferencira po T_p i pronadje ekstremna vrednost, kada se diferencijal izjednači sa nulom, pa odatle sledi:

$$\frac{\partial \bar{A}(T_p)}{\partial T_p} = \frac{\partial}{\partial T_p} \left(\frac{MTTR_p + N_f(T_p) \cdot MTTR_K}{T_p} \right) = 0 \quad (4.22)$$

Pod pretpostavkom važenja Weibull-ove raspodele i korišćenjem jednačine (3.90) za određivanje broja otkaza na intervalu T_p izraz (4.22) postaje:

$$\frac{\partial \bar{A}(T_p)}{\partial T_p} = \frac{\partial}{\partial T_p} \left(\frac{MTTR_p + \left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta \cdot MTTR_K}{T_p} \right) = 0 \quad (4.23)$$

$$-\frac{MTTR_p}{T_p^2} + \frac{MTTR_K}{\eta^\beta} \cdot (\beta - 1) \cdot T_p^{\beta-2} = 0 \quad (4.24)$$

Nadalje, ako obe strane pomnožimo sa T_p^2 onda dobija se:

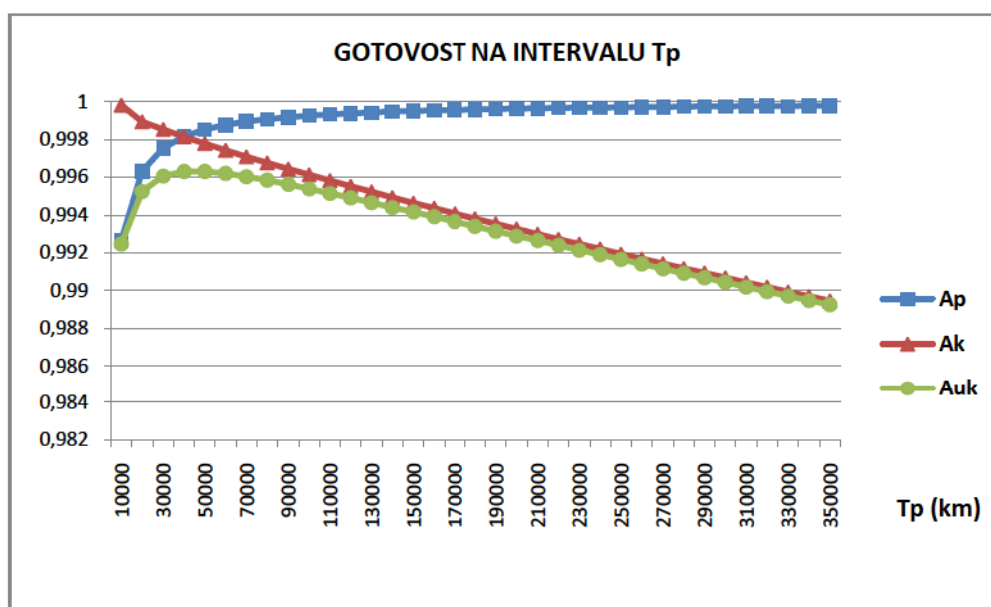
$$\frac{MTTR_K}{\eta^\beta} \cdot (\beta - 1) \cdot T_p^\beta = MTTR_p \quad (4.25)$$

Pa je odatle interval zamene T_p pri kome će gotovost imati maksimalnu vrednost:

$$T_{P_{max} A(t)} = \sqrt[\beta]{\frac{MTTR_P}{MTTR_K} \cdot \left(\frac{1}{\beta - 1}\right) \cdot \eta^\beta} \quad (4.26)$$

Kao i u slučaju minimalne vrednosti troškova, iz jednačine (4.26) se vidi da ona nema rešenje u slučaju da β nije veće od 1, iz razloga što je svaka zamena u slučaju da intenzitet otkaza opada ili uzima neku konstantnu vrednost donosi više gubitaka, nego koristi. Na slici 4.4. data je zavisnost gotovosti od izabranog intervala T_p .

Za razliku od troškova održavanja, negotovost usled preventivnih aktivnosti opada sa povećanjem T_p , a korektivna negotovost raste sa povećanjem pomenutog intervala. Slučaj je obrnut ako se posmatra gotovost usled ovih aktivnosti održavanja. Ovo iz razloga što ako povećamo razmak između preventivnih aktivnosti onda se samim tim povećava i verovatnoća da će sistem doživeti otkaz usled otkaza komponente. Tok funkcije gotovosti u zavisnosti od različitih preventivnih intervala zamena T_p određene su iterativno korišćenjem relacija: (4.20) i (4.21), a prikazane na dijagramu (slika 4.4).



Slika 4.4. Zavisnost ukupne gotovosti od izabranog intervala preventivne zamene

4.1.2.2. OPTIMALNI INTERVAL U SLUČAJU ZAMENA PREMA FIKSNOM INTERVALU

Kao što je već rečeno u tački 4.2.2 u slučaju zamena prema fiksnom intervalu, ako je došlo do otkaza neke komponente pre isteka intervala preventivne zamene T_p , onda se komponenta zameni, a trenutak zamene računa kao početak novog intervala T_p i komponenta se neće zamenjivati do isteka intervala T_p ili do njenog ponovnog otkaza. To u praktičnom smislu znači da se eliminiše mogućnost pojave preventivne zamene na nekoj dužini intervala T_p , ako je u međuvremenu komponenta već otkazala i iz tog razloga zamenjena. S tim u vezi, ako posmatramo neki interval T_p na kome se planira vršiti preventivna zamena, onda se negotovost usled preventivne zamene može javiti samo u slučaju da komponenta nije otkazala na intervalu T_p , tj. nije već korektivno zamenjena pre isteka intervala. Odatle je verovatnoća preventivne zamene u trenutku T_p jednaka $R(T_p)$.

Ako se uzme u obzir gore navedeno, ukupnu negotovost za interval zamene T_p moguće je odrediti sledećom relacijom razvijenom za potrebe ove disertacije:

$$\bar{A}(T_p) = \frac{R(T_p) \cdot MTTR_P + N_f(T_p) \cdot MTTR_K}{T_p} \quad (4.27)$$

Dakle, prema ovde razvijenom matematičkom modelu (4.27) pretpostavlja se da se negotovost usled preventivnog održavanja pojavljuje samo u slučaju da zamena nije već izvršena na tom intervalu usled slučajnih otkaza, što znači da verovatnoća da će doći do preventivne zamene nije više 100%, nego se umanjuje za vrednost nepouzdanosti komponente.

Pod pretpostavkom važenja Weibull-ove raspodele, pouzdanost komponente u trenutku T_p izračunava se izrazom (4.10), pa ako ga uvrstimo u jednačinu (4.27) dobijamo:

$$\bar{A}(T_p) = \frac{e^{-\left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta} \cdot MTTR_p + N_f(T_p) \cdot MTTR_K}{T_p} \quad (4.28)$$

Broj otkaza na intervalu T_p i ovde se određuje korišćenjem jednačine (3.90) i pretpostavkom važenja Weibull-ove raspodele, a minimum negotovosti (tj. maksimalna gotovost) dobija se ako se data formula diferencira po T_p i pronadje ekstremna vrednost, odnosno kada se njen diferencijal izjednači sa nulom, pa odatle sledi:

$$\frac{\partial \bar{A}(T_p)}{\partial T_p} = \frac{\partial}{\partial T_p} \left(\frac{e^{-\left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta} \cdot MTTR_p + \left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta \cdot MTTR_K}{T_p} \right) = 0 \quad (4.29)$$

A uzimajući u obzir aproksimaciju (4.24), možemo pisati:

$$\frac{\partial \bar{A}(T_p)}{\partial T_p} = \frac{\partial}{\partial T_p} \left(\frac{\left[1 - \left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta\right] \cdot MTTR_p + \left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta \cdot MTTR_K}{T_p} \right) = 0 \quad (4.30)$$

Odnosno:

$$\frac{\partial \bar{A}(T_p)}{\partial T_p} = \frac{\partial}{\partial T_p} \left(\frac{MTTR_p + \left(\frac{T_p}{\eta}\right)^\beta \cdot (MTTR_K - MTTR_p)}{T_p} \right) = 0 \quad (4.31)$$

$$-\frac{MTTR_P}{T_P^2} + \left[\frac{MTTR_K - MTTR_P}{\eta^\beta} \right] \cdot (\beta - 1) \cdot T_P^{\beta-2} = 0 \quad (4.32)$$

Ako obe strane pomnožimo sa T_P^2 i sredimo izraz dobije se:

$$\left[\frac{MTTR_K - MTTR_P}{\eta^\beta} \right] \cdot (\beta - 1) \cdot T_P^\beta = MTTR_P \quad (4.33)$$

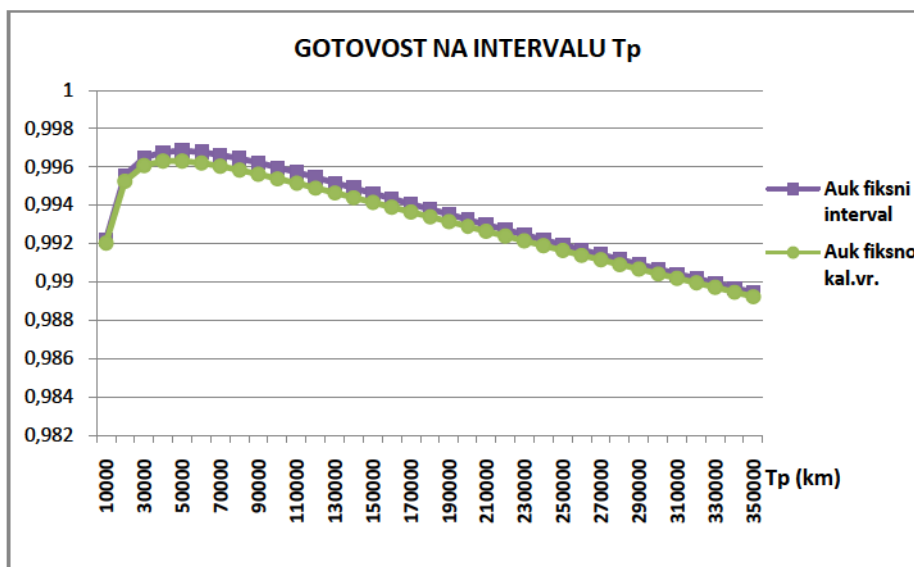
Pa je odatle interval zamene za maksimalnu gotovost u slučaju primenjene strategije zamene prema fiksnom intervalu jednaka:

$$T_{P_{max} A(t)} = \sqrt[\beta]{\left[\frac{MTTR_P}{MTTR_K - MTTR_P} \right] \cdot \left(\frac{1}{\beta - 1} \right) \cdot \eta^\beta} \quad (4.34)$$

Kao i u slučaju minimalne vrednosti troškova, iz jednačine (4.34) se vidi da ona nema rešenje u slučaju da β nije veće od 1, iz razloga što je svaka zamena u slučaju da intenzitet otkaza opada ili uzima neku konstantnu vrednost donosi više gubitaka, nego koristi. Takođe je vidljivo da jednačina nema rešenje ni u slučaju da je $MTTR_k$ manje od $MTTR_p$, što je zapravo nemoguć slučaj, jer $MTTR_k$ uvek u sebi sadrži $MTTR_p$ uz još dodatna vremena gubitaka o kojima je bilo reči u poglavlju 2. Odatle se da zaključiti da je maksimalnu gotovost sistema koji se preventivno održava moguće postići samo ako je intenzitet otkaza rastuća funkcija u vremenu. U ostalim slučajevima preventivno održavanje utiče na smanjenje gotovosti.

Upoređenjem izraza (4.26) i (4.34) može se videti da će ukupna gotovost biti veća u slučaju strategije zamena prema fiksnom intervalu, jer je negotovost prouzrokovana preventivnim održavanjem manja za faktor $R(T_p)$. Iz tog razloga se kao optimalan dobija veći interval T_p nego u slučaju preventivnih zamena

prema fiksnom datumu. Pomeranje optimalnog intervala moguće je videti na dijagramu (slika 4.4), gde su iterativno za različite vrednosti preventivnog intervala zamene T_p određene vrednosti gotovosti, korišćenjem izraza (4.20) i (4.27).



Slika 4.4: Pomeranje optimalnog intervala s obzirom na primenjenu strategiju preventivnih zamena

4.1.3. METOD IZBORA OPTIMALNOG INTERVALA PREVENTIVNIH ZAMENA NA BAZI KRITERIJUMA MAKSIMALNE GOTOVOSTI I MINIMALNIH TROŠKOVA

U opštem slučaju kako se optimalna periodičnost sprovođenja postupka preventivnog održavanja, određena prema kriterijumu maksimalne gotovosti i prema kriterijumu minimalnih troškova održavanja razlikuju, a s obzirom na protivrečnost ovih zahteva, neophodno je primeniti metode višekriterijumske analize i odrediti vrednost tražene optimalne periodičnosti sprovođenja

postupaka preventivnog održavanja, uzimajući u obzir i jedan i drugi kriterijum optimalnosti.

Skup alternativa predstavlja se matičnom jednačinom (4.35), pri čemu je $i=(1,2,\dots, k)$ skup indeksa alternativa:

$$L = [l_{ik}] \tag{4.35}$$

a sa l_{ik} je označena normalizovana vrednost kriterijuma optimalnosti k za alternativu i , koja se još naziva *matricom vektorske normalizacije*.

U datom slučaju možemo uzeti da je l_{i1} vrednost kriterijuma maksimalne gotovosti za dati period zamena, tj:

$$l_{i1} = A(T_p) \tag{4.36}$$

a l_{i2} vrednost kriterijuma minimalnih troškova.

U opštem slučaju kada su kriterijumi optimalnosti za troškove održavanja i gotovost različite prirode, odnosno imaju različite vrednosti i različite jedinice mere, to znači da vrednosti kriterijuma optimalnosti, za jednu alternativu nisu direktno uporedivi. Iz tog razloga potrebno je sprovesti proceduru normalizacije kojom se sve vrednosti l_{ik} preslikavaju u interval $[0,1]$.

Ako se izvrši normalizacija korišćenjem izraza za vektorsku normalizaciju (4.35) i uz primenu navedenih kriterijuma optimalnosti, dobijamo vrednosti za pojedine kriterijume prema sledećim formulama:

$$l_{i1n} = \frac{l_{i1}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (l_{i1})^2}} \tag{4.37}$$

$$l_{i2n} = \frac{\frac{1}{l_{i2}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\frac{1}{l_{i2}})^2}} \quad (4.38)$$

Vrednost faktora na osnovu koga se određuje najbolja alternativa periodičnosti održavanja a_i određuje se pod pretpostavkom da su alternative zadate normalizovano, što je slučaj u konkretnom zadatku, korišćenjem izraza (4.50):

$$a_i = \frac{\sum_{k=1}^2 w_k \cdot l_{i1kn}}{\sum_{k=1}^2 w_k} \quad (4.39)$$

Gde su w_k težinski koeficijenti, koji se određuju na osnovu važnosti određenog kriterijuma.

Ako se uzme da želimo da izračunamo optimalno rešenje zu slučaju da su oba kriterijuma podjednako važna onda je vrednost faktora a_i jednaka:

$$a_i = \frac{1}{2} (l_{i1n} + l_{i2n}) \quad (4.40)$$

A optimalno rešenje dobija se u kada je a_i maksimalno.

Prednost razvijenog modela koji je dobijen jednačinama: 4.7, 4.19, 4.26 i 4.34. ogleda se u tome što se prema oba kriterijuma optimizacije dobijaju intervali zamene, koji su izraženi u istim jedinicama, pa je upoređivanje rešenja moguće vršiti direktno, ne koristeći matricu vektorske normalizacije.

Bilo u slučaju strategije zamena prema fiksnom vremenskom intervalu ili fiksnom datumu možemo smatrati da ako su kriterijumi gotovosti i troškova održavanja podjednako važni onda se optimalni interval, koji zadovoljava oba kriterijuma, dobija kao aritmetička sredina intervala dobijenih za minimalne troškove i maksimalnu gotovost.

$$T_{popt} = \frac{1}{2}(T_{Pmin C(t)} + T_{Pmax A(t)}) \quad (4.41)$$

Težinske koeficijente moguće je takođe u realnim uslovima podešavati prema potrebama, u zavisnosti da li se prednost daje maksimalnoj gotovosti ili minimalnim troškovima, pa opšta formula optimizacionog modela ima sledeći oblik:

$$T_{popt} = w_i \cdot T_{Pmin C(t)} + w_j T_{Pmax A(t)} \quad (4.42)$$

Uvrštavanjem vrednosti $T_{Pmin C(t)}$ i $T_{Pmax A(t)}$ iz izraza 4.7, 4.19, 4.26 i 4.34 dobija se jednačina optimalnog perioda preventivne zamene komponentata u slučaju strategije zamena prema fiksnom datumu (jednačina 4.43) i prema fiksnom intervalu (jednačina 4.44):

$$T_{popt} = w_i \cdot \sqrt[\beta]{\frac{C_P}{C_K} \cdot (\beta - 1) \cdot \eta^\beta} + w_j \cdot \sqrt[\beta]{\frac{MTTR_P}{MTTR_K} \cdot (\beta - 1) \cdot \eta^\beta} \quad (4.43)$$

$$T_{popt} = w_i \cdot \sqrt[\beta]{\frac{C_P}{C_K - C_P} \cdot \left(\frac{1}{\beta - 1}\right) \cdot \eta^\beta} + w_j \cdot \sqrt[\beta]{\left[\frac{MTTR_P}{MTTR_K - MTTR_P}\right] \cdot \left(\frac{1}{\beta - 1}\right) \cdot \eta^\beta} \quad (4.44)$$

Kao što je već rečeno, ako su oba kriterijuma podjednako važna onda su težinski koeficijenti $w_i = w_j = 0,5$ pa je formula za optimalni interval sa čijom primenom se postižu i optimalni nivo gotovosti i prihvatljivo niski troškovi održavanja jednak za primenjenu strategiju zamena prema fiksnom datumu (4.45):

$$T_{popt} = 0,5 \cdot \sqrt[\beta]{\frac{C_P}{C_K} \cdot (\beta - 1) \cdot \eta^\beta} + 0,5 \cdot \sqrt[\beta]{\frac{MTTR_P}{MTTR_K} \cdot (\beta - 1) \cdot \eta^\beta} \quad (4.45)$$

odnosno zamena prema fiksnom intervalu (4.56)

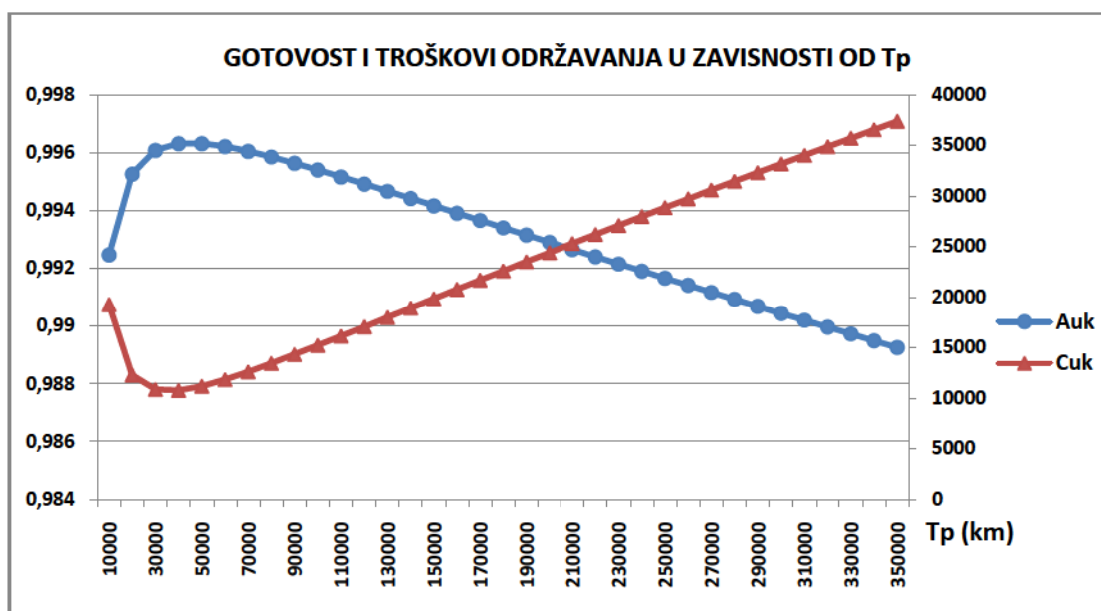
$$T_{popt} = 0,5 \cdot \sqrt[\beta]{\frac{C_P}{C_K - C_P} \cdot \left(\frac{1}{\beta - 1}\right) \cdot \eta^\beta} + 0,5 \cdot \sqrt[\beta]{\left[\frac{MTTR_P}{MTTR_K - MTTR_P}\right] \cdot \left(\frac{1}{\beta - 1}\right) \cdot \eta^\beta} \quad (4.46)$$

Ako se izrazi (4.55) i (4.56) pojednostave, dobiju se jednakosti:

$$T_{popt} = 0,5 \cdot \sqrt[\beta]{(\beta - 1) \cdot \eta^\beta} \left(\sqrt[\beta]{\frac{C_P}{C_K}} + \sqrt[\beta]{\frac{MTTR_P}{MTTR_K}} \right) \quad (4.47)$$

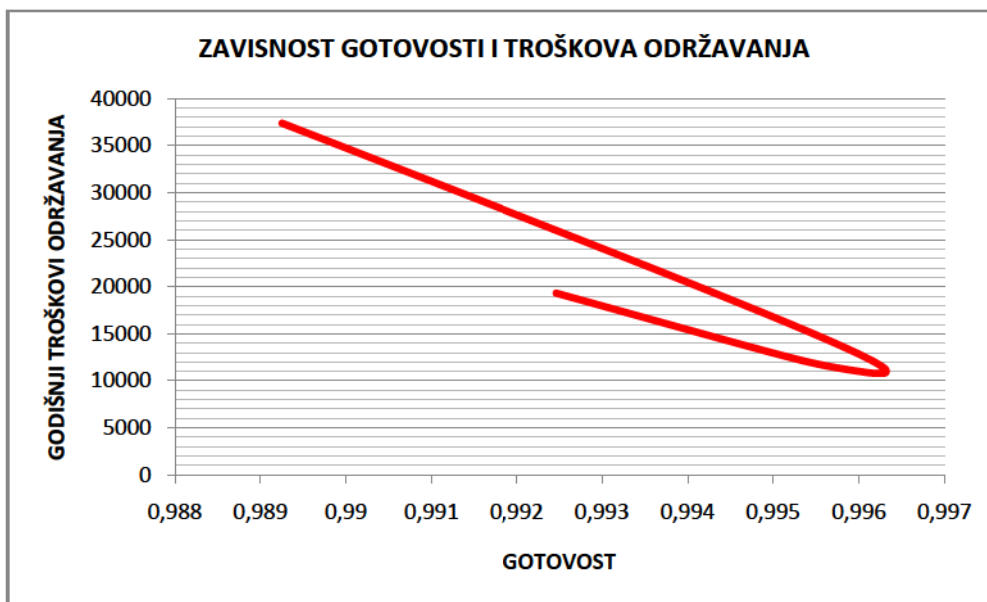
$$T_{popt} = 0,5 \cdot \sqrt[\beta]{(\beta - 1) \cdot \eta^\beta} \left(\sqrt[\beta]{\frac{C_P}{C_K - C_P}} + \sqrt[\beta]{\frac{MTTR_P}{MTTR_K - MTTR_P}} \right) \quad (4.48)$$

Prikaz zavisnosti troškova i gotovosti od preventivnog intervala T_p izračunati iterativno za različite preventivne intervale zamene T_p pomoću jednačina (4.2) i (4.20) dat je na slici 4.5. Odatle se takođe grafički može očitati direktno sa dijagrama koja oblast intervala će dati optimalno rešenje.



Slika 4.5. Funkcija gotovosti i troškova održavanja u zavisnosti od intervala preventivnog održavanja

U dijagramskom prikazu koji daje zavisnost gotovosti od troškova održavanja moguće je na još lakši način direktno očitati tačku koja daje optimalno rešenje, slika 4.6.



Slika 4.6. Zavisnost troškova održavanja od gotovosti sistema

Kao što se sa grafika može videti (slika 4.6.) isti nivo gotovosti može se ostvariti uz veće ili manje troškove, pa je upravo cilj optimizacije da se izabere rešenje koje će da obezbedi što niže troškove uz maksimalnu gotovost.

4.1.4. GRUPISANJE KOMPONENATA NA BAZI OPTIMALNIH TROŠKOVA ODRŽAVANJA I GOTOVOSTI - MOGUĆNOSTI PRIMENE BLOK ZAMENA

Obeležje gotovo svih modela održavanja, pa i modela razvijenog u okviru ovog istraživanja je činjenica da se oni odnose samo na pojedine sastavne elemente. U slučaju kada se ovakvi modeli primenjuju na složene sisteme, kakvo je motorno vozilo, onda više ne daju relevantne rezultate za optimalne preventivne zamene ili preventivne preglede takvog sistema u celini. Jedan od mogućih načina za rešavanje ovakvog problema je u analizi karakteristika pouzdanosti komponenata sistema, i primeni optimalnih modela na sastavne elemente, a zatim grupisanje komponenata koje imaju bliske vrednosti preventivnih perioda preventivnog održavanja, a pri tome zahtevaju slične aktivnosti održavanja, ili su bliski po mestu ugradnje na sistem (tj. primena blok zamena). Ovakvo grupisanje elemenata i određivanje kriterijuma za njihovo grupisanje moguće je upotrebom razvijenog modela vršiti zadovoljavajući oba kriterijuma istovremeno, što je detaljnije izloženo u poglavlju 4.2.2.3.

Pomenutu optimizaciju moguće je vršiti i ako je u nekim specijalnim slučajevima potrebno zadovoljiti samo jedan od kriterijuma. U tom slučaju se koriste pojedinačne formule 4.7, 4.19, ne primenjujući optimizacione formule 4.43. i 4.44.

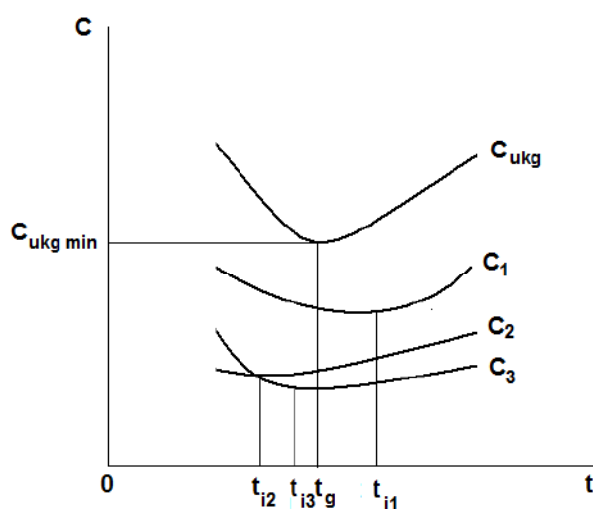
Kriterijum za grupisanje komponenata u slučaju zahteva za minimalnim troškovima je da su ukupni troškovi održavanja grupe elemenata sistema manji od sume parcijalnih troškova održavanja za pojedinačne elemente sistema, što se matematički može izraziti uslovom, a kao što je dato u [12]:

$$C_{ukg \min} < \sum_{i=1}^n C_i \quad (4.49)$$

Gde je :

- $C_{ukg \min}$ - ukupni troškovi održavanja za grupu elemenata i izabranu periodičnost t_g
- $\sum_{i=1}^n C_i$ - suma troškova održavanja pojedinačnih elemenata sistema
- n - broj elemenata u grupi.

Grafo-analitičkom metodom moguće je odrediti optimalni interval preventivne zamene grupe elemenata sa minimalnom vrednošću funkcije ukupnih troškova održavanja (slika 4.7).



Slika 4.7. Optimalno rešenje za minimalne troškove održavanja više komponentnog sistema [12]

Dobijene optimalne vrednosti T_{popt} za pojedine sastavne elemente sistema u slučaju blok zamena potrebno je modifikovati tako da budu celi umnošci. To je neophodno iz praktičnih razloga, kako bi se grupisale aktivnosti održavanja i vreme iskoristilo za zamene još nekih elemenata sistema sa približnim optimalnim nivoima zamene. Na taj način se smanjuje ukupno vreme provedeno van eksploatacije sistema i samim tim povećava gotovost sistema. Budući da sistemi obično imaju kao osnovni zadati kriterijum za vršenje misije takođe definisan nivo pouzdanosti ili gotovosti, koji treba da ostvare u eksploataciji, u slučaju primene blok zamena i izbora optimalnog T_p za pojedine blokove sistema, potrebno je ponovo izvršiti izračunavanje troškove održavanja i gotovosti sistema kako bi se proverilo da li njihove vrednosti izlaze iz područja propisanih nivoa. U slučaju zahteva za postizanjem maksimalne gotovosti dobijene optimalne vrednosti T_{popt} za pojedine sastavne elemente sistema prilikom primene blok zamena potrebno je modifikovati tako da budu celi umnošci, kako bi se olakšala organizacija održavanja, i zapravo povišio nivo gotovosti, jer bi viši nivoi preventivnog održavanja obuhvatali i sve aktivnosti nižih nivoa.

- **METOD GRUPISANJA KOMPONENATA**

Kako bi se uzeli u obzir svi uticajni faktori i odredila efektivnost primenjenog modela na vozilo u celini, izbor optimalnog intervala preventivnog održavanja bi trebalo vršiti prema metodi, koja je primenjena u predmetnoj disertaciji u okviru sopstvenih istraživanja, a koja sadrži sledeće korake:

1. Prikupljanje podataka o vremenima rada i otkaza sastavnih elemenata sistema, za koje se primenjuje model;
2. Prikupljanje podataka o srednjim vremenima izvođenja korektivnog i preventivnog održavanja ($MTTR_{prev}$, $MTTR_{corr}$);
3. Utvrđivanje zakona raspodele vremena rada do otkaza sastavnih elemenata sistema;
4. Određivanje teorijskih vrednosti karakteristika pouzdanosti elemenata na osnovu utvrđene raspodele;
5. Za svaki element se izračunavaju troškovi preventivnog i korektivnog održavanja za slučaj pojedinačne zamene i slučaj blok zamene, prema datim jednačinama (4.2) i (4.14);
6. Proverava se da li su ispunjeni uslovi za primenu modela datog jednačinama: 4.7, 4.19, 4.26 i 4.34 tj. da li usvojeni zakon raspodele ima rastući intenzitet otkaza u funkciji vremena rada i da li su troškovi preventivnog održavanja niži od troškova korektivnog održavanja;
7. Izračunavanje optimalnog intervala zamene T_p korišćenjem jednačine: 4.7. koja odgovara minimalnim ukupnim jediničnim troškovima održavanja za sastavni element;
8. Izračunavanje gotovosti za optimalan interval T_p korišćenjem jednačine 4.26. koja predstavlja maksimalnu gotovost za date operative uslove sistema održavanja.
9. U slučaju zahteva za ispunjavanje i kriterijuma maksimalne gotovosti i kriterijuma minimalnih troškova održavanja primenjuju se

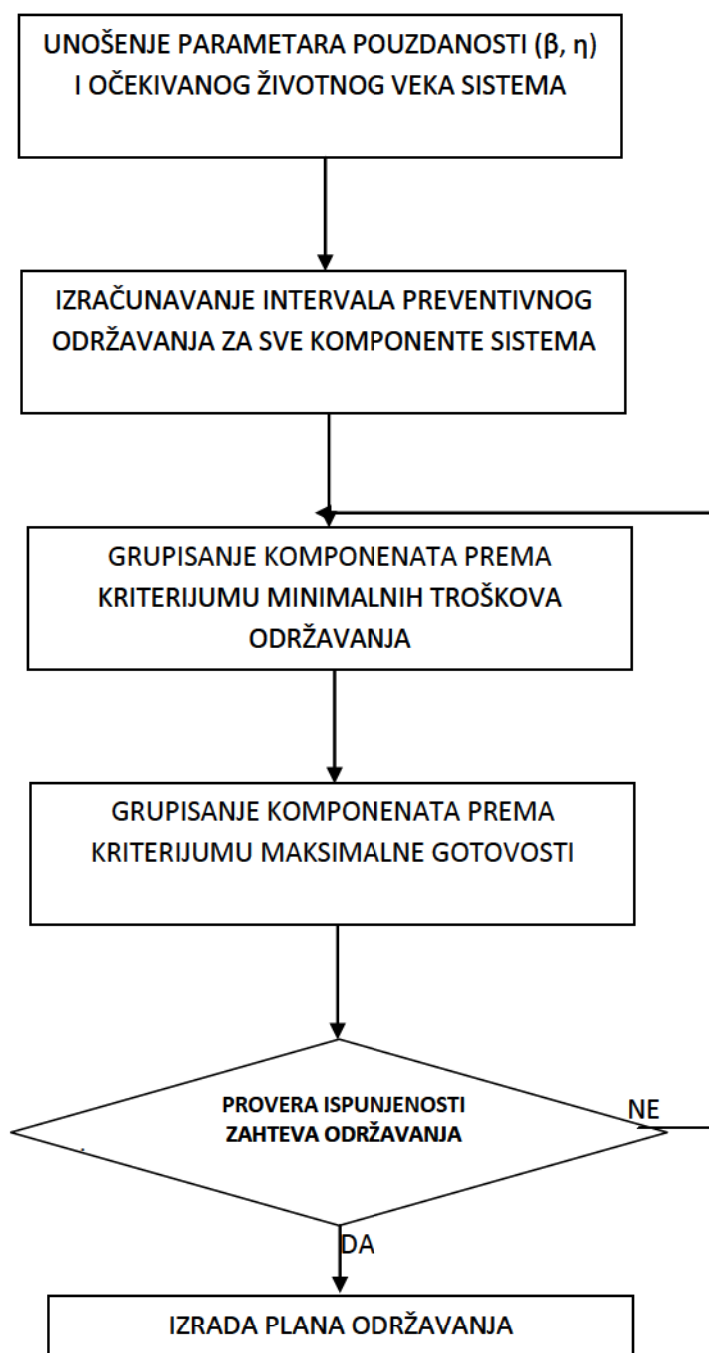
optimizacione formule 4.43 i 4.44 za određivanje optimalnih intervala preventivnih zamene za pojedine elemente;

10. Dobijeni optimalni intervali za pojedine elemente sistema se grupišu prema vremenu zamene, i određuju se intervali grupe elemenata koji su međusobno bliski (i.e. dobijene optimalne vrednosti intervala preventivne zamene T_{popt} za pojedine sastavne elemente treba modifikovati tako da budu celobrojni umnošci jedni drugih, pa se onda treba odrediti interval za grupu elemenata);

11. Posle usvajanja optimalnih vrednosti T_{popt} za grupe elemenata neophodno je kvantitativno proveriti da li je ostvarena zahtevana vrednost gotovosti ili troškova održavanja za celinu sistema kod koga se vrši preventivna zamena sastavnih elemenata (ukoliko takav zahtev postoji).

Na slici 4.8. dat je alogoritam za pravljenje plana preventivnih aktivnosti održavanja. Plan preventivnog održavanja je primenjiv na realnim sistemima, zato što se sadržaj održavanja kreira uzimajući u obzir njihove fizičke karakteristike. Ovaj prilaz može da se proširi i na sisteme održavanja optimizirane po principu minimalnih troškova ili maksimiziranja gotovosti.

Poboljšanje održavanja uključuje i pogodnost održavanja komponenata i podrške održavanju. Veliko poboljšanje moguće je jednostavno postići ako su u pitanju manje složene komponente i ako su obezbeđeni svi potrebni alati za rad.



Slika 4.8. Algoritam za pravljenje plana preventivnog održavanja

4.2. EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE - PRIMENA OPTIMIZACIONOG MODELA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA NA VOZKOM PARKU AUTOBUSA

U skladu sa definisanim ciljem i programom rada (poglavlje 1) i osnovnim teorijskim postavkama izloženim u poglavljima 2., 3. i 4.1. u ovom poglavlju je predstavljeno eksperimentalno istraživanje u okvirima voznog parka autobusa preduzeća *Autotransport* Pančevo. Podaci iz eksploatacije koji su u disertaciji izloženi prikupljeni su i obrađeni u periodu od četiri godine analizom podataka informacionog sistema preduzeća. Predmet istraživanja predstavljaju osnovni proizvodni sektori datog preduzeća, koga čine eksploatacija i održavanje, odnosno oblast procesa, tokova rada i akvizicije podataka u navedenim sektorima, kako bi se otklonila pojava svakodnevnih problema i neizvesnosti u radu. Ideja ovog istraživanja bila je da se na osnovu prikupljenih parametara pouzdanosti kvantitativno oceni organizacija službe održavanja, identifikuju faktori koji povećavaju gotovost, a smanjuju troškove održavanja i daju smernice za poboljšanja u organizaciji sektora održavanja. Takođe je cilj i da se na konkretnim podacima proveriti i potvrdi upotreba razvijenog modela za optimizaciju perioda preventivnog održavanja na bazi kriterijuma minimalnih troškova i maksimalne gotovosti sa mogućnošću njegove šire primene i na sve ostale tehničke sistema sličnih zahtevanih performansi.

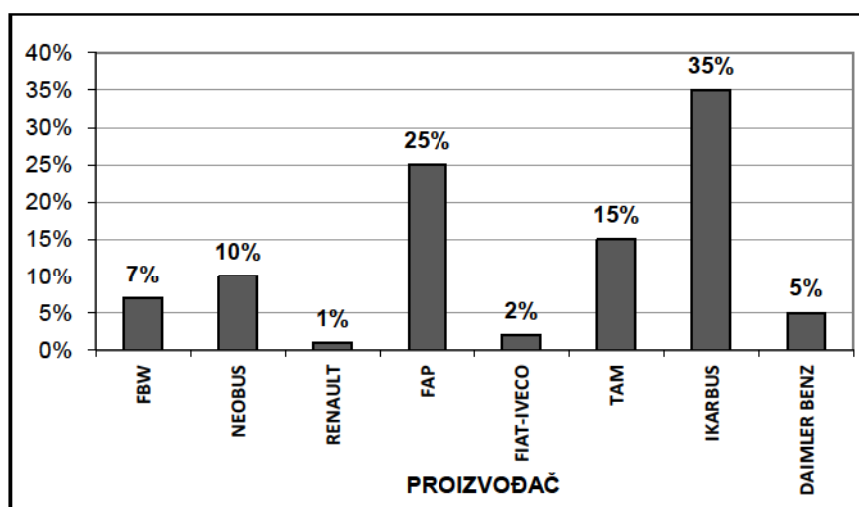
4.2.1. OSNOVNA OBELEŽJA VOZNOG PARKA

Preduzeće *Autotransport* Pančevo početke svog rada beleži još od davne 1948. godine, a prva linija na kojoj se odvijao saobraćaj bila je Pančevo-Beograd. Osnovna delatnost preduzeća je prevoz putnika u gradskom,

prigradskom i međumjesnom saobraćaju, na teritoriji 9 opština južnog Banata, a u dopunske delatnosti spadaju i usluge tehničkog pregleda, osiguranja i registracije vozila za treća lica i drugi poslovi iz delatnosti preduzeća. U preduzeću je trenutno zaposleno 550 radnika. Postojeća autobuska mreža obuhvata 31 liniju, od čega 17 linija u međumjesnom saobraćaju, 5 linija u prigradskom saobraćaju, 8 linija u gradskom saobraćaju i 1 sezonska linija u međunarodnom prevozu. Ukupna eksploataciona dužina mreže iznosi 1800 km, a prosečna dužina linije oko 30 km.

Autobuski vozni park u ovom trenutku raspolaže sa ukupno 88 autobusa, od toga 66 vozila je angažovano u prigradskom i međumjesnom saobraćaju, a 22 u gradskom saobraćaju. Od ukupnog broja autobusa 24 je solo, 42 zglobna i 22 turistička autobusa. Srednja dnevna pređena kilometraža po vozilu iznosi 234 km, a srednja eksploataciona brzina 19.5 km/h za zglobna vozila i 24.5 km/h za solo vozila.

Jedna od karakteristika voznog parka je heterogenost, s obzirom na činjenicu da su zastupljena vozila različitih proizvođača (slika 4.9). U ukupnom broju najviše su zastupljena vozila IKARBUS sa 35%, FAP sa 25%, TAM sa 15% itd.

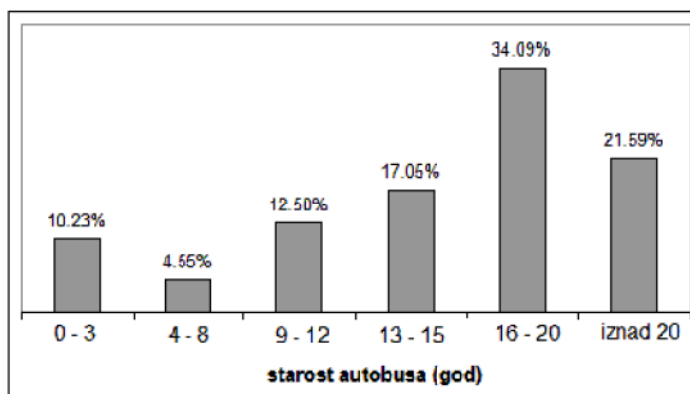


Slika 4.9. Struktura autobuskog voznog parka prema proizvođaču

Najveći uspon preduzeće je doživelo 80-ih godina kada je vozni park brojao 170 autobusa, prosečne starosti 5 godina. Danas je prosečna starost autobusa u voznom parku ATP-a 16 godina. Na slici 4.10. je predstavljena struktura autobusnog voznog parka prema starosti vozila.

Kada je u pitanju starosna struktura voznog parka potrebno je istaći da u periodu političko-ekonomske krize u Srbiji od 1991-2000. godine, vozni park nije planski obnavljan, pa je logično da se takva situacija odrazila na sve veću zastarelost, pad tehničke ispravnosti i pouzdanosti rada vozila, što je imalo za posledicu smanjenje broja autobusa sposobnih za vršenje prevoza putnika.

Starost vozila (godine)	Broj vozila	Procent. učesće
0 do 3	9	10.23 %
4 do 8	4	4.55 %
9 do 12	11	12.50 %
13 do 15	15	17.05 %
16 do 20	30	34.09 %
iznad 20	19	21.59 %
UKUPNO	88	100.00 %



Slika 4.10. Starosna struktura voznog parka

4.2.1.1. USLOVI EKSPLOATACIJE

Da bi se opisali eksploatacioni uslovi na trasi autobuskih linija u osnovi je neophodno uzeti u obzir mnoge karakteristične parametre kao što su: gustina saobraćajnog toka, broj zaustavljanja na semaforskim raskrscima, broj stajališta, vreme ulaska i izlaska putnika, topografija terena itd. Iako je objedinjavanje tako različitog broja promenljivih veličina složen posao, jasno

proizilazi da svi ovi parametri imaju direktan uticaj na veličinu srednje eksploatacione brzine autobusa na linijama. U jedan od veoma važnih faktora sa aspekta eksploatacionih uslova težine obavljanja prevoza ubraja se i koeficijent izmene putnika (η_p), koji predstavlja odnos između broja prevezenih putnika i maksimalnog protoka putnika na liniji, i kao težinski faktor najbolje opisuje karakteristike putničkih tokova na linijama. Na linijama sa većim izmenama, prevozi se veći broj putnika, što za posledicu ima veću statičku i dinamičku opterećenost vozila.

Mreža linija autobuskog sistema pokriva celu gradsku i prigradsku teritoriju, a uslovi eksploatacije kreću se u širokom dijapazonu od relativno "lakih" linija koje se prostiru na deonicama bez uzdužnih nagiba, manje opterećenim putničkim tokovima, do "težih" linija čije trase prolaze opterećenijim gradskim koridorima sa većom izmenom putnika, malom eksploatacionom brzinom, itd. Kad je u pitanju ATP, uzimajući u obzir gore navedene parametre, moguće je konstatovati da se uslovi eksploatacije najčešće kreću u dijapazonu od lakih do srednje teških. Kao što je već naglašeno, saobraćaj se obavlja uglavnom na ravnom terenu (asfaltnom putu), pa su izbegnuti uticaji nagiba na uslove obavljanja saobraćaja.

4.2.1.2. OBJEKTI ZA ODRŽAVANJE I SLUŽBA ODRŽAVANJA

Auto-baza se prostire na površini od oko 8.000 m² površine. U okviru objekta servisne radionice nalazi se: servisna hala, objekat radničkog standarda, kotlarnica sa kompresorskom stanicom, benzinska pumpna stanica, parking prostor i plato za 130 autobusa i parking za putnička vozila. U servisnoj radionici, gde su paralelno postavljena 4 kanala, moguće je istovremeno vršiti

opravke 3 autobusa, na specijalizovanim kanalima za vršenje opravki, dok je četvrti kanal specijalno izgrađen za obavljanje tehničkog pregleda. U remontnoj hali nalazi se 10 kanala i tri stubne dizalice, a postoje i dodatna mesta za još 7 autobusa.

Auto-baza ima u svom sastavu jedinice za preventivno i za korektivno održavanje. Postupci preventivnog održavanja i lake opravke korektivnog održavanja obavljaju se u servisnoj radionici, dok se postupci težih korektivnih aktivnosti održavanja izvode u remontnoj hali. Osim toga, u auto-bazi se nalazi i interventna ekipa koja, u slučaju potrebe, pruža pomoć vozilima koja su otkazala na liniji.

Služba održavanja u servisnoj radionici funkcioniše 24 h dnevno. Radnici su podeljeni u 3 smene od po 8 h, a uvek je u pripravnosti i tzv. rezervna četvrta smena, koja se angažuje po potrebi, u slučaju povećanja obima posla ili nedostatka radnika. Remontna hala radi samo u jednoj smeni od 6-14 h, šest dana u nedelji. Služba eksploatacije koja se sastoji od 135 vozača angažovana je za vremenski period od 03-24h. Vozači uglavnom rade u smenama dvokratno, što je usklađeno sa nivoima opterećenja saobraćaja u toku dana.

4.2.1.3. ORGANIZACIJA, PLANIRANJE I EVIDENCIJA ODRŽAVANJA

Kao što je već rečeno u sistemu održavanja ATP-a primenjuje se kombinovani pristup održavanju, koji se sastoji iz preventivnog održavanja, koje se sprovodi na osnovu utvrđene kilometraže i korektivnog održavanja. Značajan pomak u organizaciji ostvaren je uvođenjem dnevnog pregleda, kao osnovnog elementa preventivnog održavanja.

Ranije su postupci preventivnog održavanja bili podeljeni na servis A koji se izvodio na 10.000 km i servis B koji se izvodio na 1500 km, ali je u međuvremenu servis B ukinut, jer je uveden postupak dnevnog pregleda, nešto detaljniji nego ranijih godina. U postupke preventivnog održavanja, dakle, spadaju dnevni pregled (koji uključuje i dnevnu negu) i servis A, koji se izvodi na svakih 10.000 km. Servisi se izvode prema unapred propisanim i standardizovanim uputstvima, a terminiranje i određivanje visine troškova za izvođenje servisa određuje se u okviru *Godišnjeg plana preventivnog održavanja*. Tehnološka uputstva postoje kako za izvođenje servisa A, tako i za vršenje dnevnog pregleda, a dobili su ih svi odgovorni radnici.

Može se reći da već ima naznaka uvođenja osnovnih postavki savremenog odražavanja prema stanju, utoliko što se izvođenje servisa ne vezuje striktno za pomenutu kilometražu, već se ovaj interval može i pomerati s obzirom na stanje komponenata¹². Međutim, nije izvršeno specijalizovano modeliranje intervala preventivnih pregleda za dati sistem. Dnevni pregledi sprovode se obavezno nakon povratka autobusa u garažu, tj. nakon dolaska sa linije. Svakih 6 meseci sprovodi se vanredni tehnički pregled za registraciju vozila.

4.2.1.4. PROCES RADA U SEKTORU ODRŽAVANJA I TOKOVI INFORMACIJA O STANJU VOZILA - RADNI DOKUMENTI

Kako bi se napravila analiza sistema održavanja značajno je razmotriti proces rada u ovom sektoru preduzeća i raščlaniti ga na pojedine aktivnosti, a u

¹² Na primer, kvalitet ulja u motoru se proverava tokom dnevnih pregleda posebnim (SKF) uređajem, pa ako se zaključi da je procenat nečistoća u ulju dostigao kritične vrednosti onda se vozilo šalje na servis.

cilju definisanja punktova sa kojih se dobijaju informacije o stanju vozila, koje se unose u bazu informacionog sistema.

Proces je moguće prikazati na sledeći način:

Kada se vozilo vrati sa linije prvo dolazi na portirnicu gde se registruje ulazak vozila. Vozač predaje dispečeru *saobraćajnu dozvolu, putni nalog i tahografski uložak*. Ako nema prijava neispravnosti vozila od strane vozača registruje se da je vozilo u ispravnom stanju i preuzima ga parkirer koji ga vozi do punionice goriva. Gorivo se tankuje obavezno do punog rezervoara. Nakon toga se vozilo vozi u servisnu halu gde se obavlja dnevni pregled (sa standardizovanim postupcima pregleda sistema, pregleda tečnosti i dnevne nege: pranje i čišćenje), a zatim ide na parking. Kao što je već rečeno dnevni pregled je u datom preduzeću osnovni postupak preventivnog održavanja vozila. Ovim se pregledom obezbeđuje ispravnost vozila u javnom saobraćaju, odnosno sprečava uključivanje u saobraćaj vozila koja nisu tehnički ispravna (što je i zakonska obaveza). Zbog toga se dnevni pregled vrši na svakom autobusu jednom dnevno, pre izlaska vozila na liniju (bez obzira u koliko smena radi, tj. koliko puta izlazi i vraća se u autobazu). Ukoliko se za vreme obavljanja dnevnog pregleda konstatuje da postoje određeni tehnički nedostaci, odnosno da je potrebno izvršiti opravke ili druge postupke vraćanja vozila u ispravno stanje i ukoliko se ovo ne može uraditi u vremenu koje je na raspolaganju za izvršenje dnevnog pregleda (što je najčešći slučaj), vozilo se prebacuje na radna mesta za obavljanje ovih radnih operacija (remontno odeljenje za obavljanje korektivnog održavanja).

Svako vozilo koje uspešno prođe dnevni pregled mora da ima dokument pod nazivom *potorda o tehničkoj ispravnosti (ili garancija ispravnosti)*, u protivnom ne može da napusti autobazu. Kada drugi vozač dođe po vozilo, obavezan je da od dispečera preuzme dokumentaciju vozila i sprovede vizuelni pregled, a potom

potpiše da je primio vozilo u tehnički ispravnom stanju i izvozi ga na liniju. Na portirnici se registruje da je vozilo izašlo iz autobaze.

U slučaju da je prilikom preuzimanja vozila od vozača prijavljena neka neispravnost na vozilu, dispečer registruje prijavu otkaza i otvara *zahtevni radni nalog*. Vozilo preuzima parkirer (ako vozilo ne može da se pokrene onda šlep služba) koji ga prvo vozi na tankovanje goriva, a zatim u remontno odeljenje. Upućivanje vozila na korektivno održavanje, na osnovu otkaza koji se konstatuju na liniji, za vreme rada vozila (a koje ne mogu da otklone terenske ekipe), vrši se na osnovu naloga ovlašćenog lica, tj. ocene o stvarnom stanju i radovima koje treba obaviti. Postupci korektivnog održavanja vrše se u remontnom odeljenju, gde se u načelu otklanjaju i nedostaci uočeni za vreme obavljanja tehničkih pregleda. Na osnovu zahtevnog radnog naloga otvara se *radni nalog* za dato vozilo i piše *trebovanje* iz magacina. Nakon otklanjanja otkaza registruje se da je vozilo ispravno (izdaje se garancija o tehničkoj ispravnosti), a zatim se vozilo sprovodi do servisnog odeljenja gde se nad njim sprovodi dnevna nega. U slučaju da neispravnost na vozilu ne može da se otkloni odmah, vozilo se iz remontnog odeljenja sprovodi na parking i pravi se *plan otklanjanja otkaza*, prema prioritetu ili težini otkaza. Sa stanovišta osnovnog tehnološkog koncepta, otkaz komponenata autobusa, koji se konstatuje za vreme tehničkog pregleda ili za vreme korišćenja autobusa, vrši se zamenom otkazalih elemenata i agregata (uvek kada je to moguće, odnosno brže, jednostavnije i jeftinije). Tako se smanjuje vreme zadržavanja vozila na održavanju i zadovoljava uvek prisutan zahtev u pogledu nivoa pogodnosti održavanja. Oправка otkazalih, odnosno neispravnih elemenata i agregata vrši se van vozila, ukoliko je to moguće i ekonomski opravdano. Za te poslove koristi se posebna radionica u autobazi ili u nekoj drugoj poslovnoj organizaciji, koja je osposobljena isključivo za datu vrstu industrijskog remonta.

4.2.1.5. INFORMACIONI SISTEM SEKTORA ODRŽAVANJA

Informacioni sistem preduzeća Autotransport Pančevo je u potpunosti kompjuterski podržan, što značajno olakšava prikupljanje i obradu informacija. Podaci iz baze podataka strukturirani su tako da je na osnovu njih moguće dobiti različite vrste izveštaja koji se koriste za upravljanje službom održavanja.

Iz postojećeg informacionog sistema sektor održavanja dobija sledeće izveštaje:

- *Pregled vozila u radionici* (spisak vozila nad kojima se trenutno vrši opravka),
- *Pregled radova na vozilu* (mesečni pregled opravki izvršenih na vozilu),
- *Pregled ugrađenih delova* (mesečni pregled ugrađenih delova na vozilo),
- *Rad radnika* (broj časova rada utrošenih na izvođenje pojedinih opravki),
- *Delovi koji nisu vraćeni* (lista delova koji nisu imali povratnicu za magacin),
- *Ispravna vozila u garaži* (trenutna lista autobusa koji su u ispravnom stanju i čekaju na rad - problematično je što se ova vremena čekanja ne čuvaju u bazi, nego ih je moguće dobiti samo za određeni trenutak u kome se očitavanje vrši),
- *Gde je vozilo* (izveštaj koji daje informacije o tome da li je vozilo trenutno u radu i nalazi se na liniji ili u otkazu i nalazi se u radionici. Takođe daje informaciju i o tome koliko vozilo čeka na opravku. Nedostatak je u tome što je takođe moguće samo trenutno očitavanje, a podaci o vremenu koje vozilo provede u čekanju na vršenje opravke, obezbeđivanje rezervnih delova, kao i razlozi kašnjenja, se ne čuvaju),

- *Izašla neispravna vozila* (kao što je već rečeno u prethodnom paragrafu sva vozila koja napuštaju auto-bazu trebalo bi da imaju potvrdu o tehničkoj ispravnosti. U slučaju da je nemaju smatra se da su na liniju izašla neispravna, a brojeve tih vozila moguće je dobiti u ovom pregledu. Navedeni izveštaj nema nekog posebnog značaja za sektor održavanja, ali ima za bezbednost u saobraćaju, pa se iz tog razloga i koristi, kako bi se utvrdilo da li je vozilo u trenutku eventualne havarije bilo u tehnički ispravnom stanju),
- *Pregled potrošnje rashladne tečnosti, ulja i goriva* (na dnevnom, mesečnom i godišnjem nivou),
- *Spisak neispravnih vozila* (zapravo predstavlja listu vozila za koje su otvoreni radni nalozi),
- *Garancije ispravnosti* (spisak vozila za koja je izdata pomenuta garancija o tehničkoj ispravnosti),
- *Ulazi-izlazi* (datumi i vremena kada su pojedina vozila napuštala i vraćala se u autobazu),
- *Pregled servisa* (izveštaj o servisima na vozilima - vreme, datumi i kilometraže, kao i servisa koji su u toku),
- *Pregled otkaza* (spisak svih prijavljenih otkaza na vozilima na osnovu kojih se otvara radni nalog. Nedostatak je što na nivou informacionog sistema ne postoji bilo kakvo ograničenje za unos u rubriku za opis prijavljenog otkaza, pa se vrlo često kao rezultat dobija nestandardna terminologija, koja stvara konfuziju ili nije ni unesen nikakav podatak),
- *Koeficijent ispravnosti* (pregled broja ispravnih i neispravnih vozila u slučajnom trenutku očitavanja),

- *Tehnički pregled* (datumi, vremena i pređena kilometraža autobusa kada je obavljen tehnički pregled),
- *Pregled završenih servisa* (izveštaj o obavljenim servisima na vozilima),
- *Dnevni radovi na vozilima* (zapravo predstavljaju listu izvršenih aktivnosti korektivnog održavanja na autobusima).

Pored tog postoji i poseban potprogram pomoću koga se prikupljaju i ažuriraju podaci vezani za zamene motora, pneumatika i tahografa vozila.

Od izveštaja koje je moguće dobiti, sektor za upravljanje i organizaciju održavanja uglavnom svakodnevno koristi sledeće:

- *pregled koeficijenta ispravnosti*¹³
- *pregled potrošnje rashladne tečnosti, ulja i goriva*
- *pregled otkaza na vozilima*¹⁴
- *spisak neispravnih vozila*
- *spisak ispravnih vozila u remontu.*

Opisani informacioni sistem uglavnom dobro funkcioniše i uopšteno pokriva potrebe ovog preduzeća, na trenutnom nivou organizovanosti. Posebna prednost je što je sistem modularnog tipa, tako da je moguće relativno jednostavno vršiti nadogradnju i poboljšanja. Postoje, međutim, i određeni nedostaci, a tiču se prvenstveno problema u prikupljanju neophodnih podataka o čemu će biti reči kasnije, nakon što budu obrađeni podaci dobijeni iz eksploatacije i održavanja vozila.

¹³ Koeficijent ispravnosti je pojam koji je usvojen iz saobraćajne terminologije. Budući da ova veličina opisuje odnos broja ispravnih i neispravnih vozila u slučajno izabranom momentu očitavanja, ona se u teoriji pouzdanosti može tumačiti kao *raspoloživost vozila*.

¹⁴ Izveštaj u kome se daju otkazi koji se ponavljaju.

4.2.1.6 PODACI I DOKUMENTI ZA ANALIZU EFEKTIVNOSTI POSLOVANJA VOZNOG PARKA

Izveštaji o kojima je bilo reči u prethodnom paragrafu, a koje je moguće dobiti iz postojećeg informacionog sistema, pojedinačno ne daju kompletne informacije za istraživanje parametara efektivnosti, pa su kao osnovni nosioci informacija u toku prikupljanja podataka zapravo korišćeni dokumenti pomoću kojih se identifikuju tehnološki postupci, koji čine proces održavanja, a koji se u bazi podataka pohranjuju u vidu tabela.

U navedene dokumente spadaju:

- *zahtevni radni nalog* - u kome su navedene sledeće informacije:
 - broj naloga
 - šifra otkaza
 - aneks naloga
 - opis otkaza
 - vreme unosa informacije
- *radni nalog* - koji sadrži sledeće informacije:
 - broj naloga
 - aneks naloga
 - garažni broj vozila
 - šifra radnika
 - šifra dispečera
 - šifra punjača
 - datum naloga
 - vreme naloga

- status naloga
 - dnevna kilometraža
 - ukupna kilometraža
 - poslednji izvršeni servis
 - broj putnog naloga
 - vreme unosa informacija
- *radna lista* - koja sadrži:
 - datum radnog naloga
 - broj radnog naloga
 - redni broj operacije
 - aneks naloga
 - šifra poslovođe
 - šifra radnika
 - vreme utrošeno na opravku
 - prekovremeni rad
 - vreme unosa informacija
 - *radna operacija* - koja sadrži:
 - broj naloga
 - redni broj operacije
 - aneks naloga
 - status operacije
 - naziv operacije
 - status naloga

Za analizu pouzdanosti pneumatika i motora koristi se je poseban podprogram, koji služi za praćenje zamena pneumatika i motora, a koji je integrisan u postojeći informacioni sistem. Postojeći podprogram je prilično detaljan izvor informacija, koji obezbeđuje neophodne podatke za određivanje karakteristika pouzdanosti ovih komponenata vozila.

4.2.2. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Sprovedeno istraživanje imalo je za cilj da ispita mogućnost primene razvijenog modela za optimizaciju preventivnih zamena komponenata vozila, kako bi se ostvarila maksimalna gotovost vozila u celini i pri tome izazvali minimalni mogući troškovi održavanja. Kao što je već rečeno razvijeni model optimizacije preventivnih pregleda pretpostavlja dva važna uslova: da je intenzitet otkaza rastući u vremenu i da su troškovi preventivnog održavanja viši od troškova korektivnog održavanja. Takođe model koji je razvijen je primenjiv na Weibull-ovu raspodelu, pa bi trebalo da se koristi za elementima koji podeležu ovom tipu raspodele. Model je moguće veoma lako prilagoditi i ostalim tipovima raspodela, jer se u tom slučaju menja samo deo koji uzima u obzir broj otkaza na intervalu T_p , ali budući da su eksperimentalno određeni tipovi raspodele kritičnih elemenata autobusa pokazali da svi podležu Weibull-ovoj raspodeli dodatna izvođenja modela za ostale tipove raspodela ovde neće biti vršeno.

Analizom i obradom podataka iz informacionog sistema, identifikovane su komponente sa visokom stopom otkaza i troškova, i prikupljena njihova vremena između otkaza, kao i srednja vremena koja su bila neophodna za njihovu zamenu. Na osnovu tih podataka utvrđeni su parametri raspodele i

izabrane komponente koje se, kao što je već rečeno, pokoravaju Weibull-ovom zakonu.

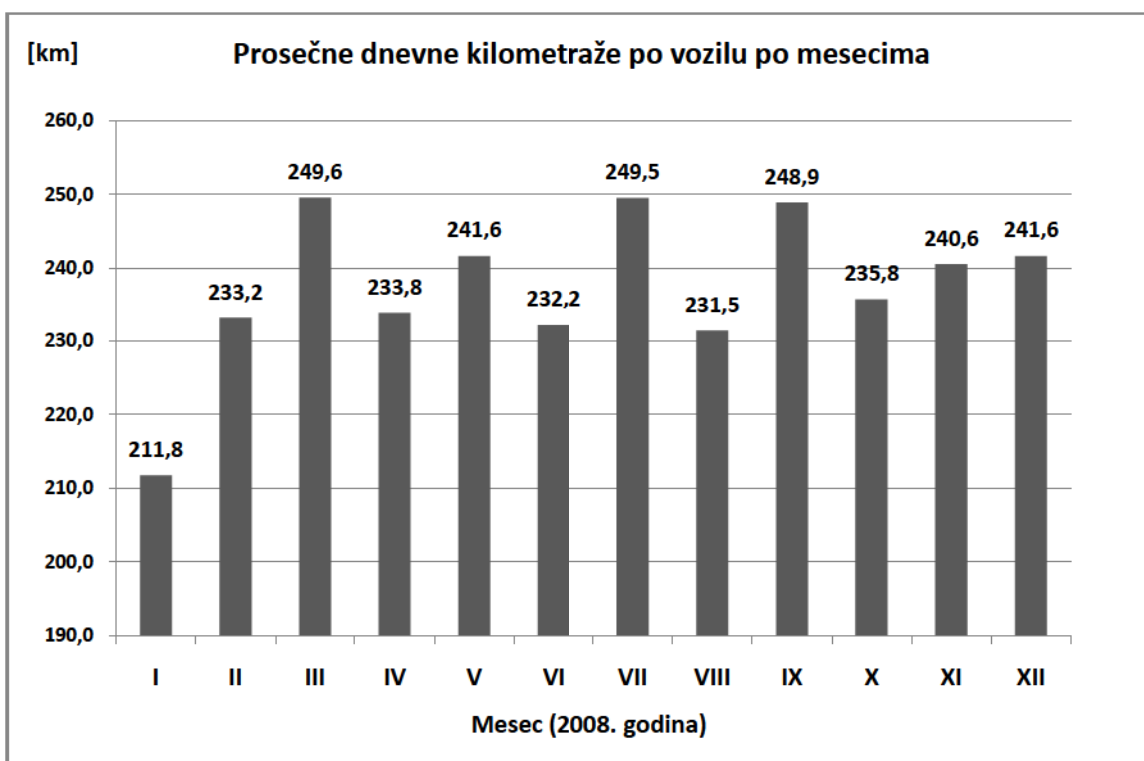
Ovde treba naglasiti da su parametri pouzdanosti prikupljeni i obrađivani samo za vozila koja su aktivna, tj. ona vozila koja u okviru voznog parka nisu korišćena kao rezervna vozila. U opštem slučaju vozni parkovi organizuju se tako da se rezervna vozila drže u pripravnosti, kako bi u svakom trenutku mogla da budu aktivirana u slučaju otkaza nekog drugog vozila u eksploataciji. Kod ovih vozila je dakle osnovni kriterijum zapravo kriterijum maksimalne gotovosti, ali da bi se obezbedila rentabilnost potrebno je optimizirati i troškove.

U svakom slučaju je očigledno da se u svim navedenim situacijama radi o određivanju zakona optimalnog upravljanja nekim stohastičkim procesom, o čemu je bilo reči u poglavlju 4.1. Odatle sledi da je razvijeni model optimizacije preventivnog intervala moguće primenjivati i na ovaj tip vozila.

4.2.2.1. GOTOVOST VOZNOG PARKA

Kako bi se vršile ocene parametara pouzdanosti i mogla vršiti preračunavanja u različite jedinice prvo je određena prosečna kilometraža po autobusu, a na osnovu toga određena i prosečna brzina eksploatacije.

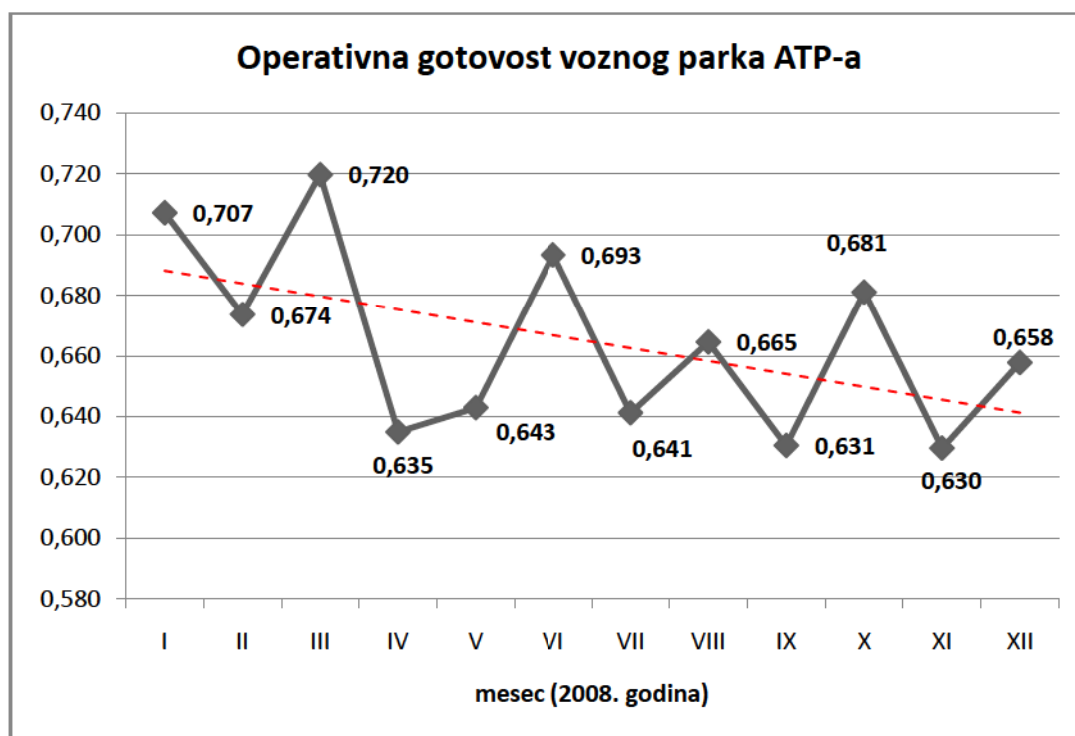
Na slici 4.11. date su osrednjene vrednosti kilometraža po autobusu prema mesecima za 2008 godinu.



Slika 4.11. Prosečna dnevna kilometraža po vozilu za 2008 godinu

Nakon toga je određena vrednost gotovosti za autobuski vozni park u celini, sa ciljem da se oceni uspešnost funkcionisanja sistema održavanja. Vrednosti gotovosti za pojedine vremenske periode (na mesečnom i godišnjem nivou) dobijene su prema obrascu (2.10), dakle određen je nivo operative gotovosti.

Na slici 4.12. prikazane su vrednosti za 2008. godinu, a vrednosti za preostale godine u periodu od 2006-2009. godine date su u Prilogu (Slike P1. do P4).



Slika 4.12. Gotovost voznog parka po mesecima za 2008. godinu

Kao što se može videti sa dijagram na slici 4.12. vrednosti gotovosti su u konstantnom padu, a prosečna vrednost operativne gotovosti je 0,665 ili 66,5%, što je dosta niska vrednost. Iz prikupljenih podataka je zaključeno da je na povišenje nivoa gotovosti moguće vrlo efektivno uticati poboljšanjima u organizaciji i upravljanju održavanjem.

U cilju da se na povišenje gotovosti sistematski utiče, neophodno je kao što je već naglašeno, oceniti sa kojim vrednostima pokazatelja pouzdanosti autobusa vozni park raspolaže, odnosno u kakvom su stanju vozila, kako bi se sa njima na najefektivniji način upravljalo i propisao se adekvatan plan održavanja. Na taj način je moguće detektovati sisteme koji su uzročnici kritičnih otkaza, i nosioce troškova.

4.2.2.2. PARAMETRI RASPODELE KOMPONENATA OTKAZA AUTOBUSA I TROŠKOVI ODRŽAVANJA

Programom istraživanja bilo je određeno da se identifikuju komponente autobusa sa visokom stopom otkaza i za njih odrede karakteristike pouzdanosti i troškovi održavanja. Krajnji cilj analize je bio da se ispita, kako bi se za date uslove rada mogao u sistem upravljanja održavanjem implementirati model optimizacije preventivnih zamena, koji je razvijen u poglavlju 4.1.

Sam proces istraživanja pokazatelja pouzdanosti voznog parka obuhvatio je sledeće aktivnosti: Prvo je na osnovu prikupljenih i obrađenih podataka određen broj otkaza pojedinih sistema i komponenata autobusa, a potom su za pojedine komponente određene empirijske i teorijske funkcije pouzdanosti. Nakon toga su parametri pouzdanosti i podaci o srednjim vremenima zamene i troškova održavanja uvršćeni u formule razvijenog modela i određeni optimalni intervali zamene. Završna aktivnost ovog procesa bila je grupisanje komponenata i kvantitativna provera ispunjenosti zahteva koji se postavljaju pred sistem.

Na osnovu prikupljenih i obrađenih podataka o otkazima vozila i njihovih komponenata izračunati su procentualni udeli u ukupnom broju otkaza na nivou autobusa pojedinih sistema na vozilu (tabela 4.1.).

Rezultati iz tabele 4.1. sumirani su na dijagramu 4.13. po redosledu zastupljenosti. Kao što se sa dijagrama može videti, najveći postotak otkaza imaju komponente agregatskog sklopa, a sledeći su elementi prenosnika snage i kočnog sistema. Pored toga što su i najzastupljeniji, otkazi komponenata ovih sistema su i osnovni uzročnici koji dovode do sprečavanja vršenja misije vozila, odnosno otkaza u eksploataciji koji izazivaju zastoje na liniji, pa se već iz ovih preliminarnih rezultata može videti da bi eventualno smanjenje broja otkaza

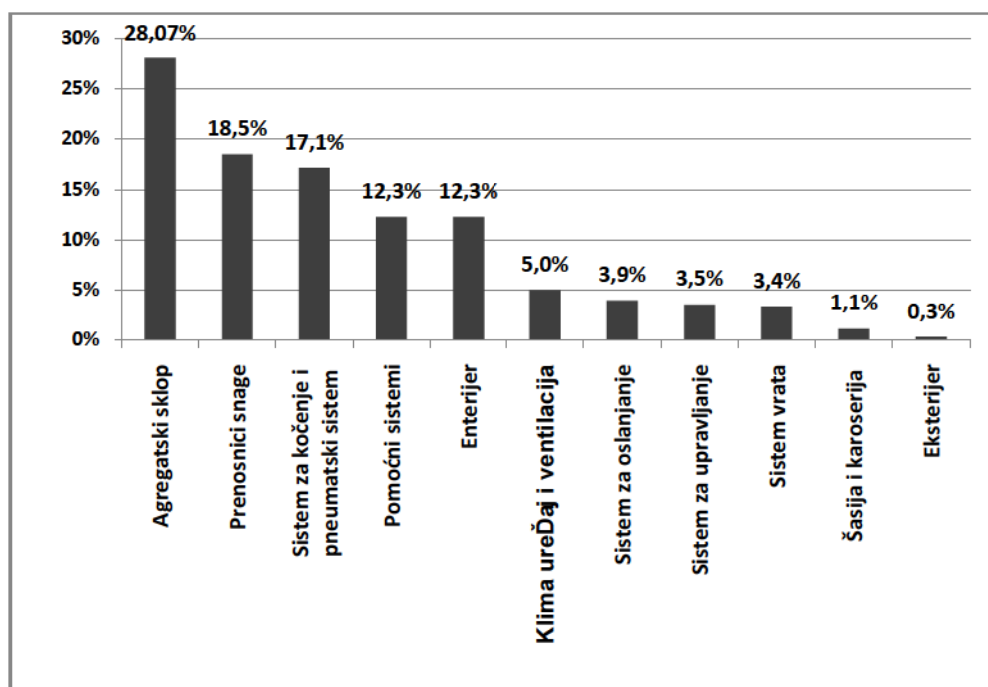
ovih komponenata direktno uticalo na povišenje gotovosti vozila. Za njima slede pomoćni sistemi, u koje su između ostalih svrstani i tahografi i spoljna svetla, a koji su i nakritičniji otkazi ove grupe.

U tabeli P1 u Prilogu moguće je pronaći internu nomenklaturu sistema i njihovih komponenata.

Tabela 4.1. Procentualni udeli otkaza sistema vozila u ukupnom broju otkaza vozila

Red. br.	Sistem vozila	Broj otkaza	Procentualni udeo
1	Agregatski sklop	26286	28,07%
2	Prenosnici snage	17301	18,5%
3	Sistem za upravljanje	3306	3,5%
4	Sistem za oslanjanje	3689	3,9%
5	Sistem za kočenje i pneumatski sistem	16048	17,1%
6	Sistem vrata	3137	3,4%
7	Klima uređaj i ventilacija	4678	5,0%
8	Šasija i karoserija	1050	1,1%
9	Pomoćni sistemi	11501	12,3%
10	Enterijer	1607	12,3%
11	Eksterijer	302	0,3%

U okviru agregatskog sklopa je utvrđeno da najveći broj otkaza nastaje na podsistemu za startovanje motora (kontakt brava, akumulator, alternator, analaser, itd.). Dok kod prenosnika snage najčešće otkazuju točkovi (pneumatici), glavna spojnica i menjački prenosnik. U tabeli 4.2. dato je procentualno učešće podsistema agregatskog sklopa otkaza u ukupnom broju otkaza motora, a u tabeli 4.3. procentualno učešće otkaza pojedinih prenosnika snage.



Slika 4.13. Procentualna zastupljenost u ukupnom broju otkaza pojedinih sistema vozila

Tabela 4.2. Procentualno učešće otkaza podistema agregatskog sklopa

1. Agregatski sklop	Broj otkaza	Procentualni udeo
1.1. Motor	4066	15,47%
1.2. Sistem za pokretanje motora (kontakt brava, akumulator, alternator, anlaser, itd)	10895	41,45%
1.3. Sistem za dovod goriva (pumpa za gorivo, rezervoar, karburatora, itd)	5927	22,55%
1.4. Sistem za paljenje smeše (bobine, svećice, itd)	128	0,49%
1.5. Sistema za hladjenje i podmazivanje motora	4449	16,93%
1.6. Izduvni sistem (auspuh, sistem za kontrolu izduvnih gasova)	821	3,12%

Tabela 4.3. Procentualno učešće otkaza pojedinih prenosnika snage

2. Prenosnici snage	Broj otkaza	Procentualni udeo
2.1. Glavna spojnica	2645	15,29%
2.2. Menjač	2130	12,31%
2.3. Glavni prenosnik (Kardansko vratilo)	1590	9,19%
2.4. Diferencijal	695	4,02%
2.5. Pogonski most (točkovi, vratila točkova, pneumatici)	10241	59,19%

Daljom analizom i obradom podataka o otkazima komponenata utvrđeno je da bi za primenu modela preventivnih zamena bilo pogodno usvojiti komponente koje su prikazane u tabeli 4.7, iz razloga što su navedene komponente uzročnici najkritičnijih otkaza na vozilu, a prednost analize ovih komponenata je i u relativno lakoj identifikacije otkaza komponente u odnosu na otkaz sklopa u celini.

Za sve navedene komponente pretpostavljen je Weibull-ov zakon raspodele, nakon što su prema obrascima od (2.63) do (2.67) određene osnovne statističke veličine uzoraka, srednja vrednost, standardna devijacija i disperzija. Zatim je primenjen metod za utvrđivanje empirijskih i teorijskih funkcija raspodele komponenata, koji je opisan detaljnije u tački 2.4.4.3, a za određivanje Weibull-ovih parametara raspodele korišćene su obe metode i metod najmanjih kvadrata i metod linearne regresije, radi kontrole.

S obzirom na veličinu uzorka korišćen je ili medijalni rang ili funkcija nepouzdanosti. Iz razloga obimnosti u okviru ovog poglavlja biće predstavljeni dobijeni rezultati i dat opis postupka utvrđivanja konkretnih parametara pouzdanosti na primeru glavnih prenosnika (tj. kardanskog zgloba), dok su podaci za ostale komponente dati u Prilogu (poglavlje 8).

Dakle, prvo su prikupljeni i obrađeni podaci o otkazima i vremenskim trenucima otkaza glavnih prenosnika usled otkaza kardanskog zgloba. Kao primer u tabeli 4.4. dati su podaci o prikupljenim otkazima kardanskog zgloba, a na slici 4.14. dat histogram otkaza.

Parametri dati u tabeli 4.4. dobijeni su na osnovu izraza (2.79), (2.80) i (2.81). Prikupljeni podaci su podeljeni na osnovu histograma otkaza na periode ranih i slučajnih otkaza, prikazanom na slici 4.14.

Kao što se može videti period ranih otkaza, koji se najverovatnije pojavljuju zbog nepravilne ugradnje ili nedostataka u konstrukciji traje do

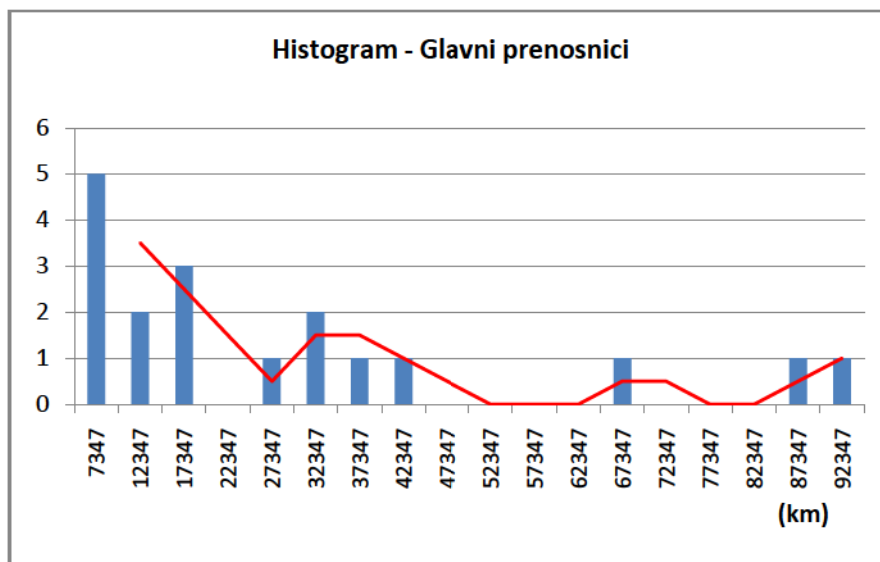
37.347km. Nakon toga intenzitet otkaza zadržava tendencu opadajućeg toka do kilometraže 67.347 km, kada nastaju pozni otkazi. Rani otkazi eliminisani su iz dalje analize, i za određivanje parametra Weibull-a korišćeni su samo otkazi koji se pojavljuju nakon 37.347 km, u tzv. periodu stabilne eksploatacije.

Tabela 4.4. Zamene glavnih prenosnika (zbog otkaza kardanskog zgloba)

GLAVNI PRENOSNIK (KARDANSKI ZGLOB)			
GAR BR	START KM	END KM	RAZLIKA KM
88	1150163	1152510	2347
102	968932	972313	3381
93	1373408	1377568	4160
102	964625	968932	4307
82	1214072	1218490	4418
93	1309810	1318317	8507
122	929577	939624	10047
70	834960	848932	13972
3	299298	313852	14554
301	128078	143858	15780
93	1350737	1373408	22671
121	952567	981980	29413
122	899638	929577	29939
93	1318317	1350737	32420
88	1152510	1193050	40540
93	1245437	1309810	64373
82	1129712	1214072	84360
56	652998	741415	88417

Kao što je već rečeno, za određivanje parametara Weibull-ove raspodele korišćena su oba metoda, opisana u poglavlju 2.4.4.3, odnosno: *metod najmanjih kvadrata* i *metod linearne regresije*. U tabeli 4.5. dati su podaci koji su korišćeni za metod najmanjih kvadarata, a na slikama 4.15. i 4.16. data su izračunavanja parametara korišćenjem metode linearne regresije, kako za rane otkaze, tako i za otkaze u periodu stabilne eksploatacije. Kao što je u teoriji već poznato primenom ovih metoda dolazi do neznatnog odstupanja parametara. Radi

kontrole za sve komponente određeni su i parametri korišćenjem metode najmanjih kvadrata.



Slika 4.14. Histogram otkaza glavnog prenosnika

Za sve komponente za koje su određeni Weibull-ovi parametri izvršeno je određivanje ovih parametara i za rane otkaze, kako bi se videlo koja je karakteristična dužina perioda razrađivanja sistema, sa ciljem da se pogodnim odmeravanjem intervala preventivnih inspekcija napravi strategija preventivnog održavanja, kojom bi se izbegle pojave otkaza vozila u eksploataciji. Kao što se u navedenom primeru može videti korišćenjem metode najmanjih kvadrata parametar oblika ranih otkaza je jednak: 1,178, a korišćenjem linearne regresije: 1,28, dok je za slučajne otkaze parametra određen metodom najmanjih kvadrata: 2,097, a linearnom regresijom: 1,862. Odstupanja su vidljiva i kod određivanja karakterističnog veka, odnosno parametra η , koji je za rane otkaze: 15720,45 km i za slučajne otkaze: 83921,28 km ako se primeni metoda najmanjih kvadrata, a za iste podatke primenom linearne regresije dobija se: 16247, 14 km za rane i 85446, 63 km za slučajne otkaze. Ono što se može primetiti iz tabele 4.5, kao i sa histograma otkaza je veoma veliki procenat ranih otkaza. Detaljniji komentar vezan za moguće uzroke ovakve situacije dat je u tački 4.2.2.6.

Tabela 4.5. Parametri Weibull-a za glavne prenosnike određeni preko metode najmanjih kvadrata

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	MR(t)	$Y = \text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-F)))$	X = Ln(RANG)	xx	xy	a	b	β	η
7347	5	5	0,35074627	-0,839487848	8,902047346	79,2464469	-7,47316057	1,17845484	-11,3870772	1,17845484	15720,4596
12347	2	7	0,5	-0,366512921	9,421168398	88,758414	-3,45297994				
17347	3	10	0,7238806	0,252253233	9,76117486	95,2805346	2,46228792				
22347	0	10	0,7238806	0,252253233	10,01444736	100,289156	2,52617673				
27347	1	11	0,79850746	0,47125468	10,21636211	104,374055	4,81450846				
32347	2	13	0,94776119	1,082459075	10,38427656	107,8332	11,2405544				
37347	1	1	0,12962963	-1,974458694	10,52800787	110,83895	-20,7871167				
42347	1	2	0,31481481	-0,972686141	10,65365286	113,500319	-10,3626605				
47347	0	2	0,31481481	-0,972686141	10,76525874	115,890796	-10,471218				
52347	0	2	0,31481481	-0,972686141	10,86564991	118,062348	-10,5688671				
57347	0	2	0,31481481	-0,972686141	10,95687581	120,053128	-10,6576013				
62347	0	2	0,31481481	-0,972686141	11,04047083	121,891996	-10,738913				
67347	1	3	0,5	-0,366512921	11,11761364	123,601333	-4,07474904				
72347	0	3	0,5	-0,366512921	11,18922927	125,198852	-4,1009971				
77347	0	3	0,5	-0,366512921	11,25605707	126,698821	-4,12549035				
82347	0	3	0,5	-0,366512921	11,31869731	128,112909	-4,14844881				
87347	1	4	0,68518519	0,144767396	11,37764397	129,450782	1,64711189				
92347	1	5	0,87037037	0,714455486	11,4333085	130,720543	8,16858998				

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0,93738219
R Square	0,87868538
Adjusted R Sq	0,83824717
Standard Error	0,20927338
Observations	5

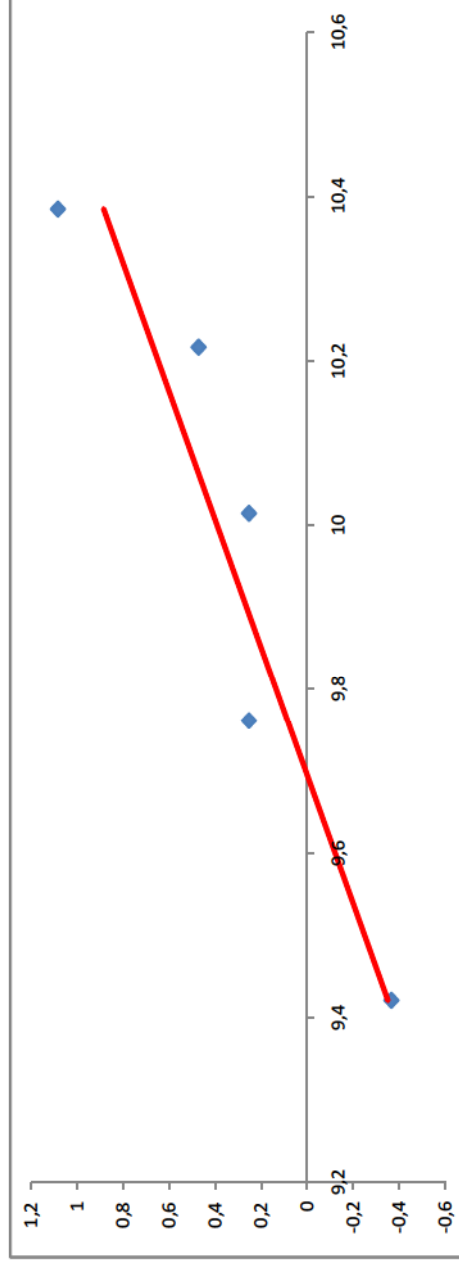
WEIBULL PARAMETRI	
β (Shape parameter)	1,282502407
η (Characteristic Life)	16247,14288
MTTF	15047,43246

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	0,95163297	0,951632969	21,72908787	0,01863197
Residual	3	0,13138604	0,043795348		
Total	4	1,08301901			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-12,4347231	2,74174796	-4,535326846	0,020063895	-21,1601888	-3,70925746	-21,1601888	-3,70925746
8,90204735	1,28250241	0,27512968	4,661446972	0,018631974	0,40691698	2,15808784	0,40691698	2,15808784

RESIDUAL OUTPUT

Observation	i	-0,83948784i	Residuals
1	-0,35205198	-0,01446094	
2	0,08400713	0,16824611	
3	0,40882972	-0,15657649	
4	0,66778587	-0,19653119	
5	0,88313656	0,19932252	



Slika 4.15. Izračunavanje parametara Weibull-a glavnog prenosnika korišćenjem metode linearne regresije za rane otkaze

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0,86045199
R Square	0,74037763
Adjusted R Sq	0,71153069
Standard Error	0,29802551
Observations	11

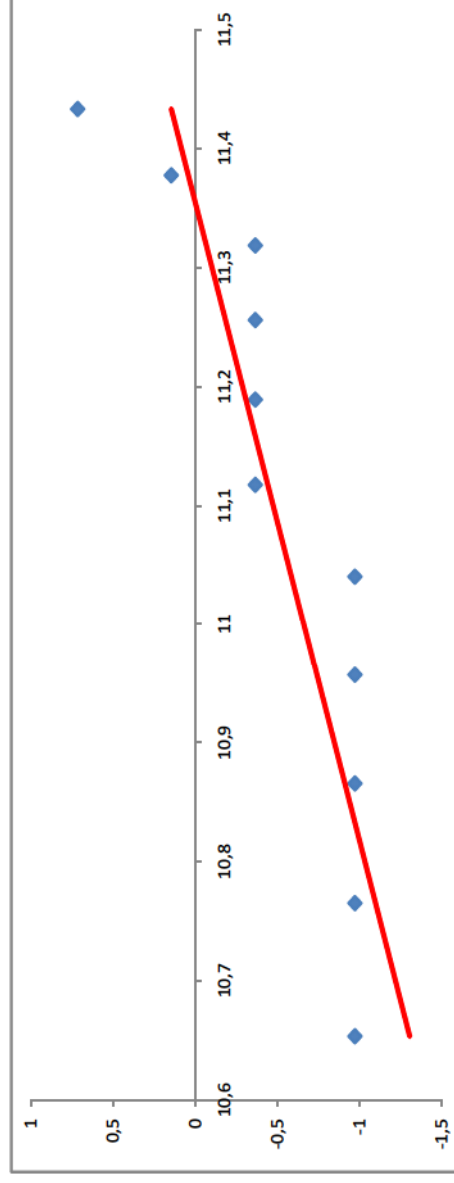
WEIBULL PARAMETRI	
β (Shape parameter)	1,862113556
η (Characteristic Life)	85446,62817
MTTF	75875,55235

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	2,27961001	2,279610015	25,66573327	0,0006754
Residual	9	0,79937284	0,088819205		
Total	10	3,07898286			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-21,1455046	4,07672165	-5,186889488	0,000574032	-30,3676897	-11,9233196	-30,3676897	-11,9233196
	10,5280079	1,86211356	5,06613593	0,000675398	1,030633	2,69359411	1,030633	2,69359411

RESIDUAL OUTPUT

Observation	d-1,97445865	Residuals
1	-1,30719323	0,33450709
2	-1,09937041	0,12668427
3	-0,91243065	-0,06025549
4	-0,74255766	-0,23012848
5	-0,58689424	-0,38579191
6	-0,44324558	0,07673266
7	-0,30988914	-0,05662378
8	-0,18544818	-0,18106474
9	-0,06880495	-0,29770797
10	0,04096043	0,10380696
11	0,14461411	0,56984138



Slika 4.16. Izračunavanje parametara Weibull-a glavnog prenosnika korišćenjem metode linearne regresije za slučajne otkaz

Postavljenu hipotezu o Weibull-ovom zakonu raspodele potrebno je testirati. U tom cilju, kao što je već rečeno koristi se test Kolmogorov-Smirnova (KS)¹⁵. Dozvoljena vrednost, koja služi za upoređivanje prema KS-testu, zavisi od potrebnog nivoa poverenja i veličine uzorka, a određuje se iz tabele P17. u Prilogu.

U ovom slučaju za dozvoljeni nivo poverenja $\alpha=0.05$ i date veličine uzorka, kao što je prikazano u tabeli 4.6. za podatke o glavnim prenosnicima, vidi se da je odstupanje empirijskih i teorijskih vrednosti parametara pouzdanosti manje od dozvoljenog, što znači da nema razloga da se ne prihvati hipoteza o Weibull-ovom zakonu raspodele sa navedenim parametrima razmere i oblika. Empirijske vrednosti parametara pouzdanosti prikazane u tabeli 4.6. određene su prema obrascima: (2.28), (2.29) i (2.31).

U tabeli 4.7. sumirani su Weibull-ovi parametri raspodele i veličina uzorka koja je korišćena za određivanje navedenih parametara za komponente koje su izazvale najveći broj otkaza. Parametri dati u tabeli određivani su metodom linearne regresije i metodom najmanjih kvadrata, a u tabeli su dati parametri koji su prošli test Kolmogorov-Smirnova. Za određivanje parametara raspodele metodom najmanjih kvadrata korišćene su kao i u slučaju glavnih prenosnika formule (2.79), (2.80), a s obzirom na veličinu uzorka primenjena je ili formula za nepouzdanost (2.29) ili formula medijalnog ranga (2.81). Detaljniji podaci vezani za određivanje parametara raspodele komponenata ostalih komponenata koje su date u tabeli 4.7. predstavljene su u Prilogu na slikama od P25. do P39.

¹⁵ Test se zasniva na upoređivanju razlike između empirijski dobijenih vrednosti za nepouzdanost i odgovarajućih vrednosti teorijskog zakona raspodele, sa dozvoljenim odstupanjem. Ukoliko je pomenuta razlika manja ili jednaka od dozvoljene vrednosti tada nema razloga da se odbije hipoteza o Weibull-ovom zakonu raspodele. U protivnom, ako je razlika veća od dozvoljene vrednosti, barem u jednoj tački, nemoguće je prihvatiti pomenutu hipotezu.

Tabela 4.6. Empirijske i teorijske karakteristike pouzdanosti kardanskog zloba sa dozvoljenim odstupanjima prema testu Kolmogorov -Smirnova

Gornja granica intervala (km)	Frekvencija	N(t)	β	η	$F_e(t)$	$R_e(t)$	$R_f(t)$	$F_f(t)$	D R	$f_e(t)$	$f_f(t)$	D f	Dmax(0,05)
7347	5	5			0,38461538	0,61538462	0,69671438	0,30328562	0,08132977	0,384615385	4,39508E-05	0,32457127	
12347	2	7			0,53846154	0,46153846	0,49497721	0,50502279	0,03343874	0,153846154	3,61566E-05	0,15381	
17347	3	10	1,2825024	16247,1429	0,76923077	0,23076923	0,33701203	0,66298797	0,1062428	0,230769231	2,70996E-05	0,23074213	0,361
22347	0	10			0,76923077	0,23076923	0,22200499	0,77799501	0,00876424	0	1,91758E-05	1,9176E-05	
27347	1	11			0,84615385	0,15384615	0,14228614	0,85771386	0,01156001	0,076923077	1,30115E-05	0,07691007	
32347	2	13			1	0	0,08905746	0,91094254	0,08905746	0,153846154	8,53957E-06	0,15383761	
37347	1	1			0,2	0,8	0,8072411	0,1927589	0,0072411	0,2	8,61861E-06	0,19999138	
42347	1	2			0,4	0,6	0,76293805	0,23706195	0,16293805	0,2	9,07749E-06	0,19999092	
47347	0	2			0,4	0,6	0,71671234	0,28328766	0,11671234	0	9,38876E-06	9,3888E-06	
52347	0	2			0,4	0,6	0,66928385	0,33071615	0,06928385	0	9,56007E-06	9,5601E-06	
57347	0	2			0,4	0,6	0,62132861	0,37867139	0,02132861	0	9,60126E-06	9,6013E-06	
62347	0	2			0,4	0,6	0,5734689	0,4265311	0,0265311	0	9,52392E-06	9,5239E-06	
67347	1	3	1,8621136	85446,6282	0,6	0,4	0,52626545	0,47373455	0,12626545	0,2	9,34101E-06	0,19999066	0,565
72347	0	3			0,6	0,4	0,48021168	0,51978832	0,08021168	0	9,06641E-06	9,0664E-06	
77347	0	3			0,6	0,4	0,43573027	0,56426973	0,03573027	0	8,71448E-06	8,7145E-06	
82347	0	3			0,6	0,4	0,39317175	0,60682825	0,00682825	0	8,29964E-06	8,2996E-06	
87347	1	4			0,8	0,2	0,3528152	0,6471848	0,1528152	0,2	7,836E-06	0,19999216	
92347	1	5			1	0	0,31487059	0,68512941	0,31487059	0,2	7,33703E-06	0,19999266	

Utvrđeni teorijski zakoni raspodele komponenata, definisani parametrima raspodele, omogućavaju određivanje verovatnoće ispravnog rada u svakom vremenskom trenutku, što može poslužiti kao podloga za projektovanje postupaka održavanja i akcija koje imaju za cilj povišenje raspoloživosti i gotovosti sistema, kao i minimalizaciju troškova održavanja.

Kao što je već rečeno, iz histograma otkaza komponenata utvrđeno je da one u različitim periodima rada svog životnog ciklusa podležu različitim tipovima otkaza. Rani otkazi se karakterišu visokom stopom otkaza sa opadajućom karakteristikom, područje slučajnih otkaza sa konstantnim intenzitetom otkaza i područje poznih otkaza sa rastućim intenzitetom otkaza.

Optimalni period zamene mora da se nalazi u periodu pre nego što nastupe pozni otkazi, a u kom trenutku je zamene najbolje vršiti zavisi od ostvarenog nivoa gotovosti i troškova održavanja.

Histogrami ostalih komponenata iz tabele 4.7. dati su u Prilogu.

Ono što je ovde bitno naglasiti je da su empirijski podaci koji se mogu dobiti iz eksploatacije uglavnom podaci koji se dobijaju „negativnim uzorkovanjem“, tj. registruju se samo komponente koje su otkazale. Iz tog razloga su parametri Weibull-a uglavnom različiti od parametara koje daje proizvođač, a koji su određeni testiranjem određenog uzorka komponenata.

U svakom slučaju tehničko održavanje suočava se isključivo sa realnim stanjem, koje je moguće očitati samo negativnim uzorkovanjem. Odavde se može uvideti zašto je važno pratiti postojeće stanje sistema i prilagoditi aktivnosti preventivnog održavanja tako da bude u skladu sa aktuelnim stanjem vozila, kako bi se osiguralo da izabrani preventivni interval održavanja realno i dovede do povišenja gotovosti ili smanjenja troškova održavanja.

Tabela 4.7. Parametri Weibull-ove raspodele komponentata na kojima se primenjuje model optimizacije

Sistem	Komponenta	Veličina uzorka	Rani otkazi		Pozni otkazi		
			β	η [km]	β	η [km]	
1.2.	Agregatski sklop	ALTERNATOR	361	0,7854321	4267,97546	1,8819	25967
1.2.	Agregatski sklop	ANLASER 24V	121	0,877103198	7229,223677	3,493143162	77588,832
1.2.	Agregatski sklop	AKUMULATOR	25	0,679410977	10953,1205	2,137270763	65724,02903
2.1.	Prenosnici snage - Glavna spojnica	KVAČILO LAMELA	238	0,931309813	9624,020218	3,921738193	64121,99979
2.2.	Prenosnici snage - Menjač	MENJAČ (ZUPČANICI)	64	0,857319643	12238,95312	3,055363518	87547,08181
2.2.	Prenosnici snage - Menjač	MENJAČ (RUČICA)	39	1,14244776	12917,06717	3,278506923	80038,12287
2.3.	Prenosnici snage - Glavni prenosnik	KARDANSKI ZGLOB	18	1,178454841	15720,45958	2,097607933	83921,2694
4.1.	Sistem za oslanjanje	AMORTIZER	85	1,336053865	16243,51368	3,478090074	74829,77644
4.2.	Sistem za oslanjanje	JASTUK (VAZDUŠNI AMORTIZER)	364	0,731198363	7216,532137	3,253771951	76677,72533
4.3.	Sistem za oslanjanje	BALANS ŠTANGLA	402	1,093314707	9548,255239	1,375407273	43572,81458
4.4.	Sistem za oslanjanje	VENTIL OGIBLJENJA	195	0,874984442	12285,1218	2,800968554	605478,9575
4.5.	Sistem za oslanjanje	GIBANJ	42	1,276531758	16635,82729	1,222440709	72270,84133
5.1.	Sistem za kočenje i pneumatski sistem	PODEŠAVANJE KOČNICA	1472	1,088430385	3637,576398	1,650230111	35601,44958
5.2.	Sistem za kočenje i pneumatski sistem	KOČNI CILINDAR	186	1,318796621	6686,87913	2,382263881	37899,87134
5.2.	Sistem za kočenje i pneumatski sistem	ČETVOROKRUŽNI VENTIL	272	0,845572428	5505,310676	5,09181829	55409,82116
6	Sistem vrata	VRATA	1165	0,824316603	4147,736237	1,999522408	58706,95543
7	Klima uređaj i ventilacija	WEBASTO GREJAČ	804	0,847044943	2849,932359	2,81265737	56688,19023
9.1.	Pomoćni sistemi	TAHOGRAF	720	0,801839212	5694,499538	4,559450422	72165,67574

• PARAMETRI POUZDANOSTI MOTORA

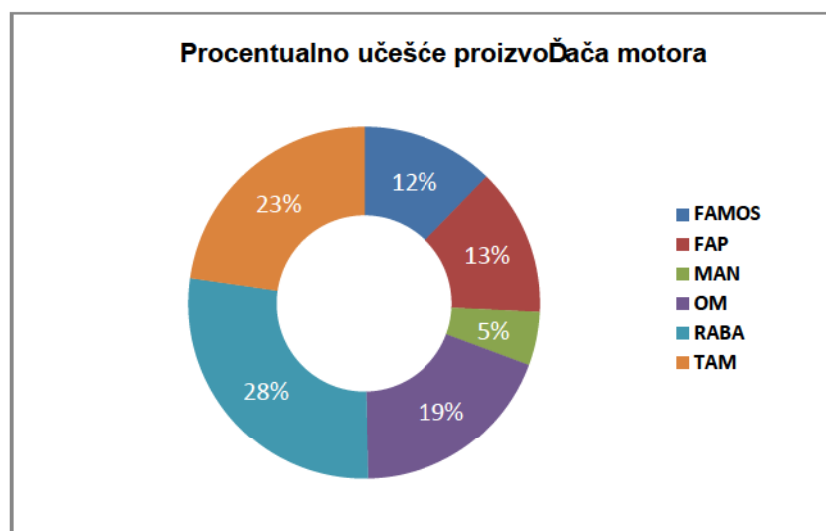
U okviru sektora održavanja ATP-a posebnim softverom prate se zamene motora i pneumatika na vozilima. U ovom slučaju registruju se samo

pozni otkazima, jer su delovi nakon zamene obavezno rashodovani, tj. podrazumeva se da su dostigli svoj vek trajanja.

U tabeli 4.8. dati su Weibull-ovi parametri pojedinih proizvođača motora, a na slici 4.17. prikazana zastupljenost pojedinih proizvođača motora u ukupnom uzorku. U tabeli 4.9. dati su podaci koji su korišćeni za regresionu analizu motora proizvođača FAMOS 2F225A na osnovu kojih su određeni Weibull-ovi parametri, a na slici 4.18. prikazani rezultati regresione analize.

Tabela 4.8. Weibull-ovi parametri motora po proizvođačima

Sistem	Komponenta	Veličina uzorka	β	η [km]
1.1.	MOTOR FAMOS	20	4,470918354	944966,8616
	MOTOR FAP	22	1,28296813	655621,105
	MOTOR MAN	8	3,564544761	678368,1294
	MOTOR OM	31	4,342885808	825858,1693
	MOTOR RABA	45	1,395348171	649990,0512
	MOTOR TAM	37	3,113195384	656922,2652



Slika 4.17. Procentualna zastupljenost proizvođača motora u uzorku

Tabela 4.9. Određivanje parametara Weibull-a regresionom analizom za motore FAMOS

Orginalni Podaci										Weibull Analiza			Y rang	X rang
BRMOTORA	MARKAMOTOR	TIPMOTORA	GARBR	KMMOTORA	KMREMONT	RANG	MR (t)	1/(1-MR(t))	ln/ln(1/(1-MR(t)))	ln(KM)				
114819	FAMOS	2F225A	115	429813	153046	1	0,034313725	1,035532995	-3,354802509	12,97110551				
89707	FAMOS	2F225A	116	602682	5615	2	0,0833333333	1,090909091	-2,441716399	13,30914497				
92810	FAMOS	2F225A	218	631527	3748	3	0,132352941	1,152542373	-1,952137671	13,35589598				
119269	FAMOS	2F225A	113	684596	7434	4	0,181372549	1,221556886	-1,608807204	13,43658416				
119269	FAMOS	2F225A	113	701611	7434	5	0,230392157	1,299363057	-1,339891087	13,4611344				
105708	FAMOS	2F225A	89	713733	0	6	0,279411765	1,387755102	-1,115695152	13,47826422				
105708	FAMOS	2F225A	89	713733	0	7	0,328431373	1,489051095	-0,920953918	13,47826422				
112203	FAMOS	2F225A	103	781726	4025	8	0,37745098	1,606299213	-0,746689513	13,56925957				
56346	FAMOS	2F225A	103	782174	0	9	0,426470588	1,743589744	-0,587084006	13,5698325				
41318	FAMOS	2F225A	101	893711	67868	10	0,475490196	1,906542056	-0,438053654	13,70313774				
41318	FAMOS	2F225A	115	913785	20074	11	0,524509804	2,103092784	-0,296508894	13,72535059				
156226	FAMOS	2F225A	82	921791	4737	12	0,573529412	2,344827586	-0,159920103	13,7340738				
156226	FAMOS	2F225A	82	921791	0	13	0,62254902	2,649350649	-0,026021058	13,7340738				
150111	FAMOS	2F225A	83	951268	0	14	0,671568627	3,044776119	0,107442983	13,76555111				
94925	FAMOS	2F225A	102	980308	161990	15	0,720588235	3,578947368	0,24300008	13,79562209				
172544	FAMOS	2F225A	95	983289	0	16	0,769607843	4,340425532	0,383882124	13,79865835				
172544	FAMOS	2F225A	95	983289	0	17	0,818627451	5,513513514	0,534855821	13,79865835				
172544	FAMOS	2F225A	95	1148490	148668	18	0,867647059	7,555555556	0,704227134	13,95398859				
97078	FAMOS	2F225A	85	1152793	108271	19	0,916666667	12	0,910235093	13,95769825				
156703	FAMOS	2F225A	94	1340915	0	20	0,965686275	29,14285714	1,21556827	14,10886277				

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0,97598366
R Square	0,9525441
Adjusted R Sc	0,94975258
Standard Error	0,22276055
Observations	19

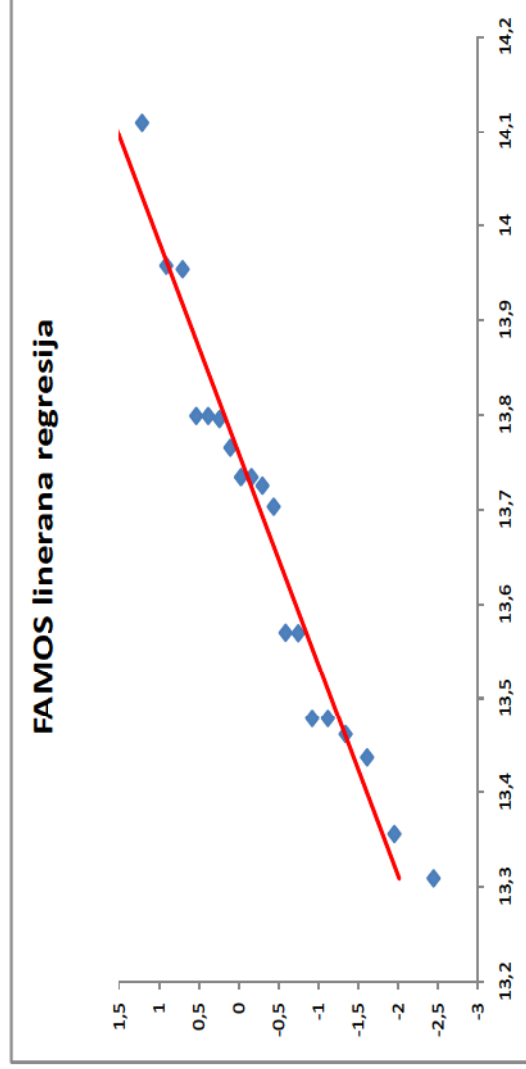
WEIBULL PARAMETRI	
β (Shape parameter)	4,470918354
η (Characteristic Life)	944966,8616
MTTF	862027,0103

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	16,9324736	16,93247357	341,2273502	1,092E-12
Residual	17	0,84357848	0,049622264		
Total	18	17,7760521			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	-61,5149415	3,30903886	-18,58997254	9,85038E-13	-68,4964032	-54,5334798
	12,9711055	4,47091835	0,24203313	1,092E-12	3,96027308	4,98156362

RESIDUAL OUTPUT

Observation	d	-3,3548025C	Residuals
1	-2,01084098	-0,43087542	
2	-1,80182107	-0,1503166	
3	-1,44107077	-0,16773643	
4	-1,33130867	-0,00858242	
5	-1,25472263	0,13902747	
6	-1,25472263	0,33376871	
7	-0,84788983	0,10120032	
8	-0,84532833	0,25824432	
9	-0,24933151	-0,18872215	
10	-0,15001963	-0,14648926	
11	-0,11101891	-0,0489012	
12	-0,11101891	0,08499785	
13	0,0297136	0,07772939	
14	0,16415848	0,0788416	
15	0,17773338	0,20614874	
16	0,17773338	0,35712244	
17	0,87206807	-0,16784094	
18	0,88878778	0,02144732	
19	1,56463202	-0,34906375	



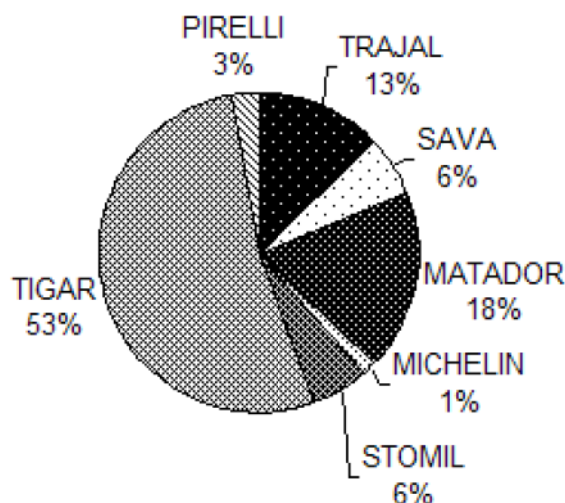
Slika 4.18. Izračunavanje parametara Weibull-a za motore FAMOS korišćenjem metode linearne regresije

• **PARAMETRI POUZDANOSTI PNEUMATIKA**

Ocenjeni parametri Weibull-ove raspodele za pneumatike pojedinih proizvođača dati su u tabeli 4.10, a procentualna zastupljenost proizvođača u uzorku data je na slici 4.19. Weibull-ovi parametri određeni su korišćenjem jednačina (2.78), (2.79) i (2.80).

Tabela 4.10. Weibull-ovi parametri motora po proizvođačima

Sistem	Komponenta	Veličina uzorka	β	η [km]
2.5.	PNEUMATICI TRAJAL	220	1.294822894	59158.10414
	PNEUMATICI MATADOR	319	1.585700104	78520.3604
	PNEUMATICI MICHELIN	25	1.75941915	204164.2975
	PNEUMATICI PIRELLI	50	2.531222998	122035.0533
	PNEUMATICI SAVA	107	1.60917842	92709.6843
	PNEUMATICI STOMIL	103	1.467495425	101151.9897
	PNEUMATICI TIGAR	915	1.570217467	77032.81288



Slika 4.19. Procentualna zastupljenost proizvođača pneumatika u uzorku

U tabeli 4.11. dat je prikaz podataka za određivanje Weibull-ovih parametara pneumatika proizvođača MICHELIN korišćenjem metode najmanjih kvadrata. Podaci o procentualnim udelima pojedinih tipova otkaza pneumatika i način dobijanja Weibullovih parametara dati su u Prilogu (tabele P3. do P17).

Tabela 4.11. Parametri Weibull-a za pneumatike proizvođača MICHELIN određeni preko metode najmanjih kvadrata

MICHELIN	Δt km	$N(\Delta t)$	$N(t)$	$MR(t)$	x	y	xx	xy	a	b	b	h
	20000	1	1	0,02755906	9,90348755	-3,57748369	98,0790657	-35,4295652	1,75941915	-21,5118555	1,75941915	204164,298
	40000	1	2	0,06692913	10,5966347	-2,66968381	112,288668	-28,2896641				
	60000	2	4	0,14566929	11,0020998	-1,84873045	121,046201	-20,339917				
	80000	0	4	0,14566929	11,2897819	-1,84873045	127,459176	-20,8717636				
	100000	0	4	0,14566929	11,5129255	-1,84873045	132,547453	-21,2842959				
	120000	0	4	0,14566929	11,695247	-1,84873045	136,778803	-21,6213593				
	140000	3	7	0,26377953	11,8493977	-1,18343303	140,408226	-14,0229686				
	160000	4	11	0,42125984	11,9829291	-0,60348624	143,59059	-7,23153278				
	180000	2	13	0,5	12,1007121	-0,36651292	146,427234	-4,43506734				
	200000	2	15	0,57874016	12,2060726	-0,14559769	148,988209	-1,77717598				
	220000	4	19	0,73622047	12,3013828	0,28716317	151,324019	3,53250413				
	240000	2	21	0,81496063	12,3883942	0,52306245	153,472311	6,47990378				
	260000	2	23	0,89370079	12,4684369	0,80714413	155,461919	10,0638256				
	280000	0	23	0,89370079	12,5425449	0,80714413	157,315432	10,1236414				
	300000	0	23	0,89370079	12,6115378	0,80714413	159,050885	10,1793286				
	320000	1	24	0,93307087	12,6760763	0,99477688	160,68291	12,6098676				
	340000	0	24	0,93307087	12,7367009	0,99477688	162,22355	12,6701755				
	360000	0	24	0,93307087	12,7938593	0,99477688	163,682836	12,7270354				
	380000	1	25	0,97244094	12,8479265	1,27854881	165,069216	16,4267012				

4.2.2.3. PRIMENA RAZVIJENOG MODELA ZA IZRAČUNAVANJE OPTIMALNOG INTERVALA PREVENTIVNE ZAMENE

Prema razvijenom modelu u poglavlju 4.1, a na osnovu izračunatih vrednosti parametara Weibull-ove raspodele, poznatih troškova zamene komponenata i vremena koje je neophodno za zamenu, određeni su optimalni periodi preventivnih zamena elemenata. Prikupljeni i obrađeni podaci o troškovima zamene i srednjim vremenima zamena za komponente koje su prikazane u tabeli 4.7, date su u tabeli 4.12. U skladu sa razmatranjima koja su izložena u poglavlju 2, ovde je neophodno naglasiti da je u vrednosti $MTTR_k$, tj. srednjem vremenu za izvođenje postupaka korektivnog održavanja sadržano ne samo vreme zamene, nego i vreme koje je neophodno za dijagnostiku, i vreme koje se gubi povlačenjem vozila iz eksploatacije. Korišćene vrednosti određene su na osnovu podataka iz eksploatacije.

Za troškove nije bilo mogućnosti da se odredi direktno koliki bi bili gubici usled isključivanja vozila sa linije, pa je za sve tipove otkaza usvojeno da se u proseku gubi oko 1000 novčanih jedinica. Cene rezervnih delova (C_{rd}) i prosečna cena radne snage (C_{rs}) se baziraju na realnim pokazateljima.

Kao što se može videti iz tabela 4.7. i 4.12. ispunjeni su svi uslovi za primenu modela za optimizaciju gotovosti sa stanovišta troškova.

Sve komponente pokoravaju se Weibull-ovom zakonu raspodele, a intenzitet otkaza je rastući u vremenu, jer parametar oblika ima vrednosti veću od 1 ($\beta > 1$).

Tabela 4.12. Prikupljeni podaci o troškovima zamene i vremena trajanja aktivnosti održavanja

Sistem	Komponenta	Weibull-ovi parametri		MTTR		Troškovi [Eur]				
		β	η [km]	MTTRp [h]	MTTRk [h]	C_{rd} [n.j.]	C_{rs} [n.j./h]	C_{gnb} [n.j.]	C_p [n.j.]	C_k [n.j.]
1.2.	ALTERNATOR	1,8819	25967	2,5	11	105,86	42	1000	210,86	1210,86
1.2.	ANLASER 24V	3,493143162	77588,832	2,75	11	529,32	42	1000	644,82	1644,82
1.2.	AKUMULATOR	2,137270763	65724,02903	1	8	32,49	42	1000	74,49	1074,49
2.1.	KVAČILO LAMELA	3,921738193	64121,99979	3	11	37,49	42	1000	163,49	1163,49
2.2.	MENJAČ (ZUPČANICI)	3,055363518	87547,08181	6	14	68,50	42	1000	320,5	1320,5
2.2.	MENJAČ (RUČICA)	3,278506923	80038,12287	3	11	36,45	42	1000	162,45	1162,45
2.3.	KARDANSKI ZGLOB	2,097607933	83921,2694	6	16	275,25	42	1000	527,25	1527,25
4.1.	AMORTIZER	3,478090074	74829,77644	2,5	12	34,62	42	1000	139,62	1139,62
4.2.	JASTUK (VAZDUŠNI AMORTIZER)	3,253771951	76677,72533	2,5	12	22,45	42	1000	127,45	1127,45
4.3.	BALANS ŠTANGLA	1,375407273	43572,81458	3	15	84,73	42	1000	210,73	1210,73
4.4.	VENTIL OGIBLJENJA	2,800968554	605478,9575	1,5	11	6,24	42	1000	69,24	1069,24
4.5.	GIBANJ	1,222440709	72270,84133	3,5	14	154,5	42	1000	301,5	1301,5
5.1.	PODEŠAVANJE KOČNICA	1,650230111	35601,44958	2	11	24,99	42	1000	108,99	1108,99
5.2.	KOČNI CILINDAR	2,382263881	37899,87134	2,5	11	41,54	42	1000	146,54	1146,54
5.2.	ČETVOROKRUŽNI VENTIL	5,09181829	55409,82116	3	13	112,64	42	1000	238,64	1238,64
6	VRATA	1,999522408	58706,95543	4	11	25,52	42	1000	193,52	1193,52
7	WEBASTO GREJAČ	2,81265737	56688,19023	1,5	13	607	42	1000	670	1670
9.1.	TAHOGRAF	4,559450422	72165,67574	1,0	11	429,18	42	1000	471,18	1471,18

Tako je moguće na osnovu prikupljenih podataka odrediti optimalne periode preventivnih zamena korišćenjem jednačina (4.7) i (4.19), kojima se određuju optimalni periodi zamena s obzirom na primenjenu strategiju održavanja na bazi troškova i jednačina (4.26) i (4.34), kojima se određuju periodi zamena na bazi maksimalne gotovosti.

Optimalni intervali određuju se korišćenjem jednačina (4.47) i (4.48), jer u datom slučaju, kada se radi o voznom parku preduzeća za pružanje usluga transporta putnicima može se sa sigurnošću tvrditi da su oba kriterijuma uspešnosti sistema održavanja podjednako važna.

Ovde treba naglasiti da je uvek moguće vršiti i dodatne optimizacije, s obzirom na važnost kriterijuma, u čijem slučaju je neophodno koristiti opšte izraze (4.43) i (4.44), određujući udele w_{ij} prema konkretnim zahtevima.

Rezultati optimalnih intervala zamena prikazani su u tabeli 4.13. Kao što se može videti iz tabele, periodi preventivnog održavanja prema strategiji zamena prema fiksnom datumu su nešto duži o čemu je već bilo reči u poglavlju 4.1.

Korišćenjem razvijenog modela znatno se ubrzava proces određivanja optimalnog intervala zamene, a upotreba modela moguća je u bilo kom softverskom paketu koji služi za matematičke operacije (Matlab, Excel, itd.).

Tabela 4.13. Optimalni periodi preventivnih zamena za različite strategije održavanja

Sistem	Komponenta	Zamena prema fiksnom datumu			Zamena prema fiksnom intervalu		
		$T_{pmin C}$ [km]	T_{pmaxA} [km]	T_{opt} [km]	$T_{pmin C}$ [km]	T_{pmaxA} [km]	T_{opt} [km]
1.2.	ALTERNATOR	10966,19435	12633,0502	11799,62229	12139,76319	14488,0054	13313,88431
1.2.	ANLASER 24V	45687,5659	40166,6447	42927,10528	52682,61656	43614,6515	48148,63404
1.2.	AKUMULATOR	17752,39699	23390,6707	20571,53383	18359,30221	24898,6798	21628,99099
2.1.	KVAČILO LAMELA	29576,98054	35026,0101	32301,49529	30741,32536	37988,8661	34365,09575
2.2.	MENJAČ (ZUPČANICI)	43509,01741	52408,1686	47958,59298	47653,64732	62942,4593	55298,05329
2.2.	MENJAČ (RUČICA)	34160,43664	41888,5354	38024,486	35765,44835	46161,4917	40963,47005
2.3.	KARDANSKI ZGLOB	48349,2073	50293,9702	49321,58877	59165,08358	62925,5119	61045,29772
4.1.	AMORTIZER	31521,09345	36719,2454	34120,16941	32728,08495	39270,3029	35999,19394
4.2.	JASTUK (VAZDUŠNI AMORTIZER)	30565,75561	36883,9755	33724,86555	31713,66901	39629,5619	35671,61545
4.3.	BALANS ŠTANGLA	24917,62758	27566,7318	26242,17969	28634,3181	32422,3448	30528,33147
4.4.	VENTIL OGIBLJENJA	184706,8623	240962,277	212834,5696	189174,8678	253910,203	221542,5354
4.5.	GIBANJ	74710,93246	79516,7406	77113,83652	92683,74259	100615,04	96649,39108
5. 1.	PODEŠAVANJE KOČNICA	11329,18885	16447,5976	13888,39323	12062,12671	18574,3402	15318,23345
5.2.	KOČNI CILINDAR	13950,40291	17763,1792	15856,79103	14774,6257	19793,5542	17284,08994
5.2.	ČETVOROKRUŽ-NI VENTIL	30405,305	31502,3273	30953,81617	31710,50641	33168,0831	32439,29477
6	VRATA	23639,97612	35405,8072	29522,89168	25826,82736	44385,9241	35106,37572
7	WEBASTO GREJAČ	33161,32563	21291,795	27226,56033	39793,81085	22240,4185	31017,11467
9.1.	TAHOGRAF	42554,68248	32284,6199	37419,65121	46314,88658	32966,5967	39640,74165

Kako bi se prikazalo kretanje troškova i gotovosti, u tabeli 4.14. dati su izračunati podaci za Webasto grejač u slučaju zamena prema fiksnom datumu, određeni na osnovu formula (4.1) i (4.20) za različite preventivne intervale zamene. Podaci iz tabele predstavljeni su dijagramski na slikama 4.20, 4.21 i 4.22.

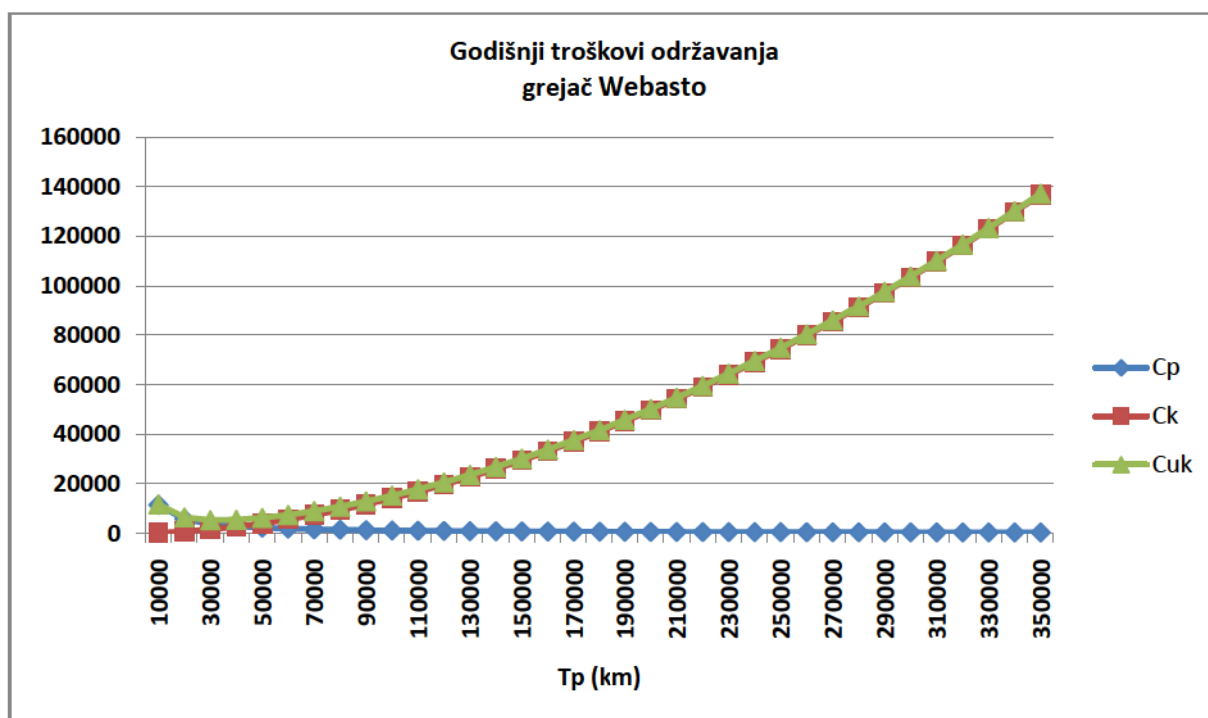
Tabela 4.14. Podaci o gotovosti i troškovima održavanja za webasto grejač u slučaju primenjen strategije zamena prema fiksnom kalendarskom datumu

Distanca	Vreme rada	MTTRp (h)	MTTRk (h)	MTTRp (h)	MTTRk (km)	N(Tp)	cp aktivnosti	ck aktivnosti	Godišnji troškovi				Gotovost za interval zamene				Tp (Cmin)	Tp (Amax)	Optimalni interval zamene
									Cp	Ck	Cuk	Ap	Ak	Auk					
10000	408,1632653	1,5	13	36,75	318,5	0,00759772	670	1670	11490,5	217,602611	11708,1026	0,9996325	0,99975801	0,99608301					
20000	816,3265306	1,5	13	36,75	318,5	0,0533799	670	1670	5745,25	764,41349	6509,66349	0,9981625	0,999414993	0,99731243					
30000	1224,489796	1,5	13	36,75	318,5	0,1669791	670	1670	3830,16667	1594,12165	5424,28832	0,9982775	0,99822724	0,99700224					
40000	1632,653061	1,5	13	36,75	318,5	0,37503515	670	1670	2872,625	2685,29858	5557,92358	0,99908125	0,99701378	0,99609503					
50000	2040,816927	1,5	13	36,75	318,5	0,70250051	670	1670	2298,1	4023,99314	6322,09314	0,999265	0,99552507	0,99479007					
60000	2448,979592	1,5	13	36,75	318,5	1,17315759	670	1670	1915,08333	5599,97001	7515,05335	0,9993875	0,99377249	0,99315999					
70000	2857,142857	1,5	13	36,75	318,5	1,80990066	670	1670	1641,5	7405,20853	9046,70853	0,999475	0,99176495	0,99123995					
80000	3265,306122	1,5	13	36,75	318,5	2,6349126	670	1670	1436,3125	9433,1518	10869,4643	0,99954063	0,98950975	0,98905038					
90000	3673,469388	1,5	13	36,75	318,5	3,66978595	670	1670	1276,72222	11678,2783	12955,0005	0,99959167	0,98701304	0,9866047					
100000	4081,632653	1,5	13	36,75	318,5	4,93561047	670	1670	1149,05	14135,8352	15284,8852	0,9996325	0,98428008	0,98391258					
110000	4489,795918	1,5	13	36,75	318,5	6,45303942	670	1670	1044,59091	16801,6614	17846,2523	0,99966591	0,98131552	0,98098143					
120000	4897,959184	1,5	13	36,75	318,5	8,24234127	670	1670	957,541667	19672,0646	20629,6063	0,99969375	0,97812345	0,9778172					
130000	5306,122449	1,5	13	36,75	318,5	10,3234412	670	1670	883,884615	22743,732	23627,6166	0,99971731	0,97470757	0,97442488					
140000	5714,285714	1,5	13	36,75	318,5	12,7159547	670	1670	820,75	26013,6644	26834,4144	0,9997375	0,9710712	0,9708087					
150000	6122,44898	1,5	13	36,75	318,5	15,4392164	670	1670	766,033333	29479,1252	30245,1585	0,999755	0,9672174	0,9669724					
160000	6530,612245	1,5	13	36,75	318,5	18,512303	670	1670	718,15625	33137,6009	33855,7572	0,99977031	0,96314895	0,96291926					
170000	6938,77551	1,5	13	36,75	318,5	21,9540543	670	1670	675,911765	36986,7701	37662,6819	0,99978382	0,95886843	0,9585226					
180000	7346,938776	1,5	13	36,75	318,5	25,7830903	670	1670	638,361111	41024,4777	41662,8388	0,99979583	0,95437825	0,95417409					
190000	7755,102041	1,5	13	36,75	318,5	30,0178268	670	1670	604,763158	45248,7141	45853,4772	0,99980658	0,94968064	0,94948722					
200000	8163,265306	1,5	13	36,75	318,5	34,6764885	670	1670	574,525	49657,5985	50232,1235	0,99981625	0,94477769	0,94459394					
210000	8571,428571	1,5	13	36,75	318,5	39,7771214	670	1670	547,166667	54249,3641	54796,5308	0,999825	0,93967137	0,93949637					
220000	8979,591837	1,5	13	36,75	318,5	45,376028	670	1670	522,295455	59022,3461	59544,6416	0,99983295	0,93436352	0,93419647					
230000	9387,755102	1,5	13	36,75	318,5	51,3756513	670	1670	499,586957	63974,9714	64474,5583	0,99984022	0,92885589	0,92869611					
240000	9795,918367	1,5	13	36,75	318,5	57,908835	670	1670	478,770833	69105,7495	69584,5204	0,99984688	0,92315015	0,92299703					
250000	10204,08163	1,5	13	36,75	318,5	64,9545794	670	1670	459,62	74413,2653	74872,8853	0,999853	0,91724787	0,91710087					
260000	10612,2449	1,5	13	36,75	318,5	72,5301745	670	1670	441,942308	79896,1717	80338,114	0,99985865	0,91115054	0,91100919					
270000	11020,40816	1,5	13	36,75	318,5	80,6527811	670	1670	425,574074	85553,1843	85978,7584	0,99986389	0,90485959	0,90472348					
280000	11428,57143	1,5	13	36,75	318,5	89,3394366	670	1670	410,375	91383,0762	91793,4512	0,99986875	0,89837639	0,89824514					
290000	11836,73469	1,5	13	36,75	318,5	98,6070607	670	1670	396,224138	97384,6732	97780,8973	0,99987328	0,89170225	0,89157552					
300000	12244,89796	1,5	13	36,75	318,5	108,47246	670	1670	383,016667	103556,85	103939,867	0,9998775	0,8848384	0,8847159					
310000	12653,06122	1,5	13	36,75	318,5	118,952334	670	1670	370,66129	109898,526	110269,187	0,99988145	0,87786607	0,87766752					
320000	13061,22449	1,5	13	36,75	318,5	130,063275	670	1670	359,078125	116408,664	116767,742	0,99988516	0,8705464	0,87043155					
330000	13469,38776	1,5	13	36,75	318,5	141,82178	670	1670	348,19697	123086,263	123434,46	0,99988864	0,86312049	0,86300913					
340000	13877,55102	1,5	13	36,75	318,5	154,244245	670	1670	337,955882	129930,362	130268,318	0,99989191	0,85550943	0,85540135					
350000	14285,71429	1,5	13	36,75	318,5	167,346977	670	1670	328,3	136940,031	137268,331	0,999895	0,84771425	0,84760925					

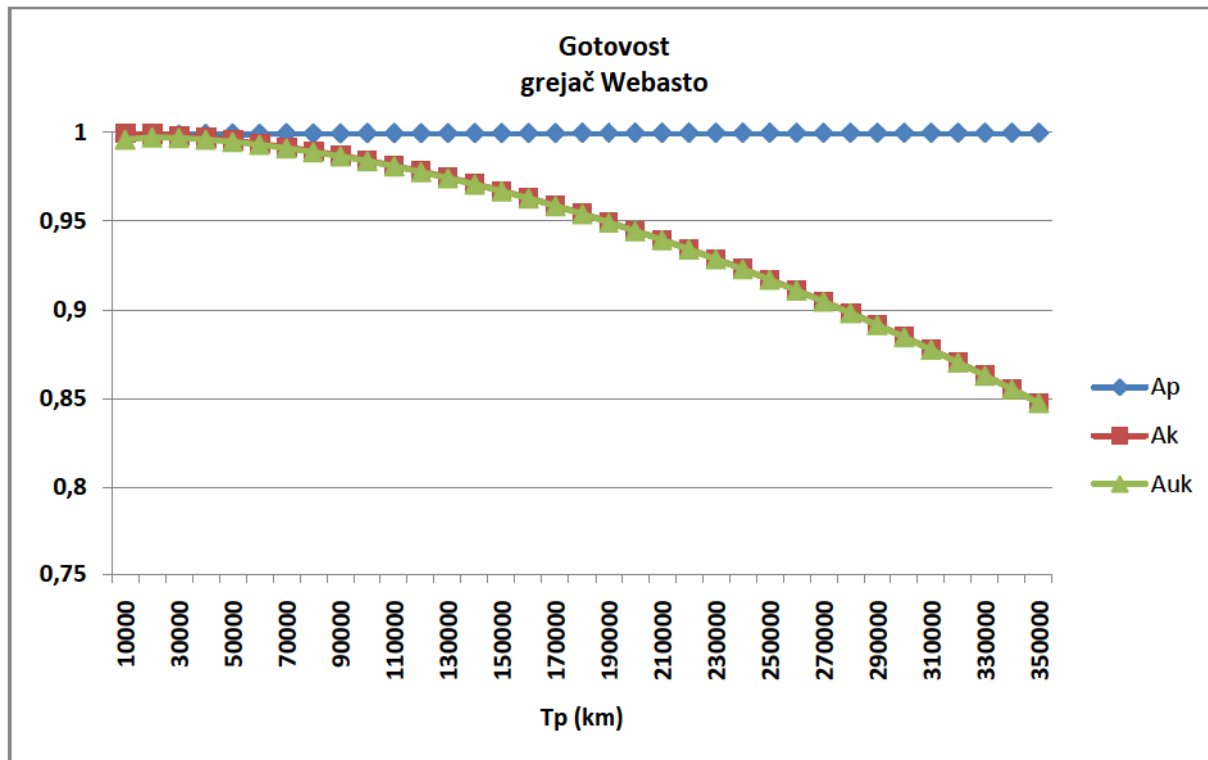
27222,56033

21291,795

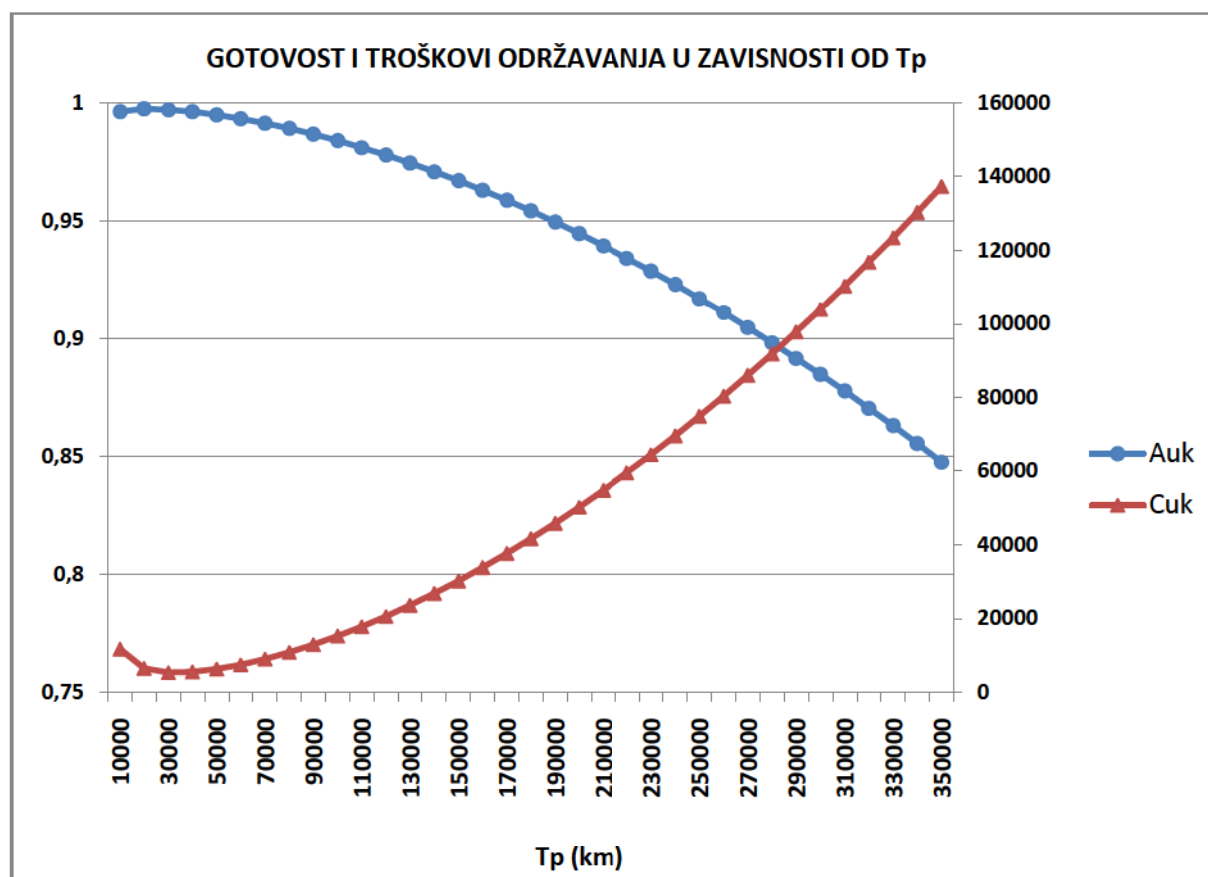
33161,3256



Slika 4.20. Troškovi održavanja u zavisnosti od periodičnosti preventivnih zamena u slučaju strategije zamene prema fiksnom kalendarskom datumu



Slika 4.21. Gotovost u zavisnosti od periodičnosti preventivnih zamena u slučaju strategije zamene prema fiksnom kalendarskom datumu



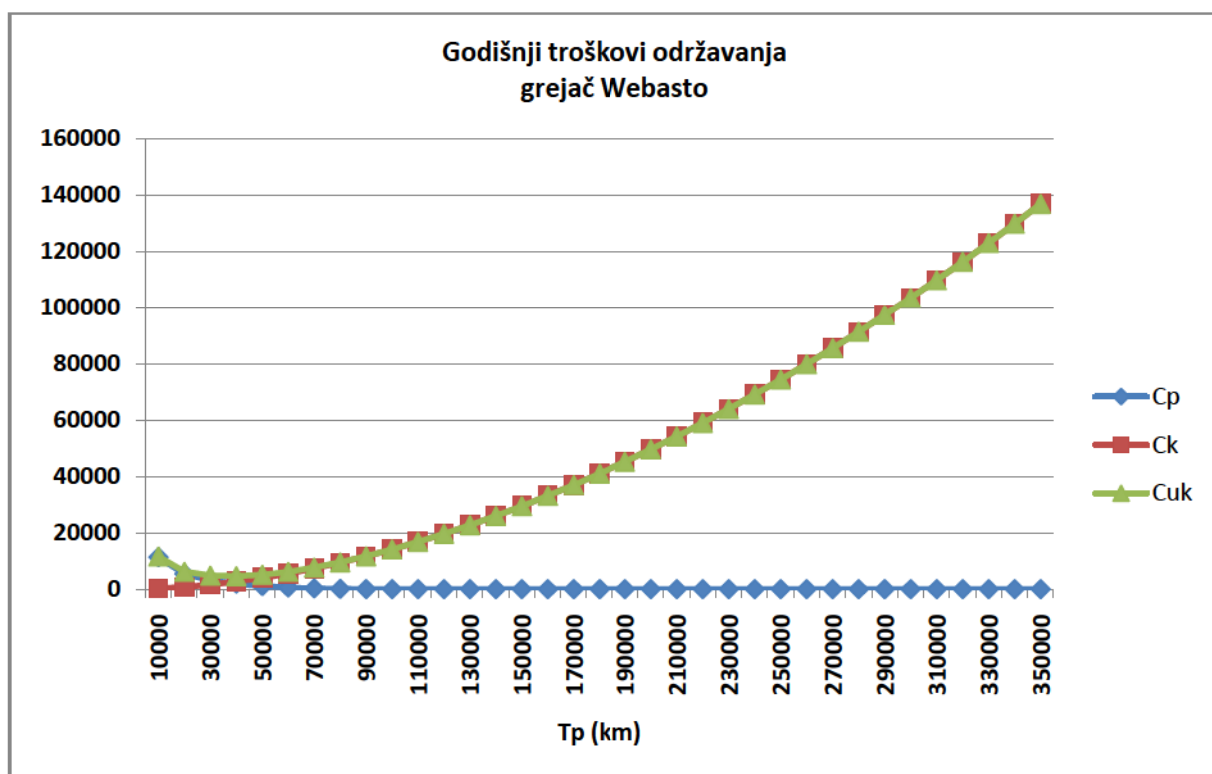
Slika 4.22. Zavisnosti troškova održavanja i gotovosti od periodičnosti preventivnih zamena prema fiksnom kalendarskom datumu

Već se sa dijagrama može očitati koji interval je zapravo optimalan za oba slučaja, ali je uvek moguće da dodje do netačnog očitavanja. Prednost razvijenog modela ogleda se upravo u tome što je moguće direktno dobiti optimalnu vrednost bez iteracije intervala i grafičkog očitavanja, čime se znatno pojednostavljuje proces optimizacije.

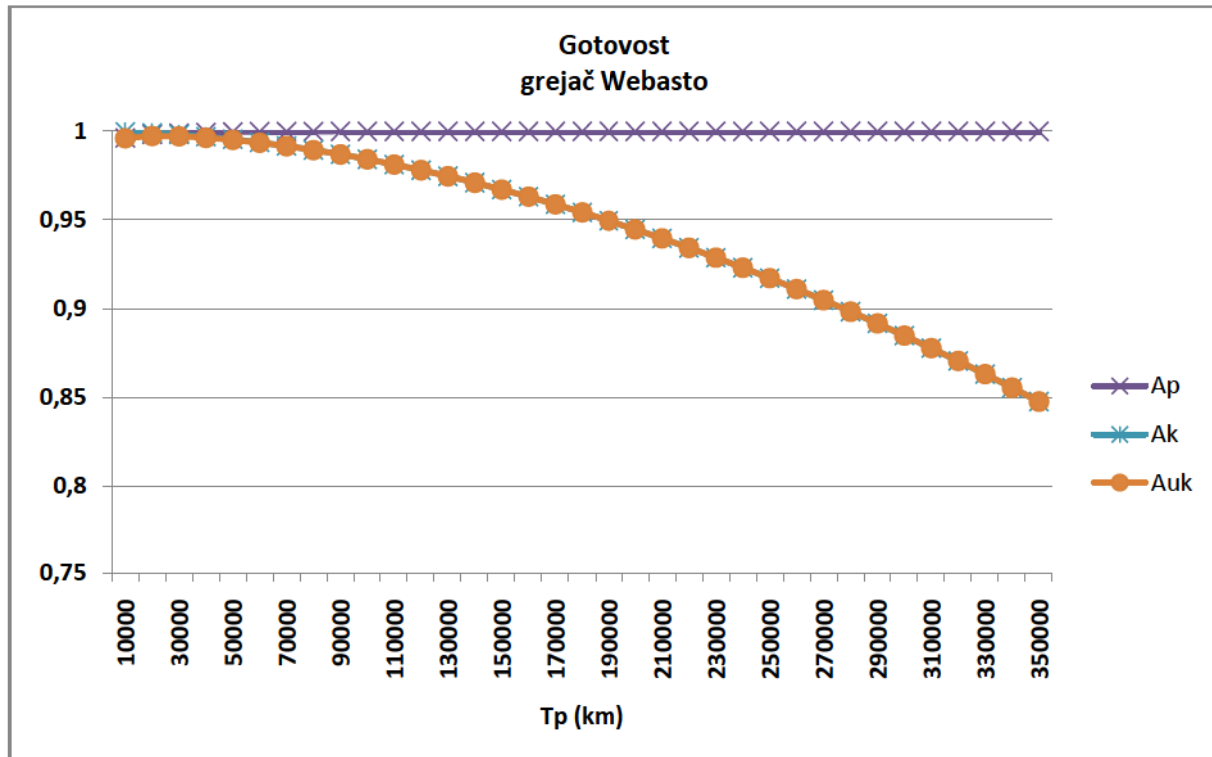
U poglavlju 4.1. već je naglašeno da ukoliko se primenjuje strategija zamena prema fiksnom intervalu, onda je moguće postići i bolja rešenja, iz razloga što se ne gubi resurs rezervnog dela, pa je preventivni interval nešto duži. U tabeli 4.15. prikazane su obračunate vrednosti za webasto grejač u slučaju ove strategije zamene, određeni na osnovu formula (4.8) i (4.27) za različite preventivne intervale zamene.

Tabela 4.15. Podaci o gotovosti i troškovima održavanja za webasto grejač u slučaju primenjen strategije zamena prema fiksnom vremenskom intervalu

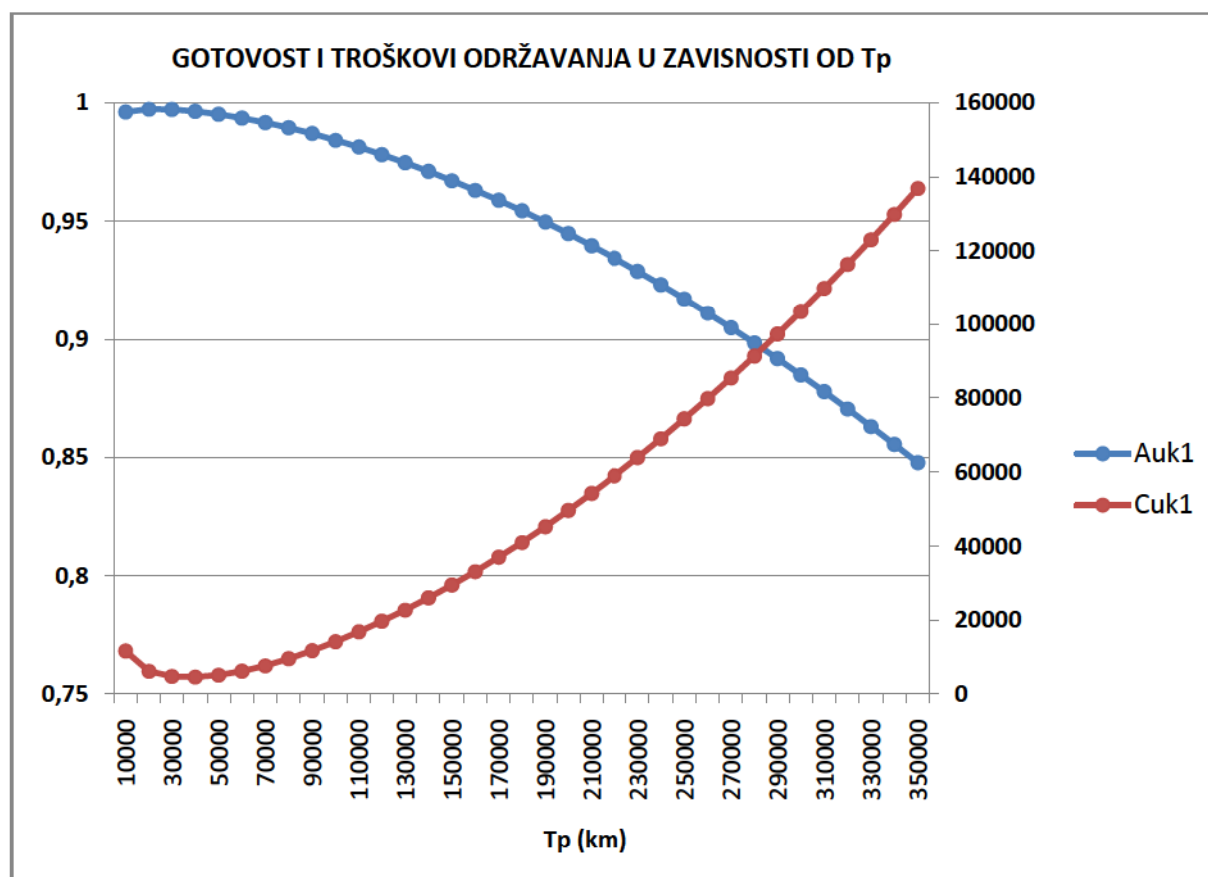
Distanca	Vreme rada (h)	MITRp (h)	MITTRk (h)	N(Tp)	cp aktivnosti	dk aktivnosti	Godišnji troškovi				Gotovost za interval zamene			OPTIMALNI INTERVAL
							MITRp (km)	MITTRk (km)	Cp1	Ck1	Cuk1	Ap	Ak	
10000	408,16	1,50	13,00	0,00759772	670	1670	11403,5292	217,602611	11621,1318	1	0,99635282	0,99975801	0,99611083	
20000	816,33	1,50	13,00	0,0533799	670	1670	5446,61072	764,41349	6211,0242	1	0,99825801	0,99914993	0,99740794	
30000	1224,49	1,50	13,00	0,1669791	670	1670	3241,15328	1594,12165	4835,27493	1	0,99896338	0,99822724	0,99719062	
40000	1632,65	1,50	13,00	0,37503515	670	1670	1974,25496	2685,29858	4659,55354	1	0,99936858	0,99701378	0,99638236	
50000	2040,82	1,50	13,00	0,70250051	670	1670	1138,35267	4023,99314	5162,34581	1	0,99963592	0,99525207	0,99516099	
60000	2448,98	1,50	13,00	1,17315759	670	1670	592,50471	5595,97001	6192,47472	1	0,9998105	0,99377249	0,99358299	
70000	2857,14	1,50	13,00	1,80990066	670	1670	268,664954	7405,20853	7673,87349	1	0,99991407	0,99176495	0,99167903	
80000	3265,31	1,50	13,00	2,6349126	670	1670	103,019856	9433,1518	9536,17165	1	0,99996705	0,98950975	0,98947681	
90000	3673,47	1,50	13,00	3,66978595	670	1670	32,5333383	11678,2783	11710,8116	1	0,99998959	0,98701304	0,98700263	
100000	4081,63	1,50	13,00	4,93561047	670	1670	8,25715686	14135,8352	14144,0923	1	0,99999736	0,98428008	0,98427744	
110000	4489,80	1,50	13,00	6,45303942	670	1670	1,64598863	16801,6614	16803,3074	1	0,99999947	0,98131552	0,98131499	
120000	4897,96	1,50	13,00	8,24234127	670	1670	0,25208926	19672,0646	19672,3167	1	0,99999992	0,97812345	0,97812337	
130000	5306,12	1,50	13,00	10,3234412	670	1670	0,02903903	22743,732	22743,7611	1	0,99999999	0,97470757	0,97470756	
140000	5714,29	1,50	13,00	12,7159547	670	1670	0,00246457	26013,6644	26013,6669	1	1	0,9710712	0,9710712	
150000	6122,45	1,50	13,00	15,4392164	670	1670	0,00015104	29479,1252	29479,1253	1	1	0,9672174	0,9672174	
160000	6530,61	1,50	13,00	18,512303	670	1670	6,5528E-06	33137,6009	33137,6009	1	1	0,96314895	0,96314895	
170000	6938,78	1,50	13,00	21,9540543	670	1670	1,9741E-07	36986,7701	36986,7701	1	1	0,95886843	0,95886843	
180000	7346,94	1,50	13,00	25,7830903	670	1670	4,0515E-09	41024,4777	41024,4777	1	1	0,95437825	0,95437825	
190000	7755,10	1,50	13,00	30,0178268	670	1670	5,5592E-11	45248,7141	45248,7141	1	1	0,94968064	0,94968064	
200000	8163,27	1,50	13,00	34,6764885	670	1670	5,0061E-13	49657,5985	49657,5985	1	1	0,94477769	0,94477769	
210000	8571,43	1,50	13,00	39,7771214	670	1670	2,9049E-15	54249,3641	54249,3641	1	1	0,93967137	0,93967137	
220000	8979,59	1,50	13,00	45,3376028	670	1670	1,0667E-17	59022,3461	59022,3461	1	1	0,93463552	0,93463552	
230000	9387,76	1,50	13,00	51,3756513	670	1670	2,4347E-20	63974,9714	63974,9714	1	1	0,92885589	0,92885589	
240000	9795,92	1,50	13,00	57,908835	670	1670	3,3934E-23	69105,7495	69105,7495	1	1	0,92315015	0,92315015	
250000	10204,08	1,50	13,00	64,9545794	670	1670	2,8378E-26	74413,2653	74413,2653	1	1	0,91724787	0,91724787	
260000	10612,24	1,50	13,00	72,5301745	670	1670	1,3993E-29	79896,1717	79896,1717	1	1	0,91115054	0,91115054	
270000	11020,41	1,50	13,00	80,6527811	670	1670	3,9987E-33	85553,1843	85553,1843	1	1	0,90485959	0,90485959	
280000	11428,57	1,50	13,00	89,3394366	670	1670	6,5096E-37	91383,0762	91383,0762	1	1	0,89837639	0,89837639	
290000	11836,73	1,50	13,00	98,6070607	670	1670	5,9352E-41	97384,6732	97384,6732	1	1	0,89170225	0,89170225	
300000	12244,90	1,50	13,00	108,47246	670	1670	2,9801E-45	103556,85	103556,85	1	1	0,8848384	0,8848384	
310000	12653,06	1,50	13,00	118,952334	670	1670	8,1028E-50	109898,526	109898,526	1	1	0,87778607	0,87778607	
320000	13061,22	1,50	13,00	130,063275	670	1670	1,1733E-54	116408,664	116408,664	1	1	0,8705464	0,8705464	
330000	13469,39	1,50	13,00	141,82178	670	1670	8,9004E-60	123086,263	123086,263	1	1	0,86312049	0,86312049	
340000	13877,55	1,50	13,00	154,244245	670	1670	3,4788E-65	129930,362	129930,362	1	1	0,85550943	0,85550943	
350000	14285,71	1,50	13,00	167,346977	670	1670	6,8929E-71	136940,031	136940,031	1	1	0,84771425	0,84771425	



Slika 4.23. Troškovi održavanja u zavisnosti od periodičnosti preventivnih zamena u slučaju strategije zamene prema fiksnom vremenskom intervalu



Slika 4.24. Gotovost u zavisnosti od periodičnosti preventivnih zamena u slučaju strategije zamene prema fiksnom vremenskom intervalu



Slika 4.25. Zavisnosti troškova održavanja i gotovosti od periodičnosti preventivnih zamena prema fiksnom intervalu

Kao što se na dijagramima može videti (slike 4.23. do 4.25) gde su prikazani podaci iz tabele 4.15. u slučaju primene strategije održavanja prema fiksnom intervalu, dolazi do manjih pomeranja optimalnog intervala zamene u plus smeru, iz razloga što se ne gubi uloženi deo resursa komponente, pa je optimalni interval nešto duži bez pogoršanja parametara efektivnosti.

Izračunate vrednosti optimalnih intervala za ostale komponente iz tabele 4.13, dobijene iterativnim putem za različite vrednosti preventivnih intervala T_p , predstavljene su grafički na dijagramima u Prilogu (slike P46. do P63).

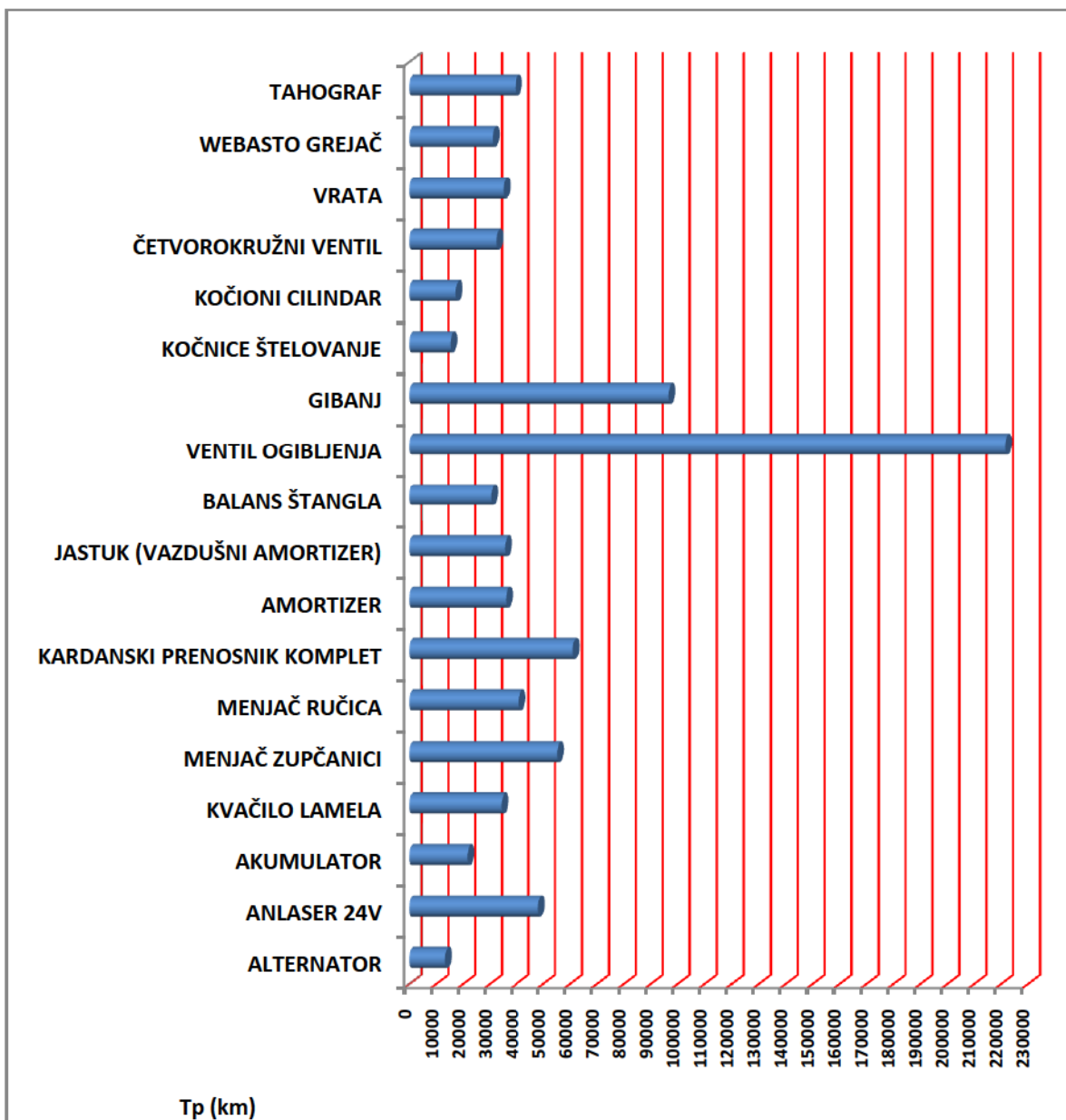
4.2.2.4. GRUPISANJE KOMPONENATA U CILJU ORGANIZOVANJA BLOK ZAMENA

Kao što je već napomenuto u poglavlju 4.1.5. razvijeni model optimizacije preventivnih zamena moguće je primenjivati na pojedinačne komponente vozila. Međutim, u realnim situacijama je praktično nemoguće organizovati efektivan sistem održavanja tako što će komponente biti zamenjivane pojedinačno, jer je ovakvo rešenje nepogodno ne samo sa aspekta povišenja troškova održavanja, nego i sa aspekta gotovosti vozila, iz razloga što bi to značilo da će vozilo biti češće van upotrebe, odnosno neraspoloživo. Jedan od mogućih načina za rešavanje ovakvog problema je u analizi karakteristika pouzdanosti komponenata sistema, i primeni optimalnih modela na sastavne elemente, a zatim grupisanju perioda preventivnog održavanja na elemente koji zahtevaju slične aktivnosti održavanja, ili su bliski po mestu ugradnje na sistem (tj. primena blok zamena). Ovakvo grupisanje elemenata i određivanje kriterijuma za njihovo grupisanje moguće je upotrebom razvijenog modela vršiti zadovoljavajući oba kriterijuma istovremeno. Kao što je već rečeno, kriterijum za grupisanje komponenata u slučaju zahteva za minimalnim troškovima je da su ukupni troškovi održavanja grupe elemenata sistema manji od sume parcijalnih troškova održavanja za pojedinačne elemente sistema, pa je u tom slučaju moguće grafo-analitičkom metodom odrediti optimalni interval preventivne zamene grupe elemenata sa minimalnom vrednošću funkcije ukupnih troškova održavanja. Istovetan prilaz koristi se i kada je u pitanju maksimalna gotovost. Međutim u slučaju kada je neophodno zadovoljiti oba kriterijuma nemoguće je usvojiti ovakav prilaz.

U praktičnom smislu to znači da je prvo neophodno analizirati optimalne periode preventivnih aktivnosti, koji su određeni prema kriterijumima gotovosti i troškova, a onda komponente koje pripadaju

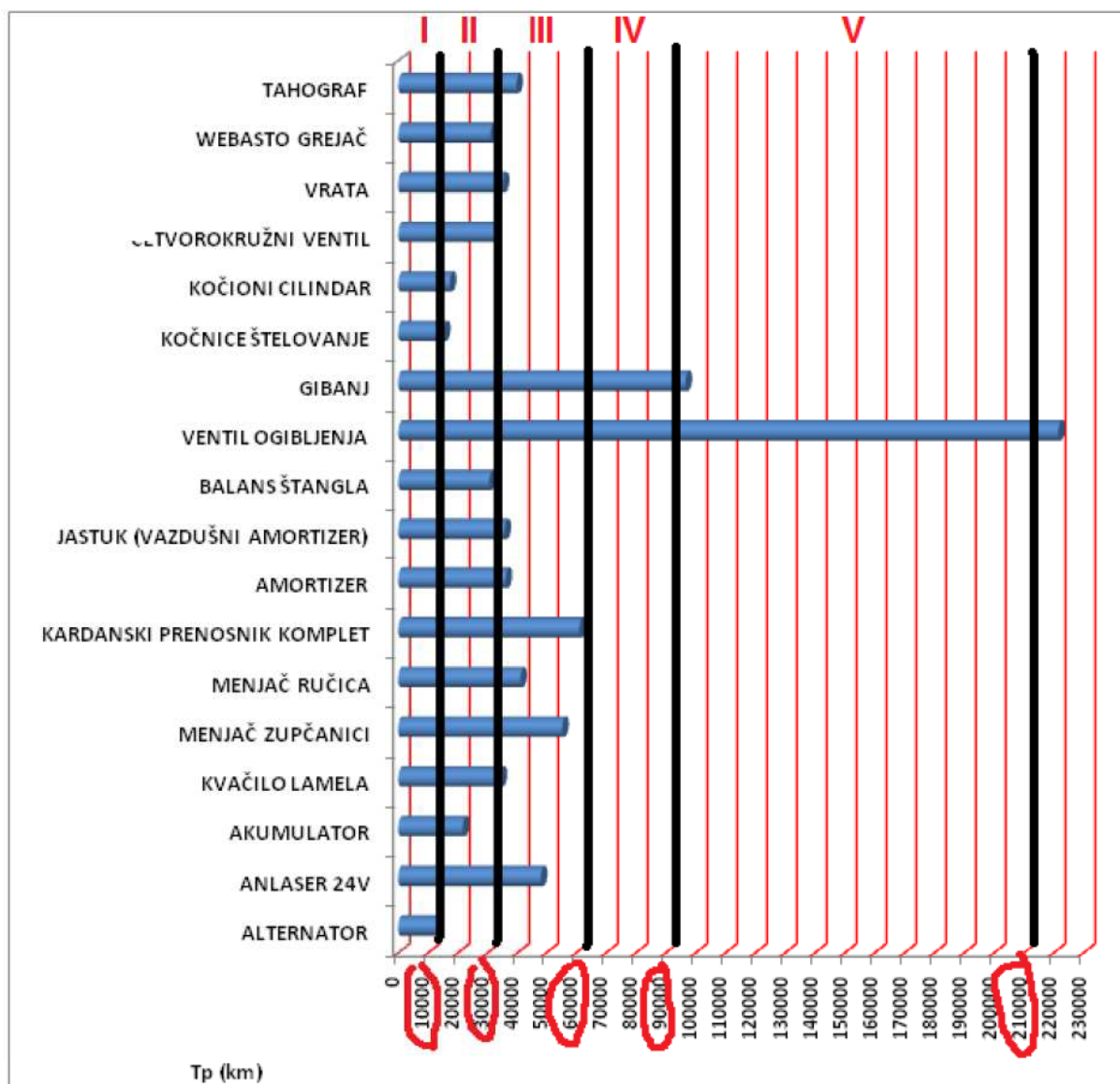
međusobno bliskim intervalima grupisati i vršiti preventivne zamene istovremeno.

Na slici 4.26. dat je dijagram intervala zamene (obnavljanja) za izabrane komponente iz tabele 4.6.



Slika 4.26. Intervali zamene (obnavljanja) za izabrane komponente vozila čiji parametri Weibull-ove raspodele su određeni u sklopu istraživanja

Kao što se vidi sa dijagrama moguće je uočiti 5 nivoa zamene (obnavljanja), koji su međusobni umnošci jedni drugih, a to su nivoi: 10.000 km, 30.000 km, 60.000 km, 90.000 km i 21.0000 km (slika 4.27).



Slika 4.27. Grupisanje komponenata u 5 nivoa zamene

Znači na definisanim nivoima neophodno je vršiti obnavljanja ili zamene sledećih komponenata:

1. **Nivo (10.000 km):** na ovom nivou potrebno je izvršiti podešavanje kočnica, proveriti rad kočnih cilindara i podesiti kaiševe alternatora.
2. **Nivo (30.000 km):** na ovom nivou neophodno je izvršiti kalibrisanje tahografa, zameniti webasto grejač, izvršiti proveru funkcionalnosti vrata, zameniti balans štanglu, vazdušne jastuke i amortizere, proveriti funkcionalnost i po potrebi zameniti četvorokružne ventile, zameniti lamele kvačila i proveriti funkcionalnost akumulatora, po potrebi izvršiti dolivanje tečnosti.
3. **Nivo (60.000 km):** na ovom nivou neophodno je izvršiti proveru funkcionalnosti ručice menjača i menjačkog prenosnika (zupčanika) i izvršiti preventivnu zamenu anlasera, takođe je neophodno izvršiti i proveru funkcionalnosti i zamenu po potrebi kardanskog zgloba glavnog prenosnika.
4. **Nivo (90.000 km):** na ovom nivou je neophodno izvršiti preventivnu zamenju gibnjeva.
5. **Nivo (210.000 km):** na ovom nivou je neophodno promeniti ventil ogibljenja.

U navedenim aktivnostima pojedinih nivoa termin zamena treba shvatiti uslovno kao obnavljanja. To u praktičnom smislu znači da u slučaju da nije došlo do kritične degradacije komponente, koja je ugrađena na vozilo, još uvek je moguće postupcima obnavljanja vratiti komponentu u stanje približno kao da je nova. Stopostotno vraćanje funkcije ni u kom slučaju nije moguće.

Kada su komponente grupisane neophodno je proveriti da li dolazi do kritičnih odstupanja troškova ili gotovosti. U tom smislu je potrebno izvršiti upoređivanje da li je došlo do sniženja gotovosti ili povećanja troškova održavanja u odnosu na nivoe koji se dobijaju teoretski za pojedine komponente vozila.

Za komponente za koje je izvršeno grupisanje u tabeli 4.16. prikazani su nivoi troškova i gotovosti za optimalne intervale obnavljanja i grupne intervale.

Gotovost je računata prema formuli 4.38, a troškovi održavanja prema izrazu 4.19.

Kao što se može videti grupisanjem komponenata u intervale zamena (obnavljanja) dolazi do neznatnog pogoršanja vrednosti gotovosti i troškova. Vrednost gotovosti vozila od nivoa 0,9258 predloženim grupisanjem pada na vrednost 0,9226, dok godišnji troškovi održavanja rastu od 51.687,7113 novčanih jedinica do 52.946,68 novčanih jedinica.

S obzirom da su pogoršanja parametara neznatna, može se zaključiti da je grupisanje ispravno izvršeno.

U cilju rešavanja preventivnog održavanja svih sastavnih delova jednog motornog vozila, bilo bi potrebno navedeni postupak sprovesti za sve sastavne delove vozila i nakon toga izvršiti grupisanje komponenata u optimalne intervale. U zavisnosti od tih rezultata bilo bi moguće odrediti kako će se postupci održavanja izvršavati po nivoima u održavanju.

Tabela 4.16. Nivoi troškova i gotovosti za optimalne intervale obnavljanja i grupne intervale

KOMPONENTA	β	η	REZULTATI OPTIMIZACIONE FORMULE MODELA				GRUPISANJE KOMPONENTATA			
			OPTIMALNI INTERVAL	BROJ OTKAZA ZA OPTIMALNI INTERVAL	OPTIMALNI NIVO GOTOVOSTI	OPTIMALNI NIVO TROŠKOVA	INTERVAL ZAMENE Gruppe	BROJ OTKAZA NA INTERVALU	GOTOVOST	TROŠKOVI
ALTERNATOR	1,8819	25967	13313,88431	0,284464987	0,989641392	7153,073836	10000	0,165996777	0,989401387	7063,379406
ANLASER 24V	3,493143162	77588,832	48148,63404	0,188871961	0,997543523	3403,313267	60000	0,4073781	0,997047277	3758,375758
AKUMULATOR	2,137270763	65724,02903	21628,99099	0,092974794	0,998024732	1382,772241	30000	0,187085155	0,997961044	1575,005284
KVACILO LAMELA	3,921738193	64121,99979	34365,09575	0,086624811	0,997181868	1318,882487	30000	0,050848043	0,997093215	1272,822635
MIENJAČ (ZUPČANICI)	3,055363518	87547,08181	55298,05329	0,245673165	0,995817829	2000,112137	60000	0,315242022	0,995747866	2105,954517
MIENJAČ (RUČICA)	3,278506923	80038,12287	40963,47005	0,11124534	0,997473832	1221,52897	60000	0,388784676	0,997028709	1756,139268
KARDANSKI PREOSNIK	2,097607933	83921,2694	61045,29772	0,512942863	0,99429811	3682,103443	60000	0,494692022	0,994318012	3666,579649
AMORTIZER	3,478090074	74829,77644	35999,19394	0,078474169	0,997657686	1091,19667	30000	0,041625651	0,997550402	1069,344943
JASTUK (VAZDUSNI										
AMORTIZER)	3,253771951	76677,72533	35671,61545	0,082912587	0,997599596	1062,173931	30000	0,047198898	0,997495784	1032,798139
BALANS ŠTANGLA	1,375407273	43572,81458	30528,33147	0,613030837	0,990212736	5353,38912	30000	0,598486336	0,990218542	5347,000483
VENTIL OGIBLJENJA	2,800968554	605478,9575	221542,5354	0,059838359	0,999761326	103,1291744	210000	0,051509965	0,999758896	101,5251539
GIBANJ	1,222440709	72270,84133	96649,39108	1,426645397	0,994049736	3829,769042	90000	1,307595496	0,99406383	3817,467164
PODEŠAVANJE KOČNICA	1,650230111	35601,44958	15318,23345	0,248649949	0,992426597	4307,478587	10000	0,123013118	0,991784796	4208,786951
KOČNI CILINDAR	2,382263881	37899,87134	17284,08994	0,154052566	0,994054233	3206,602969	10000	0,041834273	0,992747566	3335,755037
ČETVOROKRUTNI VENTIL	5,09181829	55409,82116	32439,29477	0,06547479	0,997091376	1690,39919	30000	0,043975028	0,997083132	1675,607758
VRATA	1,999522408	58706,95543	35106,37572	0,357684009	0,994462663	3030,861075	30000	0,261217725	0,994386727	2888,566381
WEBASTO GREJAJ	2,81265737	56688,19023	31017,11467	0,183395973	0,996931964	5398,004471	30000	0,166979102	0,997002239	5424,288321
TAHOGRAF	4,559450422	72165,67574	39640,74165	0,065115077	0,99893926	2452,94058	30000	0,018276562	0,999019149	2847,28938
						51687,73119				52946,68623
						C uk sistema			A sistema	C uk sistema
						0,925828817			0,922612646	

4.2.2.5. ZAVRŠNI KOMENTAR REZULTATA

Dobijeni rezultati eksperimentalnog istraživanja u poglavlju 4.2. potvrdili su teorijske pretpostavke iznesene u okviru teorijskih istraživanja u pooglavlju 4.1. Kao što se može videti razvijeni model za optimizaciju gotovosti sa stanovišta troškova, koji povezuje oba protivrečna kriterijuma daje povoljnu osnovu za implementaciju u softverske pakete, čime bi se ubrzao proces evaluacije empirijskih podataka.

Procentualni udeo pojedinih otkaza sistema na vozilu prikazan u tabeli 4.1. ukazuje na slabe tačke u sistemu vozila, a takođe daje i smernice koji sistemi vozila bi trebalo da se nalaze u fokusu kao nosioci troška i glavni uzroci otkaza u toku vršenja zadate misije, s obzirom da se radi o sistemima vozila, koja direktno utiču na propulziju vozila, tj. osnovnu misiju vozila. Identifikovana slaba mesta vozila pronađena su u sistemima agregatskog sklopa, prenosnika snage i sistema kočnica, pa ne treba naglašavati da se upravo ovim sistemima treba posvetiti naročita pažnja. Detaljnim proučavanjem uzroka otkaza ovih sistema identifikovano je na primer da su glavni uzročnici otkaza agregatskog sklopa sistem za startovanje motora, sistem za hlađenje i podmazivanje i sistem za dovod goriva, dakle pomoćni sistemi motorskog sklopa, a ne motor. Odatle se može zaključiti da bi adekvatnom primenom optimalnih perioda održavanja komponenata pomenutih sistema moglo značajno da se utiče na produženje životnog ciklusa motorskog sklopa.

Analizom uzročnika otkaza prenosnika snage utvrđeno je da preko 50% otkaza ovih sistema nastaje usled otaza točkova, odnosno pneumatika, nešto manje usled otkaza na glavnoj spojnici, što najčešće nastaje kao uzrok nepravilnog podešavanja hoda spojnice, što utiče na pojačano trošenje frikcionog materijala.

Što se tiče pneumatika na osnovu prikupljenih podataka o otkazima pneumatika, po proizvođačima, moguće je zaključiti da veliki procenat pneumatika

(tačnije 82.06%) završava svoj eksploatacioni period već posle prvog otkaza, dok samo 17.94% pneumatika nakon otklanjanja prvog otkaza može biti ponovo uključeno u upotrebu, što je veoma nepovoljno sa ekonomskog stanovišta, pa samim tim ima uticaj i na efektivnost sistema u celini, jer povećava ukupne troškove. U cilju smanjenja otkaza i povećanja veka trajanja pneumatika neophodno je preduzeti mere sa stanovišta "pažljivijeg" odnosa prema uslovima eksploatacije, kako bi se ostvarile uštede u troškovima održavanja vozila, poboljšanja pogodnosti održavanja pneumatika, a time i vozila u celini, ali i povećanja gotovosti, odnosno efektivnosti autobusa. Među prvim merama su prilagođavanje brzine vozila realnim putnim uslovima i povećana kontrola kretanja od strane vozača. Jedan od značajnih uzroka otkaza pneumatika kod svih proizvođača je i neodržavanje propisanog nivoa pritiska u pneumaticima. Pomenuti problem je relativno lako rešiti uvrštavanjem aktivnosti kontrole pritiska pneumatika u spisak aktivnosti dnevnog pregleda. Pored toga, u aktivnosti dnevnog pregleda bilo bi potrebno uvrstiti i kontrolu dubine šare pneumatika, kako bi se na vreme moglo izvršiti protektiranje i time sprečiti nastajanje fatalnih otkaza pneumatika.

Detaljnija analiza otkaza komponenata agregatskog sklopa ukazala je na visoke vrednosti intenziteta otkaza alternatora, što se prvenstveno može pripisati posledicama neadekvatnog održavanja. Alternator se u automobilskoj tehnici tretira kao izrazito "osetljiv uređaj", a veoma često osnovni uzrok ranog otkaza ove komponente vozila je posledica propusta prilikom ugradnje ili neblagovremenog podešavanja i dotezanja kaiša. Pogrešno priključeni kablovi na akumulatoru ili regulatoru punjenja mogu da dovedu do uništavanja alternatora sa svim tranzistorima i dodatnim delovima, što se manifestuje otkazom sklopa, a samim tim i vozila, kao sistema. Kako je osnovni cilj analize da se promenama u organizaciji sistema održavanja poboljša gotovost autobusa i voznog parka u celini, u nekim budućim istraživanjima trebalo bi izvršiti analizu uzroka, posledica i kritičnosti otkaza alternatora, sa ciljem da se utvrdi šta su glavni uzroci otkaza alternatora i da li mogu da se pripišu nedostacima u konstrukciji, što je odgovornost proizvođača ili su

posledica neadekvatnog održavanja, što je propust sistema održavanja. Ako bi se utvrdilo da su otkazi koji se javljaju posledica neadekvatnog održavanja, što se na osnovu preliminarne analize već sad može tvrditi, na osnovu uzroka otkaza mogle bi se propisati procedure za kontrolu i održavanje ovih komponenata vozila i na taj način uticati na povišenje gotovosti autobusa.

U svakom slučaju dobijeni rezultati pokazuju da je iz postojećeg informacionog sistema moguće, relativno lako, dobiti podatke o pouzdanosti komponenata autobusa, pa bi trebalo razmotriti mogućnost da se formira posebna baza u koju bi se unosili podaci o pouzdanosti komponenata, a koja bi poslužila kao osnov za planiranje preventivnih aktivnosti održavanja.

U okviru sprovedenog istraživanja određene su i karakteristike pouzdanosti za sve tipove motora, a dobijeni rezultati dati su u tabeli 4.8.

Parametri pouzdanosti koji se temelje na Weibull-ovoj raspodeli iskorišćeni su za eksperimentalnu potvrdu razvijenog modela optimizacije gotovosti sa stanovišta troškova, i može se reći da se model pokazao kao veoma jednostavno i efikasno oruđe u rešavanju problema planiranja preventivnih aktivnosti obnavljanja ili zamena komponenata. Treba naglasiti da je pomenuti model moguće u nešto proširenoj formi koristiti i za pravljenje planova inspekcija komponenata.

U okviru istraživanja proverene su dve strategije održavanja: strategija zamena na osnovu fiksnog datuma i strategija zamena na osnovu fiksnog intervala. U svim slučajevima se strategija zamena na osnovu fiksnog intervala pokazala kao povoljnije rešenje (jer izaziva niže troškove održavanja i povoljniju vrednost gotovosti), zato što se ne gubi deo resursa komponenata, ali i ne troši dodatno vreme za zamenu komponenata koje su netom bile zamenjene. Međutim kao što je već naglašeno u poglavlju 3, primena strategije zamena prema fiksnom vremenskom intervalu nije optimalno rešenje kada su u pitanju izrazito nehomogeni vozni parkovi, kakav je vozni park ATP-a na kome je istraživanje vršeno. Štaviše, primena ove strategije znatno komplikuje planiranje održavanja, predstavljajući nerešiv

problem. Iz tog razloga bi za konkretnu primenu bio povoljniji izbor strategije zamena prema fiksnom datumu.

Kao što je već naglašeno u poglavlju 4.1. razvijeni model za optimizaciju gotovosti sa stanovišta troškova tretira prvenstveno pojedinačne komponente vozila. Kako bi se odredilo koji interval bi bilo neophodno usvojiti kao osnovni interval preventivnog održavanja vozila u celini potrebno je izvršiti grupisanje komponenata na način predložen u tački 4.2.2.4. prema bliskosti optimiziranih pojedinačnih intervala i zatim ponovo izračunati nivoe gotovosti i troškova održavanja za vozilo u celini (tj. njihove zbirne vrednosti na nivou sistema), sa ciljem da se proveriti da li dolazi do kritičnog pogoršanja vrednosti gotovosti i troškova održavanja. Pri tome treba posebno voditi računa da svaki viši nivo preventivnog održavanja treba da se sprovodi sa periodom koji predstavlja celobrojni umnožak osnovnog perioda održavanja, jer se jedino na taj način ne pogoršava vrednost gotovosti. U pomenutom istraživanju osnovni period održavanja poklopio se upravo sa već projektovanim nivoom nazvanim servis A u organizaciji sistema održavanja ATP-a, koji se izvodi na svakih 10.000 km, tako da eventualna konkretna primena optimalnih perioda zamene koji su u sklopu ovog istraživanja utvrđeni ne bi iziskivala značajne promene u organizaciji predmetnog preduzeća, ali bi značajno doprinela na ekonomičnosti i povišenju gotovosti voznog parka ovog transportnog preduzeća u celini.

5.

ZAVRŠNA RAZMATRANJA

Predmetna doktorska disertacija nastala je sa ciljem da se doprinese praktičnom rešavanju problema povišenja efektivnosti vozničkih parkova autobusa i usavršavanja upravljanja sistemom održavanja ovih kompleksnih sistema. Istraživanja koja su u okviru ove disertacije sprovedena su teorijskog i eksperimentalnog karaktera. Teorijsko istraživanje sprovedeno je sa ciljem razvoja modela za dobijanje optimalnog intervala preventivnih zamena, koji zadovoljava dva protivrečna kriterijuma: obezbeđuje maksimalan nivo gotovosti sistema i pri tome izazove minimalne troškove održavanja. Pored toga izvršeno je i teorijsko istraživanje savremenih metoda i tehnika, koje se u razvijenim zemljama koriste u svrhu povišenja efektivnosti organizovanih vozničkih parkova, kako bi se razmotrila mogućnost implementiranja ovih postupaka u poslovanje transportnih preduzeća i na našim prostorima.

Sopstveno eksperimentalno istraživanje (poglavlje 4) obuhvatilo je istraživanje oblasti procesa i tokova rada u sektorima eksploatacije i održavanja organizovanog voznog parka JKP-a *Autotransport* iz Pančeva. U okviru eksperimentalnog istraživanja razmotreni su kvalitativni i kvantitativni pokazatelji efektivnosti autobusa, a na osnovu određenih parametara pouzdanosti u uslovima realne eksploatacije primenjen je razvijeni teorijski model i pokazano na koji način bi trebalo da se vrši optimizacija perioda preventivnog održavanja. Zbog svoje jednostavnosti razvijeni model se lako može implementirati u informacioni sistem preduzeća, koje je bilo predmet istraživanja.

Uopšteno kompjuterizovani informacijski sistemi u voznim parkovima omogućavaju postizanje visokog nivoa operativne gotovosti i efikasnosti ovih sistema. Zato je u modernim sistemima održavanja neophodno u informacijski sistem ugraditi takve matematičke modele, koji će omogućavati efikasno određivanje intervala preventivnog održavanja na bazi kompromisnog rešenja zadovoljenja oba kriterijuma: i postizanja minimalnih troškova održavanja i ostvarenja maksimalne gotovosti. U okviru ove disertacije dat je predlog jednog takvog modela, koji je primenjiv za slučaj Weibull-ove raspodele vremena otkaza komponenta, što u automobilske industrije ima izuzetan značaj, budući da se više od 80% komponenta pokorava ovoj vrsti raspodele.

Simulacija pomenutog modela pokazala je sledeće:

1. Preventivno održavanje može imati veoma velik uticaj na efikasnost i efektivnost sistema održavanja. Rezultati ovog istraživanja su pokazali da je moguće ostvariti značajna smanjenja u troškovima održavanja, kao i povećanja gotovosti voznog parka u celini. Primena jednog ovakvog modela omogućava značajno smanjenje pojave iznenadnih otkaza, koji mogu prouzrokovati visoke troškove održavanja.
2. Takođe, kao što se moglo videti u predstavljenim rezultatima, dodatna investiciona ulaganja u održavanje su svrsishodna samo u određenim slučajevima, a veoma često dodatna ulaganja mogu samo prouzrokovati više troškove održavanja, ali ne donose obavezno povišenje efektivnosti.
3. Kao rezultat pravovremenog preventivnog održavanja na bazi blok zamena postižu se organizaciona poboljšanja i olakšava upravljanje voznim parkom. Izvođenje postupaka održavanja u propisanom trenutku redukuje troškove interventnog održavanja na terenu.
4. U budućnosti bi predloženi model trebalo da se integriše u informacijski sistem preduzeća, na čijoj osnovi će se vršiti organizacija resursa i kapaciteta

održavanja. Predloženi informacioni sistem bi trebalo da omogućí automatsko očitavanje parametara raspodele komponenata i izbor optimalnog intervala zamene, pa su sa tim u vezi i formulisani pravci budućih istraživanja.

Sve u svemu, prikazani rezultati istraživanja ukazali su na dva osnovna problema sa kojima se suočavaju transportna preduzeća danas, a to su: promene u tehnologiji i promene u organizaciji. Kontinuirana edukacija zaposlenih je stoga jedan važan segment svakog organizovanog sistema održavanja.

5.1. KRITIČKI OSVRT NA ANALIZIRANI SISTEM

Prikupljanje i analiza podataka o osnovnim pokazateljima efektivnosti sistema održavanja preduzeća ATP dalo je osnova za pokušaj uvođenja novih pristupa u upravljanje ovim sektorom, kako bi se povećao ukupan nivo ostvarene efektivnosti. Budući da su vrednosti operativne gotovosti voznog parka, dobijene kao rezultat istraživanja, ispod vrednosti kojima se odlikuju savremeni organizovani parkovi autobusa u razvijenim zemljama, što je na osnovu preliminarnih analiza i pretpostavljeno, bilo bi neophodno ukazati na osnovne nedostatke, koji se javljaju u sistemu održavanja i eksploatacije, a predstavljaju faktore koji bitno utiču na efektivnost voznog parka kao sistema u celini.

Tokom procesa istraživanja uočeni su sledeći nedostaci:

- Od ukupnog boja autobusa u voznom parku, u proseku je dnevno neispravno 25-30, što čini oko 30% vozila. Veoma veliki procenat neispravnosti nije uvek rezultat nedostataka u organizaciji održavanja, nego i neblagovremeni otpis vozila, koja imaju veoma visok intenzitet otkaza. Time se "veštački" smanjuje nivo gotovosti voznog parka.

- Da bi se pravilno ocenila gotovost voznog parka, a takođe i uočile slabe tačke u organizovanju poslovanja službe održavanja, neophodno je imati precizne podatke o vremenima koja vozilo provodi čekajući na početak sprovođenja postupaka održavanja, koja se u ovoj službi ne registruju. Nemoguće je, dakle, direktno iz baze informacionog sistema dobiti podatak koliko je vozilo čekalo u ispravnom ili neispravnom stanju.
- Usled nedostataka u implementiranom softveru, koji se koristi za prikupljanje i prikazivanje podataka kompjuterski podržanog informacionog sistema, poslovođe i slični kontrolori u procesu održavanja, najveći deo radnog vremena utroše na prikupljanje podataka o pojedinom sistemu u cilju pravovremenog informisanja potrebnog za planiranje poslova, nabavku rezervnih delova ili materijala i na praćenje realizacije.
- Ne postoji organizovano praćenje podataka o efektima izvršenih radova (odnosno uspešnosti održavanja), naročito kada su u pitanju inspekcije komponenata i uticaja istih na tehničko stanje motornih vozila, kao i uticaj na zahteve prema višim stepenima održavanja.
- Postojeći kompjuterski podržan informacioni sistem ne daje mogućnost direktnog dobijanja podataka o statističkim veličinama, kao što su frekvencija aktivnosti održavanja, sopstvene i ostvarene gotovosti autobusa itd., što je od posebnog značaja za sprovođenje analize i provere utvrđenih parametara za ocenu kvaliteta sistema održavanja u realnom vremenu.
- Podaci o ranijoj eksploataciji i održavanju tehničkog sistema nisu dovoljno pregledni, pa je izvršilac održavanja upućen samo na trenutno dijagnosticirano stanje, odnosno na zahteve dobijene radnim nalogom.
- Podaci o zaposlenosti radne snage, iskorišćenju kapaciteta i sl. nisu raspoloživi ili su nepogodni za ozbiljnije analize.

- Opravke koje se sprovode na vozilima, u 90% slučajeva, vrše se po principu blok zamena. Ukoliko se u magacinu pojavi nedostatak neophodnih delova za otklanjanje kvara na vozilu dolazi do zastoja u službi održavanja, a samim tim i smanjenja gotovosti voznog parka u celini. Problem rezervnih delova je veoma izražen posebno kod starijih, uvoznih i složenijih autobusa.

5.2. ORGANIZOVANJE SISTEMA ODRŽAVANJA NA BAZI PREDLOŽENOG MODELA

U svrhu obezbeđivanja kvaliteta aktivnosti održavanja i smanjenja ukupnih troškova, koji nastaju kao posledica neblagovremenog ili neadekvatnog održavanja, neophodno je da projektovani i uvedeni sistem održavanja poseduje elemente, odnosno upravljački mehanizam koji će to omogućiti. Potreba za detaljnim i tačnim podacima koji opisuju aktivnosti održavanja već odavno je prepoznata. Ovaj osnovni zahtev moguće je postići korišćenjem integrisanog upravljačkog sistema u voznim parkovima. Polazeći od rezultata ostvarenog kvaliteta proizvoda sa jedne strane i rezultata internih (i eksternih) provera sistema održavanja, dobijamo podlogu za kontrolu i održavanje efektivnosti sistema, kroz mehanizam korektivnih i preventivnih mera. Evidentno je da se dobrim korektivnim i preventivnim merama sprečava pojava neusaglašenosti, te se time održava efektivnost sistema na nekom optimalnom nivou, a kroz smanjenje troškova implicitno se povećava i efikasnost sistema.

Praktični rezultati dobijeni primenom modela optimizacije gotovosti sa stanovišta troškova odlikuju se izrazitom primenjivošću i efikasnošću

implementacije u informacioni sistem autotransportnog preduzeća koje je poslužilo za eksperimentalna ispitivanja. Određivanje optimalnog intervala zamene (obnavljanja) jednog sastavnog dela ili grupe sastavnih delova, koji su ušli u kritični period (u oblast pojave poznih otkaza), na način kako su izloženi u ovoj disertaciji, stvara uslove za ekonomično upravljanje sistemom održavanja i to kako u pogledu samih postupaka održavanja, tako i u pogledu optimizacije više elemenata logističke podrške.

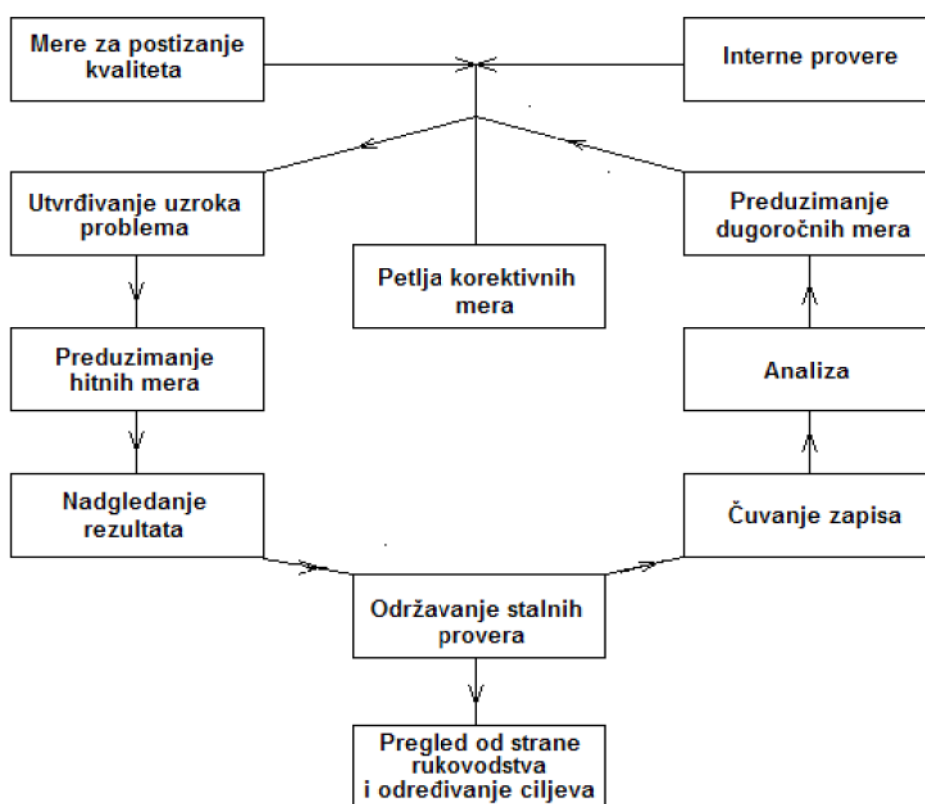
U okviru ove disertacije je obrađena jedna grupa komponenata vozila, ali bi, kao što je već rečeno, za jedno celovito rešenje problema upravljanja sistemom održavanja voznog parka preduzeća, koje je uzeto za primer, trebalo izvršiti obradu, po navedenoj metodologiji, svih sastavnih delova koji u toku upotrebe vozila menjaju svoje funkcionalne karakteristike, odnosno stare. Na osnovu rezultata koje daje razvijeni model i metodologije za grupisanje u nastavku bi bilo neophodno izvršiti i grupisanje svih preventivnih aktivnosti održavanja i odrediti nivoe održavanja na kojima bi se isti izvodili (upravo onako kako je to urađeno na primeru izabranih komponenata).

Nakon raspoređivanja aktivnosti održavanja po nivoima, tako formulisane zahteve za održavanjem potrebno je materijalno i kadrovski obezbediti. Potrebno je dakle specificirati potreban alat za održavanje, potrošni materijal, rezervne delove za preventivno održavanje i angažovanje stručne radne snage. Takav postupak omogućio bi postizanje optimuma i u ovim bitnim elementima procesa održavanja, odnosno logističke podrške tehničkih sistema.

Kao što je prikazano u poglavlju 4. intervali zamene (obnavljanja) temelje se na osnovnom intervalu od 10.000 km, što je u postojećem sistemu održavanja osnovni interval servisa A. Iz tog razloga primena predloženog modela ne bi izazvala velike promene u organizaciji održavanja, ali bi pri tome ekonomičnost održavanja i raspoloživost autobusa bila optimalna. U svakom

slučaju moguće je da bi detaljnija istraživanja svih komponenata vozila i određivanje pojedinačnih optimalnih inetrvala preventivnog obnavljanja, dala nešto drugačije intervale nivoa održavanja prema kojima bi bilo neophodno organizovati sistem održavanja.

Generalno kada se jednom sistem kvaliteta uvede u upotrebu, neophodno je vršiti periodične provere efektivnosti sistema. Mehanizam provere efektivnosti sistema prikazan je na slici 5.1.



Slika 5.1. Mehanizam kontrole nivoa ostvarene efektivnosti u eksploataciji

Za povišenje kvaliteta sistema održavanja koristi se nekoliko strategija, a njihova suština ogleda se u smanjivanju troškova i povišenju gotovosti sistema. Pomenute strategije se, dakle, obično fokusiraju na:

- *Pouzdanost* - promene u sistemu kako bi se povećalo vreme između otkaza
- *Pogodnost održavanja* - promene na sistemu kako bi se smanjilo srednje vreme opravki
- *Održavanje* - promena procesa kako bi se povećalo vreme između otkaza, odnosno vreme u radu, a smanjilo srednje vreme opravki ili smanjili troškovi održavanja
- *Unapređivanje tehnologije održavanja* - promene na sistemu kako bi se smanjila zastarelost i smanjili troškovi usled zastarelosti
- *Korišćenje spoljnih sistema održavanja* - korišćenje usluga specijalizovanih preduzeća za održavanje, kako bi se smanjili troškovi održavanja.

U fazi eksploatacije vozila ne može se mnogo, ili čak uopšte, uticati na povišenje pouzdanosti ili pogodnosti održavanja vozila, jer su to karakteristike efektivnosti koje se određuju već tokom faze konstruisanja, ali se adekvatnom politikom održavanja njihove vrednosti tokom upotrebnog veka mogu održavati na nekom optimalnom nivou.

5.3. REALNE MOGUĆNOSTI ZA UNAPREĐENJE POSTOJEĆEG SISTEMA ODRŽAVANJA VOZNOG PARKA

Uočene nedostatke u organizaciji održavanja moguće je prevazići korišćenjem savremenih pristupa za praćenje i održavanja autobusa. Evidentno je da se dobrim korektivnim i preventivnim merama sprečava pojava

neusaglašenosti, te se time održava efektivnost sistema na nekom optimalnom nivou, a kroz smanjenje troškova implicitno se povećava i efikasnost sistema. Aktivnosti usmerene ka usavršavanju sistema održavanja ATP-a, koji su realno ostvarljivi za primenu u navedenom preduzeću obuhvataju sledeće postupke:

- modifikacije informacionog sistema;
- određivanje optimalnog perioda eksploatacije autobusa;
- proširivanje spiska aktivnosti za vršenje dnevnog pregleda;
- poboljšanja u sektoru snabdevanja materijalima i rezervnim delovima, i
- formiranje sektora za osiguranje kvaliteta održavanja.

Pored gore navedenog, tokom istraživanja identifikovan je i izvestan broj postupaka čije sprovođenje bi pozitivno uticalo na kvalitet sistema održavanja, a u njih spadaju:

- postavljanje kvantitativnih ciljeva sistema održavanja i utvrđivanje načina merenja propisanih preformansi, kao i periodična revizija trendovskih analiza;
- usaglašavanje odluka vezanih za pojedine segmente sistema održavanja sa planovima i programima na nivou preduzeća;
- uvođenje strategija regrutovanja, testiranja, obuke i zadržavanja kvalitetnih kadrova;
- izbegavanje strukture voznog parka koja bi bila teška za upravljanje (smanjenje nehomogenosti prilikom nabavke novih vozila);

- periodične procene i ispitivanja alternativnih strategija za povećanje efektivnosti voznog parka

5.3.1. POBOLJŠANJA U AKVIZICIJI PODATAKA I UNAPREĐENJE INFORMACIONOG SISTEMA

Osnovni zadatak informacionog sistema održavanja je da omogućí upravljanje razvojem i funkcionisanjem tog dinamičkog hijerarhijskog sistema, radi ostvarivanja određenih ciljeva pod optimalnim uslovima.

Tokom istraživanja uočene su sledeće potrebe za modifikacijama postojećeg informacionog sistema:

1. Da bismo bili u mogućnosti da izračunamo vrednosti operativne gotovosti autobusa za neki određen period, neophodno je da imamo podatke koliko je vremena u posmatranom periodu vozilo bilo u stanju otkaza. Međutim sa aspekta upravljanja sistemom održavanja pored operativne gotovosti, kao kriterijuma kvaliteta sistema održavanja, veoma su interesantni podaci o veličini i strukturi vremena koja sačinjavaju vreme za koje je vozilo u stanju otkaza. Iz postojećeg informacionog sistema moguće je odrediti jedino ukupna vremena u radu i u otkazu i to posrednim putem, dok je udeo komponenata vremena u otkazu nemoguće odrediti. Kao što je već rečeno, tokom procesa istraživanja, javile su se teškoće u određivanju komponenata vremena u radu i u otkazu, kako autobusa pojedinačno, tako i voznog parka u celini, iz prostog razloga što se pomenuta vremena u okviru postojećeg informacionog sistema ne registruju i ne daju se pregledno u

vidu posebnog izveštaja. U tom smislu jedan od prvih predloga poboljšanja informacionog sistema odnosio bi se upravo na ovaj segment sistema, gde bi bilo neophodno uvesti poseban podprogram, koji bi bio određen samo za prikupljanje datih vremena i njihovih pojedinih komponenata, a na osnovu njih vršilo i automatsko određivanje gotovosti sistema na svim nivoima.

2. Kako je jedan od predloga za poboljšanje sistema održavanja implementacija razvijenog modela za optimizaciju preventivnog održavanja bilo bi neophodno u postojeći sistem integrisati razvijeni model. Nešto ambiciozniji zadatak bio bi razvoj softvera koji bi omogućio prikupljanje i direktno izračunavanje parametara Weibull-ove raspodele komponenata u realnom vremenu, što bi olakšalo upotrebu ugrađenog modela optimizacije preventivnih intervala obnavljanja.

Činjenica je da bi razvoj i implementacija ovako poboljšanog informacionog sistema zahtevala minimalno ulaganje finansijskih sredstava, koja bi se zasigurno u veoma kratkom roku isplatila, jer bi primenom efikasnijeg informacionog sistema došlo do značajnog smanjenja troškova poslovanja i poboljšanja gotovosti sistema. Ovakvim poboljšanjima postojećeg informacionog sistema omogućila bi se:

- analiza strukture vremena u otkazu za autobuse, a samim tim i preduzimanje konkretnih akcija za smanjenje tog vremena;
- konstantno praćenje vrednosti operativne gotovosti autobusa, kao kriterijuma za ocenu kvaliteta sistema održavanja;
- praćenje i ocena realnosti vremenskih normativa za izvođenje aktivnosti održavanja vozila, što bi dalo smernice za adekvatnije planiranje aktivnosti održavanja; i

- dobijanje podataka o statističkim veličinama, kao što su frekvencija akcija održavanja, sopstvene i dostignute gotovosti autobusa itd, što je od posebnog značaja za sprovođenje analize i provere utvrđenih parametara za ocenu kvaliteta sistema održavanja.

5.3.2. ODREĐIVANJE OPTIMALNOG PERIODA EKSPLOATACIJE AUTOBUSA

Jedan od problema, sa kojim se JKP Autotransport-Pančevo već godinama suočava, je permanentni budžetski deficit, što je posledica ekonomske krize koja je poslednjih godina zahvatila područje bivših republika SFRJ. Iz tog razloga finansijska sredstva više se ne izdvajaju u poseban amortizacioni fond, koji bi bio upotrebljen za plansku obnovu voznog parka¹⁶. Zbog toga je uvedeno da se otpis vozila vrši samo u dva slučaja:

1. ako je vek trajanja prešao 15 godina, a vozilo se odlikuje visokom stopom otkaza i
2. ako je došlo do havarije vozila, koja značajno smanjuje funkcionalnost vozila.

Veoma često, zbog nedostatka sredstava, otpisani autobusi, nakon generalnog remonta, bivaju vraćeni u upotrebu, ali se tada usvaja da im je starost oko 3 godine.

Kao posledica navedene situacije javio se problem zastarelosti voznog parka, što u startu negativno utiče na gotovost sistema i povišenje troškova

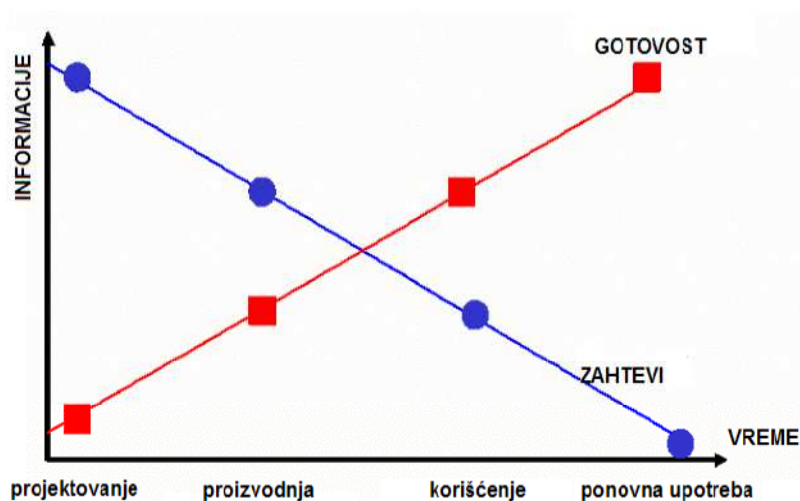
¹⁶ U razvijenim zemljama Evrope standardni period zamene vozila novim iznosi maksimalno do 8 godina.

održavanja, iz razloga što se javlja i veći broj otkaza sistema usled starenja i zamora materijala, a ovo su problemi koji se ne mogu prevazići održavanjem. Ovakva situacija uslovlila je pojavu da određen broj autobusa u okviru voznog parka ATP-a, usled zastarelosti pokazuje veoma loše eksploatacione karakteristike i odlikuje se veoma visokim intenzitetima otkaza, što dovodi do apsurdne situacije da vozilo više vremena provede na održavanju nego u efektivnom radu, pa je samim tim i gotovost ovih vozila veoma niska. Niske vrednosti gotovosti navedenih vozila uslovljavaju i nisku vrednost ukupne gotovosti voznog parka. Rezultati istraživanja su pokazali da bi plansko isključivanje ovih autobusa iz upotrebe dovelo do povišenja operativne gotovosti sistema.

Pri tome se javlja problem pravilne procene trenutka u kome treba izvršiti isključivanje autobusa iz upotrebe, radi obavljanja generalne opravke ili otpisa. Odrediti trenutak kada treba prekinuti sa korišćenjem autobusa je kompleksan zadatak, a njegova složenost se ogleda prvenstveno u uticaju velikog broja faktora na tehno-ekonomske karakteristike vozila i opravdanost njegovog korišćenja. Pri određivanju optimalnog veka upotrebe autobusa neophodno je analizirati faktore koji utiču na njihovu tehničku i fizičku zastarelost. Faktori koji utiču na fizičku zastarelost odnose se na troškove korišćenja i održavanja, kao i na optimalni vek korišćenja autobusa, dok se faktori koji utiču na tehničku zastarelost odnose na uvođenje novih generacija autobusa i opreme. Prekoračenje određenih graničnih vrednosti oštećenja sistema autobusa usled delovanja degradativnih procesa (korozije, starenja, habanja, zamora i sl.) su tehnički razlozi ograničavanja korisnog perioda eksploatacije autobusa. Karakteristične posledice prekoračenja graničnih vrednosti stanja autobusa, usled navedenih degradativnih procesa su: nedovoljna bezbednost saobraćaja, nedovoljna sigurnost pogona i povećana potrošnja pogonskih materijala, dok su najznačajniji ekonomski razlozi ograničenja korisnog perioda eksploatacije: veliki troškovi održavanja, suviše

kratki vremenski intervali između pojave uzastopnih otkaza i dugotrajan proces održavanja.

Fundamentalni problem sa kojim se sukobljava sektor za upravljanje životnim ciklusom vozila je razilaženje u informatičkim potrebama i nivou gotovosti, koja treba da se ostvari u svakoj fazi životnog ciklusa vozila, što je grafički predstavljeno na slici 5.2.



Slika 5.2. Potreba za informacijama i gotovost tokom životnog ciklusa vozila

5.3.3. PROŠIRIVANJE SPISKA AKTIVNOSTI ZA IZVOĐENJE DNEVNOG PREGLEDA

Niska vrednost raspoloživosti i veliki broj otkaza, pored toga što ukazuje na zastarelost autobusa, tiče se i nedostataka u izvođenju preventivnog održavanja. U tu svrhu bilo bi neophodno u standardizovani spisak aktivnosti

dnevnog pregleda uvrstiti i neke postupke koji bi značajno uticali na povišenje gotovosti autobusa, jer bi se na taj način predupredila pojava otkaza i smanjio broj korektivnih, u odnosu na broj preventivnih opravki, a samim tim uticalo i na smanjenje ukupnog vremena u otkazu. Na osnovu istraživanja pokazatelja pouzdanosti, koja su u disertaciji izvršena za pneumatike (poglavlje 4.1.) može se uočiti da bi uključivanje postupaka merenja pritiska vazduha u pneumaticima i dubine šare protektora u spisak aktivnosti dnevnog pregleda, moglo značajno da smanji ukupan udeo u otkazu ovih komponenata autobusa i na taj način da se utiče na povišenje efektivnosti. Pored toga, primenom adekvatnog modela, a na osnovu intenziteta habanja pneumatika (podatak koji se dobija na osnovu određivanja promena u visini šare protektora) mogao bi se preduprediti veliki broj fatalnih otkaza pneumatika, nakon kojih on postaje neupotrebljiv u daljoj eksploataciji. Na taj način bi se značajno smanjili ukupni troškovi sistema i posredno uticalo na efektivnost sistema. Sprovedenjem detaljnijih istraživanja, koja prevazilaze okvire ove disertacije, mogli bi se identifikovati i još neki postupci, koje bi trebalo uvrstiti u spisak aktivnosti dnevnog pregleda, a u cilju povećanja ukupnog nivoa ostvarene efektivnosti voznog parka.

5.3.4. POBOLJŠANJA U SEKTORU OBEZBEĐENJA MATERIJALIMA I REZERVNIM DELOVIMA

Pod pojmom upravljanja zalihama podrazumeva se problem određivanja i održavanja neophodnih količina roba različite vrste, koje se drže u skladištima. U praksi se teži da se te zalihe svedu na minimum, a razloge za

to treba tražiti u činjenici da postojanje zaliha u skladištima uslovljava dodatne troškove, što umanjuje efikasnost preduzeća.

Na osnovu istraživanja realnih procesa dokazano je da:

- stanja u otkazu, izazvana neblagovremenim ulaskom materijala i gotove robe u proces rada, zbog nedostatka zaliha, uzrokuje dodatne troškove u veličini 3-9% od ukupnih troškova poslovanja, ne uzimajući u obzir neodržavanje rokova isporuke;
- postojanje zaliha izaziva dodatne troškove u veličini od oko 26% prosečne godišnje vrednosti materijala i rezervnih delova u skladištu.

Zato se pod upravljanjem zalihama podrazumeva upravljanje celokupnim ciklusom od planiranja, preko nabavke i ulazne kontrole, praćenja i kontrole rada.

Pod efektivnim upravljanjem zalihama podrazumeva se takvo upravljanje u kome je proizvodnja (u ovom slučaju eksploatacija i održavanje) pravovremeno obezbeđena dovoljnim i kvalitetnim količinama, dok se pod efikasnim upravljanjem podrazumeva takvo upravljanje gde se troškovi čuvanja zaliha rezervnih delova svode na minimum.

U okviru ATP-a se primenjuje princip minimalnih zaliha, ali bez sistemskog pristupa. Proces popunjavanja zaliha vrši se svakodnevno, na osnovu izveštaja šefa magacina o uočenim nedostacima. Plansko popunjavanje zaliha vrši se samo za zimske mesece, a za to se koristi nedefinisani iskustveni model. Idealno bi bilo da se u voznom parku primenjuje održavanje prema pouzdanosti, kada se ne bi javljale nikakve nedoumice kad je u pitanju obezbeđenje neophodnim delovima i materijalima za ispravno funkcionisanje sistema. Kako je primena navedene politike održavanja još uvek nemoguća usled nedostatka podataka o nivoima pouzdanosti pojedinih komponenata autobusa, neophodno je fokusirati se na podatke koji bi trebalo da budu

uključeni u modeliranje sistema, a koje je na osnovu postojećeg informacionog sistema relativno lako dobiti. Sistem obezbeđenja bi trebalo optimizirati tako da ne dolazi do zastoja u izvođenju aktivnosti održavanja, usled nedostatka delova ili materijala, što bi se moglo postići tako, što bi se planiranje zaliha vršilo prvenstveno na osnovu detaljno proučene strukture voznog parka (podataka o stanju i starosti vozila i njihovih komponentata), kao i proučavanja uzroka, pojava i posledica otkaza sistema, koji su se u prethodnim periodima javljali na autobusima.

5.3.5. FORMIRANJE SEKTORA ZA OSIGURANJE KVALITETA

U okviru ATP-a ne postoji posebna služba, koja bi svakodnevno sprovodila proces kontrole izvođenja i evidentiranja postupaka održavanja. Ipak, određen vid kontrole postoji, a sprovode je posebno oformljene kontrolne komisije, koje vrše kontrolu izvršenih radova i ugrađenih delova periodično. Periodi kontrole utvrđuju se prema potrebi, tj. ako se uoče neki nedostaci u radu kao što su povećanje troškova ili nepravilnosti i kašnjenja u izvođenju aktivnosti održavanja. U svakom slučaju, ne postoji neki organizovani pristup, a naročito kada je u pitanju kontrola evidentiranja podataka iz eksploatacije i održavanja (ne postoji posebno sistematizovano radno mesto analitičara informacionog sistema), pa se u okviru baze podataka često pojavljuju greške, što me je tokom istraživanja uverilo u neophodnost uvođenja nezavisnog programa za osiguranje kvaliteta vršenja postupaka održavanja. Ovaj program, vođen od strane celog sektora kontrole ili samo jednog kontrolora, trebalo bi da nadgleda izvođenje postupaka održavanja, da bude odgovoran za superviziju pripreme i kontrole planova za održavanje i takođe da sprovodi kontrolu po

pojedininim nivoima aktivnosti održavanja. Uvođenje nezavisne kontrole je u skladu sa postojećim sistemima osiguranja kvaliteta u proizvodnim granama industrije (kao što je ISO 9001).

5.3.6. SMERNICE ZA PLANIRANJE ODRŽAVANJA

Održavanje motornih vozila je danas gotovo nezamislivo bez detaljnog planiranja, pripreme za izvršenje zadatka, pravilnim izborom politike (strategije) održavanja. Pri tome se često najbolja rešenja moraju tražiti u protivrečnim ograničenjima kao što su: minimalni utrošci raspoloživih resursa za potpuno zadovoljenje svih zahteva, izbor optimalnih rešenja u uslovima nedovoljnog poznavanja mogućih razvoja situacije, odabiranje ograničenog broja relevantnih informacija za efikasno upravljanje složenim procesima, kvalitetno i detaljno planiranje za što kraće vreme, porast broja zahteva, a smanjenje kadrovske baze i sl.

Tokom analize sistema eksploatacije i procene politike održavanja uočen je nedostatak pisanih procedura za kvalitetno planiranje održavanja. Iz tog razloga trebalo bi insistirati da se u proces planiranja održavanja unesu izvesne promene, kao na primer:

1. procedure održavanja trebalo bi da se prilagođavaju uslovima sistema, promenama u sistemu i postizanju očekivanih performansi sistema,
2. proces planiranja ne bi trebalo samo da se fokusira na preventivno održavanje,
3. godišnja analiza kvaliteta održavanja trebalo bi da čini osnov za formiranje novih planova održavanja,

4. trebalo bi praviti trogodišnju reviziju planova održavanja, kako bi se utvrdilo da li su u toku planiranja obuhvaćeni svi relevantni činioci koji imaju posredan ili neposredan uticaj na organizaciju sistema održavanja.

Istraživanje je pokazalo neophodnost da se na godišnjem nivou kvantitativno utvrde ciljevi sektora održavanja. Oni bi trebalo da se temelje na definisanim nivoima gotovosti, koju bi vozni park trebalo da ostvari i realnim troškovima održavanja planiranim za taj period.

Takođe bi konstatno trebalo sprovoditi i sledeće analize:

1. analizu trenutne strukture voznog parka (koja se u ATP-u već sprovodi) i listu očekivanih promena u strukturi vezanih za otpis vozila, nabavku novih, kao i uticaj, koji bi nabavka novih vozila ostvarila na objekat održavanja, obučenost osoblja i postojeću opremu;
2. opis postojeće opreme za održavanje, listu trenutnih nedostataka u opremi i listu potreba koje su nastale ili će se pojaviti usled nabavke novih vozila;
3. listu trenutnih radnih mesta u sektoru održavanja, struktura zaposlenih, kao i da li će eventualne promene u strukturi voznog parka uzrokovati potrebu za dodatnim obučavanjem osoblja;
4. kratak pregled programa preventivnog održavanja, korišćenog u prethodnoj godini, listu problema, koji su se pojavljivali tokom sprovođenja ovog programa (*lessons learned*) i listu eventualnih promena, kojima bi se mogli prevazići postojeći problemi;
5. opis aktivnosti dnevnih pregleda i njihove saglasnosti sa svakodnevnim prijavama kvarova od strane vozača, uvođenje dodatnih vanstandardnih aktivnosti za pojedina vozila;

6. analizu kvarova, koji su se dešavali na liniji što je dovelo do povlačenja autobusa sa predviđene linije, odnosno neispunjavanja funkcije cilja, identifikovanje uzroka kvarova na terenu i upoređivanje sa podacima iz prethodnih godina;
7. upoređenje budžeta i aktuelnih troškova, analiza uzroka pojave razlike između utvrđenog budžeta i trenutnih rashoda, predviđanje budućih budžetskih promena;
8. analiza uspešnosti svih promena koje su uvedene u poslovanje tokom prethodnih godina.

Ovakav način planiranja omogućio bi dugoročno planiranje održavanja transportnih sistema i rezultirao generacijom pisanih dokaza o problemima, sprovedenim aktivnostima za njihovo prevazilaženje i *cost-benefit* analize.

5.3.7. KOMBINOVANI PRISTUP - ODRŽAVANJE PREMA POUZDANOSTI I ODRŽAVANJE PREMA STANJU

Održavanje prema stanju predstavlja dosada najsavremeniji pristup održavanju i često se u literaturi naziva preventivnim održavanjem budućnosti, pa bi trebalo težiti da se kompletan sistem održavanja u ATP-u organizuje prema datom principu, jer je to dosad najefikasniji poznati način za preveniranje neželjenih otkaza. Ovim pristupom se ne razgraničavaju samo dva osnovna ekstremna stanja elementa: u radu i u otkazu, već i veliki broj "međustanja" koja su karakteristična za sve elemente sa "postupnom" promenom stanja. Na taj način se znatno smanjuje broj iznenadnih ili monotono-dejstvujućih otkaza, jer se kod većine komponenata autobusa u

pozadini ovakvih otkaza kriju akumulirana oštećenja, koja se na standardizovanim kontrolnim pregledima ne mogu uočiti.

Osnovu održavanja prema stanju čine dijagnostika, retrospekcija i prognoza tehničkog stanja elementa. Odluka o daljoj upotrebi ili preventivnoj intervenciji održavanja zavisi od tehničkog stanja elementa koje se utvrđuje dijagnostikom i mogućnosti prognoziranja stanja elementa do sledeće kontrole, a što se vrši postupcima retrospekcije bivših i prognoze budućih stanja elementa. Bez ove tri komponente, održavanje prema stanju se praktično ne može realizovati ili mu se mogućnosti znatno smanjuju. Da bi u nekom preduzeću sistem održavanja bio organizovan prema osnovnim postavkama održavanja prema stanju bilo bi neophodno da dijagnostički sistemi budu što savremeniji i sofisticiraniji, kako bi se dobila što adekvatnija slika stvarnog stanja pojedinih komponentata vozila. Poseban problem održavanja prema stanju je i optimizacija perioda preventivnih pregleda, kako se prečestim pregledima ne bi uticalo na smanjivanje vrednosti gotovosti vozila. Kao što se moglo videti iz predloženih modela za optimizaciju perioda preventivnih pregleda, za ove potrebe neophodno je raspolagati i podacima o pouzdanosti pojedinih komponentata vozila. Iz tog razloga kao jedan od početnih koraka za uvođenje održavanja prema stanju, bilo bi formiranje baze podataka o karakteristikama pouzdanosti komponentata autobusa, kao i baze koja bi obuhvatila analizu oblika, posledica i kritičnosti otkaza pojedinih komponentata. Ovakva baza omogućila bi vršenje preostale dve aktivnosti, koje su pored dijagnostike fundamentalne za ovaj tip održavanja, a to su retrospekcija i prognoza. Na osnovu ulaznih podataka o otkazima autobusa u obliku vremenskih slika stanja pojedinih sastavnih delova autobusa, vršila bi se prognoza ponašanja autobusa pri otkazu.

S obzirom na to, da se u slučaju autobusa, koji se koriste u svrhu javnog prevoza putnika, ne zahteva maksimalna pouzdanost u radu, celishodno bi bilo odabrati održavanje prema stanju sa kontrolom parametara pouzdanosti.

Budući da se kao kriterijum optimalnosti ne uzima maksimalna pouzdanost autobusa u radu, onda se izbor održavanja prema stanju može vršiti prema minimalnim ukupnim troškovima održavanja (direktni i indirektni), odnosno na bazi efektivnosti primenjene strategije održavanja.

Reinženjering kompletnog sistema održavanja na postavkama održavanja prema stanju zahteva i znatnija finansijska ulaganja, jer podrazumeva uvođenje savremenih dijagnostičkih sistema, ali bi se početne nesigurnosti mogle izbeći kombinovanjem ovog pristupa održavanja, sa održavanjem prema pouzdanosti. Za primenu održavanja prema pouzdanosti bilo bi potrebno izvršiti ispitivanje pouzdanosti pojedinih komponenata autobusa o čemu je već bilo reči, a adekvatna podrška mogla bi se očekivati i od proizvođača vozila i rezervnih delova, koji već raspolažu sa podacima o pouzdanosti komponenata koje se ugrađuju na autobuse. Formiranje baze podataka o pouzdanosti pojedinih komponenata vozila, olakšalo bi sve procese rada u sektoru održavanja (od snabdevanja do pravljenja planova održavanja), ali bi poslužilo i kao osnov za procese retrospekcije i prognoze, koji su, kao što je već rečeno fundamentalne komponente održavanja prema stanju.

U svakom slučaju ne bi trebalo oklevati da se održavanje prema stanju uvede kao osnovna politika održavanja u preduzeću Autotransport Pančevo. Direktne koristi ovog metoda ogledaju se u sledećem:

- **smanjenju troškova održavanja** - troškovi se mogu smanjiti skraćivanjem vremena obnavljanja, brzine otkrivanja otkaza ili prognoziranjem otkaza, što omogućuje planiranje kapaciteta radionica, kadrova, rezervnih delova itd, ali i zbog izbegavanja mogućnosti pojave fatalnih otkaza delova pravovremenim otkrivanjem;
- **povećanju operativne gotovosti i raspoloživosti voznog parka;**

- **pravovremenom uočavanju slabih tačaka novih i remontovanih sklopova** i izbegavanje pojave iznenadnih otkaza, a samim tim i smanjenje korektivnih aktivnosti održavanja, u odnosu na planirane preventivne aktivnosti; i
- **povećanju mogućnosti za specificiranje i bolje projektovanje novih vozila**, na osnovu saradnje neposrednih korisnika i proizvođača.

5.4. PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA

Predmetno eksperimentalno istraživanje u okviru ove disertacije ukazalo je na nekoliko potencijalnih oblasti u kojima bi trebalo sprovesti buduća istraživanja. Sledeće oblasti nude mogućnost proširenja i nadogradnje predmetnog istraživanja ove disertacije:

- Modifikacija i simulacija predložene metode za izradu plana održavanja;
- Razvoj softvera koji bi omogućio veoma brzo i efikasno prikupljanje informacija neophodnih za određivanje parametara raspodele komponenata motornih vozila;
- Razvoj heurističkog informacionog sistema, koji bi omogućio direktno očitavanje parametara raspodele komponenata vozila, na osnovu kojih bi optimalni preventivni interval zamene bio automatski određivan u realnom vremenu;
- Razvoj modela za planiranje smena i angažovanosti radne snage, na osnovu operacionih karakteristika sistema održavanja;

- Razvoj sistema automatske dijagnostike, koji bi u vozilima mogli da smanje potrebu za preventivnim pregledima i tako indirektno utiču na povišenje gotovosti. Istraživanje i usavršavanje novih dijagnostičkih metoda koje bi bile efikasne i prikladne za širu upotrebu, što znači da ne bi zahtevale značajna finansijska ulaganja, moglo bi znatno da doprinese prevazilaženju svakodnevnih nedoumica i problema koji se javljaju u procesu odražavanja autobusa;
- Dalja istraživanja u ovoj oblasti ticala bi se svakako i razvoja softverskih aplikacija ekspertskih sistema, čija implementacija i šira upotreba bi u znatnoj meri mogla da razreši probleme sniženja vrednosti efektivnosti, odnosno sniženja vrednosti pouzdanosti i gotovosti, što obavezno dovodi i do povišenje troškova održavanja. Razvoju ovakvog softvera, trebalo bi u svakom slučaju da prethode detaljna istraživanja uzroka, posledica i kritičnosti otkaza komponenata autobusa, ali i istraživanja postojećih iskustava, kako proizvođača i održavalaca vozila, tako i krajnjih korisnika, tj. vozača. S tim u vezi, bilo bi neophodno izvršiti i istraživanje koliko kontrola i prijava kvara od strane vozača doprinosi smanjenju pojava katastrofalnih otkaza na terenu; i
- Pored toga, trebalo bi sprovesti i istraživanje čiji krajnji cilj bi bilo standardizovanje osnovnih procedura održavanja u voznim parkovima, odnosno izvršiti eksperimentalno istraživanje i definisanje najefikasnijih strategija održavanja, koje bi zatim mogle da budu predložene kao standardne najefektivnije procedure. Usvajanjem standardizovanog pristupa ovom problemu smanjilo bi uticaj subjektivnosti prilikom izbora politike održavanja u današnjim uslovima, a takođe značajno uticalo i na bezbednost saobraćaja u celini.

6.

LITERATURA

CITIRANA LITERATURA (prema redosledu pojavljivanja):

- [1] Ivanović G, Dragutinović S. *Koncept efektivnosti tehničkih sistema*. Zbornik radova DEMI; Banja Luka; 2003.
- [2] Davidović B. *Tehnologije drumskog transporta i mehanizacije*. ŽELNID; Beograd; 2002.
- [3] Georgiev S. *Upravljanje sistemom održavanja motornih vozila u specifičnim poslovnim sistemima*. [magistarski rad]; Mašinski fakultet u Beogradu; 1989.
- [4] Duboka Č. *Autoservisi*. JUMV; Beograd; 1999.
- [5] Adamović Ž. *Tehnička dijagnostika*. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva; Beograd; 2003.
- [6] Haghani A, Shafahi Y. *Bus maintenance systems and maintenance scheduling: model formulations and solutions*. Transportation Research Part A: Vol. 36, p. 453–482; 2002.
- [7] Tsai Y, Wang K, Tsai L. *A study of availability-centered preventive maintenance for multi-component systems*. Reliability Engineering and System Safety: Vol.. 84, p. 261–270; 2004.
- [8] Zelenović D, Todorović J. *Efektivnost sistema u mašinstvu*. Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [9] Birolini A. *Reliability engineering*. Heidelberg: Springer; 2010.
- [10] Momčilović V, Manojlović A, Papić V. *Informacioni sistem za podršku eksploataciji i održavanju vozničkih parkova kao put ka većoj efikasnosti.*, Zbornik radova DEMI 2003.
- [11] Nolan F.S, Heap H.L. *Reliability-Centered Maintenance*. United Airlines, San Francisco, CA, NTIS; Dec. 1978.
- [12] Minić S, Arsenić Ž. *Modeli održavanja tehničkih sistema*. Vojna knjiga, Beograd; 1998.

- [13] Clarotti C., Lannoy A., Odin S., Procaccia H. *Detection of equipment aging and determination of the efficiency of a corrective measure*. Reliability Engineering and System Safety: Vol.. 84, p. 57-64; 2004.
- [14] Flehinger, B.J. *A general model for the reliability analysis of systems under various preventive maintenance policies*. Annual of Mathematical Statistics: Vol.. 33, No. 1, p. 137-156; 1962.
- [15] Weiss G. *On the theory of replacement machinery with a random failure rate*. Naval Research Logistics Quarterly: Vol.3, No.4, p. 279-293; 1956.
- [16] Herd G.R. *Failure rates*. ARINC Monograph 2, Aeronautical Radio Inc, Washington D.; 1955.
- [17] Lotka A.J. *A contribution to the theory of self-renewing aggregates with special reference to industrial replacement*. Annual of Mathematical Statistics: Vol.10, p. 1-25, 1939.
- [18] Campbell N.R. *The replacement of perishable members of a continually operating system*. Journal of Royal Statistical Society: Vol. 7, p.110-130; 1941.
- [19] Weiss G. *On some economic factors influencing a reliability program*. NAVORD 4256, Naval Ordnance Laboratory, White Oak, Maryland; 1956.
- [20] Brender D.M. *The statistical dynamics of preventive replacement*. Wescon Convention Record: p. 23-36; 1959.
- [21] Takács L. *On a sojourn time problem in the theory of stochastic processes*. Trans American Mathematical Society: Vol. 93, p. 531-540; 1959.
- [22] Barlow R.E, Hunter L.C. *Reliability analysis of a one-unit system*. Operational Researches: Vol. 9 (2), p. 200-208; 1961.
- [23] Smith W.L. *Renewal theory and its ramifications*. Journal of Royal Statistical Society - Series B: Vol. 20 (2), p. 243-302; 1958.
- [24] Barlow R.E., Hunter L.C., Proschan F. *Optimum checking procedures*. Journal of Society for Industrial Applied Mathematics: Vol.. 11 (4), p. 1078-1095; 1963.
- [25] Barlow R.E., Proschan F. *Comparison of replacement policies and renewal theory implications*. Annual of Mathematical Statistics: Vol. 35 (2), p. 577-589; 1964.
- [26] Barlow R.E., Proschan F. *Mathematical Theory of Reliability*. New York: John Wiley & Sons Inc; 1965.

- [27] Barlow R.E., Proschan F. *Statistical theory of reliability and life testing*. New York: Holt, Reinhart and Winston; 1975.
- [28] Jorgenson D.W, McCall J.J, Radner R. *Optimal replacement policy*. Chicago, Rand McNally; 1967.
- [29] Beker I. (2001). *Postupak za utvrđivanje uspešnosti održavanja*. [doktorska disertacija], Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu; 2001.
- [30] Sheu S.H. *A general age replacement model with minimal repair and general random repair cost*. *Microelectronics Reliability*: Nr. 31, p. 1009-1017; 1991.
- [31] Cleroux R., Dubuc S., Tilquin C. *The age replacement problem with minimal repair random repair costs*. *Operational Research*: Vol. 27, p. 1158-1167; 1979.
- [32] Blanks H.S. *Reliability in procurement and use*. Chichester : John Wiley and Sons; 1992.
- [33] Gertsbakh I, Kordonsky K.B. *Choice of the best time scale for preventive maintenance in heterogeneous environments*. *European Journal of Operational Research*. Vol. 98, p: 64-74; 1997.
- [34] Grigoriev A., van de Klundert J., Spieksma F.C.R. *Modeling and solving the periodic maintenance problem*. *European Journal of Operational Research*, Elsevier: Vol. 172 (3), p. 783-797; 2006.
- [35] Hsu L.F, Kuo S. *Design of optimal maintenance policies based on on-line sampling plans*. *European journal of operational research*: Vol. 86, p. 345-357; 1995.
- [36] Jung G.M, Park D.H. *Optimal maintenance policies during the post-warranty period*. *Reliability Engineering and System Safety*: Vol. 82, p. 173-185; 2003.
- [37] Kim C.S, Djamaludin I, Murthy D.N.P. *Warranty and discrete preventive maintenance*. *Reliability Engineering and System Safety*: Vol. 84, p. 304-309; 2004.
- [38] Lai K.K, Leung F.N, Wang S.Y. *Practices of preventive maintenance and replacement for engines: A case study*. *European Journal of Operational Research* Vol. 124, p. 294-306; 2000.
- [39] Li P, Ravindran B. *Proactive QoS negotiation in asynchronous real-time distributed systems*. *The Journal of Systems and Software*: Vol.73, p. 75-88; 2004.

- [40] Lindqvist B.H, Stove B, Langseth H. *Modeling of dependence between critical failure and preventive maintenance: The repair alert model*. Journal of Statistical Planning and Inference: Vol.136 (5) , p. 1701--1717 ; decembar 2006.
- [41] Martorell S, Sanchez A, Carlos S, Serradell V. *Comparing effectiveness and efficiency in technical specifications and maintenance optimization*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 77, p. 281-209; 2002.
- [42] Pascual R, Ortega J.H. *Optimal replacement and overhaul decisions with imperfect maintenance and warranty contracts*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 91, p.241-248; 2006.
- [43] Pongpech J, Murthy D.N.P. *Optimal periodic preventive maintenance policy for leased equipment*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 91 p. 1-6; 2005.
- [44] Silver E.A, Fiechter C.N. *Preventive maintenance with limited historical data*. European journal of operational research: Vol. 82, p. 125-447; 1995.
- [45] Vaughan T. S. *Failure replacement and preventive maintenance spare parts ordering policy*. European journal of operational research Vol.161, p. 183-190; 2005.
- [46] Wu S., Clements-Croome D. *Preventive maintenance models with random maintenance quality*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 90, p. 99-105; 2005.
- [47] Zequeira R. I, Be C. *Periodic imperfect preventive maintenance with two categories of competing failure modes*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 91 (4), p. 460-468; 2006.
- [48] Jardine A.K.S. *Maintenance Replacement and Reliability*. Pitman, London; 1973.
- [49] Kainfar F. *A numerical method to approximate optimal production and maintenance plan in a flexible manufacturing system*. Applied Mathematics and Computation: Vol. 170, p. 924-940; 2005.
- [50] Baldin A., Furianetto L., Roversi A. *Priručnik za održavanje industrijskih postrojenja*. OMO: Beograd; 1979.
- [51] Kabir A.B.M.Z. *Inspection policy based on minimization of fractional dead time*. Reliability Engineering: Vol. 19, p. 77-84; 1987.

- [52] Lau H.C, Song H, See C.T, Cheng S.Y. *Evaluation of time-varying availability in multi-echelon spare part systems with passivation*. *European Journal of Operational Research* Vol. 170, p. 91-105; 2006
- [53] Lawless, J.F, Thiagarajah, K. *A Point-Process Model Incorporating Renewals and Time Trends, With Application to Repairable Systems*. *Journal of American statistical association*: No. 2, p. 131-138; 1996.
- [54] Oliveria E.A, Alvim A.C.M, Frutoso e Melo P.F. *Unavailability analysis of safety systems under aging by supplementary variables with imperfect repair*. *Annals of Nuclear Energy* Vol. 32, p. 241-252; 2005.
- [55] Vaurio J. K. *Availability and cost functions for periodically inspected preventively maintained units*. *Reliability Engineering and System Safety*: Vol. 63, p. 133-140; 1999.
- [56] Celeux G., Corset F., Lannoy A., Ricard B. (2005). *Designing a Bayesian network for preventive maintenance from expert opinions in a rapid and reliable way*. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 7, p. 849-856; 2005.
- [57] Courtois P.J., Delsarte P. *On the optimal scheduling of periodic tests and maintenance for reliable redundant components*. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 91, p. 66-72; 2006.
- [58] Lapa C.M.F, Pereira C.M.N.A, de Barros M.P. *A model for preventive maintenance planning by genetic algorithms based on cost and reliability*. *Reliability Engineering and System Safety*: Vol. 91, p. 233-240, 2006.

KORIŠĆENA LITERATURA (prema alfabetskom redosledu)

- [59] Adžkapa K.P., Adjallah K.H., Lee J. *A new effective heuristic for the intelligent management of the preventive maintenance tasks of the distributed systems*. *Advanced Engineering Informatics*: Vol. 17, p.151-163; 2003.

- [60] Anisimov V. *Asymptotic analysis of stochastic block replacement policies for the multi component systems in a Markov environment*. Operational Research Letters: Vol. 33, p. 26-34; 2005.
- [61] Arsenić Ž, Duboka Č. *Sistemska inženjerstvo u razvoju, proizvodnji i korišćenju mašinskih sistema*. 25. Savetovanje proizvodnog mašinstva u Jugoslaviji, Beograd; 1994.
- [62] Attardi L, Guida M, Pulcini G. *A mixed Weibull regression model for the analysis of automotive warranty data*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 87, p. 265-273; 2005.
- [63] Atwood C.L, Youngblood R.W. *Mixture priors for Bayesian performance monitoring 2: Variable-constituent model*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 89, p. 164-176; 2005.
- [64] Atwood C.L., Engelhardt M. *Bayesian estimation of unavailability*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 84, p. 225-239; 2004.
- [65] Avdić H, Tufekčić Dž. *Izračunavanje operativne gotovosti sistema eksploatacije uglja na PK Čubrić na osnovu vremenske slike stanja*. Mašinstvo: Vol. 4 (1), p. 177-186; 1977.
- [66] Avontuur G.C., van der Werfl K. *System reliability analysis of mechanical and hydraulic drive system*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 77, p. 121-130; 2002.
- [67] Badia F.G., Berrade M.D., Campos C.A. *Optimal inspection and preventive maintenance of units with revealed and unrevealed failures*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 78, p. 157-163; 2002.
- [68] Baker R.D. *Calculating the expected failure rate of complex equipment subject to hazardous repair*. International Journal of Production Economics: Vol. 67, p. 53-61; 2000.
- [69] Barlow R.E., Hunter L.C., Proschan F. *Mathematical theory of reliability*. The SIAM Series in Applied Mathematics. New York: John Wiley & Sons Inc; 1965.
- [70] Barlow R.E, Hunter L.C. *Optimal preventive maintenance policies*. Operation research: Vol. 8, p. 90-100; 1960.

- [71] Barlow R.E., Proschan F. *Planned Replacement*. Studies in Applied Probability & Management Scienc (in: Arrow, Karlin and Svarf Ed.): Stanford University Press, CA; 1962.
- [72] Barros A., Berenguer C., Grall A. *A maintenance policy for two-unit parallel systems based on imperfect monitoring information*. Reliability Engineering and System Safety, Vol. 91, p. 131-136; 2006.
- [73] Beker I., Stanivuković D. *Analiza uticaja računarom podržanog informacionog sistema na uspešnost održavanja*, Zbornik radova MINA, Novi Sad; 2000.
- [74] Beker I., Stanivuković D. *IIS prilaz projektovanju i upravljanju održavanjem*. Zbornik radova DEMI, Banja Luka; 2000.
- [75] Bengtsson M., Olsson E., Funk P., Jackson M. *Technical Design of Condition Based Maintenance System - A Case Study using Sound Analysis and Case-Based Reasoning*. Maintenance and Reliability Conference - Proceedings of the 8th Congress, University of Tennessee – Maintenance and Reliability Center, Knoxville, USA; May 2004.
- [76] Biočanin S., Pavlović M. *Određivanje optimalne periodičnosti preventivnog održavanja kompresora N46-6*. Istraživanje i razvoj, Godina XVI, Broj (37) Vol. 4, p. 105-109; 2010
- [77] Blanchard B.S., Fabricky W.J. *Systems engineering and analysis*. New York: Prentice-Hall Inc; 1981.
- [78] Bulatović M. *Predviđanje otkaza inkorporacijom parametara stanja i vjerovatnoće otkaza u ekspertni sistem*. Zbornik radova DEMI 1999. Banja Luka; 1999.
- [79] Bulatović M. *Reinženjering i QMS premise razvoja do izvrsnosti*. Zbornik radova sa 33. Nacionalne konferencija o kvalitetu Kragujevac; 2006.
- [80] Bunea C., Charitos T., Cooke R. M., Becker G. *Two-stage Bayesian models – application to ZEDB project*. Reliability Engineering and System Safety, Vol. 90, p. 123-130; 2005.
- [81] Butcher S.W. *Assessment of Condition-Based Maintenance in the Department of Defense*. Virginia, SAD: Logistics Management Institute; 1999.
- [82] Buzacotti J. A. *Markov approach to finding failure times of repairable systems*. IEE Transactions on reliability, Vol. 20, p. 60-63; 1970.

- [83] Castillo E., Fernandez-Canteli A., Minguez R. *Computing failure probabilities: Applications to reliability analysis*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 77, p. 131-141; 2002.
- [84] Chao M.T., Fu J. C. *A limit theorem of certain repairable systems*. Annual Report of Statistical Mathematics: Vol. 41 (4), p. 809-818; 1989.
- [85] Chareonsuk C., Nagarur N., Tabucanon M.T. *A multicriteria approach to selection of preventive maintenance intervals*. International Journal of Production Aconomics: Vol. 49, p. 55-64; 1997.
- [86] Chen T., Popova E. *Maintenance policies with two-dimensional warranty*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 77, p. 61-69; 2002.
- [87] Cho I.D., Parlar M. *A survey of maintenance models for multi-unit systems*. European Journal of Operations Research: Vol.51; p. 1-23; 1991.
- [88] Cooke R., Paulsen J. *Concepts for measuring maintenance performance and methods for analyzing competing failure modes*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 55, p. 135-141; 1997.
- [89] Crow L.H. *Studies and methods for improving the effectiveness of reliability tasks*. IEEE Proceedings annual Reliability and Maintainability Symposium, Alexandria, Virginia, USA; January 2005.
- [90] Cruse T.A. *Reliability based mechanical design*. Dekker, New York; 1997.
- [91] Cunningham C.E. *Applied maintainability engineering*. John Wiley and Sons, New York; 1972.
- [92] Curović D. *Primena metoda simultanog inženjerstva u održavanju vozni parkova*. [magistarski rad], Mašinski fakultet u Beogradu; 2002.
- [93] Day J. A., George L.L. *Opportunistic replacement of fusion power system parts*. Proceedings of Reliability and Maintainability Symposium, Los Angeles, California; 22-24. January 1982.
- [94] Delle Site P., Filip. I. F. *Bus service optimization with fuel saving objective and various financial constrains*. Transportation research - Part A: Vol. 35, p. 157-176; 2001.
- [95] Demić M, Diligenski Đ.: *A Contribution to an Analysis of the Influence of the Steering System Type on Bus Dynamic Parameters*. Automotive Engineering for Intelligent Vehicle Systems, JUMV, Beograd; 2003.

- [96] Devoere J.L. *Probability and Statistics for Engineering and The Sciences*. Toronto, Thomson Learning; 2004.
- [97] Drljača, M. *Aspekti promatranja troškova kvalitete*. Kvaliteta: Br. 2, Infomart, Zagreb; 2003.
- [98] Duboka Č. *Tehnologije održavanja motornih vozila - deo 1*. Mašinski fakultet, Beograd; 1992.
- [99] Durango P.L, Madanat S.M. *Optimal maintenance and repair policies in infrastructure management under uncertain facility deterioration rates: an adaptive control approach*. Transportation research - Part A: Vol. 36, p. 763-778; 2002.
- [100] Finkelstein M. S. *Expected time lost due to an extra risk*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 82, p. 225-228; 2003.
- [101] Finkelstein M. S. *Modeling lifetimes with unknown initial age*. Reliability Engineering and System Safety Vol: 76, p. 75-80; 2001.
- [102] Freiheit T, Hu J.S. *Impact of machining on Machine Reliability and System Productivity*. Annual Publication of University of Michigan; 2010.
- [103] Furch J. *Rationalization of maintenance system of ground forces technology in the Army of the Czech Republic*. [doktorska disertacija], Vojno-tehnička akademija Brno; 2001.
- [104] Geert W., Pintelon L. *Maintenance concept development - A case study*. International Journal of Production Economics: Vol. 89, p. 395-405; 2004.
- [105] Gertsbakh I, Kordonsky K.B. *Choice of the best time scale for preventive maintenance in heterogeneous environments*. European Journal of Operational Research Vol. 98, p. 64-74; 1997.
- [106] Gharbi A, Beauchamp Y, Andiamaharosa S. *Strategie de maintenance preventive de type age: approche basee sur l'integration de la simulation et des plans d'experience*. 3ieme Conférence Francophone de Modélisation et SIMulation. - Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels, MOSIM'01, Troeyes (France); avril 2001.
- [107] Glamočić Lj; *Ekspertni sistemi u funkciji održavanja*. Zbornik radova DEMI, p. 167-172; 1999.
- [108] Gojković P, Sorak M, Martić R. *Modularni pristup u projektovanju informacionih sistema*. Zbornik radova DEMI, Banja Luka; 1999.

- [109] Gralla A, Dieullea L. *Asymptotic failure rate of a continuously monitored system.*, naučni rad, časopis Reliability Engineering and System Safety: Vol. 91, p. 126–130; 2006.
- [110] Haghani A, Banilhashemi M. *Heuristic approaches for solving large-scale bus transit vehicle scheduling problem with route time constraints.* Transportation Research Part A: Vol. 36, p. 309-333; 2002.
- [111] Härtler G. *Statistische Methoden für die Zuverlässigkeitsanalyse.* VEB Verlag, Berlin; 1983.
- [112] Hlavenka B, Štroner M. *Expert system for minimizing the cost of logistic processes.* Management: Vol. 7, No. 1, p. 37-49; 2002.
- [113] Hokstad P. *The failure intensity process and the formulation of reliability and maintenance models.* Reliability Engineering and System Safety: Vol. 58, p. 68-82; 1997.
- [114] Hufenstuhl E. *Life Cycle Costs (LCC) bei Linienbussen – Bewertungskriterien bei Ausschreibungen.* Izveštaj Nemačke agencije za transport (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen); Maj 2003.
- [115] IEEE Interim Standard 1220-1994 (*Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process*)
- [116] Ivanović G, Stanivuković D. *Pouzdanost tehničkih sistema - Zbirka rešenih zadataka.* Mašinski fakultet u Beogradu; 1987.
- [117] Ivanović G., Ivković D., Janković Z., Radulović Z., Đorđević S. *Efekti razvijenog implementiranog informacionog sistema za upravljanje održavanjem autobusa.* XXIV jugoslovenski majski skup održavalaca sredstava za rad YUMO, Beograd; 2000.
- [118] Jain S. *Opportunistic maintenance policy of a multi-unit system under transient state.* [doktorska disertacija], University of South Florida, Scholar Commons; 2005.
- [119] Jančićević N, Janković D, Todorović J. *Konstrukcija motornih vozila.* Mašinski fakultet, Beograd; 1991.
- [120] Janković D, Duboka Č. *Održavanje motornih vozila - objekti, dijagnostika, unutrašnja kontrola., informacioni sistemi.* Mašinski fakultet u Beogradu; 1984.

- [121] Janković D, Todorović J. *Teorija kretanja motornih vozila*. Mašinski fakultet, Beograd; 1990.
- [122] Jaturonnatee J, Murthy D.N.P, Boondiskulchok R. *Optimal preventive maintenance of leased equipment with corrective minimal repairs*. Reliability Engineering and System Safety, [in print]; 2005.
- [123] Jeremić B, Mačužić I, Todorović P. *Strategija održavanja tehničkih sistema i kvalitet radnog mesta i radne okoline*. Zbornik radova 34. Nacionalne konferencije o kvalitetu, Kragujevac; 2007.
- [124] Jung G, Park D. *Optimal maintenance policies during the post-warranty period*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 82, p. 173–185; 2003.
- [125] Khan F.I, Haddara M.M. *Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries: Vol. 16, p. 561-573; 2003.
- [126] Khun A., Hellingrath B., Kloth M: *Expertsysteme in der Logistik*. Logistik im Unternehmen; 1989.
- [127] Klinar I, Stefanović A, Zuber N. *Neki aspekti eksploatacije i održavanja motora SUS*. Traktori i pogonske mašine: Vol.8 (3), p.36-43; 2003.
- [128] Klinar L, Torović T., Antoniž Z., Nikolić N. *Prilog razvoju sistema održavanja motora SUS*. Traktori i pogonske mašine. Vol.7 (3), p.14-21, Novi Sad; 2002.
- [129] Klinar L. *Karakteristike sistema održavanja motora SUS*. Traktori i pogonske mašine: Vol.7 (2), p.22-28, Novi Sad; 2002.
- [130] Knežević, J. *Reliability, maintainability and supportability*. McGraw Hill, London; 1993.
- [131] Kodžopeljić J, Stanojević P. *Heuristički model raspodele nadležnosti u višenivojskom sistemu održavanja*. Zbornik radova JUMV, Beograd; 1997.
- [132] Kodžopeljić J. *Prilog proučavanju politike preventivnog održavanja motornih vozila za potrebe opštenarodne odbrane*. [doktorska disertacija] Mašinski fakultet u Beogradu; 1981.
- [133] Kokanović M., Ćirović M., Modrić Z. *Logističko inženjerstvo*. Centar vojnotehničkih škola, Zagreb; 1987.
- [134] Krstić B. *Eksploatacija motornih vozila i motora*. Mašinski fakultet, Kragujevac; 1997.

- [135] Krstić B. *Određivanje optimalnog perioda eksploatacije motornih vozila*. Zbornik radova DEMI, Banja Luka; 2000.
- [136] Krstić B. *Analiza pouzdanosti vitalnih delova motornih vozila na osnovu podataka iz eksploatacije*. XXIV jugoslovenski majski skup održavalaca sredstava za rad YUMO, Beograd; 2000.
- [137] Krstić B. *Mogućnost određivanja optimalne periodičnosti održavanja kardanskog vratila vozila primenom višekriterijumske optimizacije*. Traktori i pogonske mašine: Vol.9 (2), p. 61 – 66; 2004.
- [138] Krstić B. *Mogućnosti primene nekih strategija pri održavanju vozila.*, Traktori i pogonske mašine: Vol.9 (2), p. 12-19, 2004.
- [139] Krstić B. *Mogućnosti upravljanja radnom sposobnošću vozila radi obezbeđenja zadoVoljavajućih eksploataciono-tehničkih karakteristika*. Traktori i pogonske mašine: Vol.7 (4), p.95-103; 2002.
- [140] Kumar U.D, Knežević J, Crocker J. *Maintenance free operating period – an alternative measure to MTBF and failure rate for specifying reliability*. Reliability Engineering and System Safety: Vol.64, p. 127-131; 1999.
- [141] Kurij K. *Eksploataciona pouzdanost građevinskih mašina*. Časopis Tehnička dijagnostika: Vol. 1 (3), p. 34-42; 2002.
- [142] Lai K.K, Leung F.K.N, Tao B, Wang S.Y. *Practices of preventive maintenance and replacements for engines: a case study*. Reliability Engineering and System Safety Vol. 124, p. 294-306; 2000.
- [143] Lam, Y. *A Note on the Optimal Replacement Problem*. Journal of Applied Probability Vol. 20, p. 479-482; 1988.
- [144] Last, T. and Szekli, R. *Stochastic comparison of repairable systems by coupling*. Journal of Applied Probability Vol. 35, p. 348-370; 1998.
- [145] Lazarević P. *Pouzdanost – faktor kvaliteta zavisan od vremena*. Zbornik radova 33. Nacionalne konferencije o kvalitetu, Kragujevac; 2006.
- [146] Legat V., Žaludova H., Červenka V., Jurča V. *Contribution to optimization of preventive replacement*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 51, p. 259-266; 1996.
- [147] *Maintenance system assessment; Guidance document*. Prepared by Poseidon Maritime UK Ltd for the Health and Safety Executive; 2004.

- [148] Mališić J. *Zadaci iz teorije verovatnoće sa primenama*. Građevinska knjiga, Beograd; 1990.
- [149] Marquez A.C., Heguedas A.S., Jung B. *Monte Carlo base assessment of system availability - A case study for cogeneration plants*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 88, p. 273-289; 2005.
- [150] Marseguerra M., Zio E., Cadini F. *Biased Monte-Carlo unavailability analysis for systems with time-dependent failure rates*. Reliability Engineering and System Safety Vol. 76, p. 11-17; 2002.
- [151] Matos da Carvalho M. *Methodology for Planning Fleet Maintenance Systems*. UFSC- Federal University of Santa Catarina, Brazil; 2004.
- [152] Messinger M. *Models, analysis and approximations for system reliability and availability*. [doktorska disertacija] Polytechnic institute of Brooklyn; 1967.
- [153] Mettas A., Savva M. *System reliability analysis - The advantages of using analytical methods to analyze non-repairable systems*. IEEE Proceedings annual Reliability and Maintainability Symposium, Philadelphia, Pennsylvania, USA; January 2001.
- [154] Michlin Y.H, Migdali R. *Test duration in choice of helicopter maintenance policy*. Reliability Engineering and System Safety: Vol.86, p. 317-321; 2004.
- [155] Mišić R. *Prilog istraživanju efektivnosti teških vozila na kopovima u rudnicima metala*. [doktorska disertacija] Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu; 1998.
- [156] Morlok E. K, Braun E.C, Blackman J.B. *Advanced Vehicle Monitoring and Communication Systems for Bus Transit Benefits and Economic Feasibility*. Final Report., Department of System University of Pennsylvania, USA; March 1993.
- [157] Nadarajah S. *On the moments of the modified Weibull distribution*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 90, p. 114-117; 2005.
- [158] Nakagawa T. *Periodic inspection policy with preventive maintenance*. Naval Research Logistics Quarterly · 1984; p. 31:33-40.
- [159] *NASA Systems Engineering Handbook, SP610-S*; June 1995.
- [160] *NASA_STD_9729.1: Planning, developing and managing an effective reliability and maintainability (R&M) program.*, December, 1998.

- [161] Nicholas J.R. *Mastering maintenance process*. 19th International Maintenance Conference - IMC, Bonita Springs, Florida USA; December 2004.
- [162] Nijemčević S. *Upravljanje procesom održavanja autobusa sa stanovišta zahteva i garancija proizvođača*. [magistarska teza] Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu; 1998.
- [163] Nikolić I. *Pouzdanost tehničkih sistema i ljudskog faktora*. Fakultet organizacionih nauka, Beograd; 2003-2004.
- [164] Oien K. *Improved quality of input data for maintenance optimization using expert judgment*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 60, p. 93-101; 1998.
- [165] Opricović S. *Optimizacija sistema*. Građevinski fakultet, Beograd; 1992.
- [166] Ostojić D, Pokorni S, Brkić D. *Određivanje pouzdanosti složene telekomunikacione mreže simulacionom metodom*. 17. Telekomunikacioni forum TELFOR, Beograd; 2009.
- [167] Pandey P.C., Athakorn K. *Selection of an automated inspection system using multiattribute decision nalysis*. International journal of product economy: Vol. 39, p. 289-298; 1995.
- [168] Perez-Ocon R. *Availability of repairable systems governed by semi-Markov processes*. Annual report, University of Granada, Spain, Department for operational researches; 2005.
- [169] Petković D. et al. *Nulti snimak stanja energetskih postrojenja kao minimum za kvalitetno planiranje*. Zbornik radova Godišnjeg izveštaja Univerziteta u Zenici; 2004.
- [170] Petrić J.J. *Operaciona istraživanja*. Savremena administracija, Beograd; 1979.
- [171] Pham H., Wang H. *Imperfect maintenance*. European Journal of Operational Research, Vol. 94, p. 425-438; 1996.
- [172] Popović B., Šaković M., Bošković V. *Upravljanje poslovanjem i upravljanje kvalitetom*. Zbornik radova 33. Nacionalne konferencije o kvalitetu, Kragujevac; 2006.
- [173] Radner R., Jorgenson D.W. *Opportunistic replacement of a single part in the presence of several monitored parts*. Management science, Vol.10 (1), p. 70-84; 1963.
- [174] Ramakumar R. *Engineering reliability*. Prentice Hall: Englewood Cliffs; 1993.

- [175] Ramović R. *Pouzdanost elektronskih, telekomunikacionih i informacionih sistema*. Katedra za Mikroelektroniku i tehničku fiziku, Beograd; 2005.
- [176] Ranilović M. *Unaprijeđenje gospodarenja tehničkim sustavima u rafineriji nafte*. [magistarski rad], Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu; 2006.
- [177] Ross S. *Stochastic processes*. 2nd ed. New York: Wiley; 1996.
- [178] Sarhan A.M. *Reliability equivalence factors of a parallel system*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 87, p.405-411; 2005.
- [179] Savsar M. *Effects of maintenance policies on the productivity of flexible manufacturing cells*. The International journal of management science [in press]; 2004.
- [180] Šegulja I, Bukša A. *Održavanje brodskog pogona*. Pomorstvo, Vol. 20 (2), p. 105-118; 2006.
- [181] Simić D. *Optimizacija preventivnog održavanja na bazi maksimalne gotovosti*, [specijalistički rad], Mašinski fakultet u Beogradu; 1992.
- [182] Sofijanić S. *Istraživanje metoda u projektovanju pouzdanosti vitalnih sistema autobusa*. [magistarska teza], Mašinski fakultet, Beograd; 1999.
- [183] Soldat D., Malić M., Malić D. *Održavanje tehničkih sistema na principima reinženjeringa*. Zbornik radova DEMI, Banja Luka; 2003.
- [184] Sorak M., Martić R., Gojković P. *Projektovanje informacionog podsistema za potrebe funkcije materijalnog obezbeđenja*., Zbornik radova DEMI, Banja Luka; 2000.
- [185] Stanivuković D., Beker I. *Dokumentovanje procesa održavanja prema zahtevima serije standarda ISO 9000*. Zbornik radova DEMI, Banja Luka; 2000.
- [186] Stanivuković D., Beker I. *Novi pristupi održavanju*. Zbornik radova MINA, Novi Sad; 2000.
- [187] Stapelberg R.F. *Handbook of reliability, availability, maintainability and safety in engineering design*. Springer, London; 2009.
- [188] Strak M., Vujošević M., Nikolić D. *Zaključivanja o stanju autobusa pomoću fazipetrijevih mreža*. Jugoslovenski simpozijum o operacionim istraživanjima, Beograd; 2001.

- [189] Tai A.T., Alkalai L., Chau S.N. *On-board preventive maintenance: a design-oriented analytic study for long life applications*. Performance Evaluation Vol. 35, p. 215-232; 1999.
- [190] Takács L. *On a sojourn time problem in the theory of stochastic processes*. Trans American Mathematical Society, Vol. 93, p. 531-540; 1959.
- [191] Todorović J., Vasić B. *Teorija efektivnosti - Rešeni ispitni zadaci*. Mašinski fakultet u Beogradu; 1994.
- [192] Todorović J. *Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema*. JUMV, Beograd; 1993.
- [193] Todorović P., Jeremić B., Mačužić I. *Razvoj sistema za akviziciju podataka u oblasti tehničke dijagnostike i njegova primena*. XXIV jugoslovenski majski skup održavalaca sredstava za rad YUMO, Beograd; 2000.
- [194] Todorović, J. *Osnovi teorije održavanja*. Mašinski fakultet, Beograd; 1984.
- [195] Toth Z. *Problems of reliability and exactitude of traffic surveys data*. Periodica polytechnica: Vol. 46, No.1, p. 71-82; 2002.
- [196] Tsai Y.T., Wang K.S., Teng H.Y. *Optimizing preventive maintenance for mechanical components using genetic algorithms*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 74, p. 89-97; 2001.
- [197] Van Dijkhuizen G., van der Heijden M. *Preventive maintenance and the interval availability distribution of an unreliable production system*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 66, p. 13-27; 1999.
- [198] Vasić B, Janković D, Curović D. *Tehnologija održavanja vozila - projektovanje i proračun kapaciteta za održavanje*. Mašinski fakultet u Beogradu; 2000.
- [199] Vasić B. *Metod održavanja vozila sa stanovišta neizvesnosti u zadacima odlučivanja*. [doktorska disertacija], Mašinski fakultet u Beogradu; 1996.
- [200] Vatn J., Hokstad P., Bodsberg L. *An overall model for maintenance optimization*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 51, p. 241-257; 1996.
- [201] Vaurio J.K. *Evaluation and comparison of estimation methods for failure rates and probabilities*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 91, p. 209-221; 2005.
- [202] Vaurio J.K. *On time-dependent availability and maintenance optimization of standby units under various maintenance policies*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 56, p. 79-89; 1997.

- [203] Veinović S., Mrđa J., Ćurčić S. *Fleksibilni servisni sistemi u vozilima*. Zbornik radova DEMI, Banja Luka; 2000.
- [204] Viton P.A. *Technical efficiency in multi-mode bus transit: A production frontier anylsis*. Transport researches - Part B: Vol. 31 (1), p. 23-39; 1997.
- [205] Vujanović N. *Teorija pouzdanosti tehničkih sistema*. Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd; 1987.
- [206] Vukadinović S. *Elementi teorije masovnog opsluživanja*. Naučna knjiga, Beograd; 1975.
- [207] Vukadinović S.V., Teodorović D.B. *Elementi teorije pouzdanosti i teorije obnavljanje tehničkih sistema*. Saobraćajni fakultet u Beogradu; 1976.
- [208] Waeyenbergh G., Pintelton L. *Maintenance concept development: A case study*., *International journal of production economics*. Vol. 89, p. 395-405; 2004.
- [209] Wang C., Sheu S.H. *Determining the optimal production-maintenance policy with inspection errors: using a Markov chain*. *Computers and Operations research* Vol. 30, p. 1-17; 2003.
- [210] Wang W. *Subjective estimation of the delay time distribution in maintenance modeling*. *European Journal of Operational Research*: Vol.99, p. 516-529; 1997.
- [211] Wassermann G.S. *Reliability verification, testing and analysis in engineering design*. Dekker, New York; 2003.
- [212] Weiss G. *On some economic factors influencing a reliability program*. NAVORD 4256, Naval Ordnance Laboratory, White Oak, Maryland; 1956
- [213] West N.K., Rogers W.J., Gupta J.P., Mannan M.S. *Use of failure rate databases and process safety performance measurements to improve process safety*. *Journal of hazardous materials* Vol. 104, p. 75-93; 2003.
- [214] Winsor J. *Ten reasons for vehicles breakdown*. *Heavy Duty Trucking*; Janury 2003.
- [215] Zafiroopoulos E.P., Dialynas E.N. *Reliability and cost optimization of electronic devices considering the component failure rate uncertainty*. *Reliability Engineering and System Safety*: Vol. 84, p. 271-284; 2004.
- [216] Zheng Z., Cui L., Hawkes A.G. *A study on a single-unit Markov repairable system with repair time omission*. *IEEE Transactions on reliability*, Vol. 55 (2); 2006.
- [217] Zio E. *Basics of reliability and risk analysis*. World Scientific, New Jersey; 2011.

- [218] Zio E. *Computational methods for reliability and risk analysis*. World Scientific, New Jersey; 2009.
- [219] Zlatanović M., Trajković D. *Autotransport Costs Optimization on Traffic Ways Building*. Architecture and Civil Engineering Vol.1 (4), p. 553 – 559; 1997.
- [220] Zupei S, Yao W, Xiangrui H. *A quantification algorithm for repairable systems in the GO methodology*. Reliability Engineering and System Safety: Vol. 80, p. 293-298; 2003.

7.

NOMENKLATURA

$A(t)$	-	gotovost
$\bar{A}(t)$	-	negotovost
a, b	-	parametri linearne regresije
A_r	-	raspoloživost
A_o	-	operativna gotovost
A_p	-	postignuta (ostvarena) gotovost
A_u	-	unutrašnja gotovost
$B_i(t)$	-	isplativost održavanja neke komponente sistema
$B_i^*(t)$	-	maksimalna dobit od održavanja
C_p	-	troškovi pojedinačne preventivne zamene komponente, koja se obavezno sprovodi nakon isteka vremena T_p
C_k	-	troškovi pojedinačne korektivne zamene komponente
D	-	sredina intervala sa najvećom frekvencijom
$D(t)$	-	varijansa
d_α	-	dozvoljeno odstupanje
$E(t)$	-	matematičko očekivanje (očekivano vreme bezotkaznog rada) elemenata do trenutka t
$E_s(t)$	-	efektivnost sistema
$f(t)$	-	funkcija gustine (verovatnoće) otkaza
$F(t)$	-	funkcija raspodele otkaza u vremenu t (funkcija nepouzdanosti)
f_i	-	frekvencija pojava u i -tom intervalu
FP	-	funkcija rizika
i	-	dužina intervala statističkog skupa

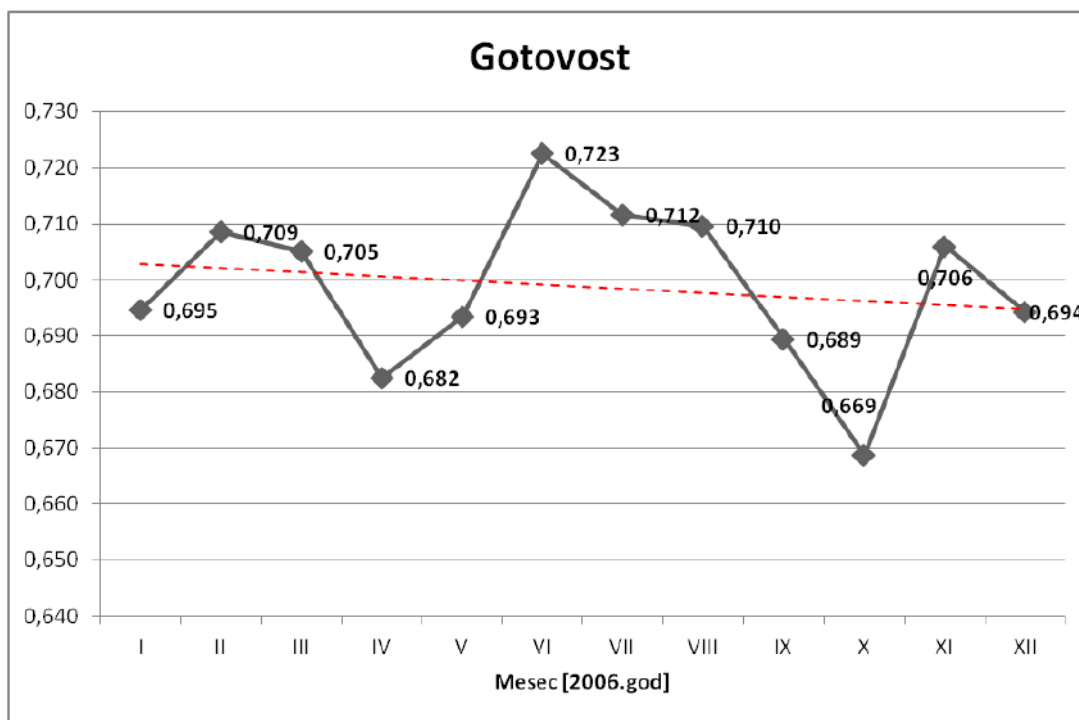
I	- interval statističkog skupa
I_i	- stepen radne sredine
K_e	- koeficijent eksploatacije
L	- pređeni put vozila
l_o	- pređeni put između planiranih intervencija održavanja
m	- srednje vreme u radu (takođe i ukupan broj segmenata stanja sistema u otkazu u
m_1	- faktor poboljšanja usled primene aktivnosti redovnog servisiranja
m_2	- faktor poboljšanja usled primene aktivnosti preventivnih opravki
m_o	- srednje vreme u otkazu
m_{od}	- srednje vreme održavanja
$MR(t)$	- medijalni rang
$MTBF$	- srednje vreme između otkaza (<i>Mean Time Between Failures</i>)
$MTTF$	- srednje vreme do pojave otkaza (<i>Mean Time To Failure</i>)
$MTTR_p$	- srednje vreme za vršenje aktivnosti preventivnog održavanja
$MTTR_k$	- srednje vreme za vršenje aktivnosti korektivnog održavanja
n	- ukupan broj segmenata vremena ispravnih stanja sistema u ukupnom vremenu
$n(t)$	- ukupan broj elemenata sistema
$N(t)$	- ukupan broj stanja u otkazu sistema u trenutku t ili ukupan broj otkazalih
$N(\Delta t)$	- broj otkaza u datom intervalu
N_f	- očekivani broj slučajnih otkaza na intervalu $(0, T_p)$
$n_1(t)$	- broj uspešno obavljenih zadataka do trenutka t ili ukupan broj ispravnih komponenata do trenutka t
$n_{isp}(t)$	- broj ispravnih sistema u slučajno izabranom trenutku t
$(n-N)_{sr}$	- srednji broj elemenata u radu
$P(T \leq t)$	- verovatnoća otkaza sistema pre trenutka t
p_f	- relativna verovatnoća pojave degradacionih procesa

$P_f(t)$	-	verovatnoća da će sistem biti u stanju otkaza u trenutku t
$P_o(t)$	-	verovatnoća da će sistem biti u stanju u radu u trenutku t
$R(t)$	-	pouzdanost
$r(t)$	-	stopa otkaza opravljivih sistema
S	-	Laplace -ov operator
\bar{t}	-	srednja vrednost vremena u radu
t_{aod}	-	vreme aktivnog održavanja
t_c	-	vreme aktivnog održavanja
t_{cr}	-	vreme čekanja na rad
t_{crd}	-	vreme čekanja u radionici
t_{def}	-	vreme defektacije
t_{kon}	-	vreme kontrole
t_l	-	logističko vreme
t_{max}, t_{min}	-	usvojena maksimalna (minimalna) vrednost promenljive t iz osnovnog skupa izdvojenih podataka
t_{od}	-	vreme trajanja održavanja
t_{opr}	-	vreme trajanja opravke
t_{or}	-	organizaciono vreme u otkazu
T_p	-	interval preventivnog održavanja
t_r	-	vreme u radu
t_{ras}	-	vreme rasklapanja
t_{skl}	-	vreme sklapanja
T_{oa}	-	srednje vreme zastoja samo usled izvođenja aktivnosti preventivnog i korektivnog održavanja.
T_{uo}	-	ukupno vreme u otkazu
T_{ur}	-	ukupno vreme u radu
t_z	-	vreme čekanja na rezervne delove

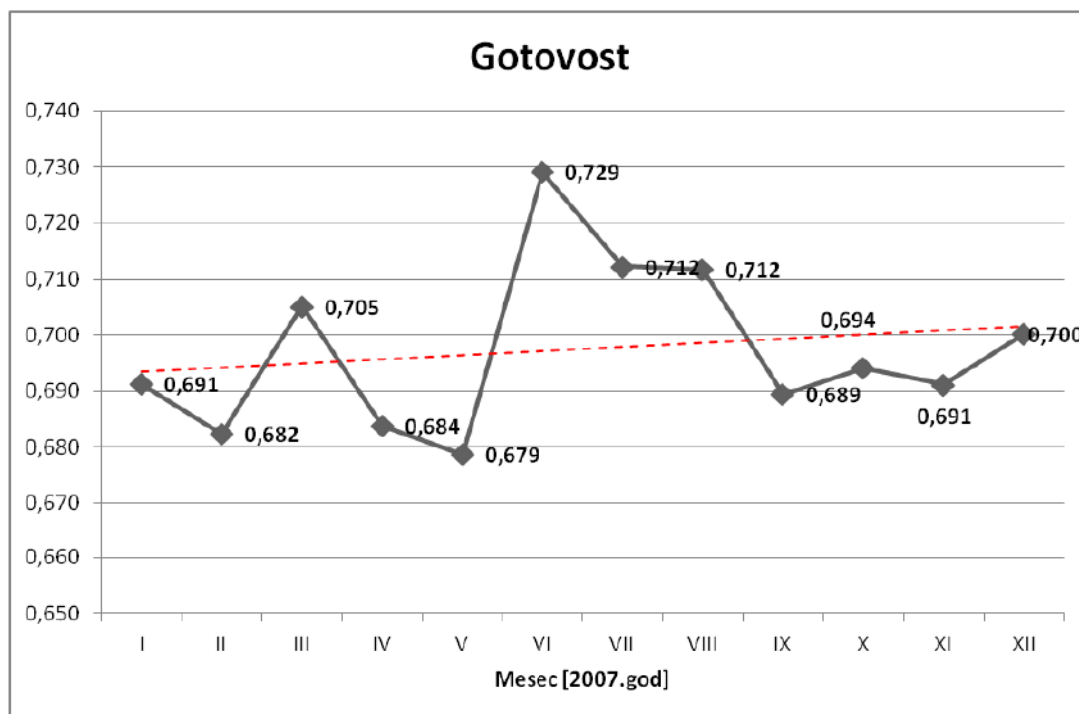
t_{zi}	-	srednja vrednost i-tog intervala
Δt	-	posmatrani vremenski period (interval vremena)
$u(t)$	-	intenzitet otkaza u nomenklaturi Power law modela
v	-	koeficijent varijacije
w_i	-	težinski koeficijent
x_r	-	relativni put
z	-	broj intervala
$\rho(t)$	-	funkcija gustine bezotkaznog rada
$\sigma(t)$	-	rasipanje srednje vrednosti
η	-	parametar razmere Weibull-ove raspodele
α	-	dozvoljeni nivo poverenja
β	-	parametar oblika Weibull-ove raspodele
$\lambda(t)$	-	funkcija intenziteta otkaza (stopa otkaza ili brzina pojave neispravnosti)
$\mu(t)$	-	intenzitet opravki (komponenata) sistema do trenutka t

8.

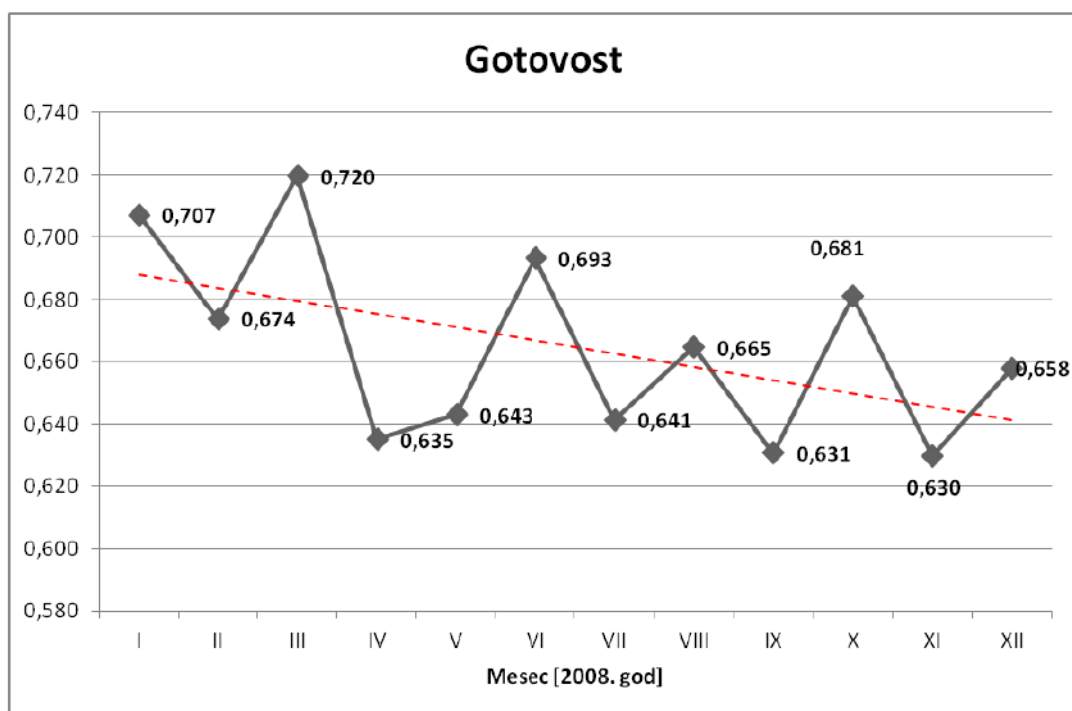
PRILOZI



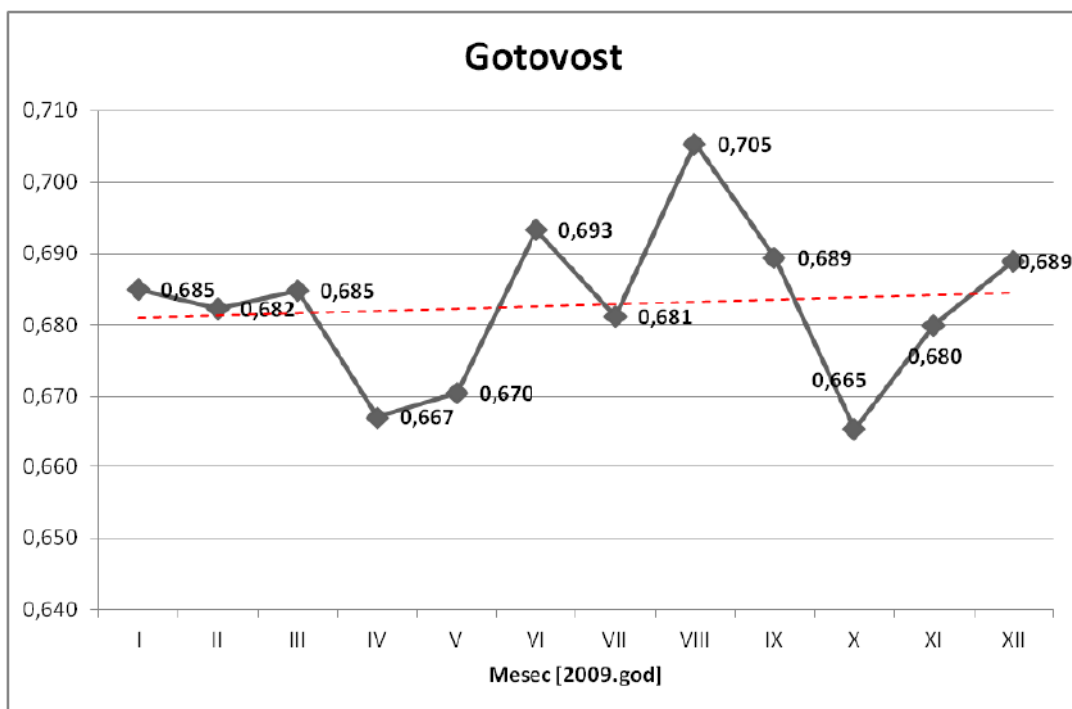
Slika P1. Gotovost voznog parka po mesecima za 2006. godine



Slika P2. Gotovost voznog parka po mesecima za 2007. godinu



Slika P3. Gotovost voznog parka po mesecima za 2008. godinu



Slika P4. Gotovost voznog parka po mesecima za 2009. godinu

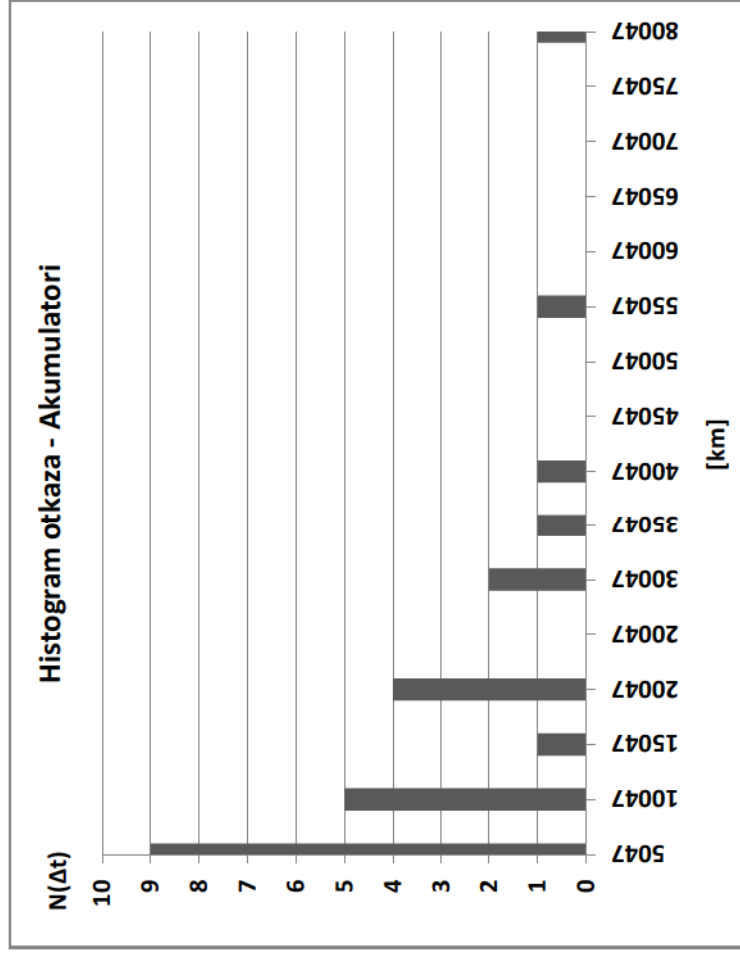
Tabela P1. Interna nomenklatura otkaza vozila

1.	Agregatski sklop:
1.1.	Motor
1.2.	Sistem za startovanje motora (kontakt brava, akumulator, alternator, anlaser)
1.3.	Sistem za dovod goriva (pumpa za gorivo, rezervoar, karburatora, itd)
1.4.	Sistem za paljenje smeše (bobine, svećice, itd)
1.5.	Sistema za hladjenje i podmazivanje motora
1.6.	Izduvni sistem (auspuh, sistem za kontrolu izduvnih gasova)
2.	Prenosnici snage:
2.1.	Glavna spojnica
2.2.	Menjač
2.3.	Glavni prenosnik (Kardansko vratilo)
2.4.	Diferencijal
2.5.	Pogonski most (točkovi, vratila točkova, pneumatici)
3.	Sistem za upravljanje
3.1.	Servo sistem upravljača
3.2.	Glavna spona
3.3.	Ostali mehanički kvarovi
4.	Sistem za oslanjanje
4.1.	Amortizer
4.2.	Vazdušni jastuk
4.3.	Balans štangla
4.4.	Ventil ogibljenja
4.5.	Gibanj
4.6.	Crevo ogibljenja
4.7.	Dihtung šipke ogibljenja
4.8.	ostali mehanicki kvarovi
5.	Sistem za kočenje i pneumatski sistem
5.1.	Kočnice
5.2.	Sistem za vazduh
5.2.1.	Kompresor
5.2.2.	Kočni cilindar
5.2.3.	Četvorokružni ventil
5.2.4.	Ostali mehanički kvarovi pneumatske instalacije
6.	Sistem vrata
7.	Klima uređaj i ventilacija
7.1.	Pasivni sistem (webasto grejač)

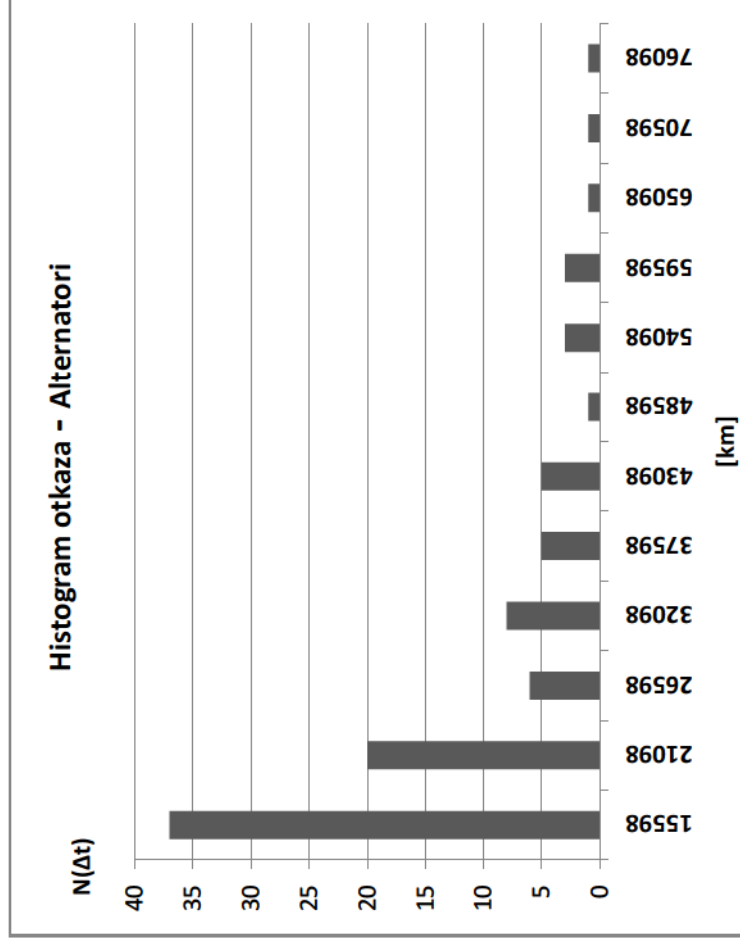
8. Šasija i karoserija
9. Pomoćni sistemi
9.1. Brzinomer (tahograf)
9.2. Spoljna svetla
9.3. Brisači
9.4. Lampice na kontrolnoj tabli
9.5. Sirena
9.6. Spoljna stakla
9.7. Retrovizor
9.8. Informacioni sistem (antene, radio, TV uređaji, ozvučenje)
10. Enterijer
10.1. Sedišta
10.2. Unutrasnja svetla
10.3. Patos
10.4. Kasa samouplate
10.5. Ostalo
11. Eksterijer
11.1. Branik, blatobran, prednja maska
11.2. Registarske tablice

Tabela P2. Dozvoljene vrednosti odstupanja u zavisnosti od veličine uzorka i nivoa poverenja prema statističkom testu Kolmogorov-Smirnova

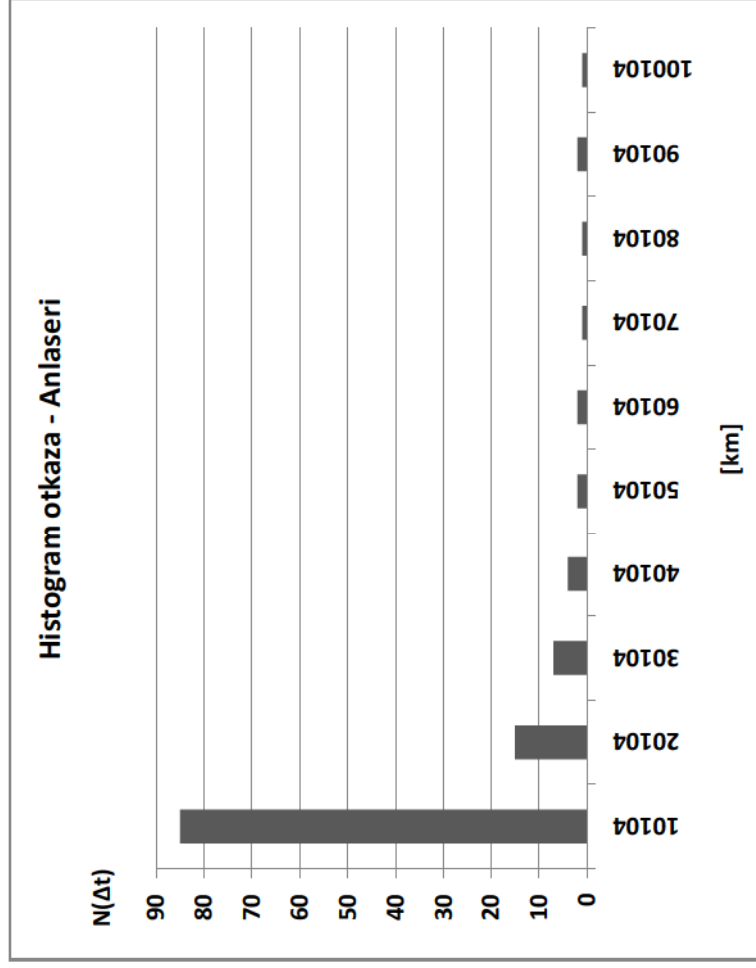
Uzorak n	Nivo poverenja				
	0,20	0,15	0,10	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,210	0,230	0,270
> 35	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$



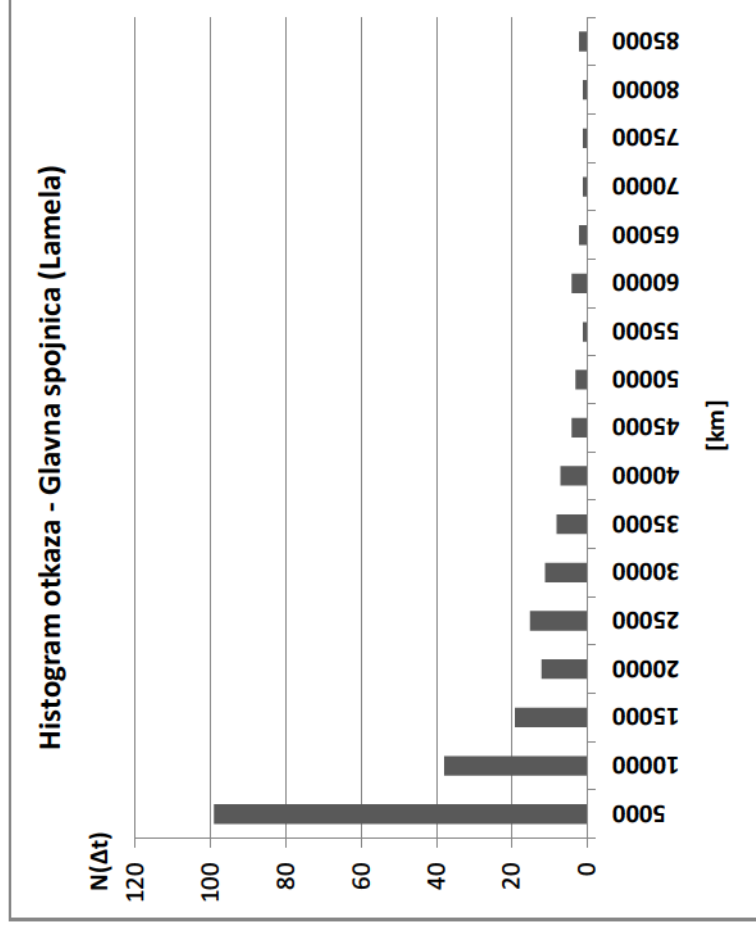
Slika P5. Histogram otkaza akumulatora



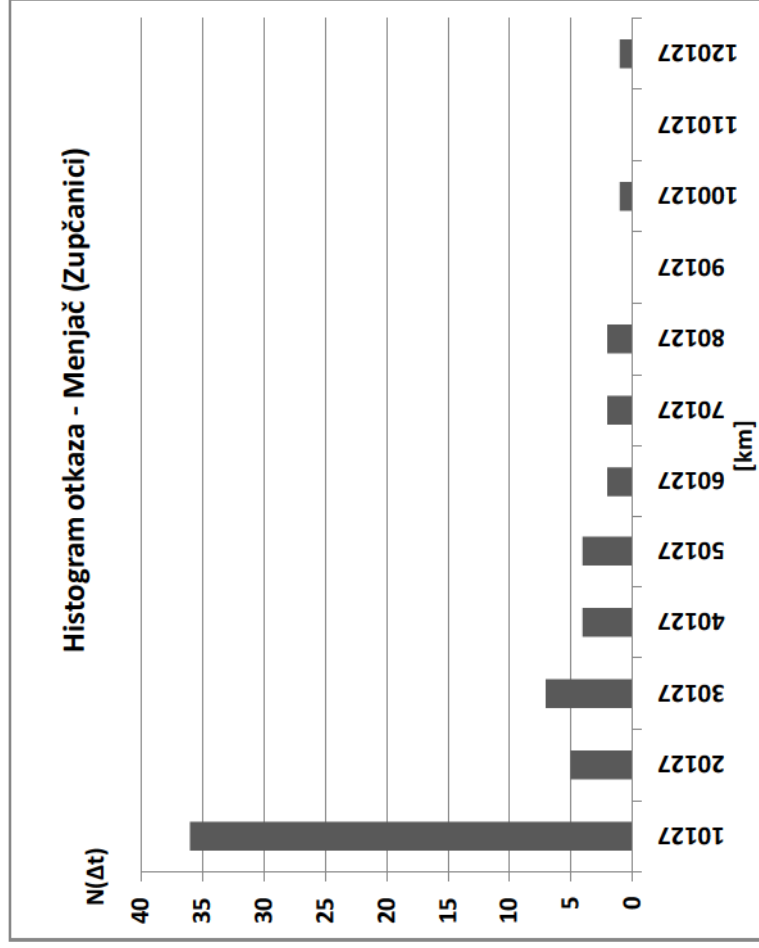
Slika P6. Histogram otkaza alternatora



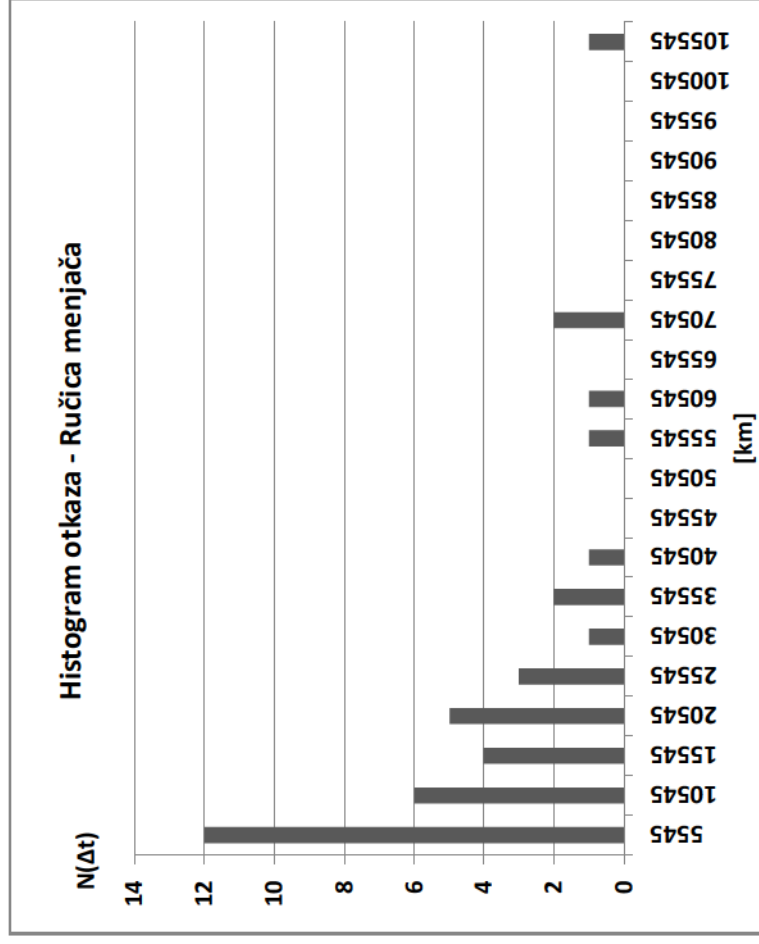
Slika P7. Histogram otkaza anlasera (elektropokretač motora)



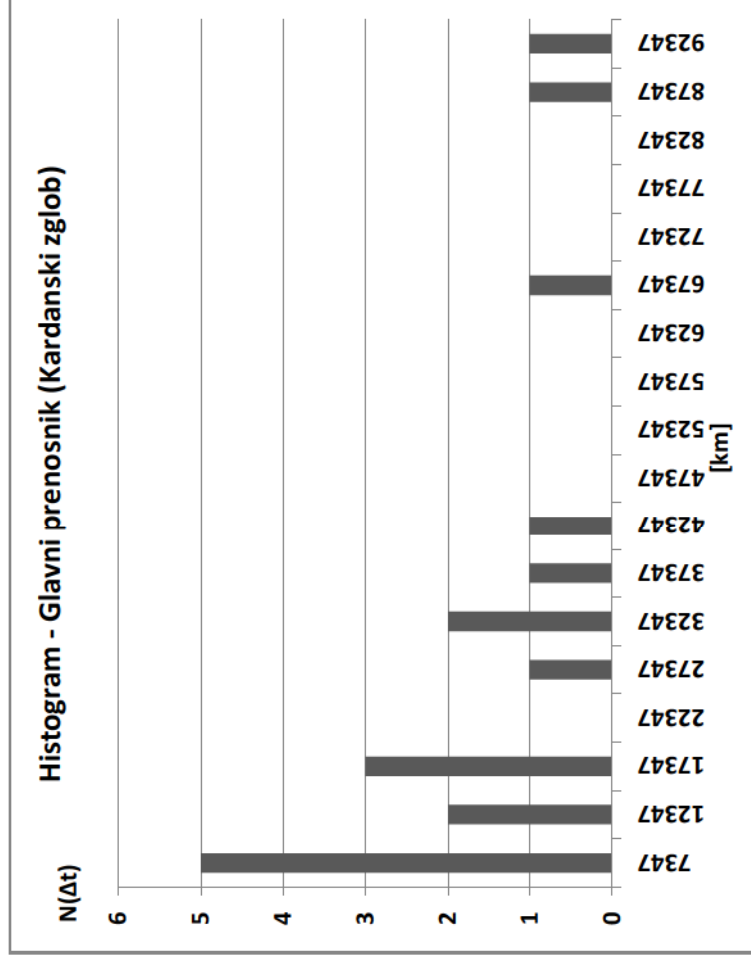
Slika P8. Histogram otkaza lamele glavne spojnice



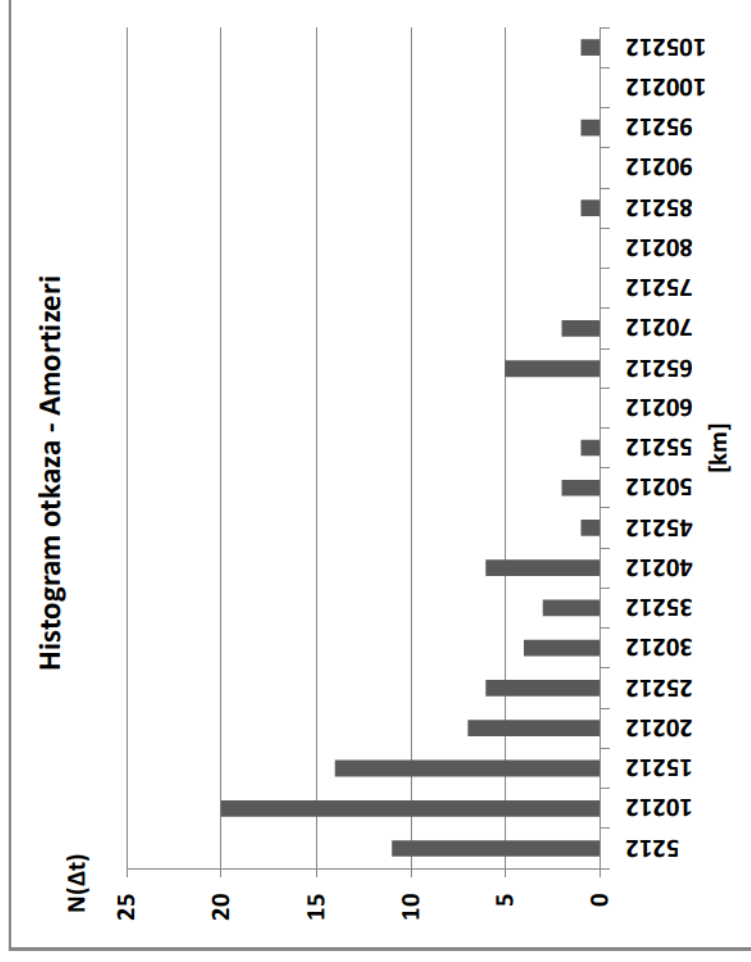
Slika P9. Histogram otkaza zupčanika menjačkog prenosnika



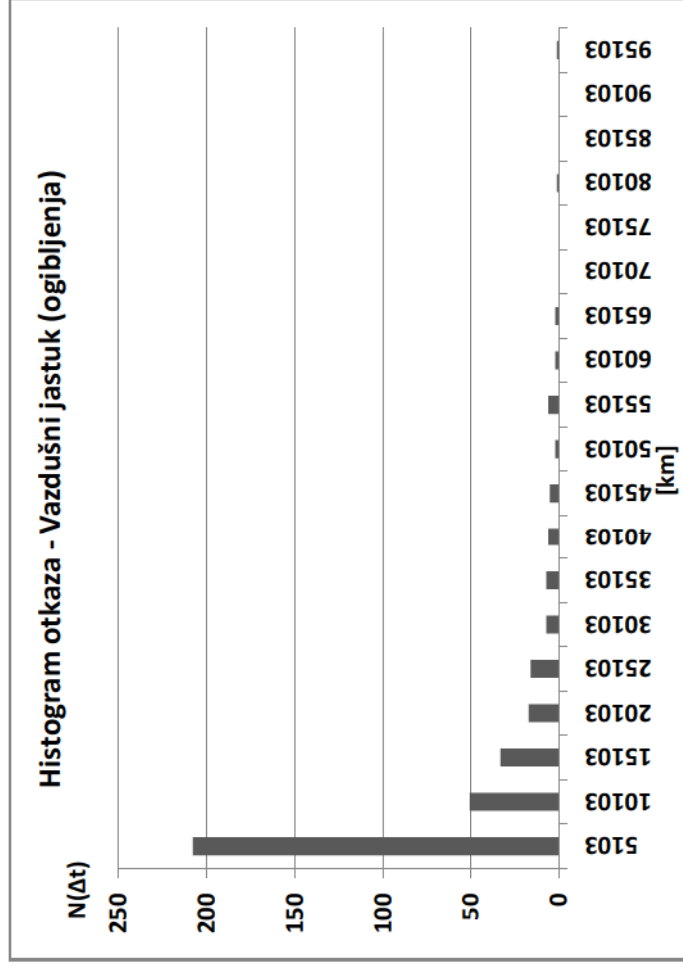
Slika P10. Histogram otkaza ručice menjačkog prenosnika



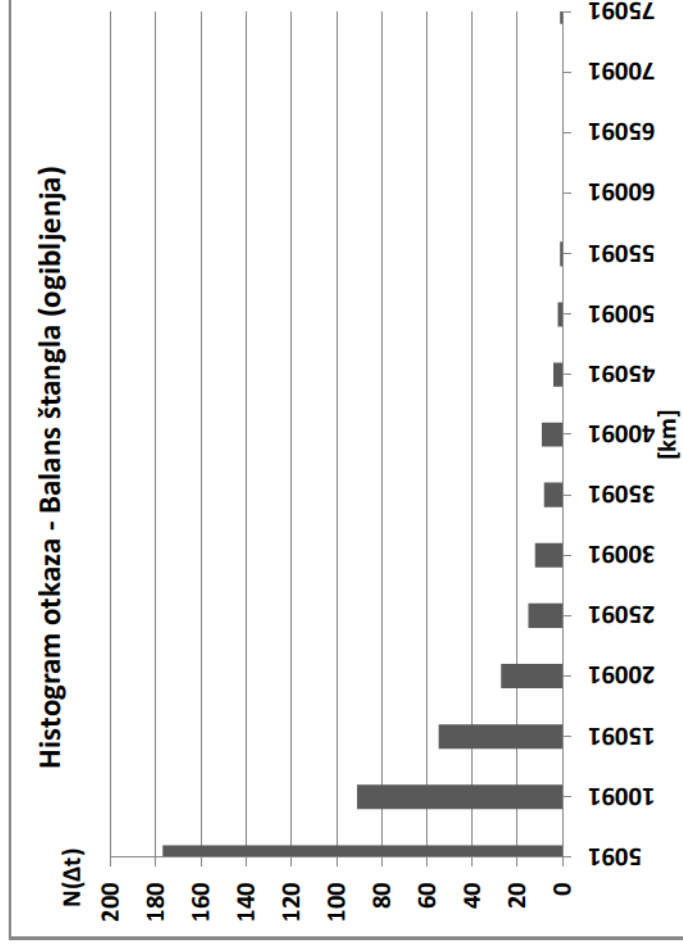
Slika P11. Histogram otkaza glavnog prenosnika (kardanski zglob)



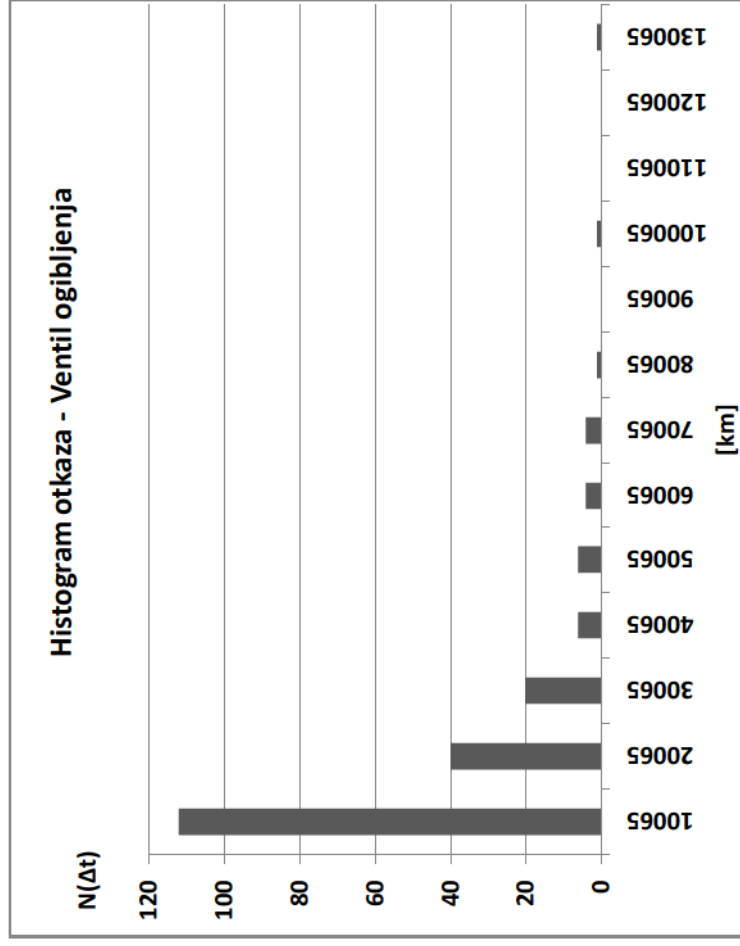
Slika P12. Histogram otkaza amortizera



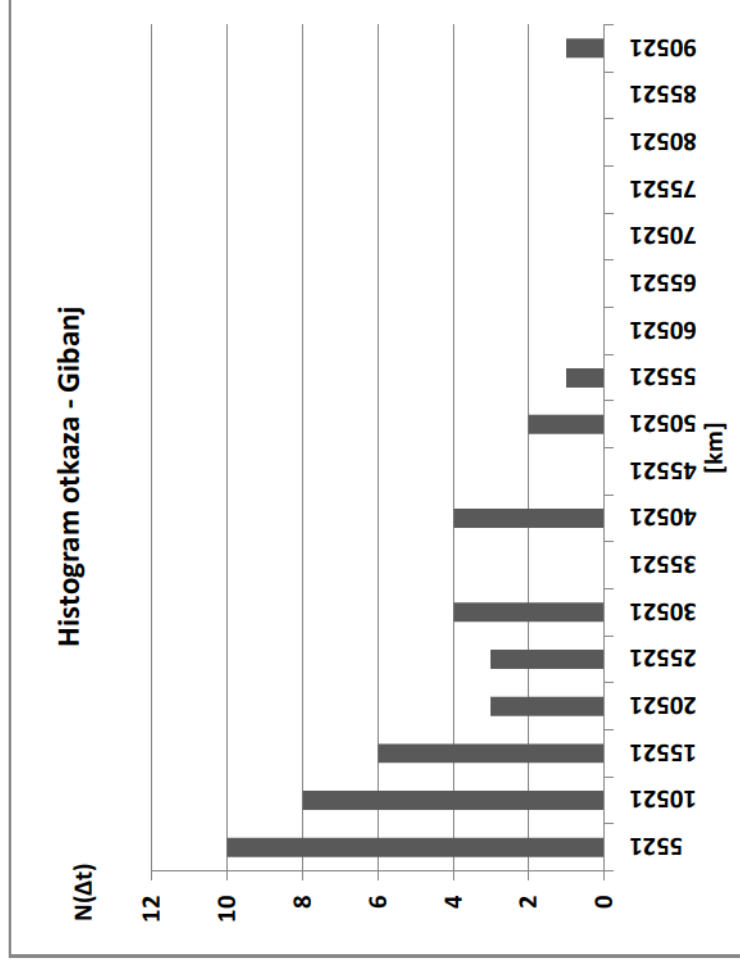
Slika P13. Histogram otkaza vazdušnog jastuka (ogibljenja)



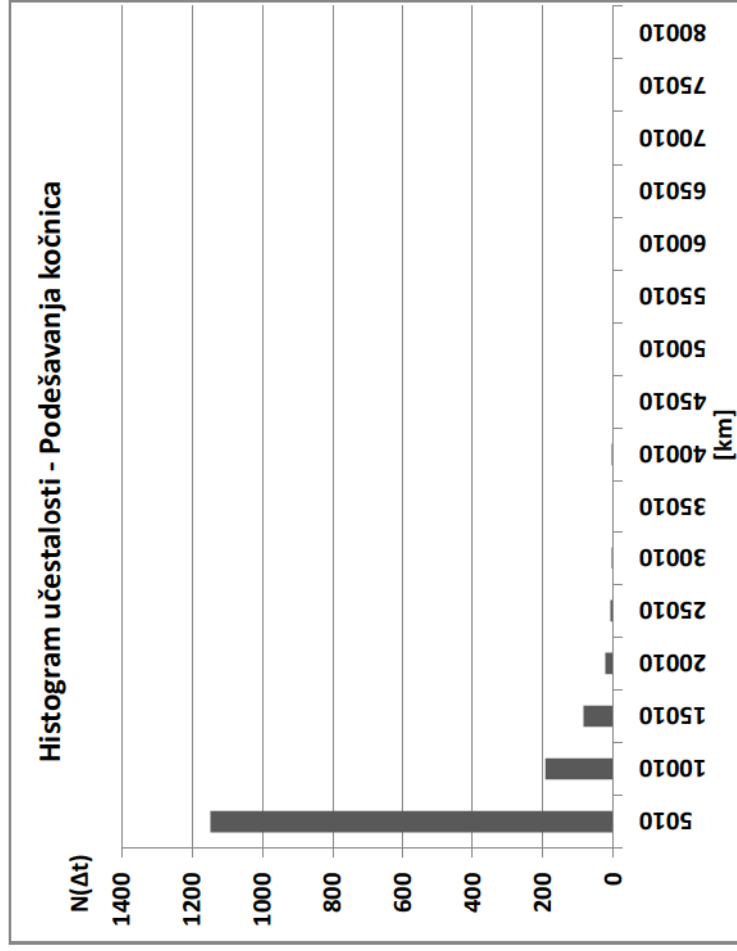
Slika P14. Histogram otkaza balans štangle (ogibljenja)



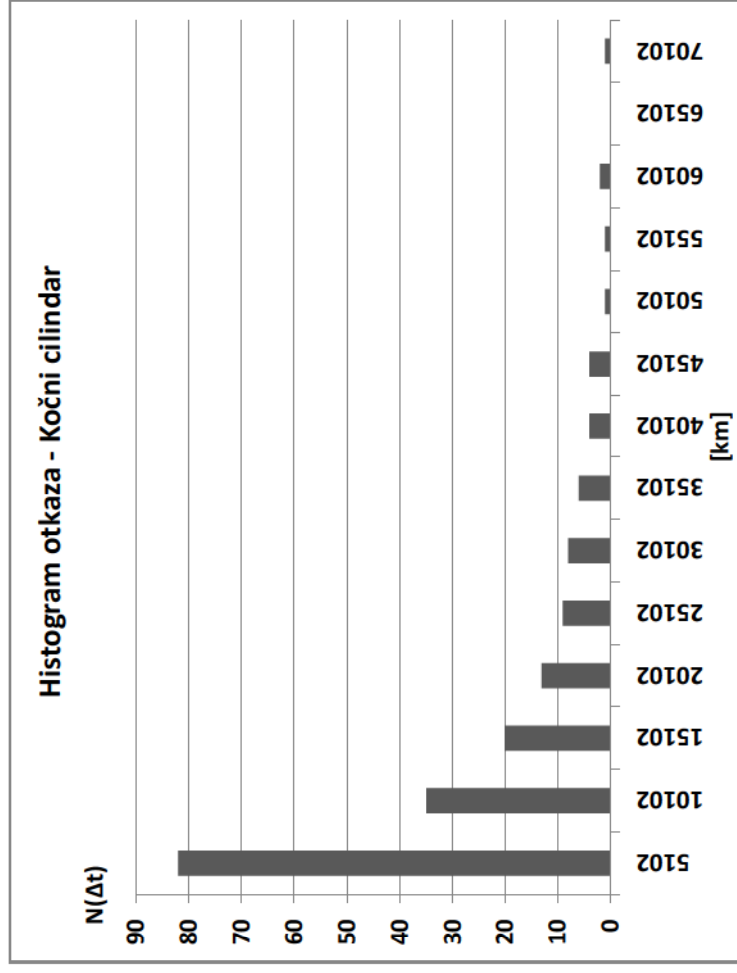
Slika P15. Histogram otkaza ventila ogibljenja



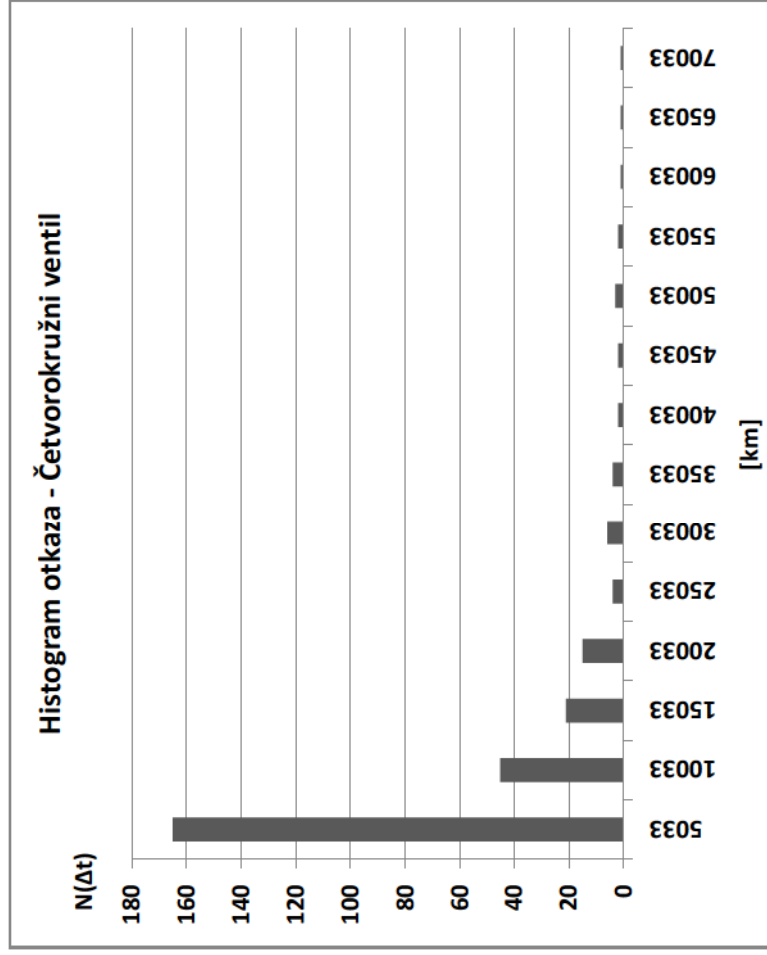
Slika P16. Histogram otkaza gibanja



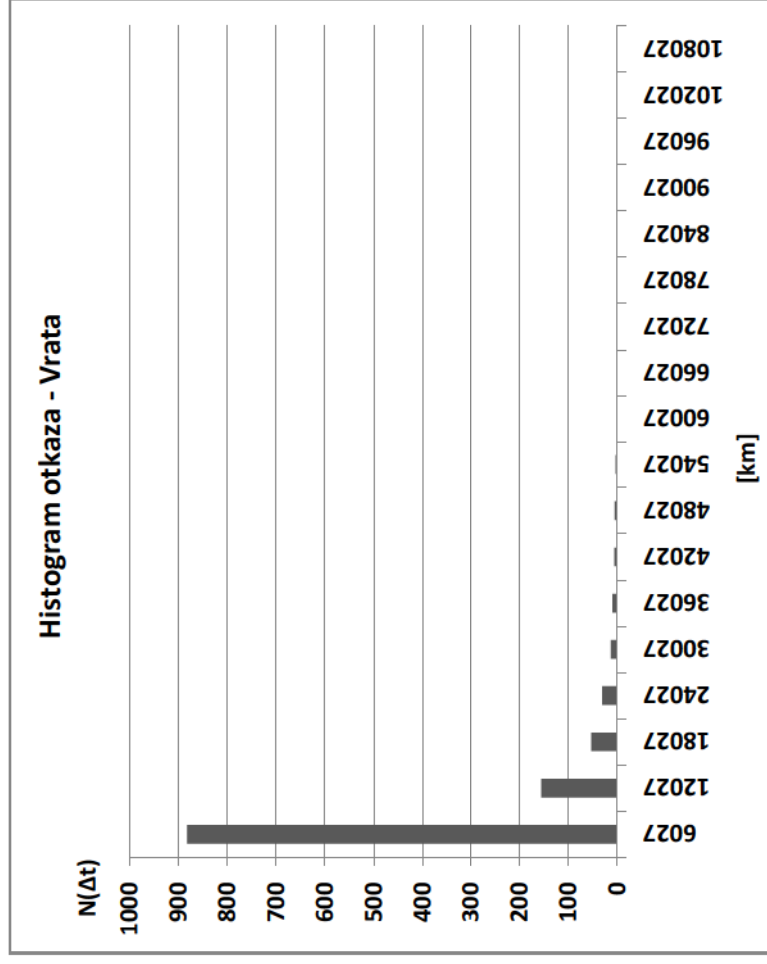
Slika P17. Histogram učestalosti štelovanja kočnica



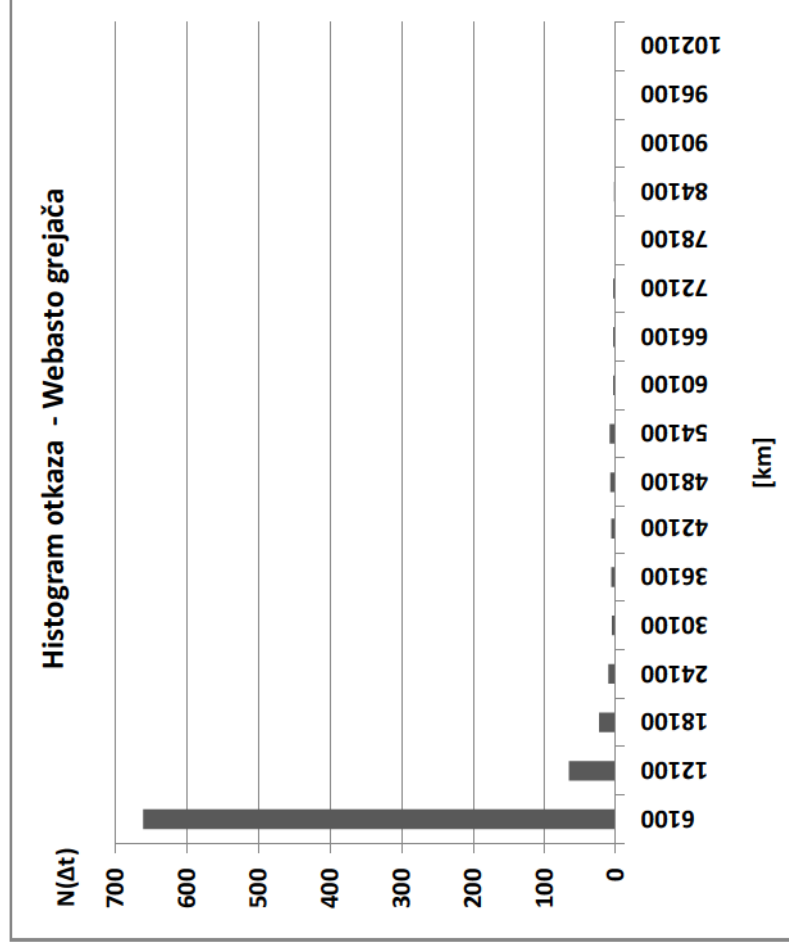
Slika P18. Histogram otkaza kočnog cilindra



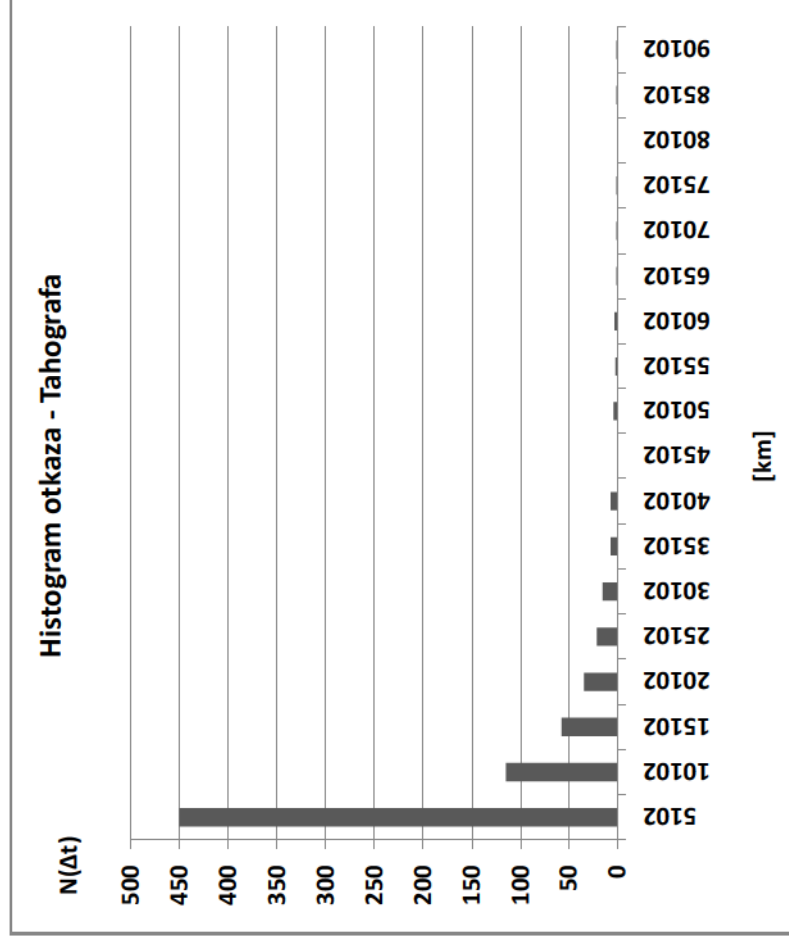
Slika P19. Histogram otkaza četvorokružnog ventila



Slika P20. Histogram otkaza vrata



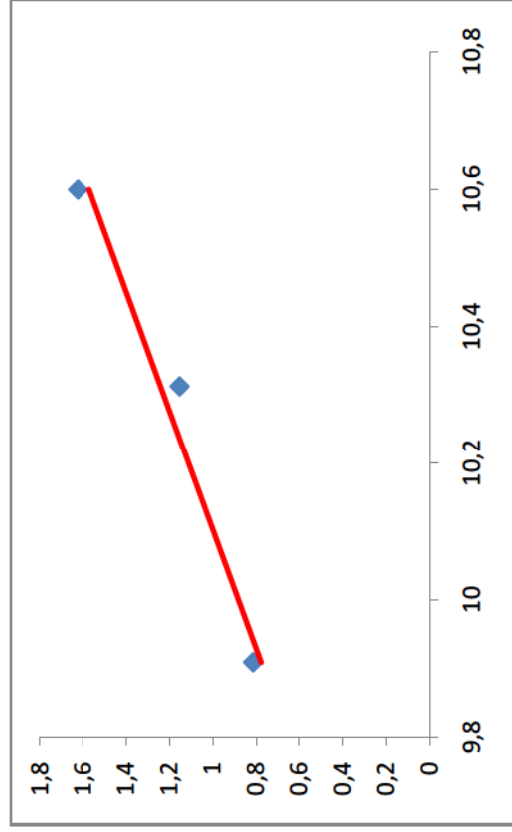
Slika P21. Histogram otkaza webasto grejača



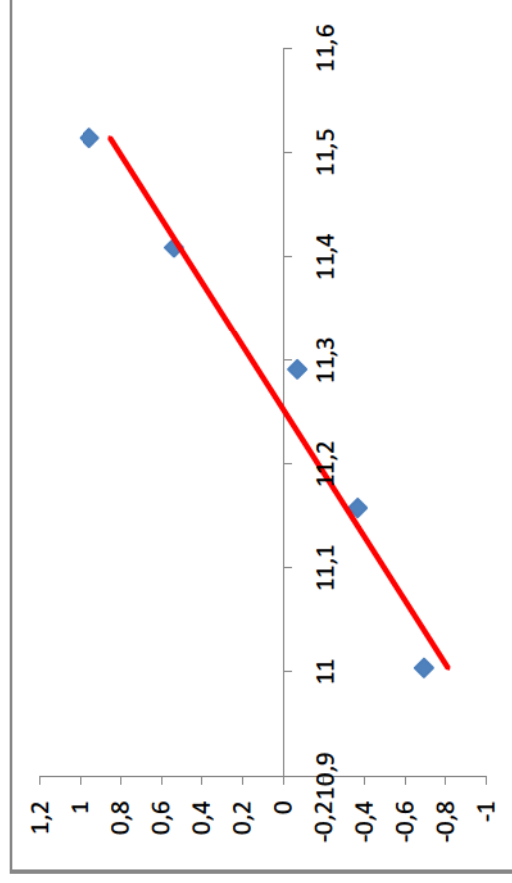
Slika P22. Histogram otkaza tahografa

Slika P.23. Određivanje Weibull-ovih parametara raspodele za anlasere metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza				Metoda najmanjih kvadrata						
			MR(t)	$Y = \ln(\ln(1/(1-F)))$	$X = \ln(RANG)$	β	η	xx	xy	a	b	β	η
Rani otkazi	85	85	0,76032316	0,356599575	9,220686664	1,152394516	10255,419	85,02106256	3,288092942	0,8771032	-7,79383985	0,8771032	7229,22368
	15	100	0,89497307	0,812501641	9,908674079			98,18182201	8,050813951				
	7	107	0,957809695	1,152331497	10,31241333			106,3458687	11,8833187				
	4	111	0,993716338	1,623301817	10,59923136			112,3437054	17,20575153				
	2	2	0,180851064	-1,611994375	10,82185612			117,11257	-17,4447712				
	2	4	0,393617021	-0,69266027	11,00383167			121,0843115	-7,621917021				
	1	5	0,5	-0,366512921	11,15773513			124,4950533	-4,089454091				
	1	6	0,606382979	-0,070018179	11,29108107	3,25789305	77069,5327	127,4885117	-0,790580941	3,49314316	-39,3299234	3,49314316	77588,832
	2	8	0,819148696	0,536540994	11,40871984			130,1588883	6,121245883				
Slučajni otkazi	1	9	0,925531915	0,954505028	11,51396492			132,5713883	10,99013742				



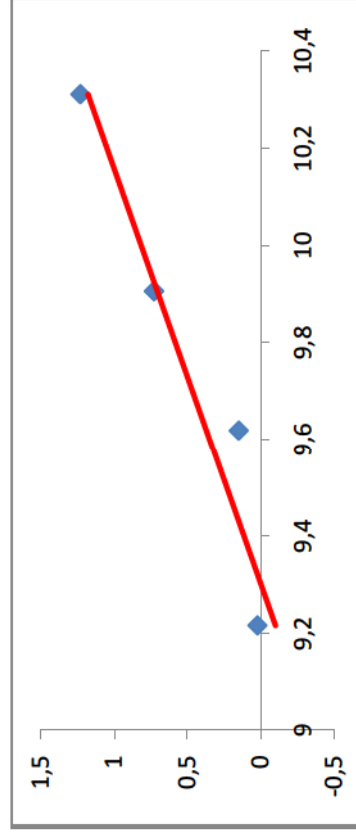
Rani otkazi



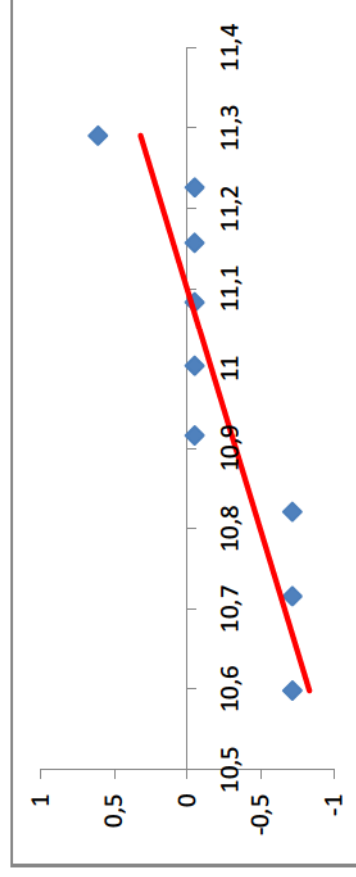
Slučajni otkazi

Slika P 24. Određivanje Weibull-ovih parametara raspodele za akumulatore metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N (t)	Regresiona analiza			Metoda najmanjih kvadrata													
			MR (t)	$Y = \ln(\ln(1/(1-F)))$	$X = \ln(RANG)$	β	η	xx	xy	a	b	β	η						
Rani otkazi	5047	9	0,40654206	-0,650492124	8,526549286	0,679410977	10953,1205	72,7020427	-5,54645316	1,03218888	-9,52119172	1,032188877	10140,29875						
	10047	5	0,64018692	0,021928399	9,215029361														
	15047	1	0,68691589	0,149525769	9,618933915														
	20047	4	0,87383178	0,727615827	9,905834796														
	20047	0	0,87383178	0,727615827	9,905834796														
	30047	2	0,96728972	1,22965981	10,3105181														
	35047	1	0,15909091	-1,752894273	10,4644453														
	40047	1	0,38636364	-0,716717249	10,59780904														
	45047	0	0,38636364	-0,716717249	10,71546167														
	50047	0	0,38636364	-0,716717249	10,82071784														
Slučajni otkazi	55047	1	0,61363636	-0,050266149	10,91594264	1,66420465	66068,47564	119,157804	-0,54870239	2,13727076	-23,7092145	2,137270763	65724,02903						
	60047	0	0,61363636	-0,050266149	11,00288287														
	65047	0	0,61363636	-0,050266149	11,08286536														
	70047	0	0,61363636	-0,050266149	11,15692172														
	75047	0	0,61363636	-0,050266149	11,22586986														
	80047	1	0,84090909	0,608830072	11,29036924														
								121,063431	-0,55307254										
								117,087935	-7,75539513										
								114,821119	-7,67995621										
								112,313557	-7,59563255										
					109,504615	-18,3430662													
					106,306784	12,6784297													
					98,125563	7,20764217													
					98,125563	7,20764217													
					92,5238897	1,43827849													
					84,9167661	0,20207084													
					72,7020427	-5,54645316													



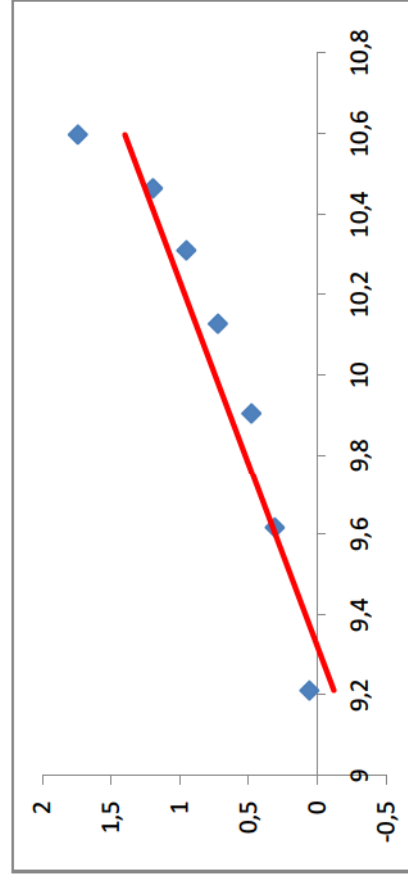
Rani otkazi



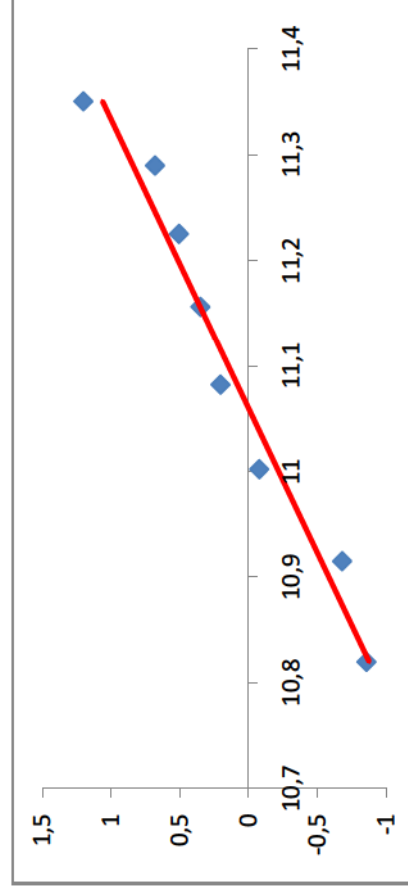
Slučajni otkaz

Slika P 25. Određivanje Weibull-ovih parametara raspodele za lamele spojnice metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza			Metoda najmanjih kvadrata										
			MR(t)	$Y = \ln(\ln(1/(1-F)))$	$X = \ln(\text{RANG})$	β	η	xx	xy	a	b	β	η			
5010	99	99	0,4713467	-0,450322643	8,519191194			72,5766186	-3,83638469							
10010	38	137	0,65281757	0,056290456	9,211339872			84,8487822	0,51851052							
15010	19	156	0,74355301	0,30809723	9,616471925			92,4765323	2,96280837							
20010	12	168	0,8008596	0,47855767	9,903987428			98,088967	4,73962915							
25010	15	183	0,87249284	0,722503406	10,12703102		1,09545593	102,556757	7,3168144	0,93130981						9624,02022
30010	11	194	0,92502388	0,951883945	10,30928594			106,281377	9,81324377							
35010	8	202	0,96322827	1,194839009	10,46338901			109,48251	12,5020654							
40010	7	209	0,99665712	1,740627783	10,5968847			112,293965	18,4452319							
45010	4	4	0,19072165	-1,552999198	10,71463997			114,80351	-16,6398273							
50010	3	7	0,34536082	-0,858797897	10,81997826			117,07193	-9,29217458							
55010	1	8	0,39690722	-0,681842867	10,91527027			119,143125	-7,44249917							
60010	4	12	0,60309278	-0,078986134	11,00226649			121,049868	-0,8690265							
65010	2	14	0,70618557	0,202783192	11,08229638		3,65295185	122,817293	2,24730343	3,92173819						64121,9998
70010	1	15	0,75773196	0,349043287	11,15639337			124,465113	3,89406421							
75010	1	16	0,80927835	0,504972676	11,22537672			126,009082	5,66850853							
80010	1	17	0,86082474	0,679059054	11,28990691			127,461998	7,6665135							
85010	2	19	0,96391753	1,200551361	11,35052418			128,834999	13,6268872							



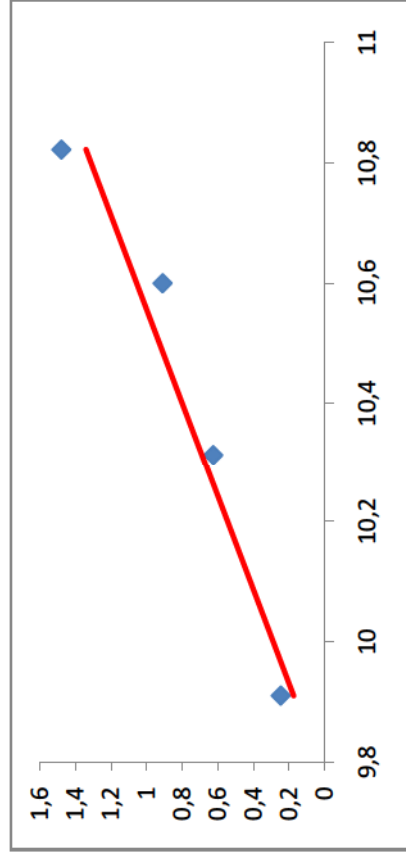
Rani otkazi



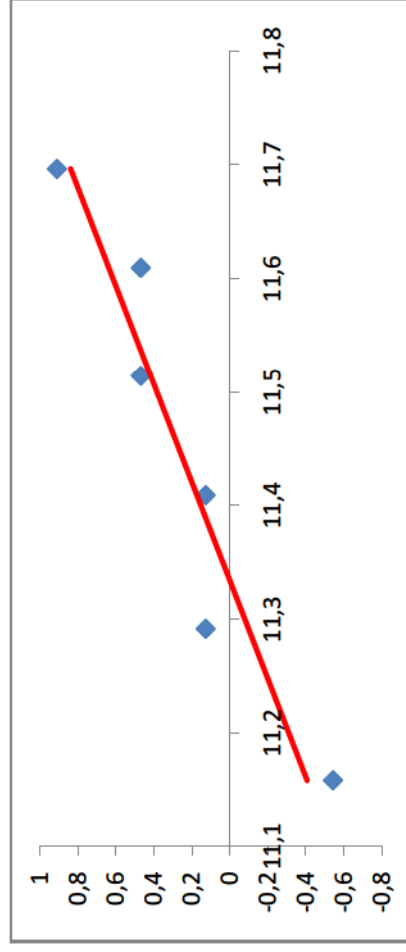
Slučajni otkazi

Slika P26. Određivanje Weibull-ovih parametara raspodele za zupčanike menjačkog prenosioka metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza				Metoda najmanjih kvadrata								
			MIR(t)	$Y = \ln(\ln(1/(1-F)))$	$X = \ln(RANG)$	β	η	xx	xy	a	b	β	η		
Rani otkazi	10127	36	0,63297872	0,002332735	9,222960403		85,0629986	0,02151473							
	20127	5	0,72163121	0,245928743	9,909817476		98,2044824	2,43710895							
	30127	7	0,84574468	0,625481713	10,31317706	1,277753633	106,361621	6,45070365	0,85731964	-8,06941742	0,85731964	12238,9531			
	40127	4	0,91666667	0,910235093	10,5998047		112,35586	9,64831422							
	50127	4	0,98758865	1,479134243	10,82231506		117,122503	16,0076568							
Slučajni otkazi	60127	2	0,20238095	-1,486670964	11,00421427		121,092732	-16,3596458							
	70127	2	0,44047619	-0,543574052	11,15806316		124,502374	-6,06523361							
	80127	2	0,67857143	0,12661497	11,29136815		127,494995	1,42965625							
	90127	0	0,67857143	0,12661497	11,40897507	2,314617374	130,164712	1,44454704	3,05536352	-34,7698291	3,05536352	87547,0818			
	100127	1	0,79761905	0,468504666	11,51419466		132,576679	5,39445392							
	110127	0	0,79761905	0,468504666	11,60938952		134,777925	5,43905316							
		0	0,91666667	0,910235093	11,6963048		136,803546	10,6463871							
	120127	1													



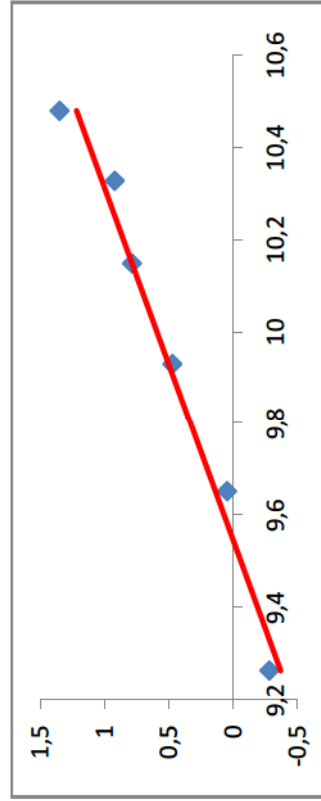
Rani otkazi



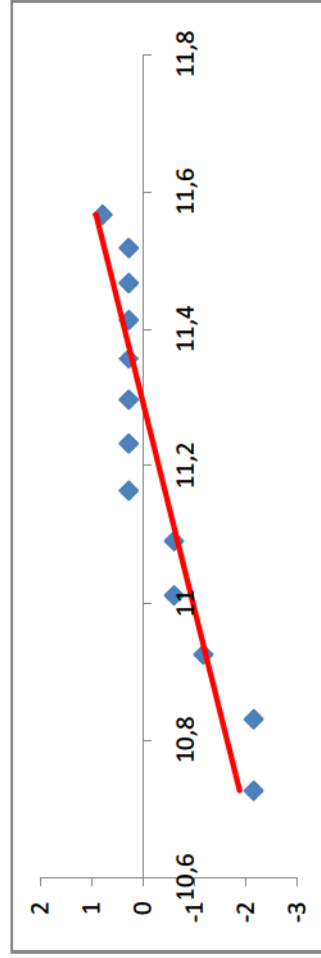
Slučajni otkazi

Slika P 27. Određivanje Weibull-ovih parametara raspodele za ručice menjačkog prenosnika metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza		Metoda najmanjih kvadrata											
			MR (t)	$Y=L_n(L_n(1/(1-F)))$	$X=L_n(RANG)$	β	η	xx	xy	a	b	β	η			
Rani otkazi	12	12	0,3502994	-0,84108206	8,6206519			74,3156392	-7,25067566							
	6	18	0,52994012	-0,281176364	9,263407093			85,810711	-2,60465112							
	4	22	0,6497006	0,047805926	9,651494322			93,1513427	0,46139862							
	5	27	0,7994012	0,474025763	9,930372881		1,3074196	98,6123056	4,70725258	1,14244776	-10,81476	1,1424478	12917,067			
	3	30	0,88922156	0,788558755	10,14819688			102,9859	8,0024495							
	1	31	0,91916168	0,922393721	10,32695629			106,646026	9,52551964							
	2	33	0,97904192	1,352021407	10,47855478			109,80011	14,1672304							
	1	1	0,109375	-2,155616006	10,61016775			112,57566	-22,8714474							
	0	1	0,109375	-2,155616006	10,72645613			115,056861	-23,1221205							
	0	1	0,109375	-2,155616006	10,83061931			117,302315	-23,3466563							
	1	2	0,265625	-1,175270415	10,92494878			119,354506	-12,8397691							
	1	3	0,421875	-0,601543551	11,01114217			121,245252	-6,62368156							
	0	3	0,421875	-0,601543551	11,09049221			122,999017	-6,67141407							
	2	5	0,734375	0,281917795	11,16400608		3,32852798	124,635032	3,14733198	3,27850692	-37,01519	3,2785069	80038,123			
	0	5	0,734375	0,281917795	11,23248378			126,168692	3,16663706							
	0	5	0,734375	0,281917795	11,29657131			127,612523	3,18470448							
	0	5	0,734375	0,281917795	11,35679783			128,976857	3,20168341							
	0	5	0,734375	0,281917795	11,41360224			130,270316	3,21769758							
	0	5	0,734375	0,281917795	11,46735262			131,500176	3,23285077							
	0	5	0,734375	0,281917795	11,51836067			132,672632	3,24723085							
	1	6	0,890625	0,794336831	11,56689268			133,793006	9,18800887							



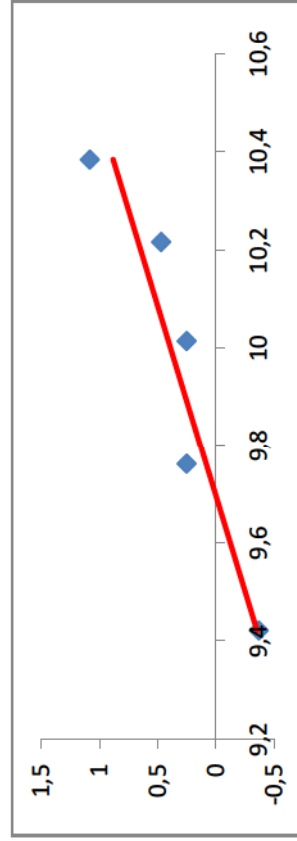
Rani otkazi



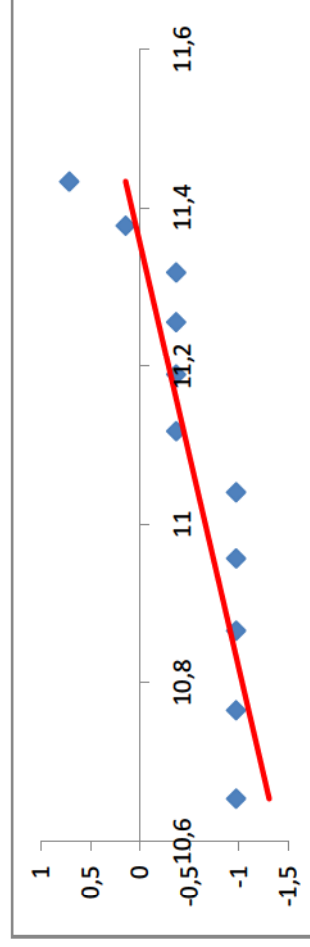
Slučajni otkazi

Slika P 28. Određivanje Weibull-ovih parametara raspodele za glavne prenosnike metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza				Metoda najmanjih kvadrata										
			MR(t)	$Y = \ln(\ln(1/(1-F)))$	$X = \ln(RANG)$	β	η	xx	xy	a	b	β	η				
Rani otkazi	7347	5	0,35074627	-0,839487848	8,902047346			79,2464469	-7,47316057								
	12347	2	0,5	-0,366512921	9,421168398			88,758414	-3,45297994								
	17347	3	0,7238806	0,25253233	9,76117486			95,2805346	2,46228792								
	22347	0	0,7238806	0,25253233	10,01444736		1,282502407	100,289156	2,52617673	1,17845484	-11,3870772	1,17845484	15720,4596				
	27347	1	0,79850746	0,47125468	10,21636211			104,374055	4,81450846								
	32347	2	0,94776119	1,082459075	10,38427656			107,8332	11,2405544								
	37347	1	0,12962963	-1,974458694	10,52800787			110,83895	-20,7871167								
	42347	1	0,31481481	-0,972686141	10,65365286			113,500319	-10,3626605								
	47347	0	0,31481481	-0,972686141	10,76525874			115,890796	-10,471218								
	52347	0	0,31481481	-0,972686141	10,86564991			118,062348	-10,5688671								
	57347	0	0,31481481	-0,972686141	10,95687581			120,053128	-10,6576013								
	62347	0	0,31481481	-0,972686141	11,04047083		1,862113556	121,891996	-10,738913	2,09760793	-23,7819118	2,09760793	83921,2694				
	67347	1	0,5	-0,366512921	11,11761364			123,601333	-4,07474904								
72347	0	0,5	-0,366512921	11,18922927			125,198852	-4,1009971									
77347	0	0,5	-0,366512921	11,25605707			126,698821	-4,12549035									
82347	0	0,5	-0,366512921	11,31869731			128,112909	-4,14844881									
87347	1	0,68518519	0,144767396	11,37764397			129,450782	1,64711189									
92347	1	0,87037037	0,714455486	11,4333085			130,720543	8,16858998									



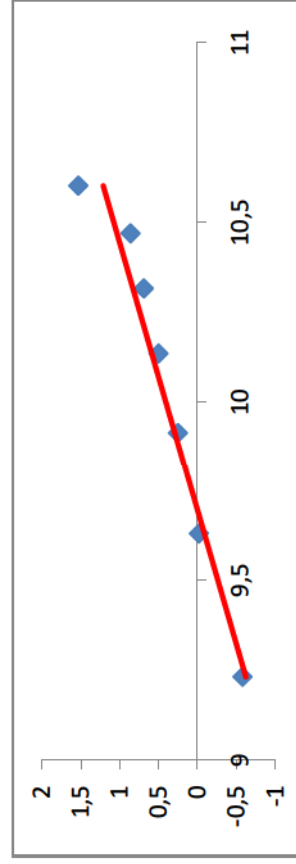
Rani otkazi



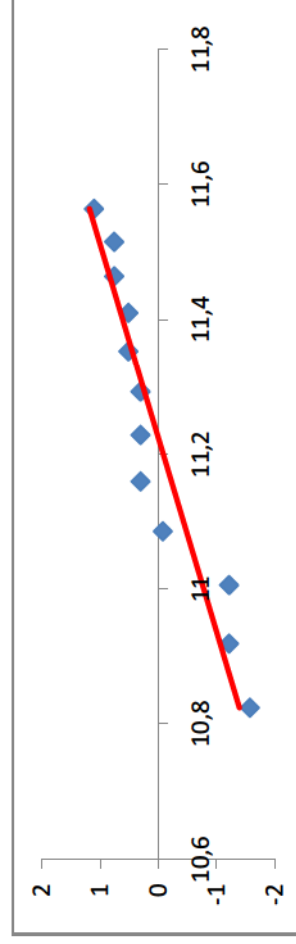
Slučajni otkazi

Slika P. 29. Određivanje Weibull-ovih parametara raspodele za amortizere metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza			Metoda najmanjih kvadrata										
			MR(t)	$Y = \text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-F)))$	$X = \text{Ln}(\text{RANG})$	β	η	xx	xy	a	b	β	η			
5212	11	11	0,14985994	-1,817975088	8,558718938			73,2516699	-15,5595378							
10212	20	31	0,42997199	-0,576129279	9,231318778			85,2172464	-5,31843303							
15212	14	45	0,62605042	-0,016501093	9,629839869			92,7338159	-0,15890289							
20212	7	52	0,72408964	0,252841554	9,914031766			98,2880259	2,5066792	1,45204236				1,452042362	16883,87806	
25212	6	58	0,80812325	0,501321827	10,13507535			102,719752	5,08093449							
30212	4	62	0,86414566	0,691231338	10,31599448			106,419742	7,13073867							
35212	3	65	0,90816246	0,861281212	10,46914221			109,602939	9,01687549							
40212	6	71	0,99019608	1,531470493	10,60192074			112,400723	16,2365288							
45212	1	1	0,04861111	-2,999090431	10,71911782			114,899487	-32,1476037							
50212	2	3	0,1875	-1,571952527	10,82400932			117,159178	-17,0148288							
55212	1	4	0,25694444	-1,214075448	10,9189356			119,223155	-13,2564116							
60212	0	4	0,25694444	-1,214075448	11,00562695			121,123824	-13,3616615							
65212	5	9	0,60416667	-0,076058454	11,08539878			122,886066	-0,8431383							
70212	2	11	0,74305556	0,306672154	11,15927452			124,529408	3,42223876							
75212	0	11	0,74305556	0,306672154	11,22806607			126,069468	3,44333521							
80212	0	11	0,74305556	0,306672154	11,29242841			127,518939	3,46307335							
85212	1	12	0,8125	0,515201894	11,35289755			128,888283	5,84903432							
90212	0	12	0,8125	0,515201894	11,40991773			130,186223	5,87841123							
95212	1	13	0,88194444	0,75921576	11,46386126			131,420115	8,70354414							
100212	0	13	0,88194444	0,75921576	11,51504322			132,59622	8,74240229							
105212	1	14	0,95138889	1,106548431	11,56373264			133,719913	12,7958302							
Slučajni otkazi									74829,77644					4,15119378	4,151193777	76235,13631



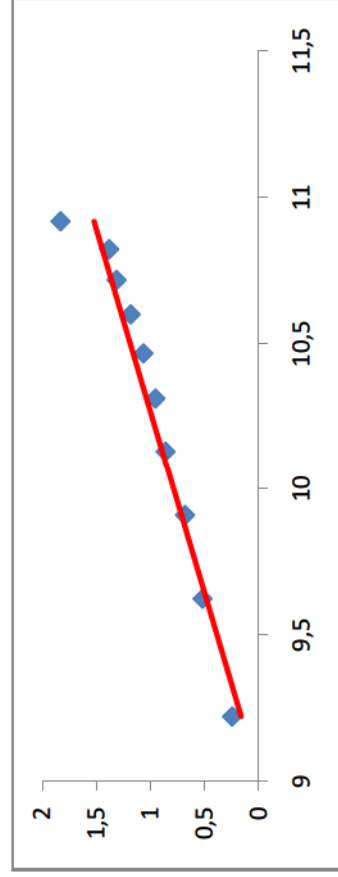
Rani otkazi



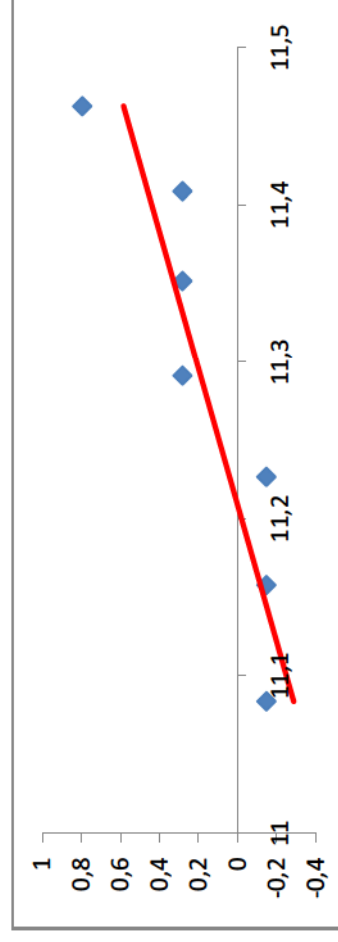
Slučajni otkazi

Slika P. 30. Određivanje Weibull-ovih parametara raspodele za vazdušne jastuke (ogibljena) metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza				Metoda najmanjih kvadrata									
			MR(t)	$Y = \ln(\ln(1/(1-F)))$	$X = \ln(RANG)$	β	η	xx	xy	a	b	β	η			
Rani otkazi	5103	208	0,57952009	-0,143456397	8,537583881			72,8903385	-1,22477102							
	10103	51	0,7218192	0,246456875	9,220587688			85,0192373	2,27247723							
	15103	33	0,81389509	0,519653381	9,622648679			92,5953676	5,00044192							
	20103	17	0,86132813	0,6808948	9,908624337			98,1808362	6,74673078							
	25103	16	0,90597098	0,860419329	10,13074264			102,631946	8,71668679							
	30103	7	0,92550223	0,954351586	10,31238011		8253,090845	106,345184	9,84163632	0,73119836					0,73119836	7216,53214
	35103	7	0,94503348	1,065066207	10,46604188			109,538033	11,1470275							
	40103	6	0,96177455	1,183031206	10,59920642			112,343177	12,539192							
	45103	5	0,97572545	1,313273743	10,71670404			114,847746	14,073966							
	50103	2	0,9813058	1,381166776	10,82183617			117,112138	14,9467606							
	55103	6	0,99804688	1,830711657	10,91695944			119,180003	19,9858049							
	60103	2	0,265625	-1,175270415	11,00381504			121,083945	-12,9324583							
	65103	2	0,578125	-0,147287035	11,08372591			122,84898	-1,63248913							
	70103	0	0,578125	-0,147287035	11,15772087			124,494735	-1,64338762							
	75103	0	0,578125	-0,147287035	11,22661578			126,036902	-1,65353495							
80103	1	0,734375	0,281917795	11,29106859		2,294317711	127,48823	3,18315316	3,25377195					3,25377195	76677,7253	
85103	0	0,734375	0,281917795	11,35161757			128,859221	3,200223								
90103	0	0,734375	0,281917795	11,40870874			130,158635	3,21631802								
95103	1	0,890625	0,794336831	11,46271579			131,393853	9,10525733								



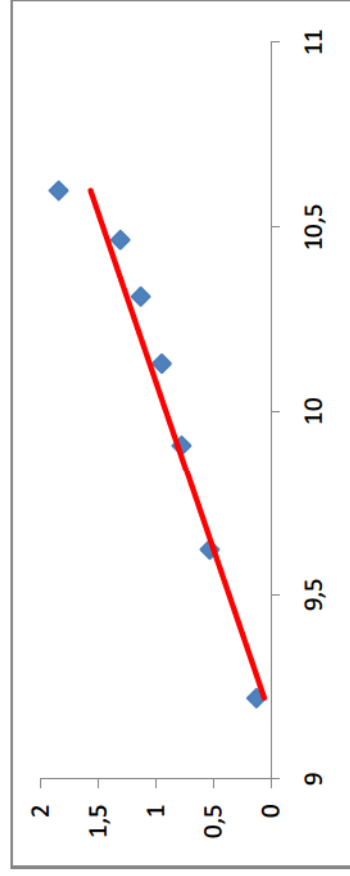
Rani otkazi



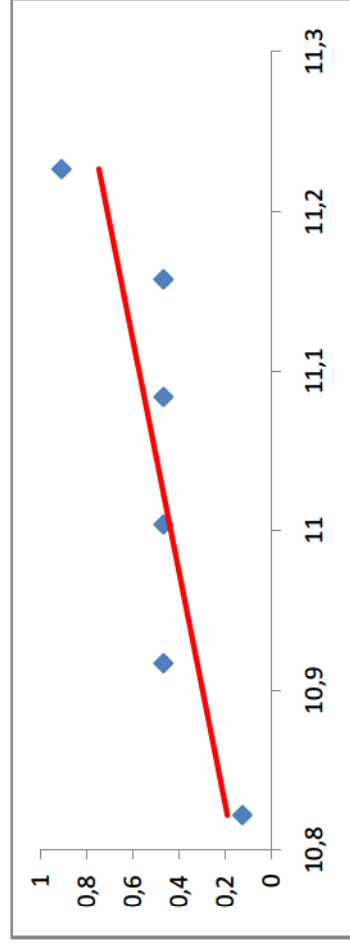
Slučajni otkazi

Slika P 31. Određivanje Weibull-ovih parametara raspodele za balans štangle (ogibljenja) metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza				Metoda najmanjih kvadrata									
			MR(t)	$Y = \text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-F)))$	$X = \text{Ln}(\text{RANG})$	β	η	xx	xy	a	b	β	η			
5091	177	177	0,44802231	-0,52045912	8,535229554		72,8501435	-4,44223806								
10091	91	268	0,67875254	0,127111422	9,219399216		84,9973219	1,17189095								
15091	55	323	0,81820487	0,533491721	9,621853819		92,5800709	5,13317935								
20091	27	350	0,88666329	0,778127886	9,908027233		98,1690036	7,70971228	1,02900456							
25091	15	365	0,92469574	0,9501968	10,1302645		102,622259	9,62574491	-9,36498612	1,02900456						8964,38873
30091	12	377	0,9551217	1,132627484	10,3119814		106,33696	11,6796336								
35091	8	385	0,97540568	1,309747963	10,46569997		109,530876	13,7074292								
40091	9	394	0,99822515	1,845938353	10,59890715		112,336833	19,5649292								
45091	4	4	0,44047619	-0,543574052	10,71643795		114,842042	-5,8251776								
50091	2	6	0,67857143	0,12661497	10,82159663		117,106954	1,37017614								
55091	1	7	0,79761905	0,468504666	10,91674164		119,175248	5,11454439								
60091	0	7	0,79761905	0,468504666	11,00361536		121,079551	5,15524513	2,17571045							
65091	0	7	0,79761905	0,468504666	11,08354157		122,844894	5,19269094	-23,5716106	2,17571045						
70091	0	7	0,79761905	0,468504666	11,15754968		124,490915	5,22736408								
75091	1	8	0,91666667	0,910235093	11,22645599		126,033314	10,2187142								



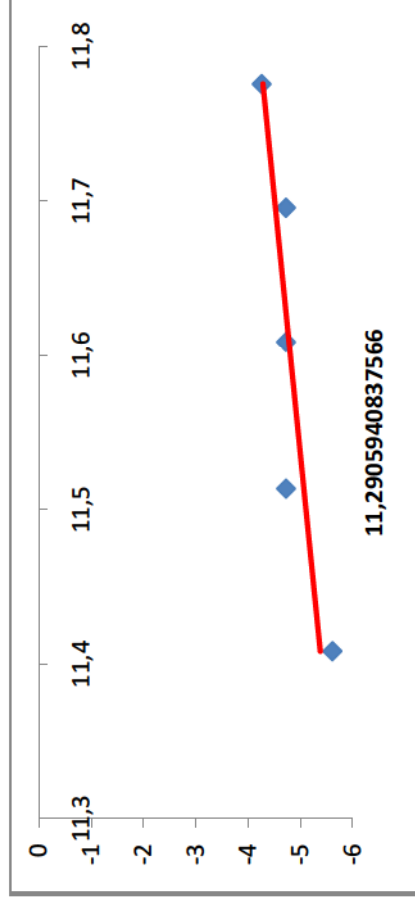
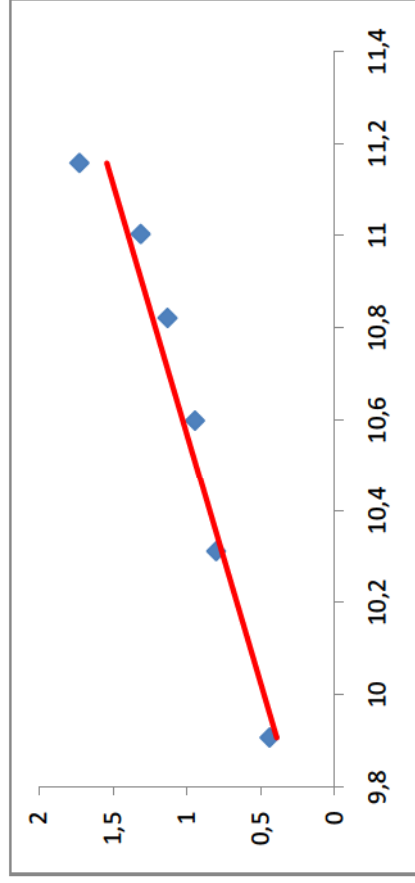
Rani otkazi



Slučajni otkazi

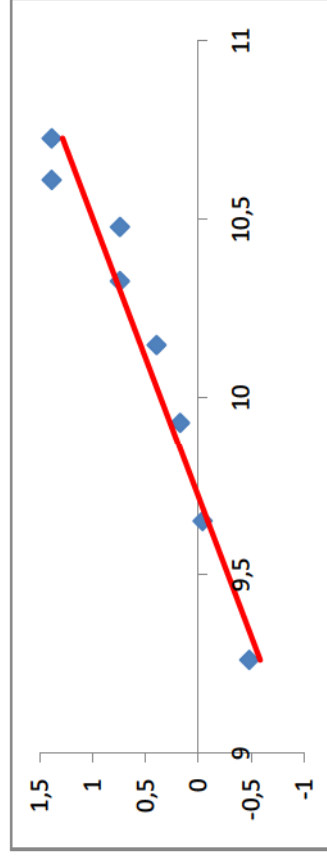
Slika P. 32. Određivanje Weibull-ovih parametara raspodele za ventile ogibljenja metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza			Metoda najmanjih kvadrata							
			MR(t)	$Y = \ln(\ln(1/(1-F)))$	$X = \ln(RANG)$	β	η	xx	xy	a	b	β	η
10065	112	112	0,58056133	-0,140598635	9,216819338	0,919335648	13107,94615	84,9497587	-1,29587222	0,87498444	-8,23897968	0,87498444	12285,1218
20065	40	152	0,78846154	0,440412888	9,906732283								
30065	20	172	0,89241164	0,801751706	10,311111698								
40065	6	178	0,92359667	0,944578453	10,59825841								
50065	6	184	0,9547817	1,130192836	10,82107744								
60065	4	188	0,97557173	1,311574594	11,00318259								
70065	4	192	0,99636175	1,725664445	11,15717866	2,993532111	544196,8794	124,482636	19,2535465	2,80096855	-37,2914654	2,80096855	605478,957
80065	1	1	0,00363825	-5,614429592	11,29059408								
90065	0	1	0,00363825	-5,614429592	11,40828691								
100065	1	2	0,00883576	-4,724514056	11,51357525								
110065	0	2	0,00883576	-4,724514056	11,60882638								
120065	0	2	0,00883576	-4,724514056	11,69578854								
130065	1	3	0,01403326	-4,259266757	11,7757896		138,669221	-50,1562292					

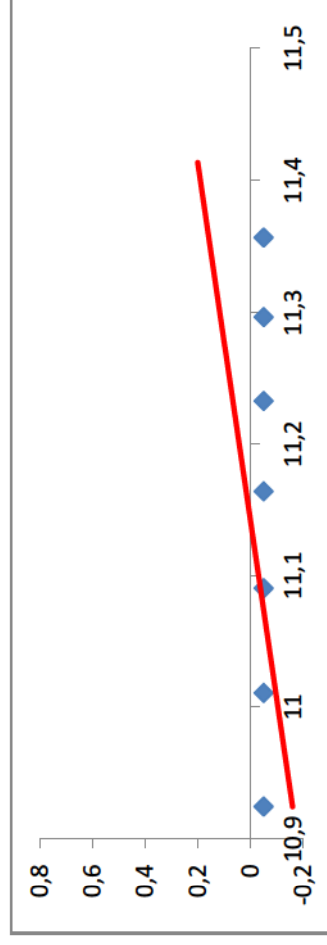


Slika P. 33. Određivanje Weibull-ovih parametara raspodele otkaza za gibnove metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza				Metoda najmanjih kvadrata										
			MR(t)	$Y = \ln(\ln(1/(1-F)))$	$X = \ln(RANG)$	β	η	xx	xy	a	b	β	η				
Rani otkazi	5521	10	0,25260417	-1,233881178	8,616314282			74,2408718	-10,631508								
	10521	8	0,4609375	-0,481390196	9,261128539			85,7685018	-4,45821648								
	15521	6	0,6171875	-0,040603304	9,649949225			93,12152	-0,39181982								
	20521	3	0,6953125	0,172665603	9,929204031			98,5890927	1,714432								
	25521	3	0,7734375	0,395235924	10,14725692			102,966823	4,01056046	1,18059573	-11,4504809	1,18059573	16299,6821				
	30521	4	0,87760417	0,742173008	10,32617025			106,629792	7,66380483								
	35521	0	0,87760417	0,742173008	10,47787935			109,785956	7,77639923								
	40521	4	0,98177083	1,387476763	10,60957564			112,563095	14,7205397								
	45521	0	0,98177083	1,387476763	10,72592904			115,045554	14,8819773								
	50521	2	2	0,38636364	-0,716717249	10,83014437			117,292027	-7,76215128							
Slučajni otkazi	55521	1	0,61363636	-0,050266149	10,92451661			119,345063	-0,54913337								
	60521	0	0,61363636	-0,050266149	11,01074569			121,238521	-0,55346778								
	65521	0	0,61363636	-0,050266149	11,09012598			122,990894	-0,55745792								
	70521	0	0,61363636	-0,050266149	11,16366582			124,627434	-0,56115448	1,22244071	-13,6768818	1,22244071	72270,8413				
	75521	0	0,61363636	-0,050266149	11,23216604			126,161554	-0,56459773								
	80521	0	0,61363636	-0,050266149	11,2962733			127,60579	-0,56782015								
	85521	0	0,61363636	-0,050266149	11,35651724			128,970484	-0,57084838								
	90521	1	4	0,84090909	0,608830072	11,41333715			130,264265	6,94878287							



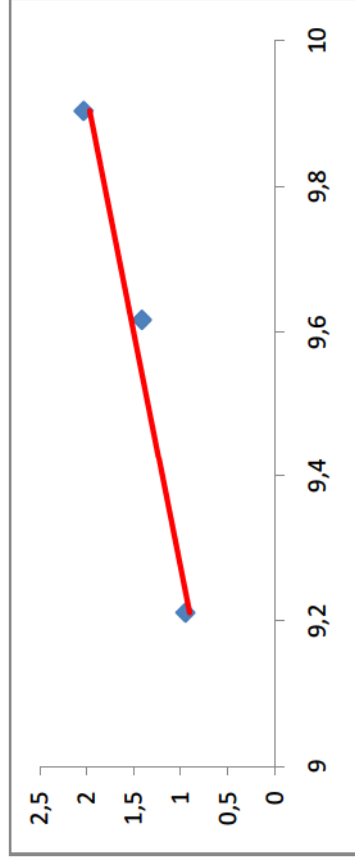
Rani otkazi



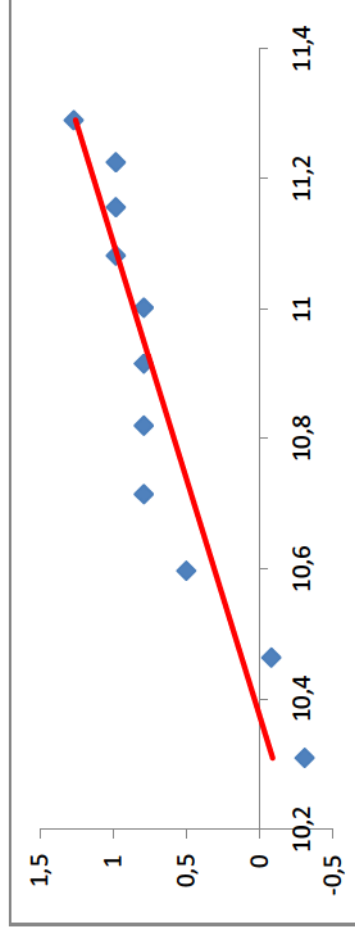
Slučajni otkazi

Slika P. 34. Određivanje Weibull-ovih parametara učestanosti za aktovnosti štelovanja kočnica metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza			Metoda najmanjih kvadrata							
			MR(t)	$Y = L_n(L_n(1/(1-F)))$	$X = L_n(RANG)$	β	η	xx	xy	a	b	β	η
Rani otkazi	1147	1147	0,79170119	0,450299287	8,519191194	1,533497991	5548,097391	72,5766186	3,83618572	1,08843038	-8,92412009	1,08843038	3637,5764
	193	1340	0,92495167	0,951512299	9,211339872			84,8487822	8,76470318				
	85	1425	0,98363712	1,414089407	9,616471925			92,4765323	13,5985511				
	23	1448	0,99951671	2,032728495	9,903987428			98,088967	20,1321175				
Slučajni otkazi	8	8	0,31557377	-0,969758987	10,12703102			102,556757	-9,82077935				
	5	13	0,5204918	-0,307892548	10,30928594			106,281377	-3,17415231				
	2	15	0,60245902	-0,080714249	10,46338901			109,48251	-0,84454459				
	5	20	0,80737705	0,498967973	10,5968847			112,293965	5,28750608				
	2	22	0,88934426	0,789062341	10,71463997			114,80351	8,45451889				
	0	22	0,88934426	0,789062341	10,81997826			117,07193	8,53763737				
	0	22	0,88934426	0,789062341	10,91527027			119,143125	8,6128287				
	0	22	0,88934426	0,789062341	11,00226649			121,049868	8,68147415				
	1	23	0,93032787	0,979811816	11,08229638			122,817293	10,8585649				
	0	23	0,93032787	0,979811816	11,15639337			124,465113	10,931166				
	0	23	0,93032787	0,979811816	11,22537672			126,009082	10,9987567				
	1	24	0,97131148	1,267301928	11,28990691			127,461998	14,3077208				



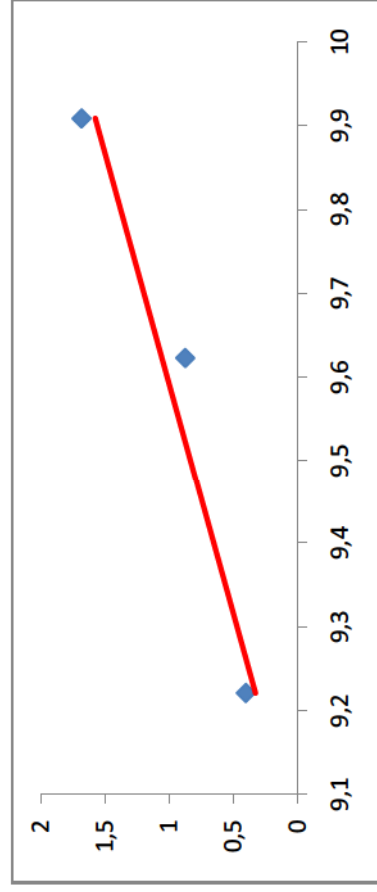
Rani otkazi



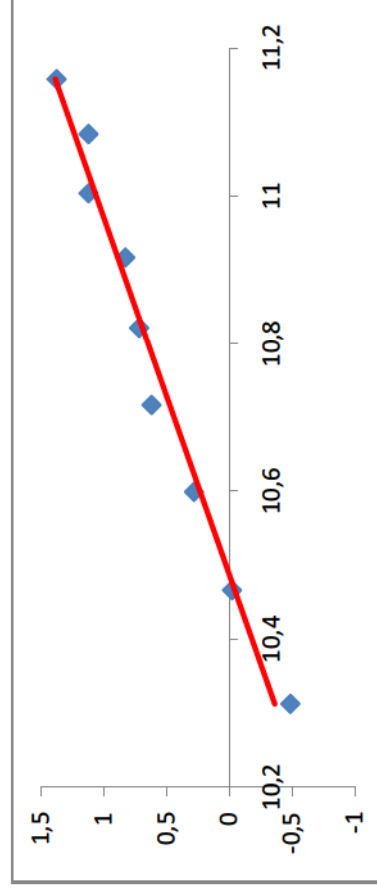
Slučajni otkazi

Slika P. 35. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza za kočne cilindre metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza			Metoda najmanjih kvadrata									
			MR(t)	$Y = \text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-F)))$	$X = \text{Ln}(RANG)$	β	η	xx	xy	a	b	β	η		
5102	82	82	0,54321809	-0,243921408	8,537387899	1,81289473	8434,95175	72,8869921	-2,08245168						
10102	35	117	0,77593085	0,402661565	9,220488703			85,0174119	3,71273641						
15102	20	137	0,90890957	0,873760019	9,622582464			92,5940933	8,40782784			1,31879662	-11,6158321	1,31879662	6686,87913
20102	13	150	0,99534574	1,680822947	9,908574592			98,1798504	16,6545595						
25102	9	9	0,23901099	-1,297784116	10,1307028			102,631139	-13,1474652						
30102	8	17	0,45879121	-0,487841561	10,31234689			106,344498	-5,03079141						
35102	6	23	0,62362637	-0,023091629	10,46601339			109,537436	-0,2416773						
40102	4	27	0,73351648	0,2794807	10,59918149			112,342648	2,96226666						
45102	4	31	0,84340659	0,617400805	10,71668187			114,84727	6,61648802						
50102	1	32	0,87087912	0,716378368	10,82181621		2,06757639	117,111706	7,75251503					2,38226388	37899,8713
55102	1	33	0,89835165	0,826906777	10,91694129			119,179607	9,02729274						
60102	2	35	0,9532967	1,11970184	11,0037984			121,083579	12,3209733						
65102	0	35	0,9532967	1,11970184	11,08371055			122,84864	12,4104511						
70102	1	36	0,98076923	1,374030395	11,1577066			124,494417	15,331028						



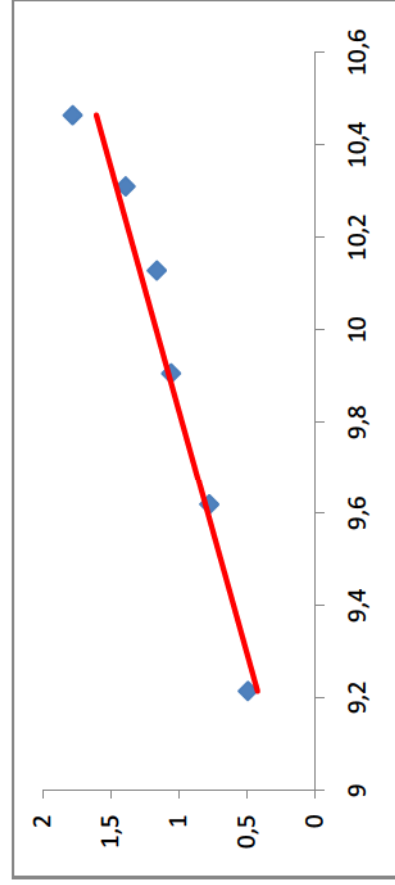
Rani otkazi



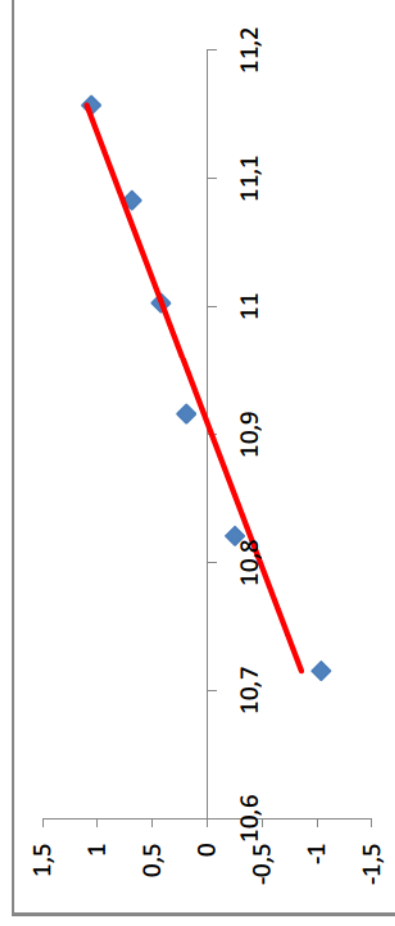
Slučajni otkazi

Slika P. 36. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza za četvorokružne ventile metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza		Metoda najmanjih kvadrata											
			MR(t)	$Y = \ln(\ln(1/(1-F)))$	$X = \ln(RANG)$	β	η	xx	xy	a	b	β	η			
5033	165	165	0,63248848	0,001000112	8,523771507			72,6546807	0,00852472							
10033	45	210	0,80529954	0,492433317	9,213634939			84,8910688	4,53710082							
15033	21	231	0,8859447	0,77520992	9,618003064			92,5059829	7,45607788							
20033	15	246	0,94354839	1,055834013	9,905136193	0,9463844	6427,15474	98,111723	10,4581797	0,84557243	-7,28331146	0,84557243	0,84557243	5505,31068		
25033	4	250	0,95890937	1,1606399	10,12795023			102,575376	11,7549031							
30033	6	256	0,98195084	1,389951765	10,31005206			106,297173	14,3304751							
35033	4	260	0,99731183	1,778149582	10,46404575			109,496254	18,6066386							
40033	2	2	0,13709677	-1,914247621	10,59745939			112,306146	-20,2861614							
45033	2	4	0,2983871	-1,037403987	10,71515083			114,814457	-11,1159402							
50033	3	7	0,54032258	-0,252018579	10,82043807			117,08188	-2,72695143							
55033	2	9	0,7016129	0,190094315	10,91568828	4,423249	54653,1396	119,152251	2,07501028	5,09181829	-55,6154471	5,09181829	55409,8212			
60033	1	10	0,78225806	0,421630212	11,00264969			121,0583	4,63904953							
65033	1	11	0,86290323	0,686660297	11,08265011			122,825134	7,61001582							
70033	1	12	0,94354839	1,055834013	11,15672184			124,472442	11,7796464							



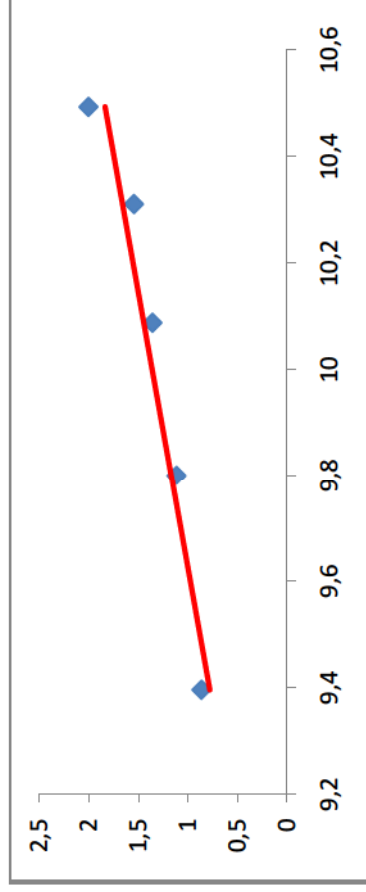
Rani otkazi



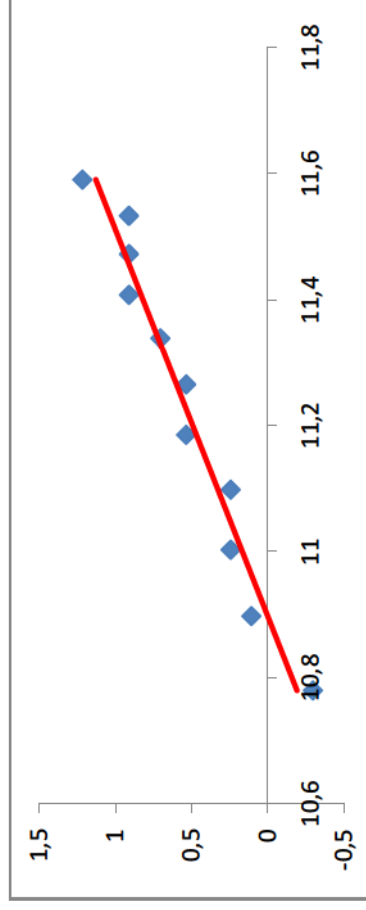
Slučajni otkazi

Slika P. 37. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza za vrata metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica interвала	Frekvencija	N(t)	Regresiona analiza			Metoda najmanjih kvadrata									
			MR(t)	$Y = \ln(\ln(1/(1-F)))$	$X = \ln(RANG)$	β	η	xx	xy	a	b	β	η		
Rani otkazi	883	6	0,77064781	0,386959262	8,704004653	0,96234842	1,6292194	75,759697	3,36809522						
	155	11	0,90597171	0,860422617	9,394909401			88,2643227	8,08359253						
	53	14	0,95224376	1,112398649	9,799625913			96,032668	10,9010906	0,8243166	-6,86681942	0,8243166			4147,73624
	31	15	0,97930854	1,355328363	10,08693348			101,746227	13,671107						
	13	15	0,99065829	1,541858069	10,30985226			106,293054	15,8963289						
	10	1145	0,99938886	2,001504884	10,49202394			110,082566	20,9998372						
	6	6	0,27941176	-1,115695152	10,64606755			113,338754	-11,877766						
	5	11	0,5245098	-0,296508894	10,77951863			116,198022	-3,19622315						
	3	14	0,67156863	0,107442983	10,8972392			118,749822	1,17083188						
	1	15	0,72058824	0,24300008	11,00254974			121,056101	2,67362047						
	0	15	0,72058824	0,24300008	11,09781903			123,161587	2,69677091						
	2	17	0,81862745	0,534855821	11,18479633	5370,07596	54056,991	125,099669	5,98225342	1,99952241	-21,9553829	1,99952241			58706,9554
	0	17	0,81862745	0,534855821	11,2648102			126,895949	6,0250493						
	1	18	0,86764706	0,704227134	11,33889345			128,570505	7,98515645						
	1	19	0,91666667	0,910235093	11,4078649			130,139382	10,383839						
	0	19	0,91666667	0,910235093	11,47238468			131,61561	10,4425671						
	0	19	0,91666667	0,910235093	11,53299276			133,009922	10,4977347						
	1	20	0,96568627	1,21556827	11,59013647			134,331264	14,0886021						
Slučajni otkazi															



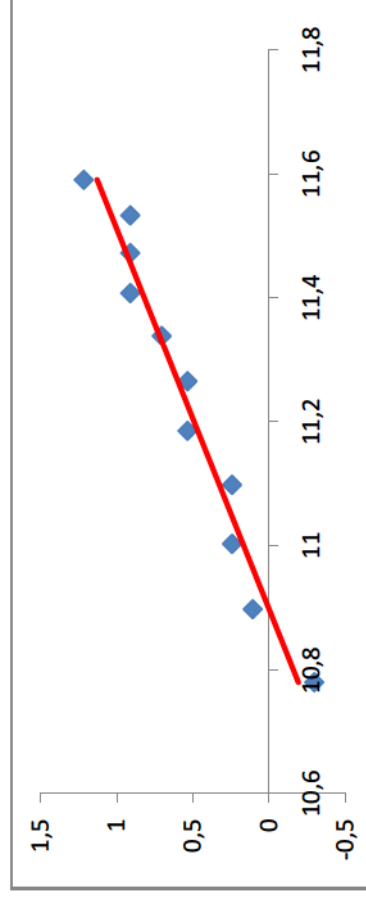
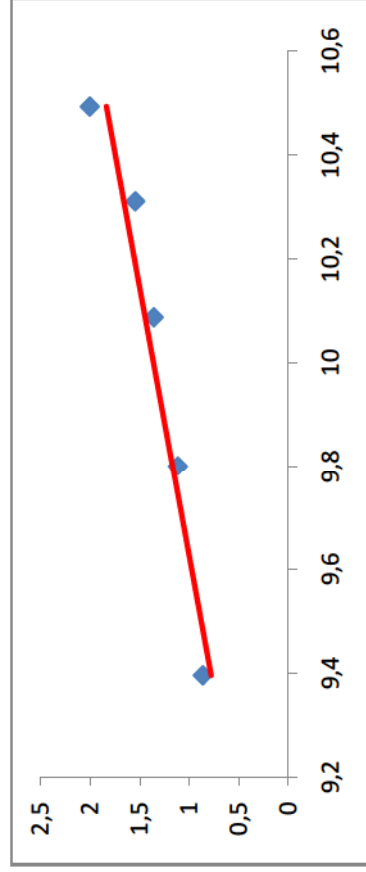
Rani otkazi



Slučajni otkazi

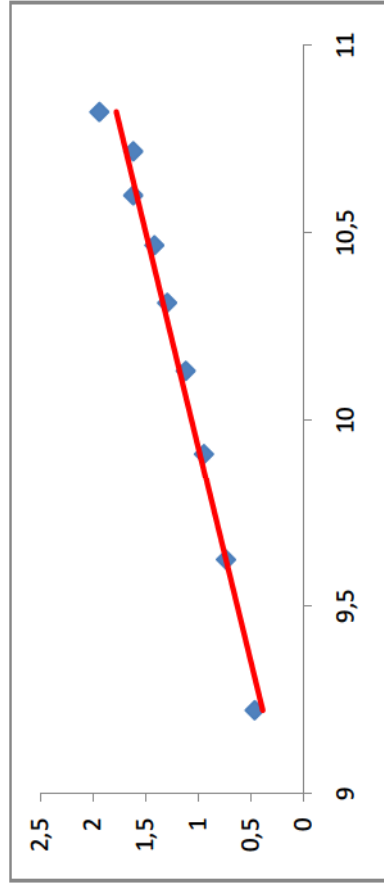
Slika P. 38. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza za webasto grejače metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N (t)	Regresiona analiza			Metoda najmanjih kvadrata							
			MR (t)	$Y = \ln(\ln(1/(1-F)))$	$X = \ln(R \text{ ANG})$	β	η	xx	xy	a	b	β	η
Rani otkazi	661	661	0,87002897	0,713167285	8,71604405	1,1471798	4667,944766	75,9694239	6,21599747	0,84704494	-6,73828533	0,84704494	2849,932359
	65	726	0,95562286	1,136239043	9,400960732			88,3780627	10,6817386				
	23	749	0,98590993	1,449805379	9,803667217			96,1118909	14,2134095				
	10	759	0,99907822	1,944366614	10,08996712			101,807436	19,6185952				
	5	5	0,10352423	-2,213805165	10,31228045			106,343128	-22,8293797				
	6	11	0,23568282	-1,313890287	10,49404814			110,125046	-13,7880279				
	6	17	0,36784141	-0,779544239	10,64780302			113,375709	-8,30043351				
	7	24	0,52202643	-0,303540699	10,78103746			116,230769	-3,27248365				
	8	32	0,69823789	0,18075055	10,89858946			118,779252	1,96992604				
	3	35	0,76431718	0,368295023	11,00376512			121,082847	4,05263193				
	3	38	0,83039648	0,573401344	11,09892403			123,186115	6,36413795	2,81265737	-30,7854383	2,81265737	56688,19023
	3	41	0,89647577	0,818876162	11,18580932			125,12233	9,15979261				
	1	42	0,9185022	0,919158331	11,26574534			126,917018	10,3550037				
	2	44	0,96255507	1,189331295	11,33976185			128,590199	13,4867336				
	0	44	0,96255507	1,189331295	11,40867544			130,157875	13,5686947				
	0	44	0,96255507	1,189331295	11,47314459			131,633047	13,6453699				
Slučajni otkazi	1	45	0,9845815	1,428440371	11,533708			133,02642	16,4752141				

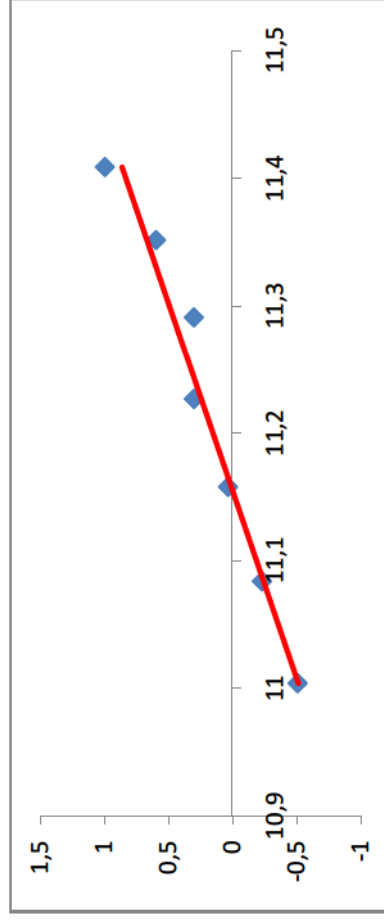


Slika P.39. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza za tahografe metodom najmanjih kvadrata i metodom regresione analize

Gornja granica intervala	Frekvencija	N (t)	Regresiona analiza				Metoda najmanjih kvadrata									
			MR (t)	$Y = \ln(\ln(1/(1-F)))$	$X = \ln(RANG)$	β	η	xx	xy	a	b	β	η			
5102	450	450	0,633023649	0,002454855	8,537387899		72,8669921	0,020958005								
10102	115	565	0,794904279	0,460129085	9,220488703		85,0174119	4,24261503								
15102	57	622	0,875140766	0,732641079	9,622582464		92,5940933	7,0498992								
20102	34	656	0,923001126	0,941554686	9,908574592		98,1798504	9,32946484								
25102	21	677	0,952561937	1,114594016	10,1307028		102,631139	11,2916207								
30102	15	692	0,973676802	1,291242931	10,31234689	0,8678946	106,344498	13,315745	0,80183921	-6,93370893	0,80183921	5694,49954				
35102	7	699	0,983530405	1,41250761	10,46601339		109,637436	14,7833236								
40102	7	706	0,993384009	1,613084393	10,59918149		112,342648	17,0973742								
45102	0	706	0,993384009	1,613084393	10,71668187		114,84727	17,2869123								
50102	4	710	0,99901464	1,934777429	10,82181621		117,111706	20,9378057								
55102	2	2	0,163461538	-1,72326315	10,91694129		119,179607	-18,8127626								
60102	3	5	0,451923077	-0,508595394	11,0037984		121,083579	-5,59648118								
65102	1	6	0,548076923	-0,230365445	11,08371055		122,84864	-2,55330391								
70102	1	7	0,644230769	0,032924962	11,1577066		124,494417	0,36736706	4,55945042	-51,0052943	4,55945042	72165,6757				
75102	1	8	0,740384615	0,299032932	11,22660247	3,3934439	126,036603	3,35712385								
80102	0	8	0,740384615	0,299032932	11,2910561		127,487948	3,37639761								
85102	1	9	0,836538462	0,593977217	11,35160582		128,858955	6,74259523								
90102	1	10	0,932692308	0,992688929	11,40869764		130,158382	11,3252878								

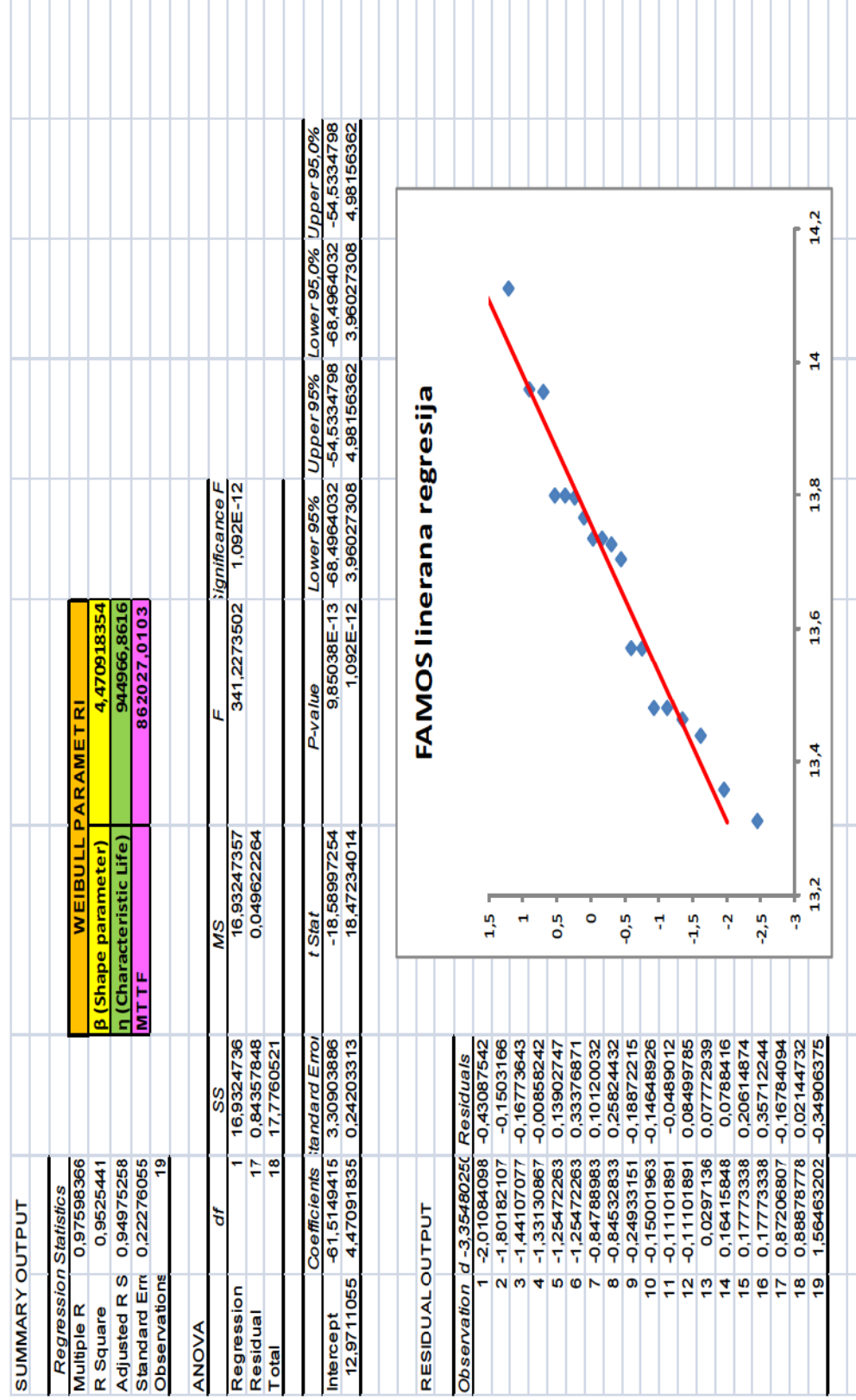


Rani otkazi

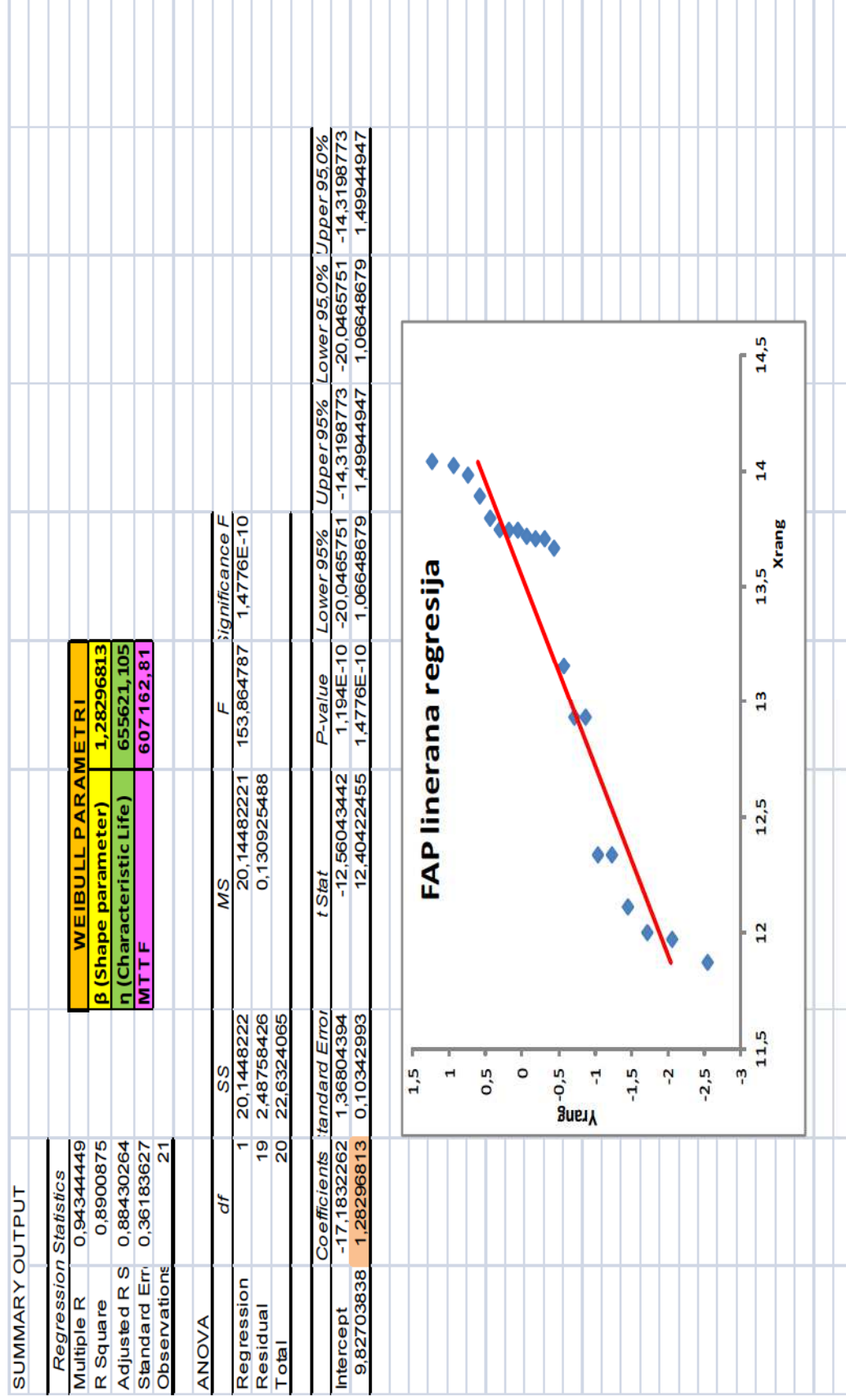


Slučajni otkazi

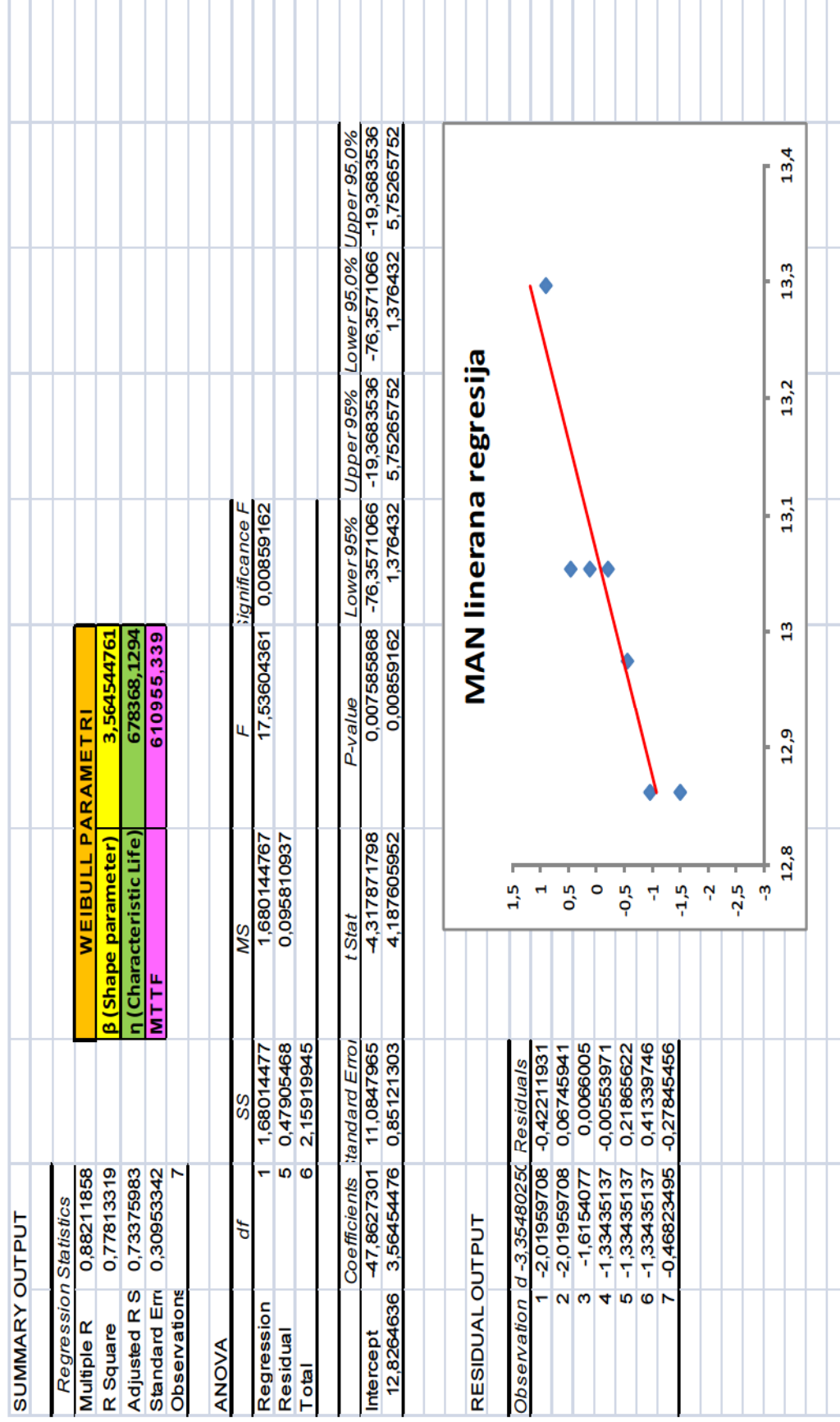
Slika P 40. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza motora marke FAMOS metodom regresione analize



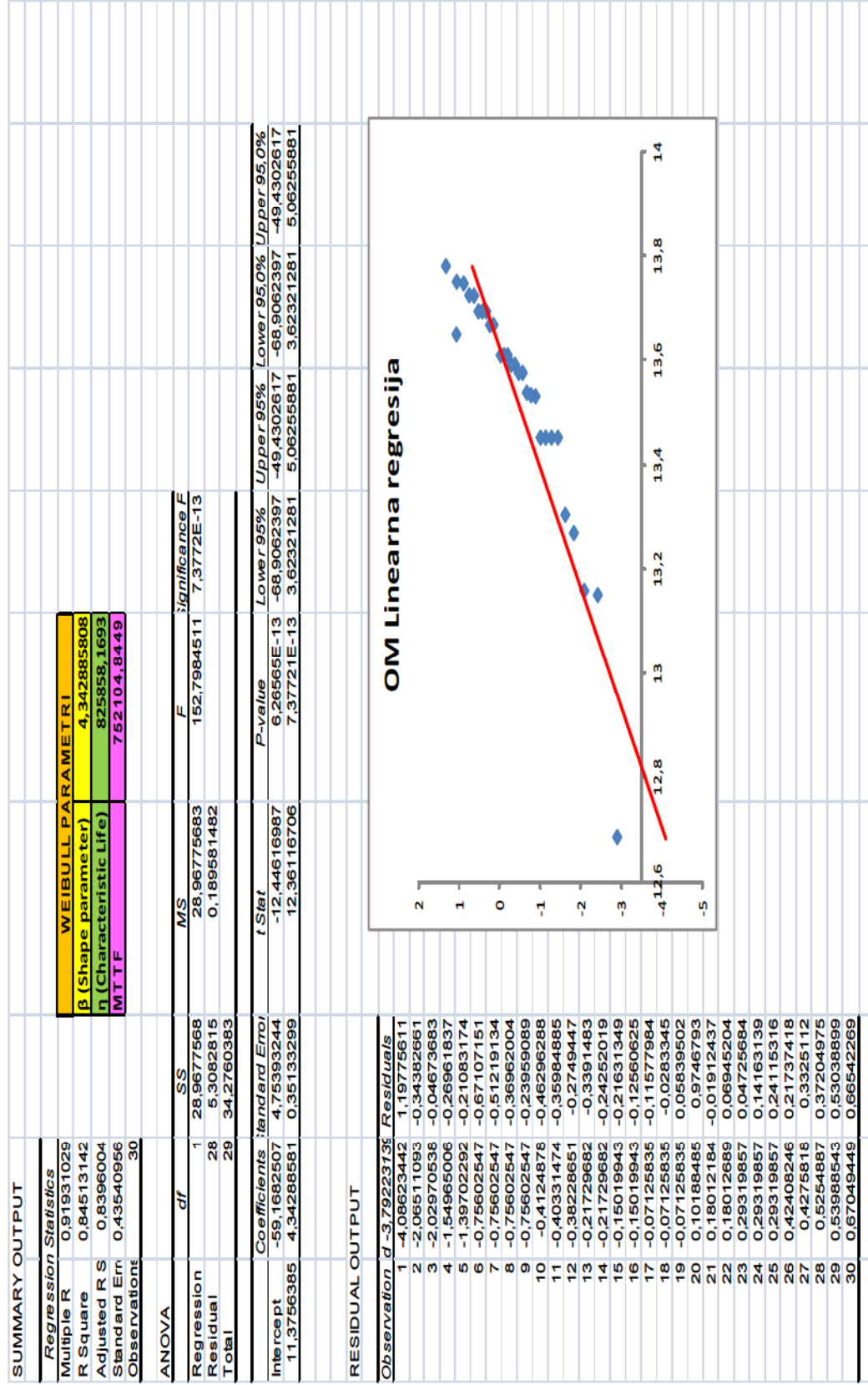
Slika P 41. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza motora marke FAP metodom regresione analize



Slika P 42. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza motora marke MAN metodom regresione analize

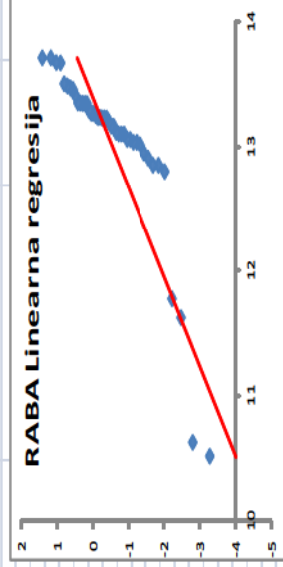


Slika P 43. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza motora marke OM metodom regresione analize



Slika P 44. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza motora marke RABA metodom regresione analize

SUMMARY OUTPUT		WEIBULL PARAMETRI			
Regression Statistics		β (Shape parameter)	1,395348171		
Multiple R	0,85566836	β (Characteristic life)	649990,0512		
R Square	0,73215127	MTTF	692727,6041		
Adjusted R S	0,72577392				
Standard Err	0,57505771				
Observations	44				
ANOVA		MS	F	Significance F	
Regression	1	37,9649978	114,804926	1,3727E-13	
Residual	42	13,8890374			
Total	43	51,8540352			
Coefficients		t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	-19,6763339	-10,98164196	0,37009E-14	-22,1084688	-15,2442089
9,98132764	1,39534817	10,71470606	1,37268E-13	1,13253867	1,65815767
RESIDUAL OUTPUT					
Observation	d	-4,1644276	Residuals		
1	-4,00983603	0,74397349			
2	-3,85547586	1,06371548			
3	-2,4658616	0,0008867			
4	-2,25497713	0,04117196			
5	-0,82364369	-1,18507173			
6	-0,75207992	-1,08254681			
7	-0,75207992	-0,93072405			
8	-0,67222629	0,77222629			
9	-0,6163781	-0,81923349			
10	-0,52172651	-0,79216378			
11	-0,49525603	-0,71535789			
12	-0,49525603	-0,61906796			
13	-0,46292837	-0,56096031			
14	-0,46292837	-0,47548157			
15	-0,40355511	-0,4536061			
16	-0,40355511	-0,37598913			
17	-0,40190773	-0,30315072			
18	-0,38471119	-0,24856734			
19	-0,3194241	-0,18279097			
20	-0,3194241	-0,18279097			
21	-0,26814423	-0,16258168			
22	-0,22365124	-0,14286168			
23	-0,22365124	-0,07988946			
24	-0,2230617	-0,01852793			
25	-0,2180406	0,03758946			
26	-0,2180406	0,09811743			
27	-0,19405992	0,13425015			
28	-0,17177734	0,17188072			
29	-0,17177734	0,23179132			
30	-0,14289059	0,25305737			
31	-0,14289059	0,25305737			
32	-0,08194627	0,30403727			
33	-0,08194627	0,36642887			
34	-0,05643873	0,42473376			
35	-0,05643873	0,49041758			
36	0,02504077	0,47706035			
37	0,09506457	0,47833678			
38	0,1126187	0,53626545			
39	0,13401887	0,59596442			
40	0,15884225	0,66003391			
41	0,39105566	0,52810267			
42	0,3936396	0,74463441			
43	0,44798976	0,74163153			
44	0,44798976	0,98074061			



Slika P 45. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza motora marke TAM metodom regresione analize

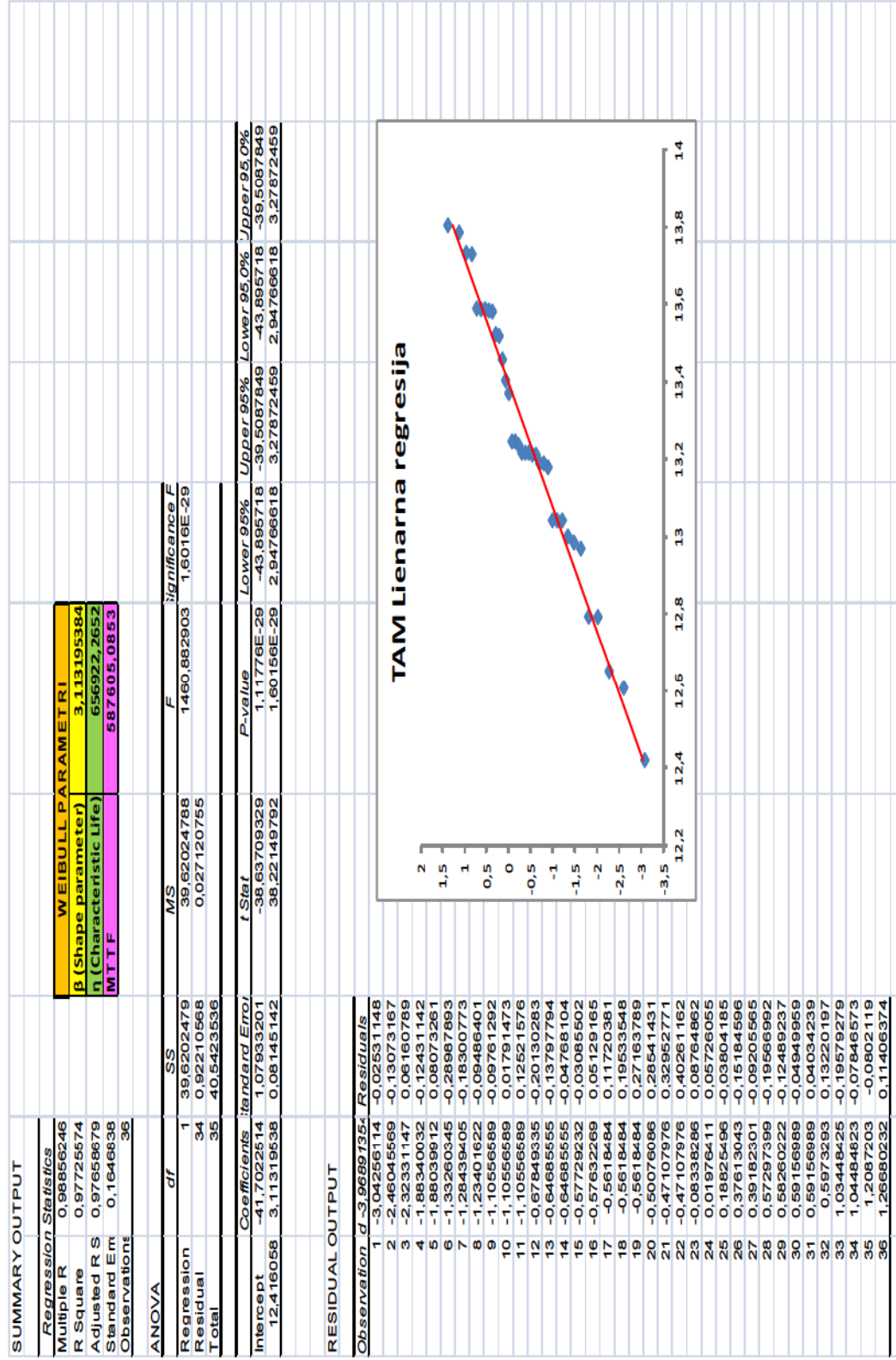


Tabela P3. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza pneumatika marke MICHELIN primenom metode najmanjih kvadrata

MICHELIN	$N(\Delta t)$	$N(t)$	MIR(t)	$\ln(1/(1-MR(t)))$	x	y	xx	xy	a	b	β	η
20000	1	1	0,02755906	0,02794593	9,90348755	-3,57748369	98,0790657	-35,4296652				
40000	1	2	0,06692913	0,069274126	10,5966347	-2,66968381	112,288668	-28,2896641				
60000	2	4	0,14566929	0,157436913	11,0020998	-1,84873045	121,046201	-20,339917				
80000	0	4	0,14566929	0,157436913	11,2897819	-1,84873045	127,459176	-20,8717636				
100000	0	4	0,14566929	0,157436913	11,5129255	-1,84873045	132,547453	-21,2842959				
120000	0	4	0,14566929	0,157436913	11,695247	-1,84873045	136,778803	-21,6213593				
140000	3	7	0,26377953	0,30622565	11,9493977	-1,18343303	140,408226	-14,0229686				
160000	4	11	0,42125984	0,54690168	11,9829291	-0,60348624	143,59059	-7,23153278				
180000	2	13	0,5	0,693147181	12,1007121	-0,36651292	146,427234	-4,43506734				
200000	2	15	0,57874016	0,884505433	12,2060726	-0,14559769	148,988209	-1,77717598	1,75941915	-21,5118555	1,75941915	204164,298
220000	4	19	0,73622047	1,332641648	12,3013828	0,28716317	151,324019	3,53250413				
240000	2	21	0,81496063	1,687186665	12,3883942	0,52306245	153,472311	6,47990378				
260000	2	23	0,89370079	2,241497401	12,4684369	0,80714413	155,461919	10,0638256				
280000	0	23	0,89370079	2,241497401	12,5425449	0,80714413	157,315432	10,1236414				
300000	0	23	0,89370079	2,241497401	12,6115378	0,80714413	159,050885	10,1793286				
320000	1	24	0,93307087	2,704120923	12,6760763	0,99477688	160,68291	12,6098676				
340000	0	24	0,93307087	2,704120923	12,7367009	0,99477688	162,22355	12,6701755				
360000	0	24	0,93307087	2,704120923	12,7938593	0,99477688	163,682836	12,7270354				
380000	1	25	0,97244094	3,591424118	12,8479265	1,27854881	165,069216	16,4267012				

Tabela P4. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza pneumatika marke MATADOR primenom metode najmanjih kvadrata

MATADOR												
Δt km	$N(\Delta t)$	$N(t)$	$MR(t)$	$\ln(1/(1-MR(t)))$	x	y	xx	xy	a	b	β	η
20000	45	45	0,13994991	0,150764643	9,90348755	-1,89203532	98,0790657	-18,7377482				
40000	41	86	0,26831559	0,312405994	10,5966347	-1,16345167	112,288668	-12,3286724				
60000	44	130	0,40607389	0,521000359	11,0020998	-0,65200455	121,046201	-7,17341914				
80000	56	186	0,58140263	0,870845752	11,2897819	-0,13829041	127,459176	-1,56126858				
100000	60	246	0,76925485	1,466441437	11,5129255	0,38283867	132,547453	4,40759312	1,5857001	-17,8726054	1,5857001	78520,3604
120000	20	266	0,83187226	1,783031234	11,695247	0,57831486	136,778803	6,7635351				
140000	27	293	0,91640576	2,48178067	11,8493977	0,90897631	140,408226	10,7708219				
160000	13	306	0,95710708	3,149048403	11,9829291	1,14710031	143,59059	13,7456217				
180000	7	313	0,97902317	3,864336709	12,1007121	1,35179005	146,427234	16,3576223				
200000	4	317	0,99154665	4,773192463	12,2060726	1,56301536	148,988209	19,078279				
220000	2	319	0,99780839	6,12311918	12,3013828	1,81207164	151,324019	22,2909869				

Tabela P5. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza pneumatika marke PIRELLI primenom metode najmanjih kvadrata

PIRELLI												
Δt km	$N(\Delta t)$	$N(t)$	$MR(t)$	$\ln(1/(1-MR(t)))$	x	y	xx	xy	a	b	β	η
20000	1	1	0,01388889	0,013988242	9,90348755	-4,26968115	98,0790657	-42,2847341				
40000	3	4	0,0734127	0,07624701	10,5966347	-2,57377707	112,288668	-27,2733755				
60000	1	5	0,09325397	0,097892877	11,0020998	-2,32388149	121,046201	-25,5675762				
80000	4	9	0,17261905	0,189490046	11,2897819	-1,66341878	127,459176	-18,7796353				
100000	15	24	0,4702381	0,63532761	11,5129255	-0,45361449	132,547453	-5,22242984				
120000	8	32	0,62896825	0,991467651	11,695247	-0,00856896	136,778803	-0,10021608	2,531223	-29,6458448	2,531223	122035,053
140000	4	36	0,70833333	1,232143681	11,8493977	0,20875548	140,408226	2,47362674				
160000	10	46	0,90674603	2,372428666	11,9829291	0,86391418	143,59059	10,3522224				
180000	3	49	0,96626984	3,399362924	12,1007121	1,22064198	146,427234	14,7706372				
200000	1	50	0,98611111	4,276666119	12,2060726	1,45317376	148,988209	17,7375445				

Tabela P6. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza pneumatika marke SAVA primenom metode najmanjih kvadrata

SAVA	$N(\Delta t)$	$N(t)$	$MR(t)$	$\ln(1/(1-MR(t)))$	x	y	xx	xy	a	b	β	η
20000	11	11	0,09962756	0,10494678	9,90348755	-2,25430192	98,0790657	-22,325451				
40000	13	24	0,22067039	0,249321205	10,5966347	-1,38901324	112,288668	-14,7188659				
60000	13	37	0,34171322	0,418114609	11,0020998	-0,8719997	121,046201	-9,59382775				
80000	16	53	0,49068901	0,674696473	11,2897819	-0,39349236	127,459176	-4,44244292				
100000	21	74	0,68621974	1,159062345	11,5129255	0,14761135	132,547453	1,69943852	1,60917842	-18,4045408	1,60917842	92709,6843
120000	7	81	0,75139665	1,391896617	11,695247	0,33066729	136,778803	3,86723563				
140000	9	90	0,83519553	1,802995542	11,8493977	0,58944947	140,408226	6,98462122				
160000	6	96	0,89106145	2,21697134	11,9829291	0,796142	143,59059	9,54011317				
180000	7	103	0,95623836	3,128997673	12,1007121	1,14071272	146,427234	13,8034363				
200000	2	105	0,97486034	3,683308409	12,2060726	1,30381137	148,988209	15,9144163				
220000	2	107	0,99348231	5,033235126	12,3013828	1,61606294	151,324019	19,8798089				

Tabela 7. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza pneumatika marke STOMIL primenom metode najmanjih kvadrata

STOMIL	$N(\Delta t)$	$N(t)$	$MR(t)$	$\ln(1/(1-MR(t)))$	x	y	xx	xy	a	b	β	η
20000	13	13	0,12282398	0,131047605	9,90348755	-2,03219463	98,0790657	-20,1258142				
40000	14	27	0,25822205	0,298703254	10,5966347	-1,20830466	112,288668	-12,8039631				
60000	6	33	0,31624758	0,380159389	11,0020998	-0,96716467	121,046201	-10,6408423				
80000	6	39	0,37427466	0,468843761	11,2897819	-0,7574857	127,459176	-8,55184835				
100000	16	55	0,52901354	0,752925932	11,5129255	-0,28378842	132,547453	-3,26723493				
120000	9	64	0,61605416	0,957253774	11,695247	-0,04368675	136,778803	-0,51092728	1,46749543	-16,9119742	1,46749543	101151,99
140000	16	80	0,77079304	1,473129914	11,8493977	0,38738933	140,408226	4,59033024				
160000	6	86	0,82882012	1,765040322	11,9829291	0,56817354	143,59059	6,80838319				
180000	10	96	0,92553191	2,597384633	12,1007121	0,95450503	146,427234	11,5501906				
200000	5	101	0,97388781	3,645353189	12,2060726	1,29345326	148,988209	15,7879844				
220000	2	103	0,99323017	4,995279906	12,3013828	1,60849345	151,324019	19,7866937				

Tabela P8. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza pneumatika marke TIGAR primenom metode najmanjih kvadrata

TIGAR	$N(\Delta t)$	$N(t)$	$MR(t)$	$\ln(1/(1-MR(t)))$	x	y	xx	xy	a	b	β	η
20000	98	98	0,1067293	0,112865607	9,90348755	-2,18155749	98,0790657	-21,6050274				
40000	181	279	0,30445707	0,363062541	10,5966347	-1,01318017	112,288668	-10,7363002				
60000	174	453	0,49453791	0,682282232	11,0020998	-0,38231188	121,046201	-4,20623343				
80000	153	606	0,66167795	1,083757041	11,2897819	0,08043375	127,459176	0,90807945				
100000	111	717	0,78293642	1,527564979	11,5129255	0,42367495	132,547453	4,87773813				
120000	87	804	0,87797684	2,103544422	11,695247	0,74362374	136,778803	8,69686335				
140000	43	847	0,92495084	2,589611929	11,8493977	0,95150803	140,408226	11,2747971				
160000	30	877	0,9577234	3,163521528	11,9829291	1,15168581	143,59059	13,8005695	1,57021747	-17,6680661	1,57021747	77032,8129
180000	23	900	0,98284903	4,065700416	12,1007121	1,40258603	146,427234	16,9722898				
200000	7	907	0,99049596	4,656038103	12,2060726	1,53816489	148,988209	18,7749524				
220000	3	910	0,99377321	5,078894953	12,3013828	1,62509371	151,324019	19,9908998				
240000	3	913	0,99705047	5,826109355	12,3883942	1,76234943	153,472311	21,8326794				
260000	1	914	0,99814289	6,288732877	12,4684369	1,8387596	155,461919	22,9264581				
280000	1	915	0,99923531	7,176036072	12,5425449	1,97074715	157,315432	24,7181846				

Tabela P9. Određivanje Weibull-ovih parametara otkaza pneumatika marke TRAJAL primenom metode najmanjih kvadrata

TRAJAL	$N(\Delta t)$	$N(t)$	$MR(t)$	$\ln(1/(1-MR(t)))$	x	y	xx	xy	a	b	β	η
20000	54	54	0,24364791	0,279248288	9,90348755	-1,27565397	98,0790657	-12,6334232				
40000	40	94	0,42513612	0,55362199	10,5966347	-0,59127315	112,288668	-6,26550564				
60000	38	132	0,59754991	0,910184188	11,0020998	-0,0941083	121,046201	-1,03538886				
80000	33	165	0,74727768	1,37546393	11,2897819	0,31879108	127,459176	3,59908175				
100000	28	193	0,87431942	2,074011664	11,5129255	0,72948473	132,547453	8,39850337				
120000	9	202	0,91515426	2,466920553	11,695247	0,90297063	136,778803	10,5604646	1,29482289	-14,2274737	1,29482289	59158,1041
140000	9	211	0,95598911	3,123318192	11,8493977	1,13889596	140,408226	13,4952312				
160000	5	216	0,97867514	3,847881569	11,9829291	1,34752275	143,59059	16,1472696				
180000	1	217	0,98321234	4,087111258	12,1007121	1,40783843	146,427234	17,0358475				
200000	2	219	0,99228675	4,864815826	12,2060726	1,58202886	148,988209	19,3103592				
220000	1	220	0,99682396	5,752119021	12,3013828	1,749566831	151,324019	21,5221096				

Tabela P10. Klasifikacija otkaza pneumatika

KLASIFIKACIJA OTKAZA PNEUMATIKA		
Skraćenica	Tip otkaza	Uzrok otkaza
PR	PROBIJENA GUMA	
BO	BOČNO OŠTEĆENJE	otkaz usled nepropisnog korišćenja E
FE	FELNA OŠTEĆENA	
GS	GAZEĆI SLOJ OŠTEĆEN	
EX	EKSPLODIRALA GUMA	
GT	GREJE TOČAK	otkaz usled nepropisnog pritiska P
ME	MEKANA, PRAZNA GUMA	
VP	VOZENA PRAZNA	
OP	OTPAO PROTEKTOR	otkaz usled lošeg održavanja O
TT	TRESE TRAP	
FA	FALC OŠTEĆEN	
IS	ISTROŠEN GAZEĆI SLOJ	dotrajalost D
PO	POPUCALA GUMA	

Tabela P11. Tipovi otkaza pneumatika proizvođača MATADOR

MATADOR				
Tip otkaza	Broj otkaza	Udeo u otkazima	Procentualno učešće otkaza	Skraćenica
BOČNO OŠTEĆENJE	8	0,02507837	2,51%	BO
GAZEĆI SLOJ OŠTEĆEN	40	0,12539185	12,54%	GS
PROBIJENA GUMA	16	0,05015674	5,02%	PR
FALC OŠTEĆEN	9	0,028213166	2,82%	FA
POPUCALA GUMA	1	0,003134796	0,31%	PO
ISTROŠEN GAZEĆI SLOJ	187	0,586206897	58,62%	IS
EKSPLODIRALA	29	0,090909091	9,09%	EX
GREJE TOČAK	4	0,012539185	1,25%	GT
MEKANA I PRAZNA	23	0,072100313	7,21%	ME
VOTENA PRAZNA	1	0,003134796	0,31%	VP
OTPAO PROTEKTOR	1	0,003134796	0,31%	OP
VELIČINA UZORKA	319	1	100,00%	

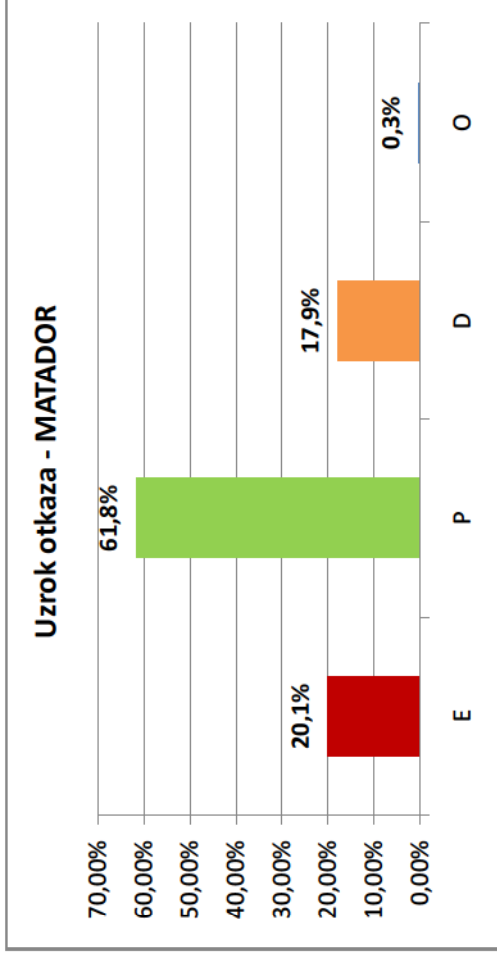
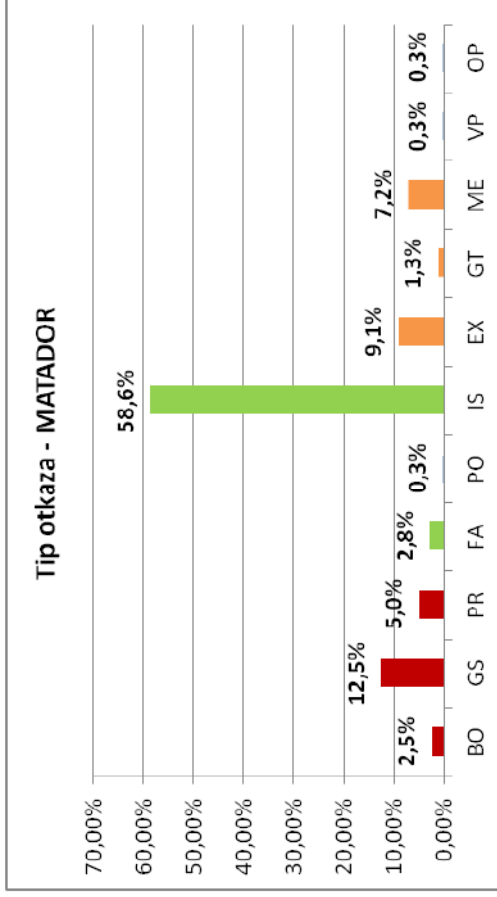


Tabela P12. Tipovi otkaza pneumatika proizvođača PIRELLI

Tip otkaza		PIRELLI			Skraćenica
Tip otkaza		Broj otkaza	Udeo u otkazima	Procentualno učešće otkaza	Skraćenica
BOČNO OŠTEĆENJE		1	0,02	2,00%	BO
GAZEĆI SLOJ OŠTEĆEN		25	0,5	50,00%	GS
PROBIJENA GUMA		3	0,06	6,00%	PR
ISTROŠEN GAZEĆI SLOJ		14	0,28	28,00%	IS
EKSPLODIRALA		1	0,02	2,00%	EX
MEKANA I PRAZNA		2	0,04	4,00%	ME
VOJENA PRAZNA		4	0,08	8,00%	VP
VELIČINA UZORKA		50	1	100,00%	

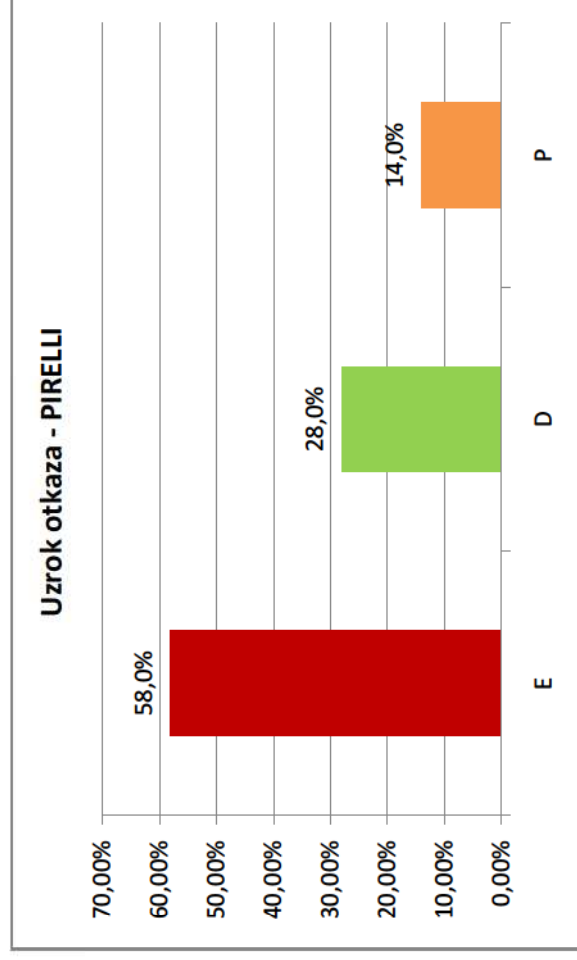
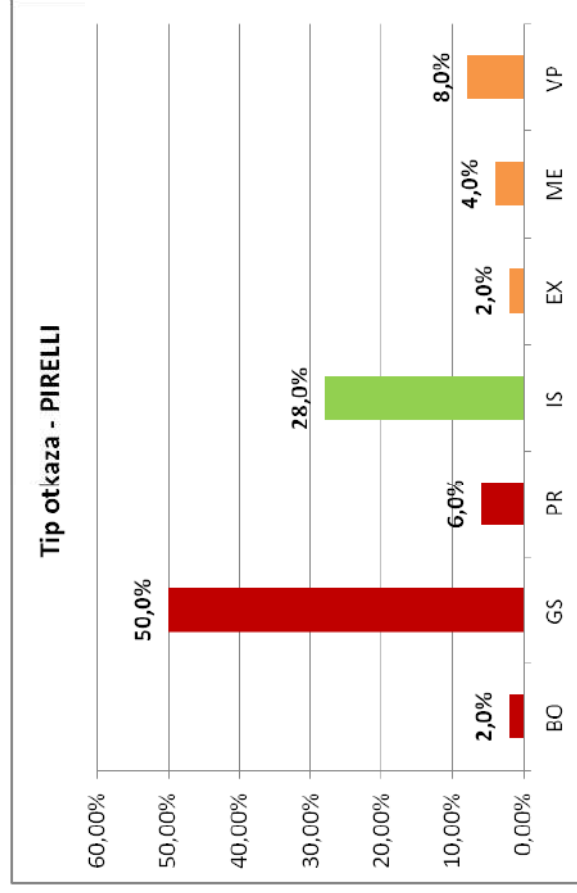


Tabela P13. Tipovi otkaza pneumatika proizvođača SAVA

SAVA				
Tip otkaza	Broj otkaza	Udeo u otkazima	Procentualno učešće otkaza	Skraćenica
BOČNO OŠTEĆENJE	2	0,018691589	1,87%	BO
GAZEĆI SLOJ OŠTEĆEN	33	0,308411215	30,84%	GS
PROBIJENA GUMA	17	0,158878505	15,89%	PR
FELNA OŠTEĆENA	1	0,009345794	0,93%	FE
ISTROŠEN GAZEĆI SLOJ	15	0,140186916	14,02%	IS
EKSPLODIRALA	3	0,028037383	2,80%	EX
GREJE TOČAK	1	0,009345794	0,93%	GT
MEKANA I PRAZNA	18	0,168224299	16,82%	ME
NEPOZNAT	17	0,158878505	15,89%	NN
VELIČINA UZORKA	107	1	100,00%	

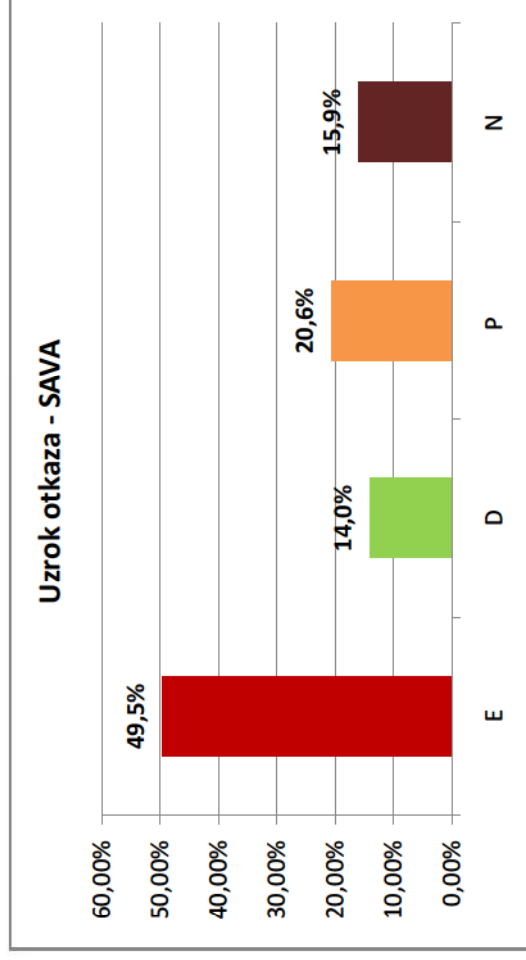
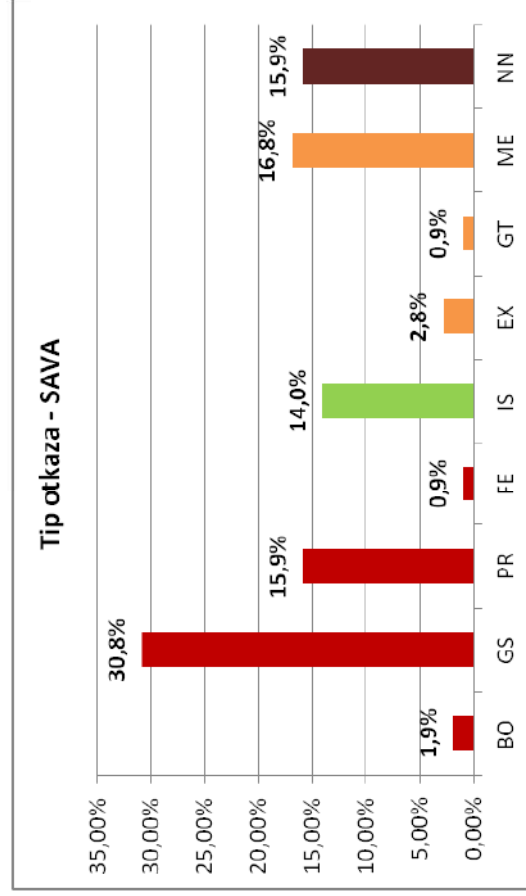


Tabela P14. Tipovi otkaza pneumatika proizvođača TIGAR

Tip otkaza	TIGAR			Skraceniica
	Broj otkaza	Udeo u otkazima	Procentualno učešće otkaza	
BOČNO OŠTEĆENJE	41	0,044808743	4,48%	BO
FELNA OŠTEĆENA	3	0,003278689	0,33%	FE
GAZEĆI SLOJ OŠTEĆEN	269	0,293989071	29,40%	GS
PROBIJENA GUMA	66	0,072131148	7,21%	PR
FALC OŠTEĆEN	61	0,066666667	6,67%	FA
ISTROŠEN GAZEĆI SLOJ	170	0,18579235	18,58%	IS
EKSPLODIRALA	108	0,118032787	11,80%	EX
GREJE TOČAK	3	0,003278689	0,33%	GT
MEKANA I PRAZNA	180	0,196721311	19,67%	ME
VOJENA PRAZNA	11	0,012021858	1,20%	VP
OTPAO PROTEKTOR	3	0,003278689	0,33%	OP
VELIČINA UZORKA	915	1	100,00%	

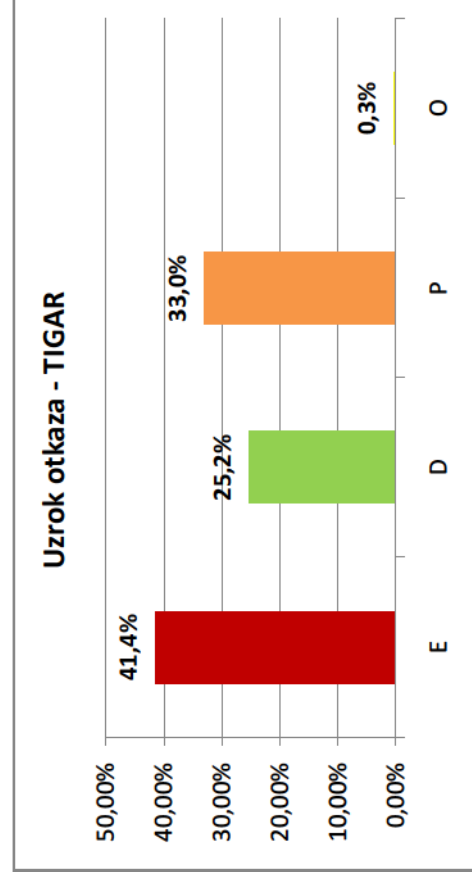
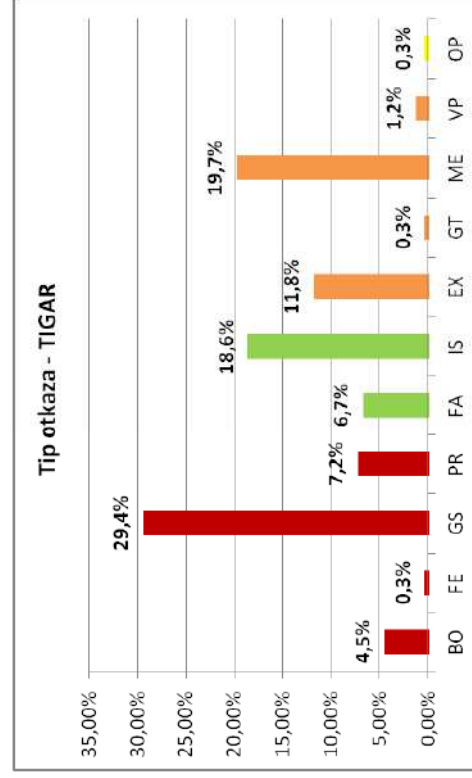


Tabela P15. Tipovi otkaza pneumatika proizvođača TRAJAL

Tip otkaza	TRAJAL			Skrtačenica
	Broj otkaza	Udeo u otkazima	Procentualno učešće otkaza	
BOČNO OŠTEĆENJE	4	0,018181818	1,82%	BO
GAZEĆI SLOJ OŠTEĆEN	65	0,295454545	29,55%	GS
PROBIJENA GUMA	26	0,118181818	11,82%	PR
FALC OŠTEĆEN	4	0,018181818	1,82%	FA
ISTROŠEN GAZEĆI SLOJ	43	0,195454545	19,55%	IS
EKSPLODIRALA	17	0,077272727	7,73%	EX
GREJE TOČAK	1	0,004545455	0,45%	GT
MEKANA I PRAZNA	56	0,254545455	25,45%	ME
VOJENA PRAZNA	2	0,009090909	0,91%	VP
TRESE TRAP	2	0,009090909	0,91%	TT
VELIČINA UZORKA	220	1	100,00%	

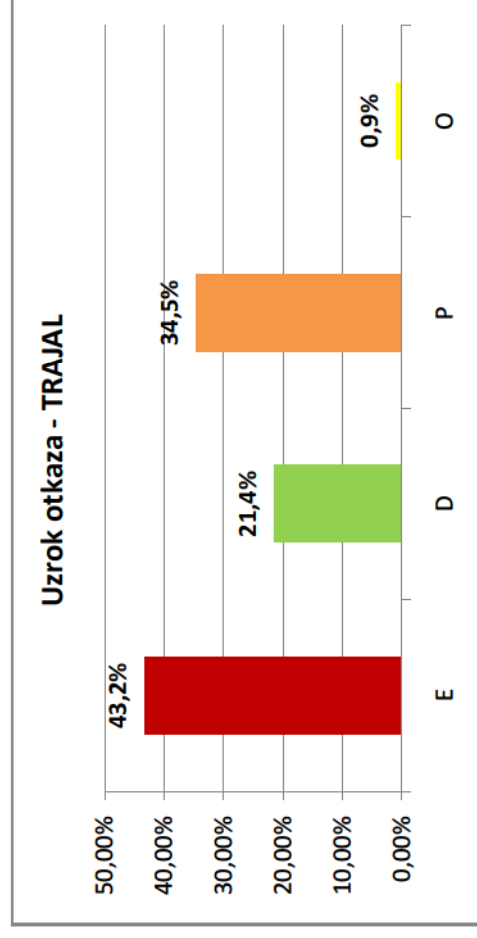
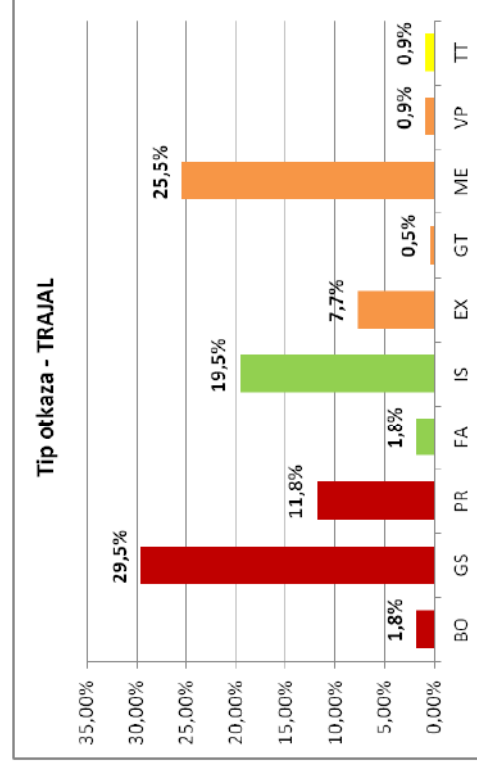


Tabela P16. Tipovi otkaza pneumatika proizvođača MICHELIN

MICHELIN				
Tip otkaza	Broj otkaza	Udeo u otkazima	Procentualno učešće otkaza	Skraćenica
GAZEĆI SLOJ OŠTEĆEN	10	0,4	40,00%	GS
PROBIJENA GUMA	1	0,04	4,00%	PR
ISTROŠEN GAZEĆI SLOJ	4	0,16	16,00%	IS
MEKANA I PRAZNA	1	0,04	4,00%	ME
NN	9	0,36	36,00%	NN
VELIČINA UZORKA	25	1	100,00%	

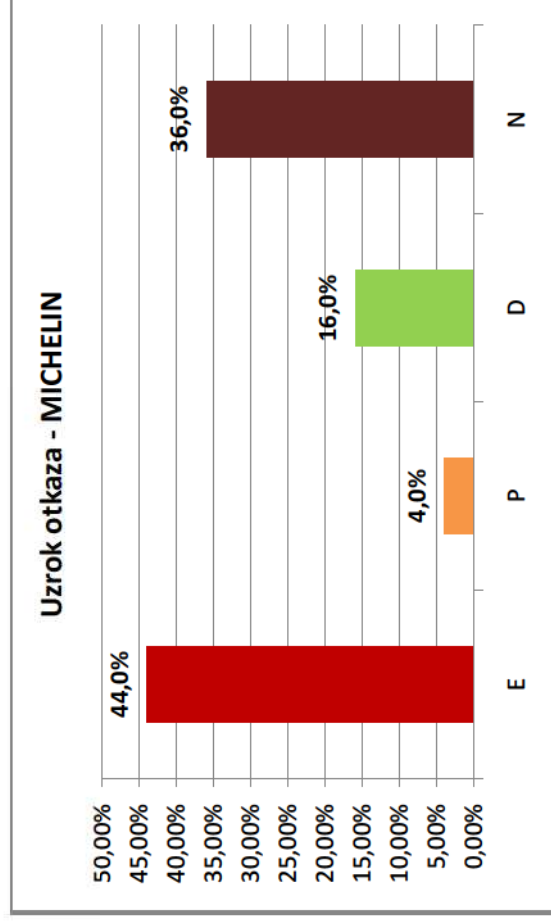
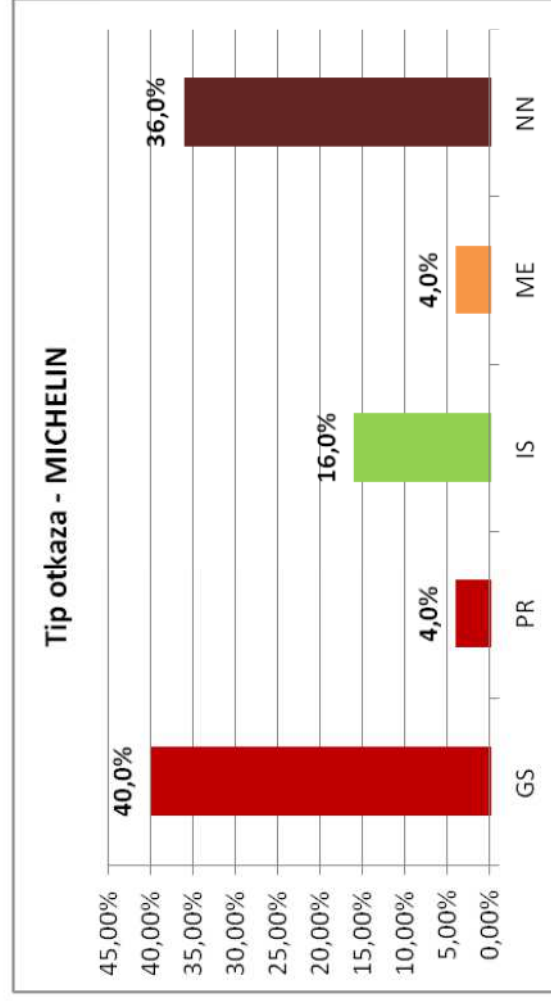
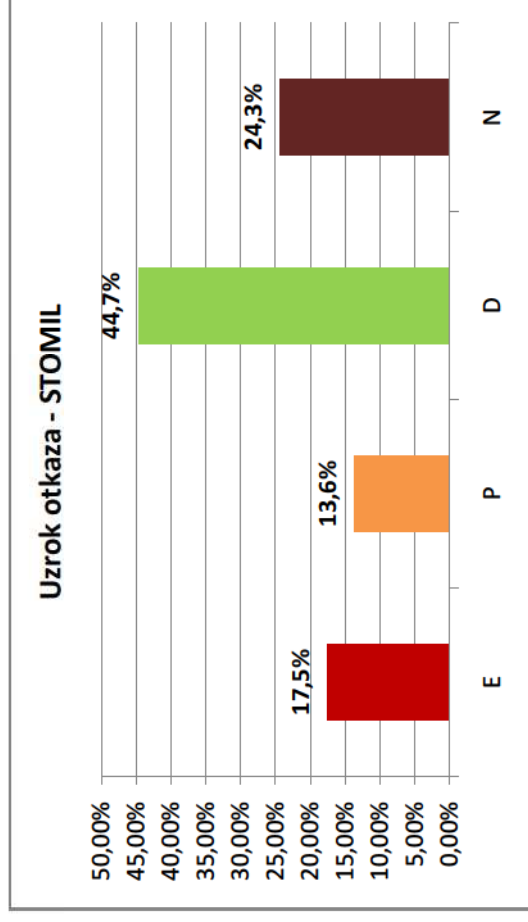
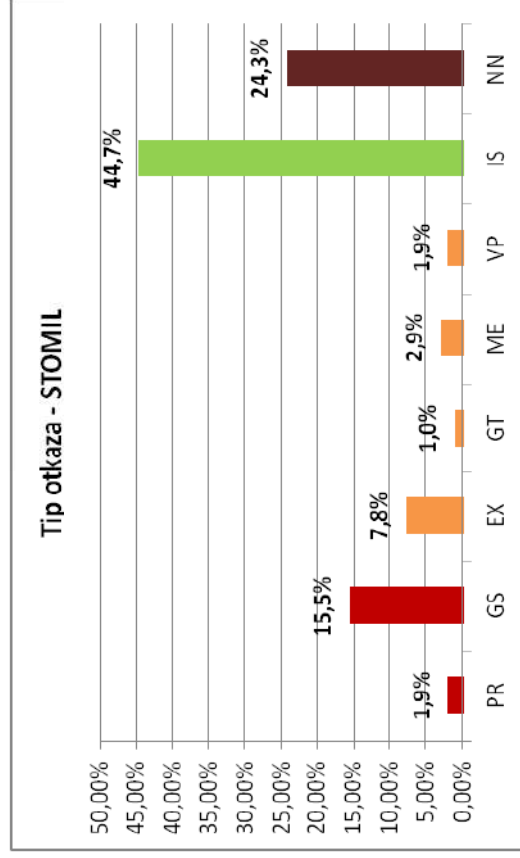
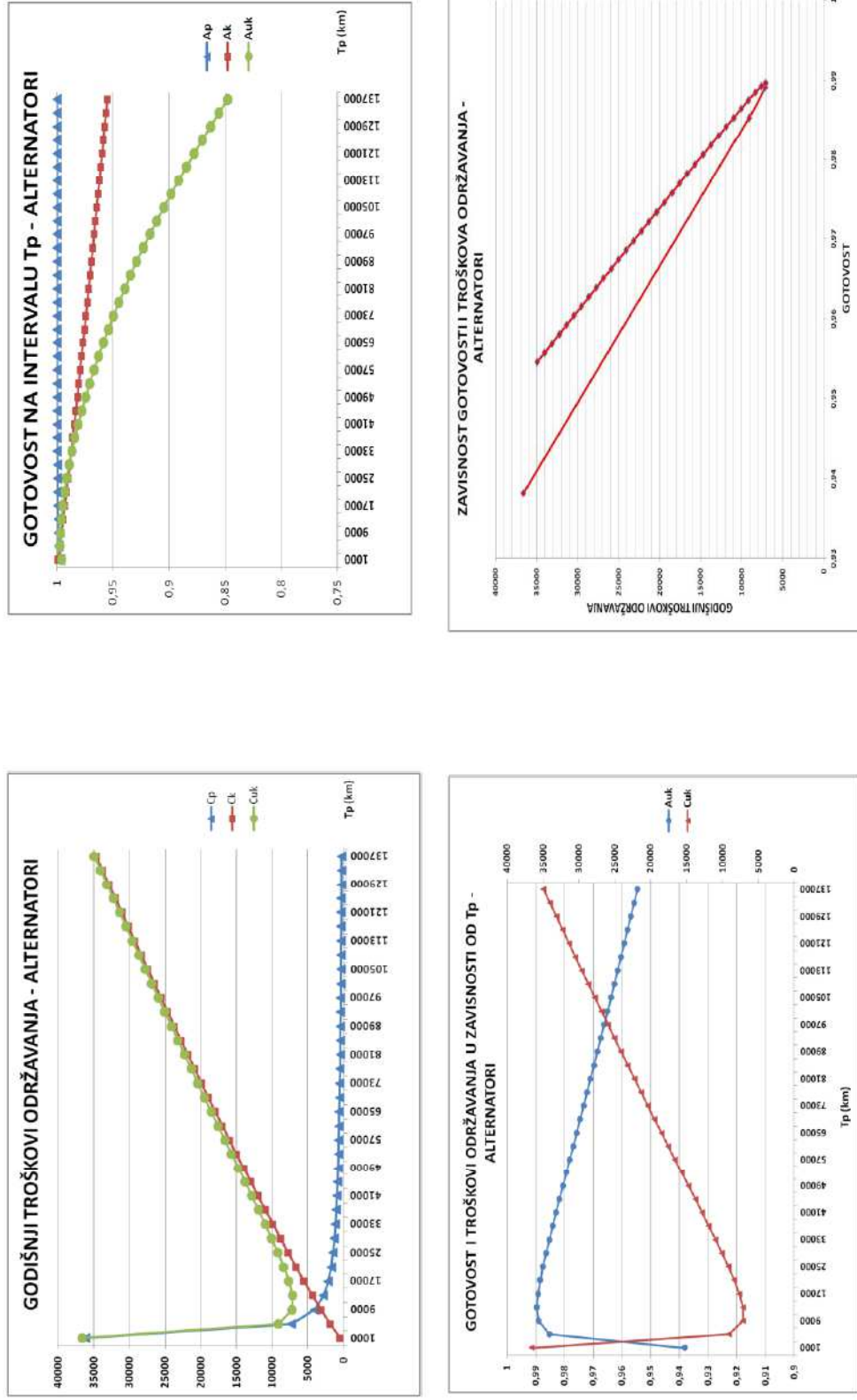


Tabela P17. Tipovi otkaza pneumatika proizvođača STOMIL

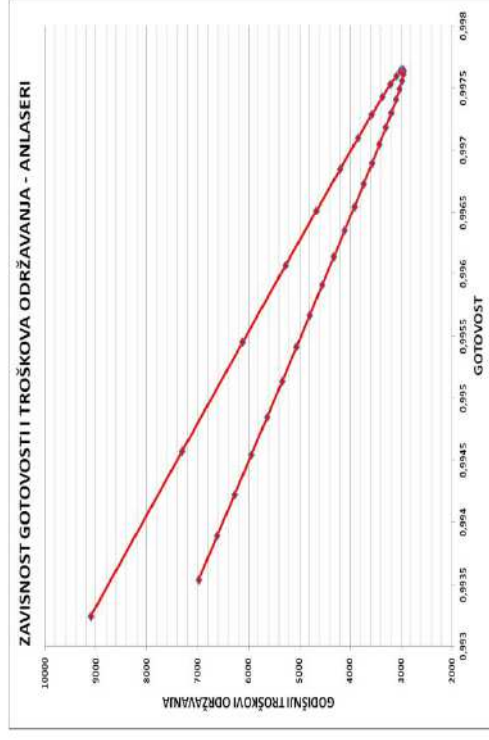
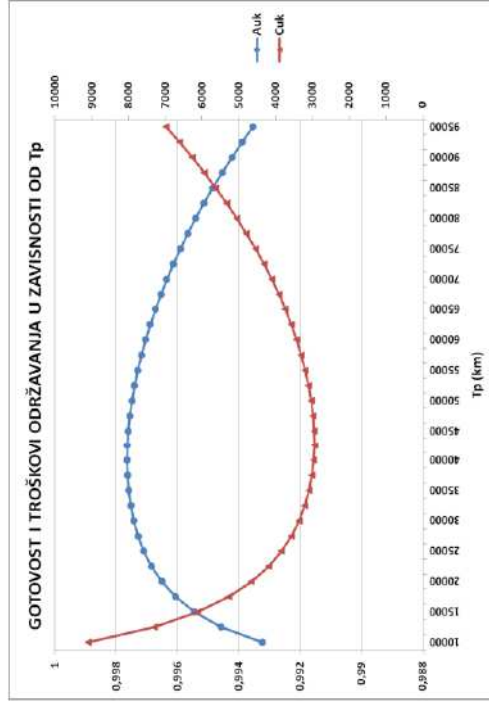
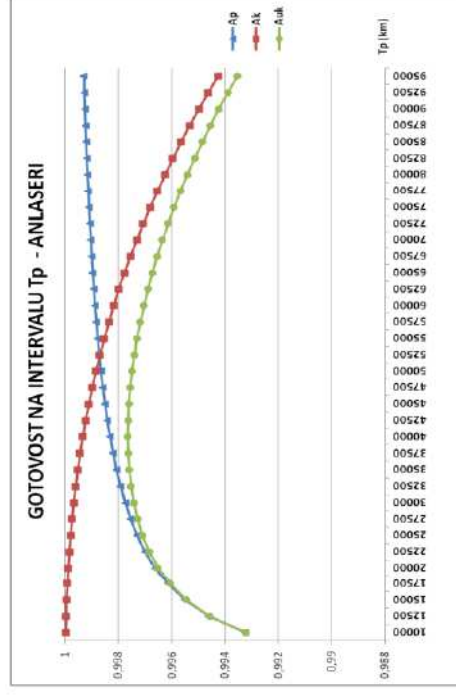
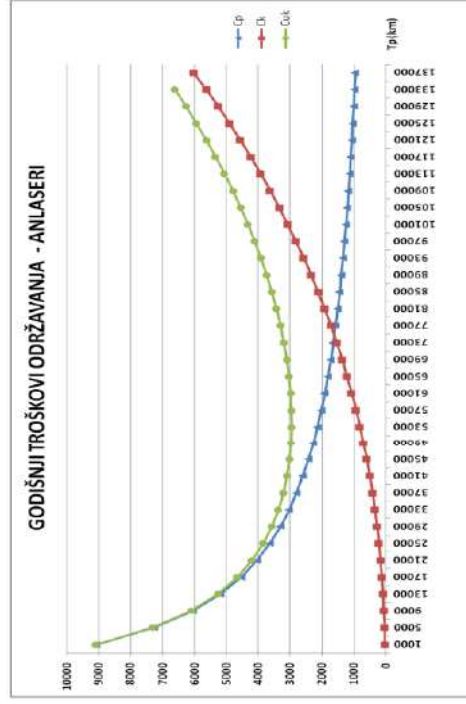
STOMIL				
Tip otkaza	Broj otkaza	Udeo u otkazima	Procentualno učešće otkaza	Skraćenica
PROBIJENA GUMA	2	0,019417476	1,94%	PR
GAZEĆI SLOJ OŠTEĆEN	16	0,155339806	15,53%	GS
EKSPLODIRALA	8	0,077669903	7,77%	EX
GREJE TOČAK	1	0,009708738	0,97%	GT
MEKANA I PRAZNA	3	0,029126214	2,91%	ME
VOJENA PRAZNA	2	0,019417476	1,94%	VP
ISTROŠEN GAZEĆI SLOJ	46	0,446601942	44,66%	IS
NEPOZNAT	25	0,242718447	24,27%	NN
VELIČINA UZORKA	103	1	100,00%	



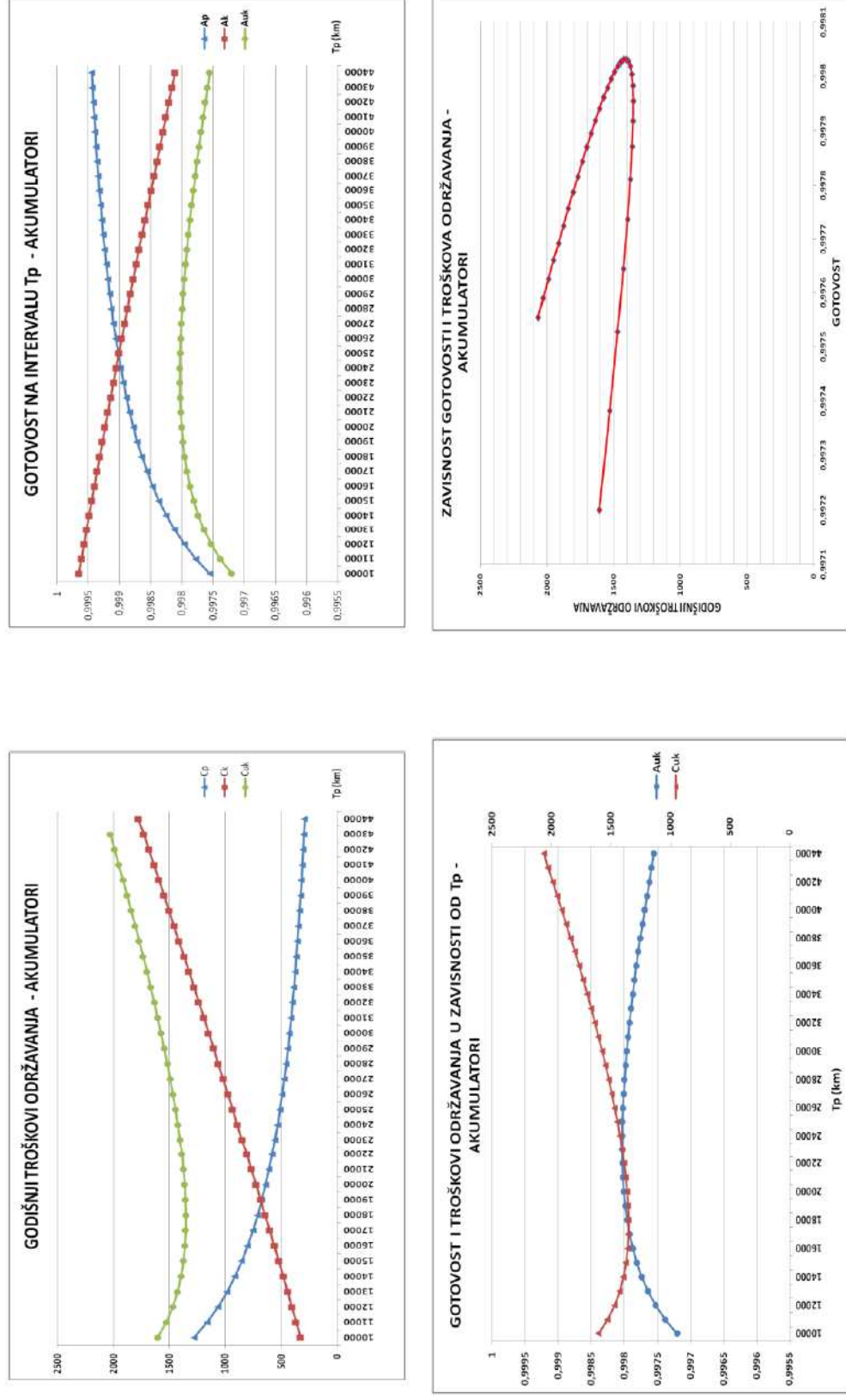
Slika P46. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - ALTERNATORI



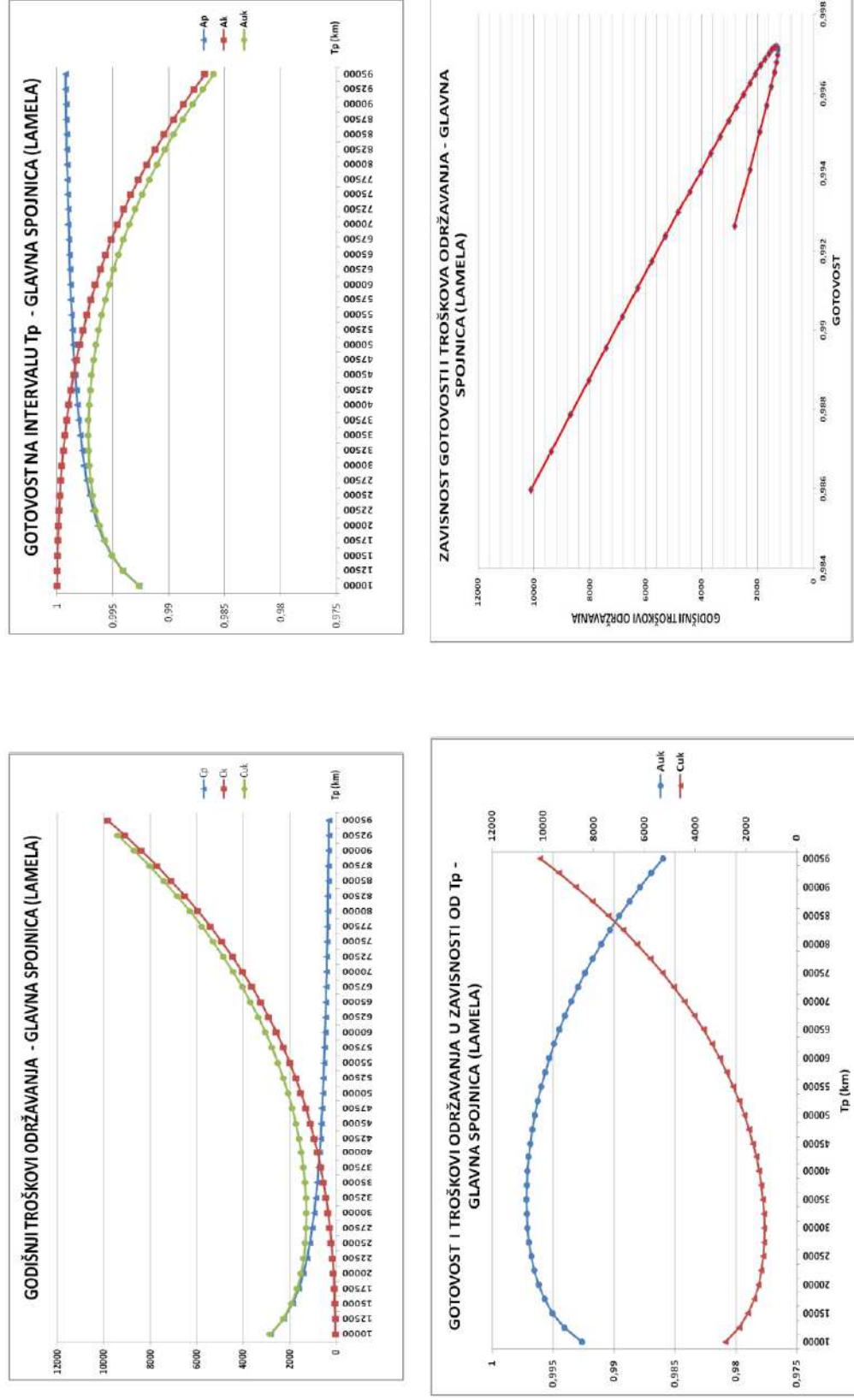
Slika P47. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - ANLASERI



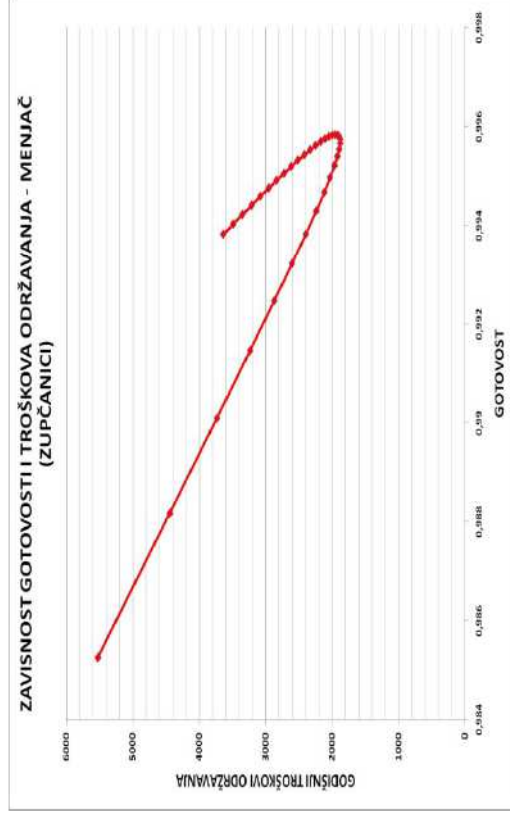
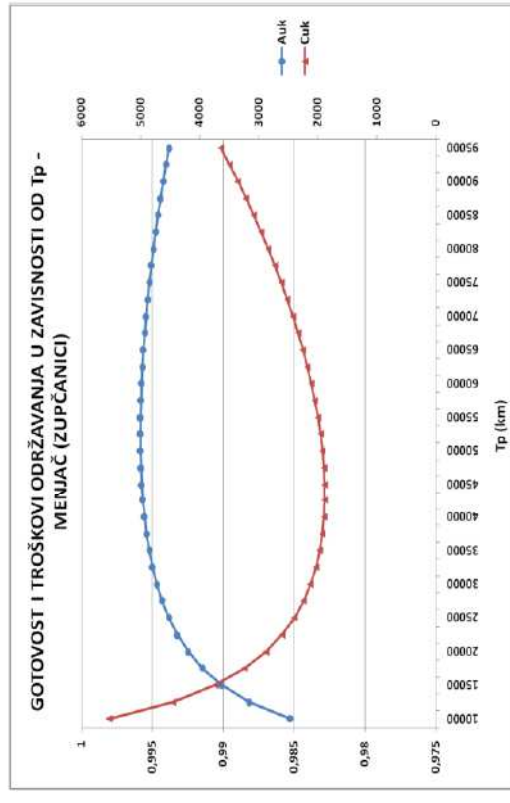
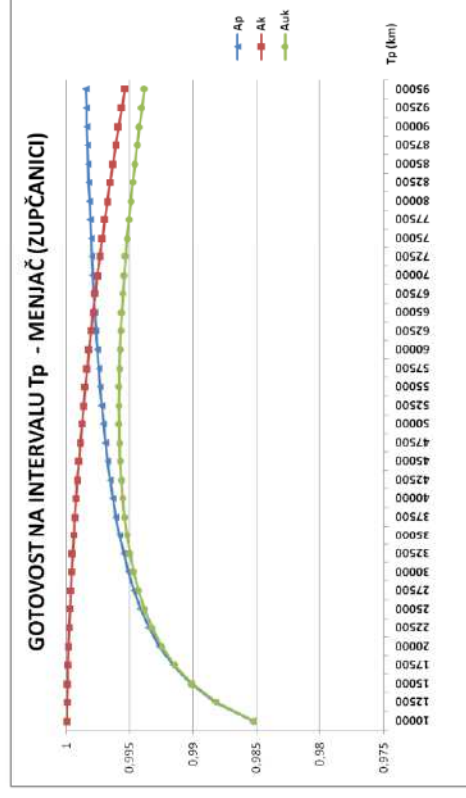
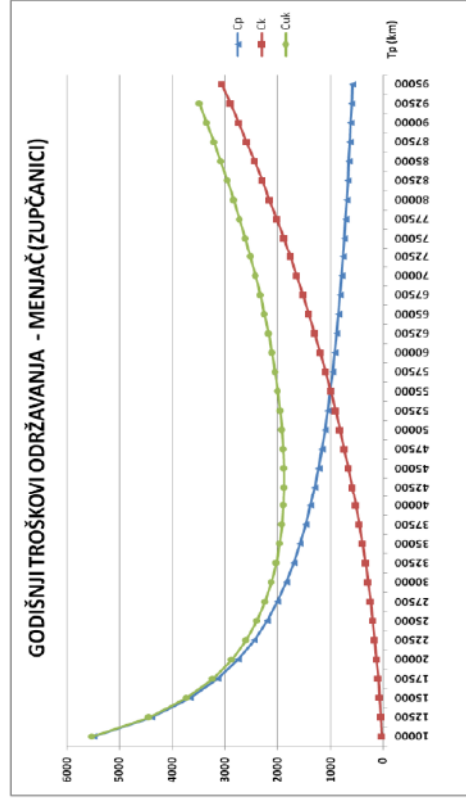
Slika P48. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - AKUMULATORI



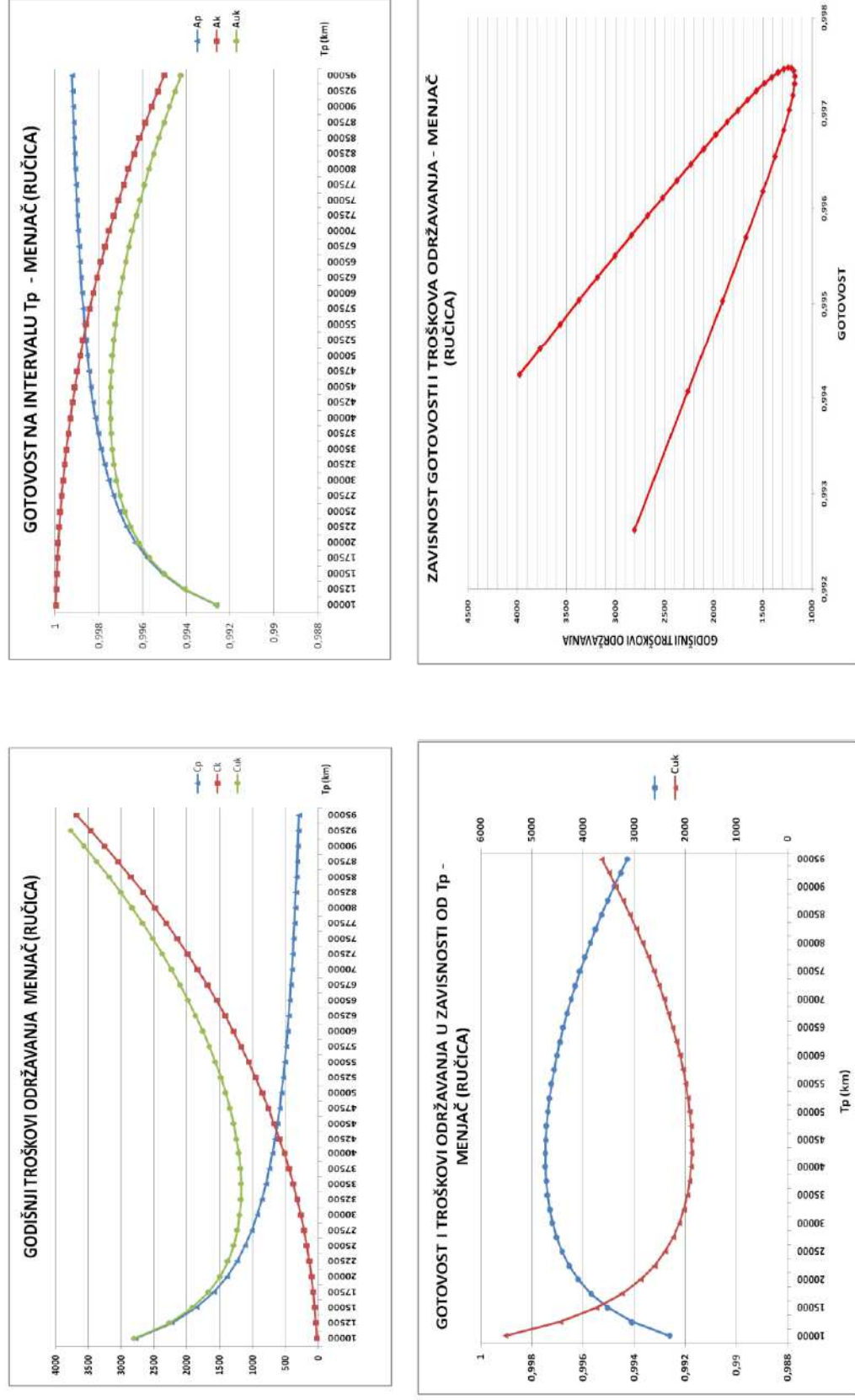
Slika P49. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - GLAVNA SPOJNICA (LAMELA)



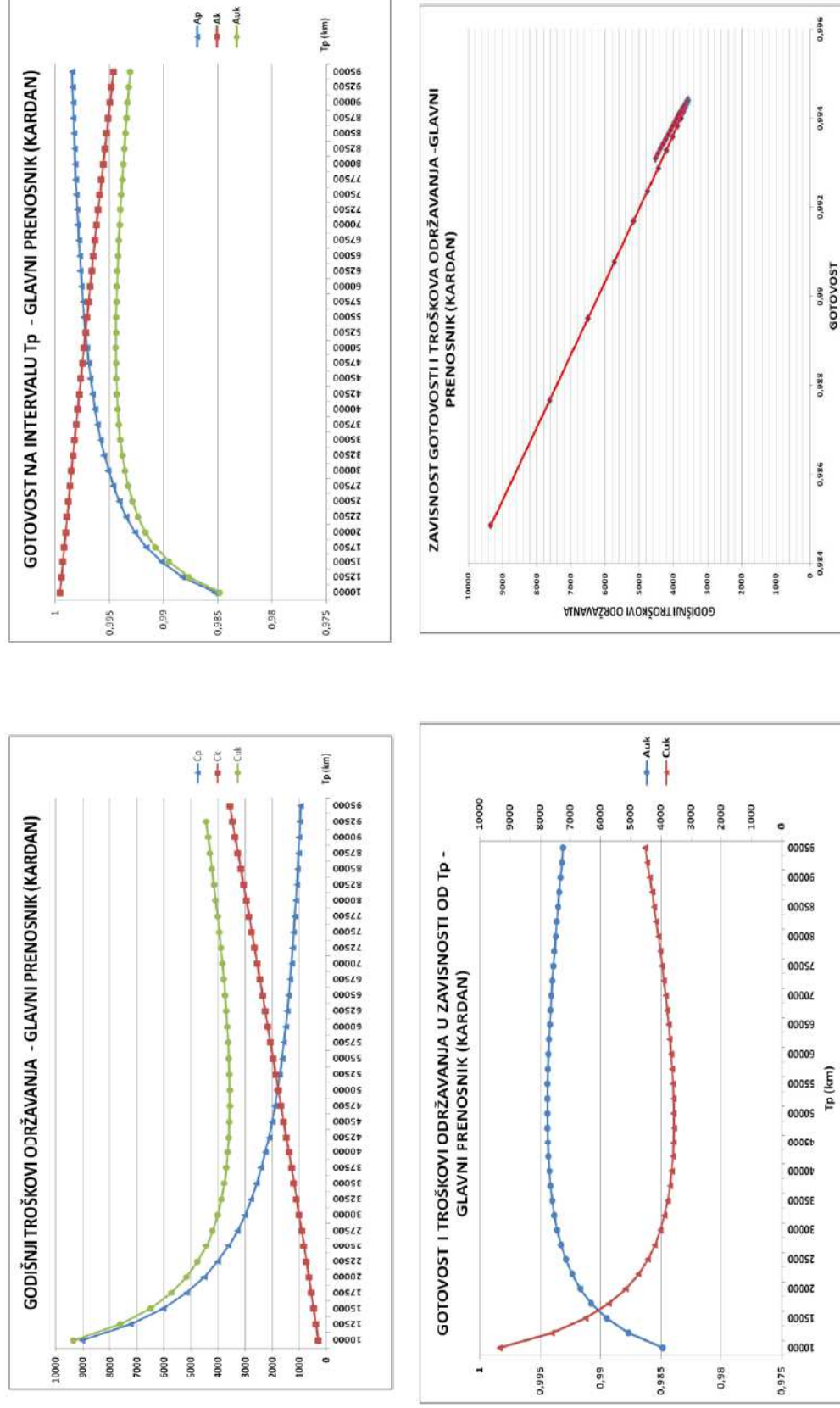
Slika P50. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - MENJAČKI PRENOSNIK (ZUPČANICI)



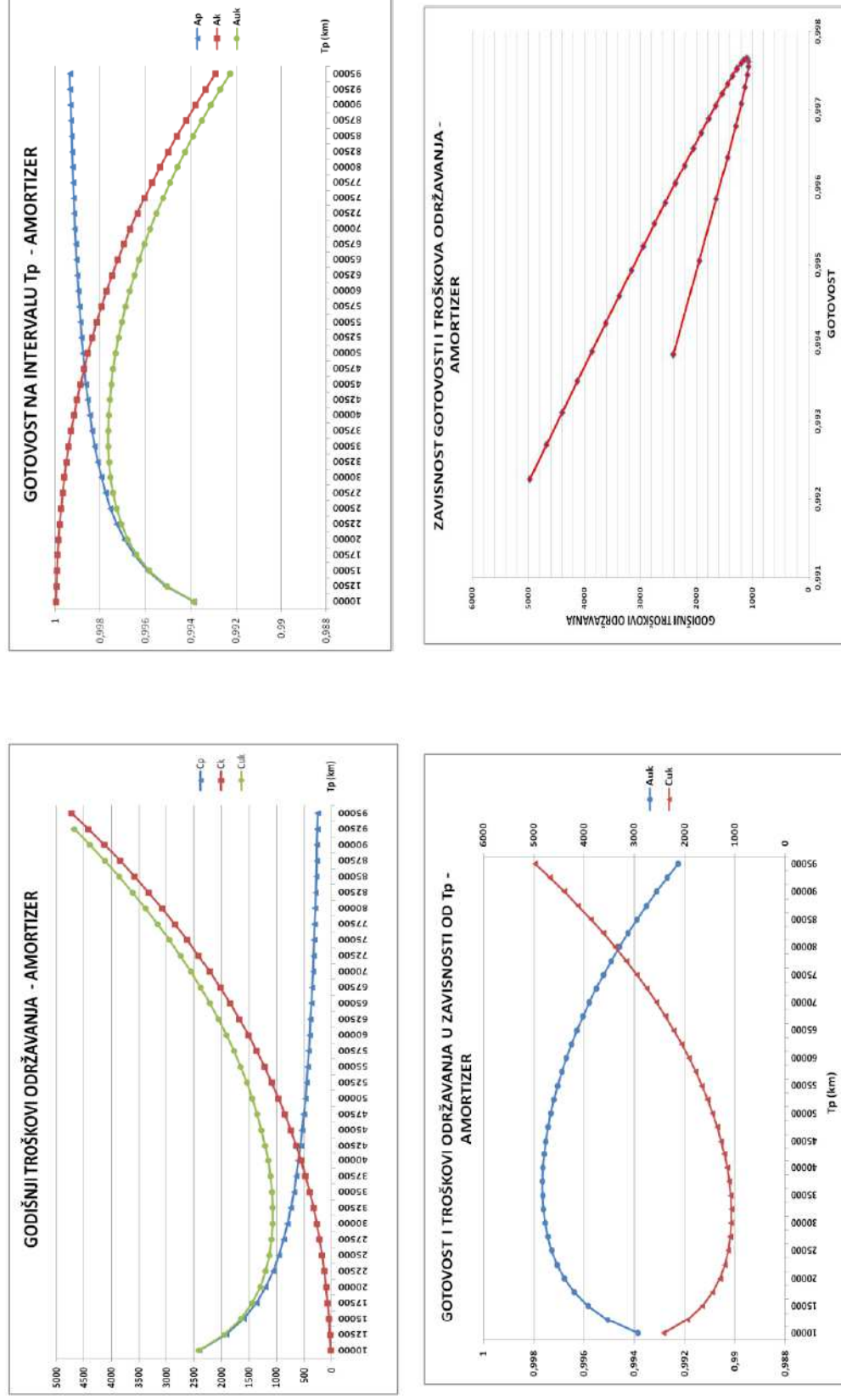
Slika P51. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - MENJAČKI PRENOSNIK (RUČICA)



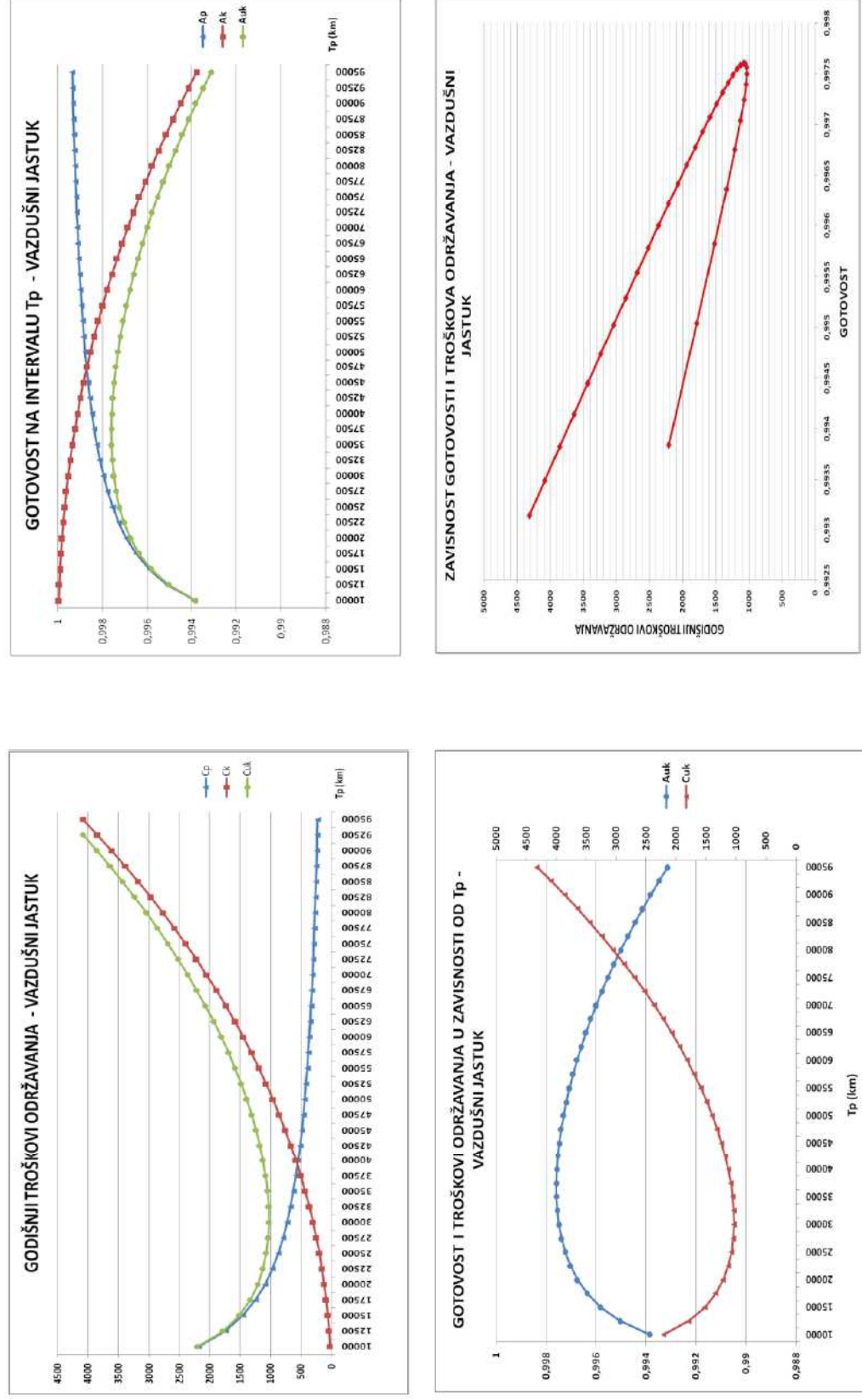
Slika P52. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - GLAVNI PRENOSNIK (KARDAN)



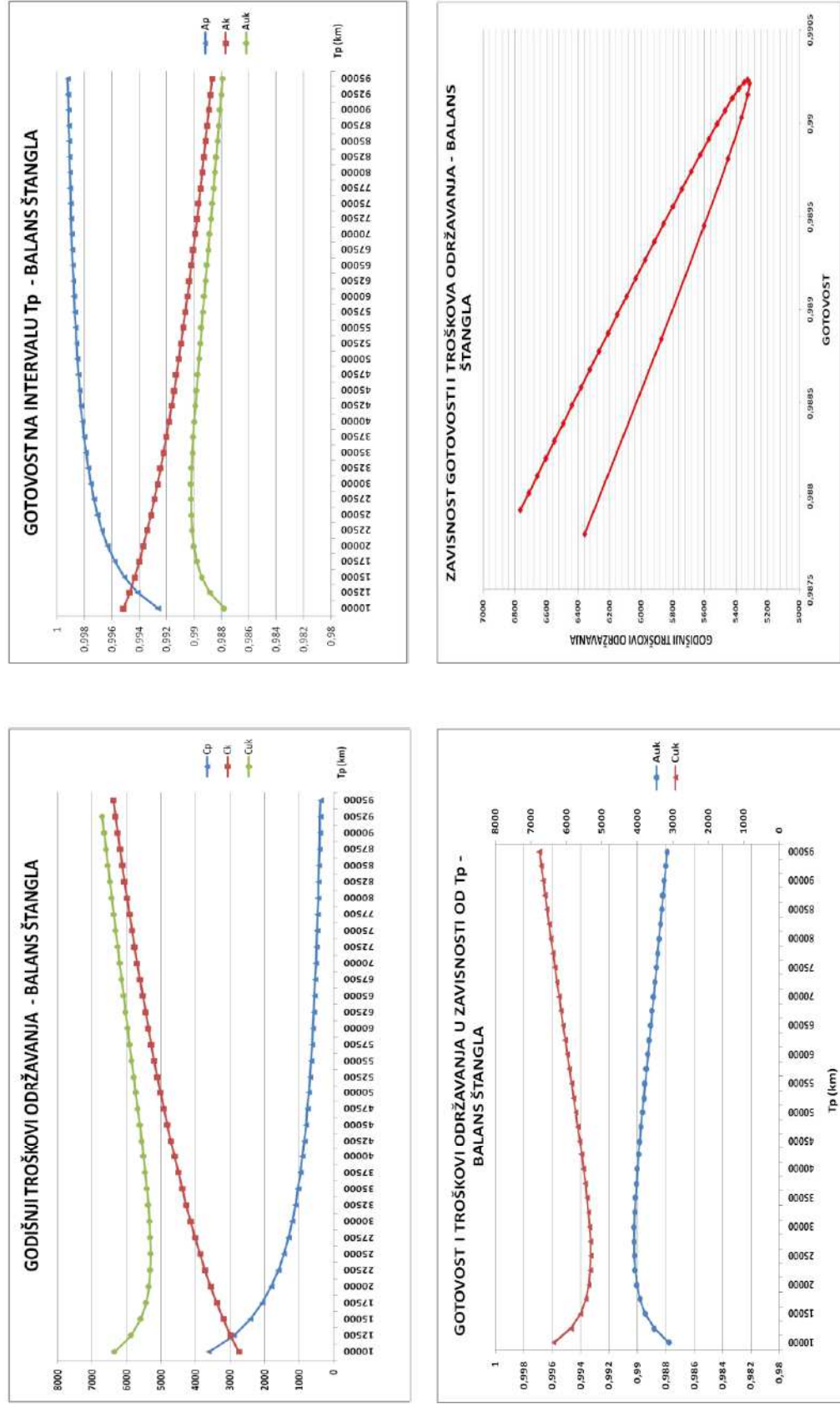
Slika P53. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - AMORTIZER



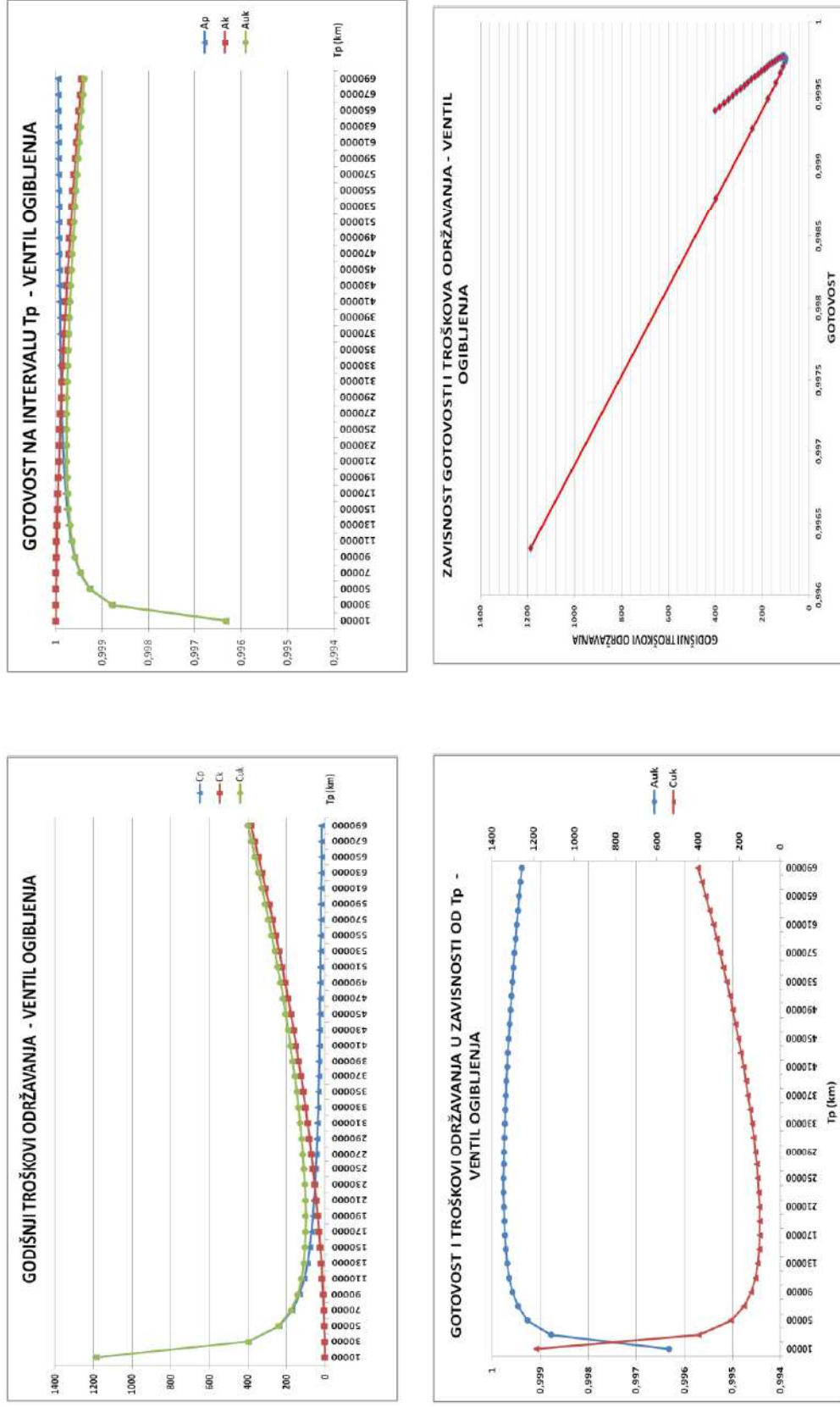
Slika P54. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - VAZDUŠNI JASTUK



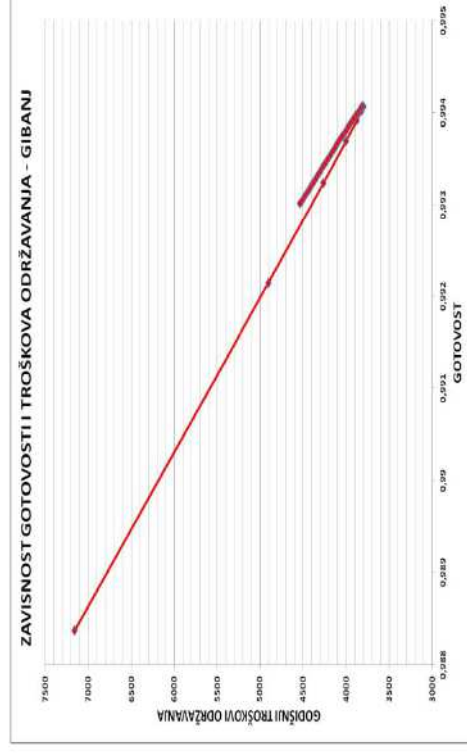
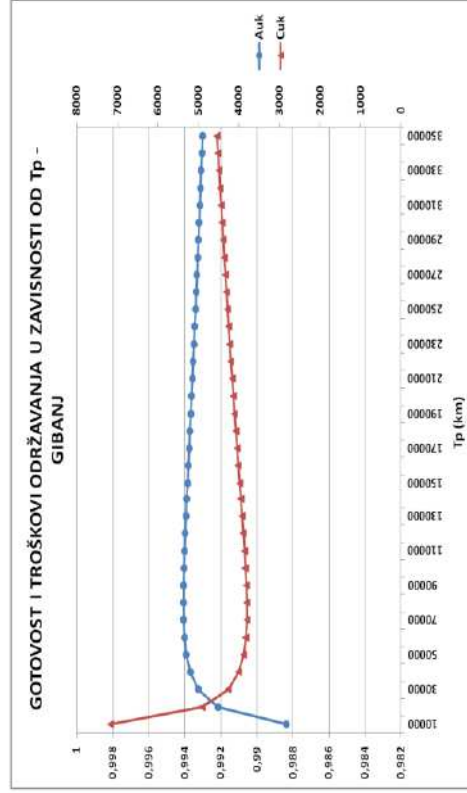
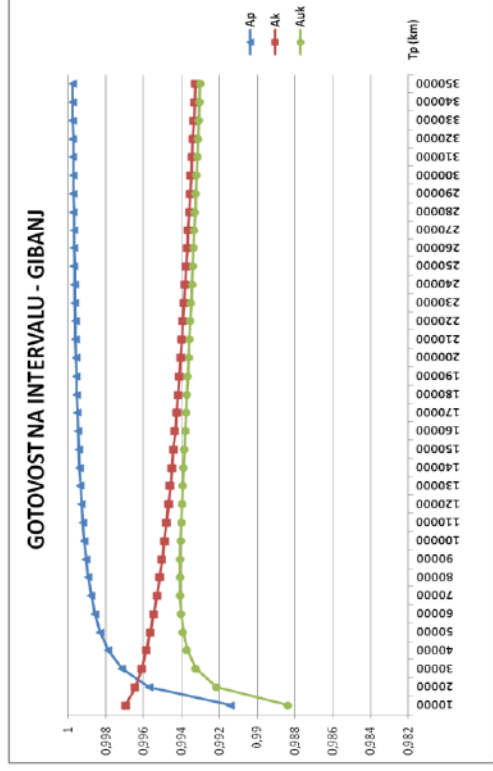
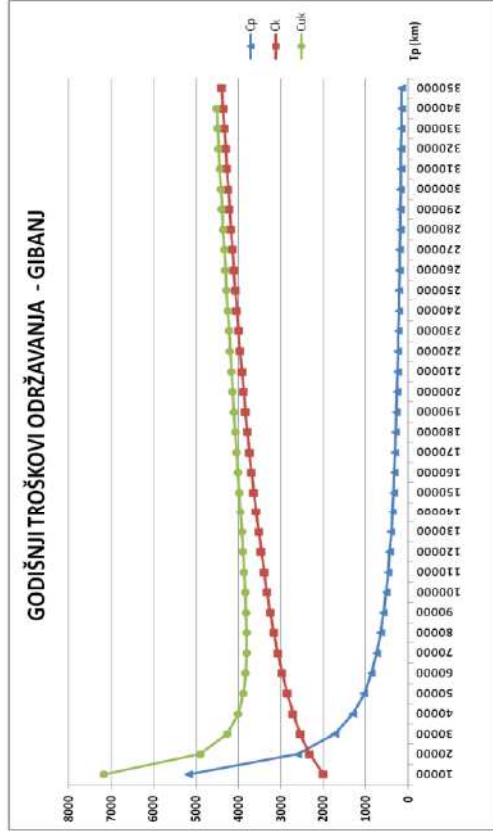
Slika P55. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - BALANS ŠTANGLA



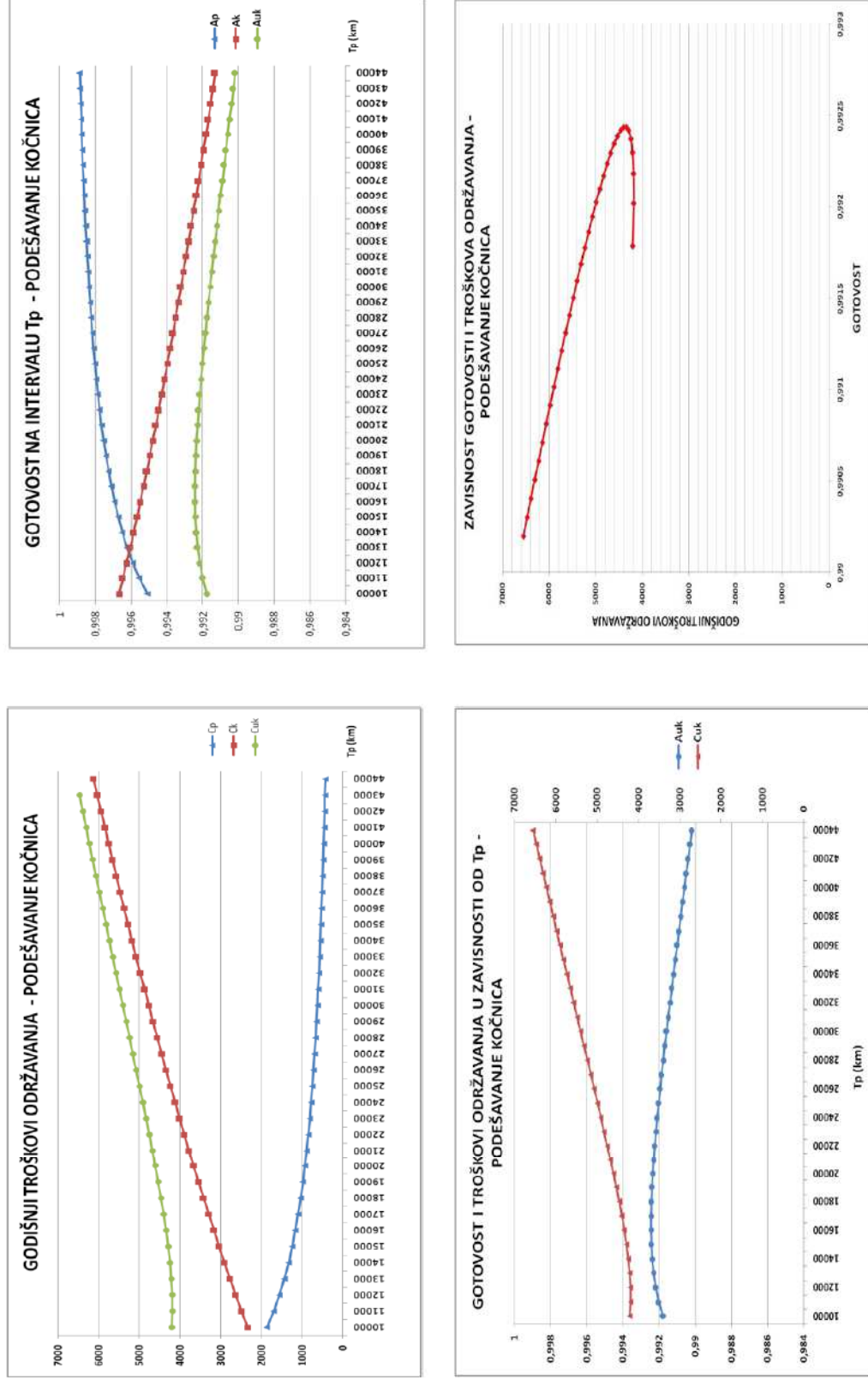
Slika P56. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - VENTIL OGIBLJENJA



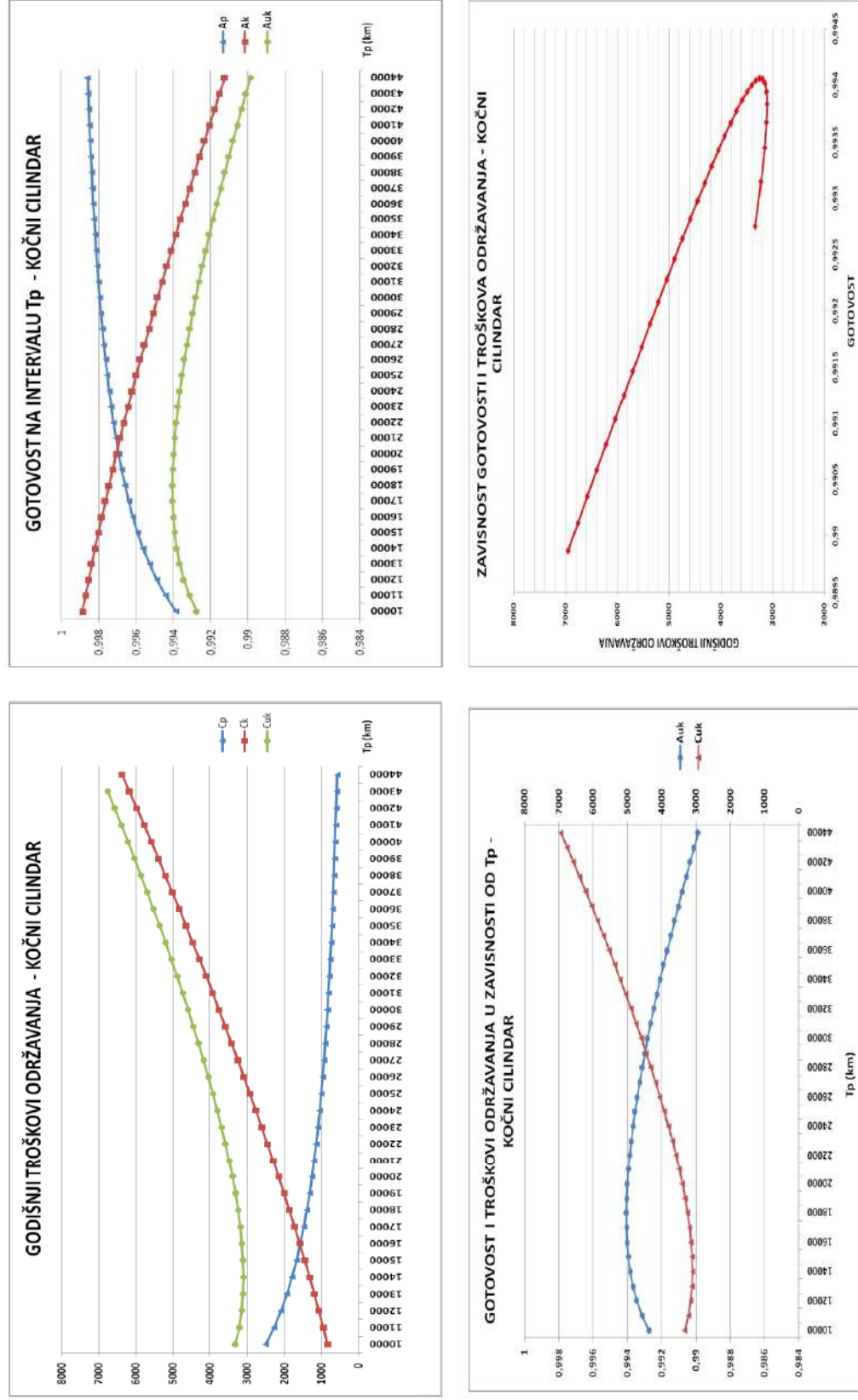
Slika P57. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - GIBANJ



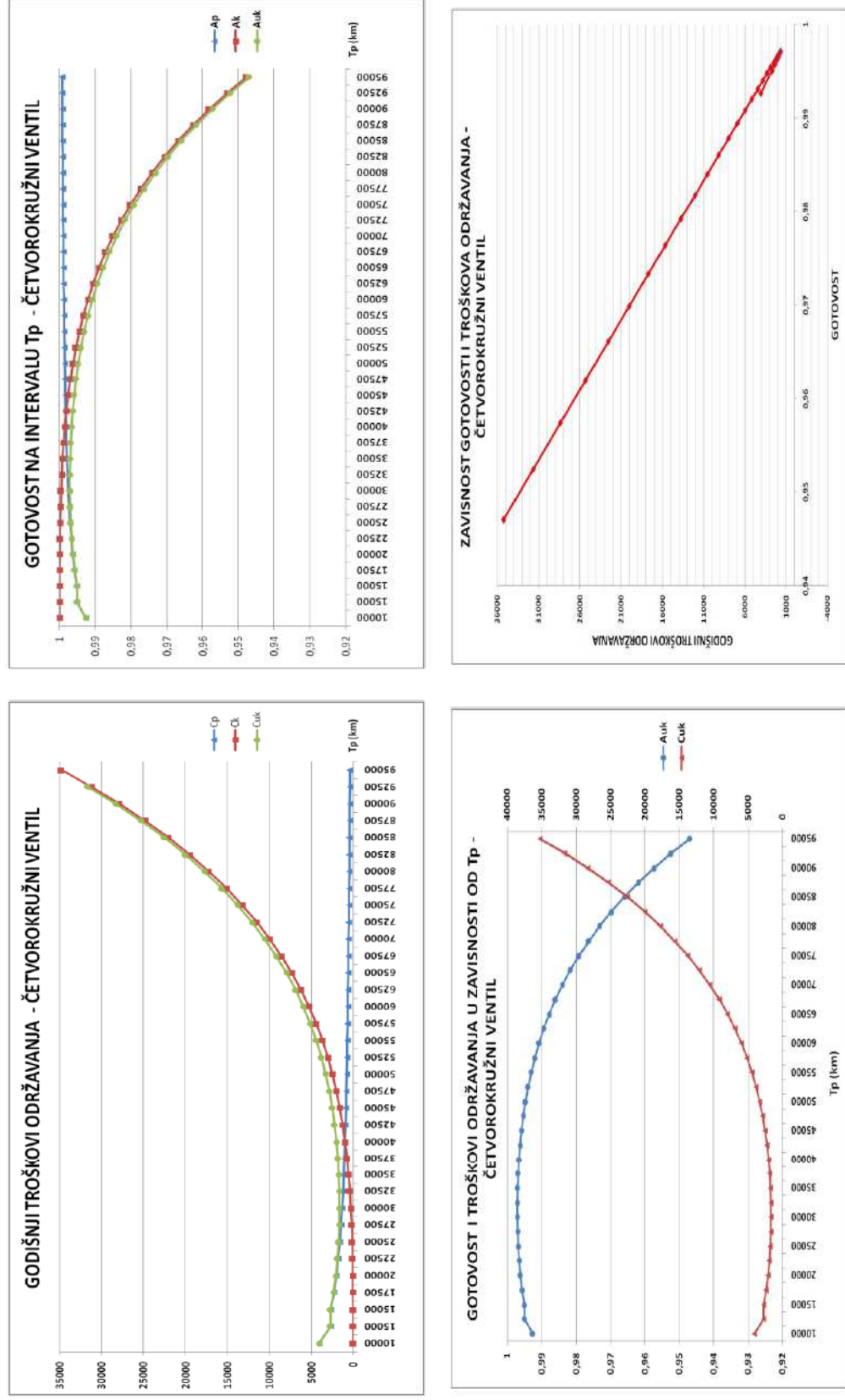
Slika P58. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - KOČNICE (PODEŠAVANJE)



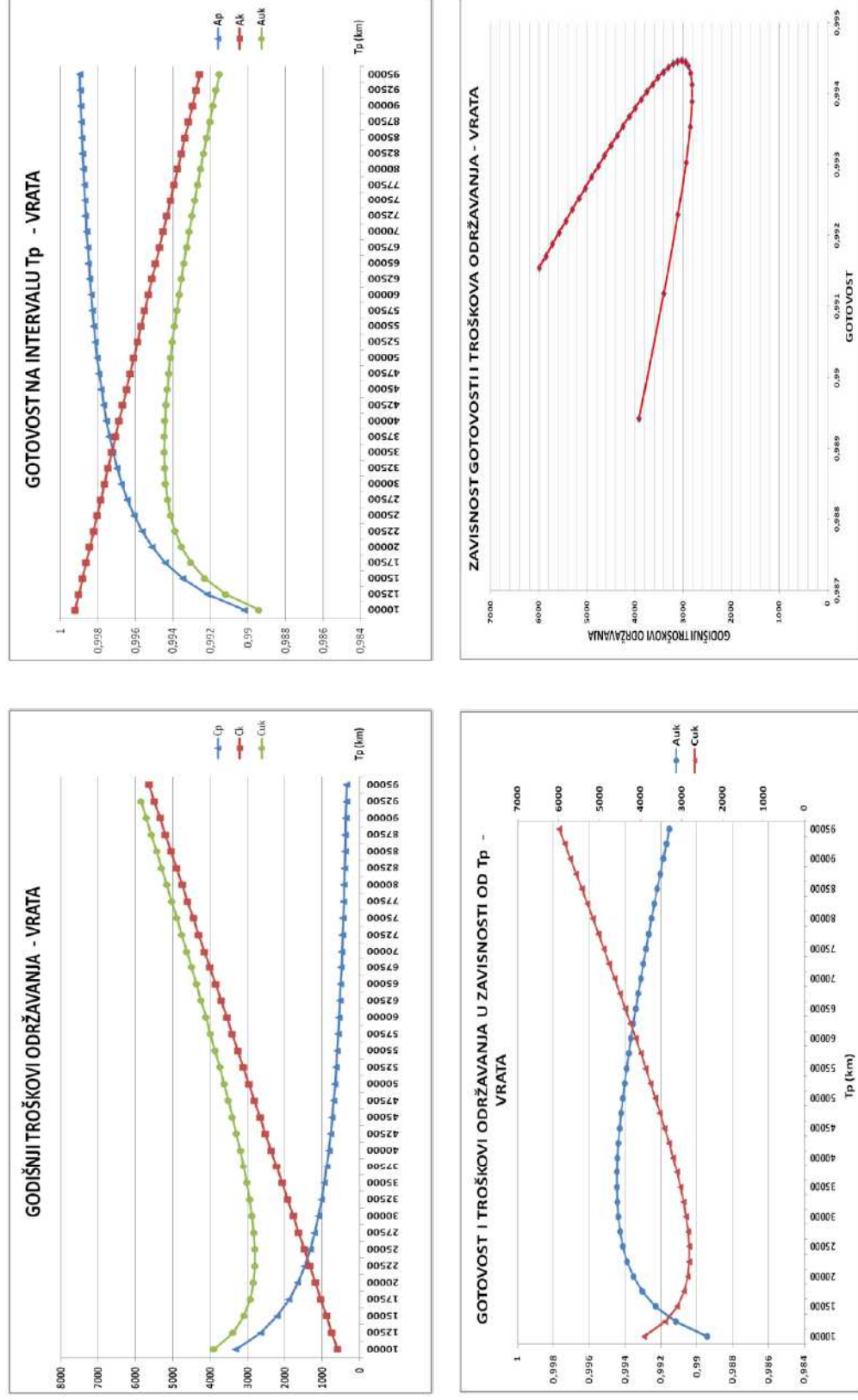
Slika P59. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - KOČNI CILINDAR



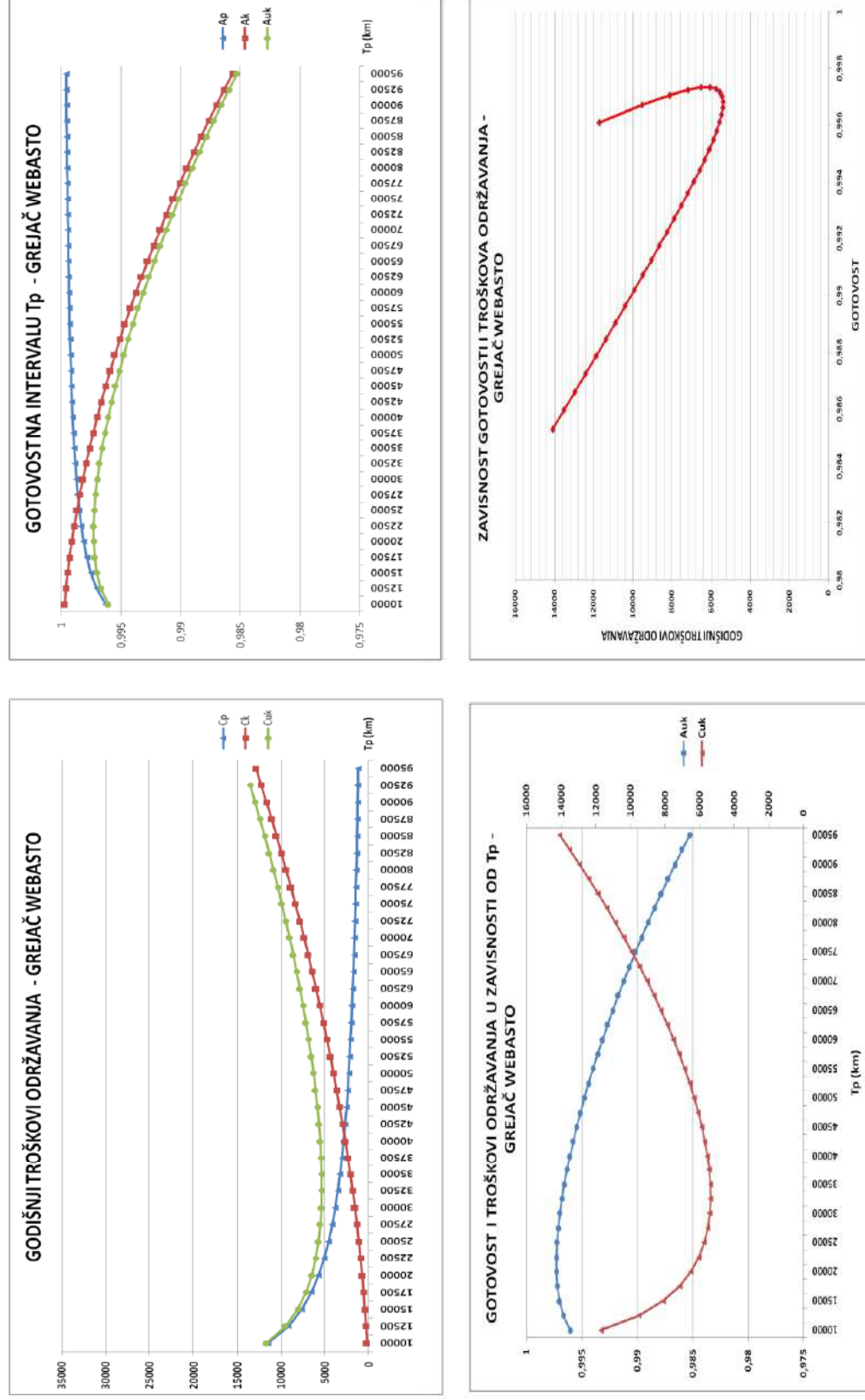
Slika P60. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - ČETVOROKRUŽNI VENTIL



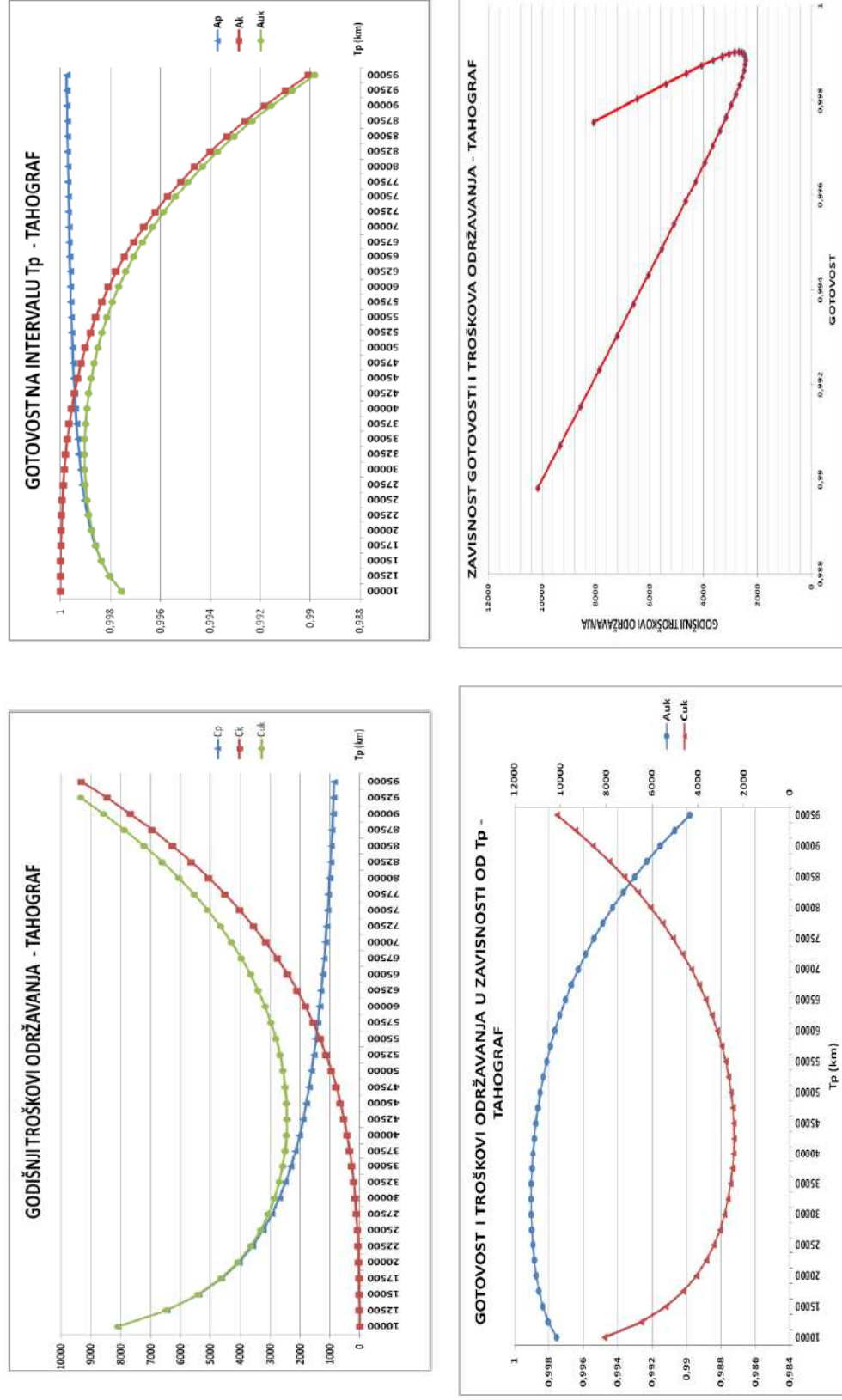
Slika P61. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - VRATA



Slika P62. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - GREJAČ WEBASTO



Slika P63. Zavisnost troškova održavanja i gotovosti određeni iterativnim postupkom - TAHOGRAF



PODACI O AUTORU

Magistar Vesna P. Dakić, dipl. maš. inž. osnovnu školu i Gimnaziju završila je u Banja Luci, kao najbolji učenik generacije i dobitnik Vukove diplome. Upisala je Mašinski fakultet u Beogradu u julu 1996. godine, a diplomirala na odseku za motorna vozila u junu 2001. godine za 4,5 godine, sa temom „Projektovanje pogodnosti održavanja“ sa ocenom deset. Školovanje na istom fakultetu nastavila je u oktobru 2001. godine na magistarskim studijama, na odseku za motorna vozila, u oblasti efektivnosti tehničkih sistema. Magistrirala je u februaru 2006. godine, sa temom: „Istraživanje efektivnosti voznih parkova autobusa“.

Pored školovanja na Mašinskom fakultetu, mr Vesna Dakić završila je i odsek filmske i tv režije na Filmskoj akademiji Dunav film u Beogradu (u periodu od septembra 1996 do oktobra 2000. godine), a u okviru Alternativne akademske obrazovne mreže (AAOM) u periodu od oktobra 2001. godine do oktobra 2002. godine završila je i master studije na odseku za životnu sredinu i ekologiju, sa radom: "Actual European Strategies in Reducing Air Pollution from Motor Vehicles" sa najvećom ocenom.

Mr Vesna Dakić autor je niza naučnih radova, prezentiranih na stručnim skupovima u zemlji i inostranstvu. Od oktobra 2003. do aprila 2004, radila je kao naučni saradnik Instituta »Nikola Tesla« u odseku za električna merenja, a od oktobra 2005. godine radila u preduzeću »Dakom« za projektovanje i prodaju rezervnih auto-delova.

Prilog 1.

Izjava o autorstvu

Potpisana Vesna P. Dakić

Broj indeksa -

Izjavljujem

Da je doktorska disertacija pod naslovom

„Razvoj modela za optimizaciju gotovosti motornih vozila sa stanovišta troškova“

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da predložena disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršila autorska prava i koristila intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis doktoranda

U Beogradu, 04.10.2012.

Vesna Dakić

Prilog 2.

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: **Vesna P. Dakić**

Broj indeksa: -

Studijski program: **Motorna vozila – Efektivnost sistema**

Naslov rada: „**Razvoj modela za optimizaciju gotovosti motornih vozila sa
stanovišta troškova**“

Mentor: Prof. Dr Gradimir Ivanović

Potpisani: Vesna P. Dakić

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predala za objavljivanje na portalu Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis doktoranda:

U Beogradu, 04.10.2012



Prilog 3.

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

„Razvoj modela za optimizaciju gotovosti motornih vozila sa stanovišta troškova“

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predala sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

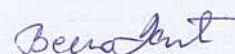
Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučila.

1. Autorstvo
2. Autorstvo – nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci. Kratak opis licenci dat je na poledini lista).

Potpis doktoranda

U Beogradu, 04.10.2012.



1. Autorstvo – Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.

2. Autorstvo – nekomercijalno. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.

4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.

5. Autorstvo – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

6. Autorstvo –deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.