



UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNIČKI FAKULTET „MIHAJLO PUPIN“ ZRENJANIN

**METODE ODRŽAVANJA I NJIHOV UTICAJ NA
POUZDANOST SLOŽENIH MAŠINA NA POVRŠINSKIM
KOPOVIMA**

**MAINTENANCE METHODS AND THEIR IMPACT ON
RELIABILITY OF COMPLEX OPENCAST MINE
EQUIPMENT**

DOKTORSKA DISERTACIJA



KANDIDAT

mr Pera Paunjorić

Br. 188

Zrenjanin, 2016.



UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNIČKI FAKULTET „MIHAJLO PUPIN“ ZRENJANIN

**METODE ODRŽAVANJA I NJIHOV UTICAJ NA
POUZDANOST SLOŽENIH MAŠINA NA POVRŠINSKIM
KOPOVIMA**

**MAINTENANCE METHODS AND THEIR IMPACT ON
RELIABILITY OF COMPLEX OPENCAST MINE
EQUIPMENT**

DOKTORSKA DISERTACIJA



MENTOR

Prof. Dr Živoslav Adamović

KANDIDAT

mr Pera Paunjorić

Br. 188

Zrenjanin, 2016.

SADRŽAJ:

1. UVOD	14
1.1 SVRHA ISTRAŽIVANJA	14
1.2 ISTRAŽIVAČKA PITANJA.....	14
1.3 OČEKIVANI REZULTATI.....	14
1.4 RAZVOJ GENERACIJA SISTEMA ODRŽAVANJA U SVETU	15
1.5 ANALIZA OSNOVNOG UZROKA OTKAZA	16
2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA METODA ODRŽAVANJA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA	20
2.1 OBJAVLJENI RADOVI I KNJIGE IZ ODRŽAVANJA MAŠINA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA	20
2.2 UZROCI KOJI DOVODE DO NEISPRAVNOSTI RUDARSKE MEHANIZACIJE	23
2.3 POUZDANOST, POGODNOST ODRŽAVANJA I RASPOLOŽIVOST RUDARSKE MEHANIZACIJE	24
3. METODOLOSKI KONCEPT ISTRAŽIVANJA	26
3.1 PROBLEM I PREDMET ISTRAŽIVANJA	26
3.2 HIPOTEZA ISTRAŽIVANJA	26
3.3 METODE ISTRAŽIVANJA	27
3.4 ORGANIZACIJA ISTRAŽIVANJA	28
3.5 NAUČNA I DRUŠTVENA OPRAVDANOST ISTRAŽIVANJA.....	28
4. PROIZVODNI SISTEMI NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA I TEHNIČKO ODRŽAVANJE	29
4.1. PROIZVODNI SISTEMI NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA.....	29
4.1.1. <i>Tehnički sistemi - opis</i>	29
4.2. ODRŽAVANJE TEHNIČKIH SISTEMA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA.....	32
4.3. KONCEPCIJE ODRŽAVANJA SLOŽENIH MAŠINA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA	34
4.3.1. <i>Proces održavanja složenih mašina na površinskim kopovima</i>	34
4.3.2. <i>Karakteristike korektivnog održavanja</i>	35
4.3.3. <i>Karakteristike preventivnog održavanja</i>	35
4.3.4. <i>Karakteristike prediktivnog održavanja – održavanje prema stanju</i>	36
4.3.5. <i>Karakteristike proaktivnog održavanja</i>	38
4.4. METODOLOGIJE ODRŽAVANJA.....	39
4.4.1. <i>Ciljevi održavanja</i>	39
4.4.2. <i>Održavanje kao funkcija</i>	41
4.4.3. <i>Integralni sistematski prilaz održavanju</i>	41
4.4.4. <i>Koncepcija i tehnologija održavanja</i>	43
4.4.4.1. <i>Sistem tehničkog održavanja</i>	43
4.4.4.2. <i>Koncepcija sistema održavanja</i>	43
4.4.4.3. <i>Organizacija sistema održavanja</i>	44
4.4.4.4. <i>Tehnologija održavanja</i>	44
4.5. ANALIZA POUZDANOSTI HIDRAULIČNOG BAGERA RH 120 E.....	45
4.5.1. <i>Životni ciklus bagera</i>	45
4.5.2. <i>Otkazi hidrauličnog bagera RH120E</i>	46
4.5.3. <i>Pregled rezultata istraživanja</i>	49
4.6 ANALIZA POUZDANOSTI DROBILICE ALLIS CHALMERS 48"-74".....	51
4.6.1. <i>Životni ciklus drobilice</i>	51
4.6.2. <i>Otkazi kružne drobilice Allis Chalmers 48"-74"</i>	54
4.6.3. <i>Pregled rezultata istraživanja</i>	54
5. TEORIJSKA ISTRAŽIVANJA	56
5.1. ODRŽAVANJE PREMA STANJU (CBM)	56
5.2. DOBIJANJE PODATAKA	57
5.3. OBRADA PODATAKA.....	58

5.3.1. <i>Analiza signalnih podataka</i>	59
5.3.1.1. <i>Vremenska analiza</i>	59
5.3.1.2. <i>Frekvencijska analiza</i>	59
5.3.1.3. <i>Vremensko-frekvencijska analiza</i>	60
5.3.2. <i>Analiza podataka vrednosnog tipa</i>	61
5.3.3. <i>Analiza podataka kombinovanjem podataka dobijenih tokom događaja i podataka dobijenih praćenjem stanja</i>	61
5.4. <i>PODRŠKA DONOŠENJU ODLUKA PRI ODRŽAVANJU MAŠINA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA</i>	63
5.4.1. <i>Tehnička dijagnostika</i>	63
5.4.1.1. <i>Statistički pristupi</i>	64
5.4.1.2. <i>AI pristupi</i>	64
5.4.1.3. <i>Drugi pristupi</i>	65
5.4.2. <i>Prognostika stanja mašina</i>	66
5.4.2.1. <i>Preostali korisni životni vek</i>	66
5.4.2.2. <i>Prognostika koja uključuje metode održavanja</i>	67
5.4.2.3. <i>Interval praćenja stanja</i>	68
5.5. <i>FUZIJA PODATAKA DOBIJENIH VIŠESTRUKIM SENZORIMA</i>	69
5.6. <i>PRISTUP ODRŽAVANJU PREMA STANJU</i>	70
5.7. <i>TEHNOLOGIJA NA OSNOVU PRAĆENJA STANJA</i>	71
5.8. <i>IMPLEMENTACIJA METODA ODRŽAVANJA</i>	73
5.8.1. <i>Opšta implementacija i upravljanje promenama</i>	73
5.8.2. <i>Primena uslova za uvođenje metoda održavanja</i>	73
5.9. <i>DIJAGNOZA STANJA TEHNIČKIH SISTEMA</i>	76
5.9.1. <i>Opšte</i>	76
5.9.2. <i>Sistemi dijagnoze za određivanje stanja tehničkih sistema</i>	76
5.9.3. <i>Vrste primene tehničke dijagnostike</i>	77
5.10. <i>OSNOVNI POSTUPCI TEHNIČKE DIJAGNOSTIKE</i>	79
5.10.1. <i>Objektivni postupci tehničke dijagnostike</i>	80
5.10.1.1. <i>Postupci kontrole (merenja) radnih parametara</i>	80
5.10.1.2. <i>Merenje ugaone brzine i broja obrtaja</i>	83
5.10.1.3. <i>Merenje pritiska</i>	84
5.10.1.4. <i>Merenje obrtnog momenta</i>	84
5.10.1.5. <i>Merenje mehaničke snage</i>	85
5.10.1.6. <i>Merenje vremena</i>	85
5.10.1.7. <i>Merenje tvrdoće</i>	85
5.10.1.8. <i>Primena termografije</i>	85
5.10.2. <i>Postupci kontrole produkata habanja i sagorevanja</i>	87
5.10.2.1. <i>Metode kontrole kvaliteta ulja i maziva</i>	87
5.10.2.2. <i>Uvođenje sistema proaktivne kontrole hidrauličnih sistema</i>	90
5.10.3. <i>Vibroakustički postupak (vibracije i buka)</i>	92
5.10.3.1. <i>Vibracije kao parametar stanja</i>	92
5.10.3.2. <i>Uzročnici nastanka vibracije i buke</i>	93
5.10.3.3. <i>Karakteristike vibracija</i>	93
5.10.3.4. <i>Nivo kompleksnih (složenih) vibracija</i>	94
5.10.3.5. <i>Karakteristike buke</i>	95
5.10.3.6. <i>Merenje vibracija</i>	95
5.10.3.7. <i>Analiza vibracija</i>	95
5.10.3.8. <i>Prikupljanje podataka</i>	96
5.10.3.9. <i>Interpretacija podataka</i>	96
5.10.3.10. <i>Pristup dijagnostici pomoću vibracija</i>	97
5.10.3.11. <i>Utvrđivanje uzoraka neispravnosti tehničkih sistema</i>	98
5.10.4. <i>Postupci ispitivanja strukture materijala</i>	103
5.10.4.1. <i>Uvod</i>	103
5.10.4.2. <i>Klasifikacija postupaka bez razaranja</i>	103
5.10.4.3. <i>Postupak magnetske kontrole – magnetna ispitivanja</i>	103
5.10.4.4. <i>Penetranti</i>	105

5.10.4.5. Metoda ultrazvuka – ultrazvučna ispitivanja	105
5.10.4.6. Postupak ispitivanja vrtložnim strujama	107
5.10.4.7. Metoda radiografije i gamagrafije	107
5.10.4.8. Primena inženjerske holografije.....	108
5.10.4.9. Primena holografske interferometrije	108
5.10.4.10. Aerobalistički eksperimenti i primena holografije.....	108
5.10.5. Postupci ispitivanja korozije	109
5.10.6. Postupci ispitivanja geometrijske tačnosti.....	110
5.10.6.1. Opšte.....	110
5.10.6.2. Geometrijska i radna tačnost mašina	110
5.10.7. Postupci kontrole električnih parametara	111
5.11. TELEAUTOMATIZACIJA TEHNIČKIH SISTEMA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA.....	111
5.11.1. Teleautomatizacija.....	111
5.11.2. Teleservis i teledijagnoza	115
5.11.3. Teledijagnostika složenih tehničkih sistema na površinskim kopovima	116
5.11.4. Decentralizovani sistemi automatizacije.....	118
5.11.5. Teleservis.....	119
5.11.5.1. Uopšteno o načinu funkcionisanja teleservisa	122
5.11.5.2. Bezbednost funkcionisanja usluge teleservisa	122
5.12. PREVENTIVNE PERIODIČNE POPRAVKE – REMONTI TEHNIČKIH SISTEMA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA	123
5.12.1. Vrste periodičnih opravki mašina na površinskim kopovima	123
5.12.1.1. Osnovne definicije	123
5.12.1.2. Vrste preventivnih periodičnih opravki (remonta)	124
5.12.1.3. Male preventivne periodične opravke (profilakse)	125
5.12.1.4. Srednje preventivne periodične opravke (profilakse).....	125
5.12.2. Određivanje složenosti preventivne periodične opravke.....	127
5.12.2.1. Proračun složenosti	127
5.12.2.2. Planiranje preventivnih opravki	128
5.12.2.3. Struktura i dužina perioda između preventivnih periodičnih opravki	129
5.12.2.4. Obim i složenost radova preventivnih periodičnih opravki	129
5.12.2.5. Potreba za materijalima, rezervnim delovima i radnom snagom	130
5.12.3. Metode sprovođenja preventivne opravke mašina na površinskim kopovima	131
5.12.4. Tehnologija izvođenja preventivnih periodičnih opravki mašina na površinskim kopovima	133
6. METODA ISTRAŽIVANJA	135
6.1. ISTRAŽIVANJE O KONCEPTU ODRŽAVANJA	135
6.1.1. Metodološki pristup	135
6.1.2. Sistemi perspektive za održavanje	136
6.1.3. Kreiranje novih znanja koristeći sistemski pristup.....	136
6.2. NAUČNO ISTRAŽIVAČKA STRATEGIJA.....	138
6.3. PROCES ISTRAŽIVANJA	138
6.4. KVALITET ISTRAŽIVANJA.....	139
7. IMPLEMENTACIJA ODRŽAVANJA PREMA STANJU	143
7.1. METOD IMPLEMENTACIJE.....	143
7.1.1. Pregled.....	143
7.1.2. Test izvodljivosti.....	144
7.1.3. Analiza.....	145
7.1.4. Implementacija.....	146
7.2. REZIME	147
7.3. UPRAVLJANJE KADROVIMA ZA DIJAGNOSTIKU	148
7.3.1. Potrebna znanja specijaliste za održavanje	152
7.3.2. Obrazovanje održavalaca tehničkih sistema na površinskim kopovima.....	152
7.3.3. Kvalifikacija „Stručnjak za održavanje“	153

7.3.4. Školovanje održavalaca u Srbiji	156
7.3.5. Obuka putem interneta	156
7.3.6. Obrazovne ustanove i asocijacije u svetu	157
7.3.7. Obrazovanje u Srbiji	157
7.3.8. E-obrazovanje široke populacije građana	159
7.3.9. E-obrazovanje u školama i drugim obrazovnim ustanovama	161
7.4. KORISTI OD TELESERVISA	161
7.5. TELEDIJAGNOZA	163
8. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	165
8.1. KORELACIJA IZMEĐU RADOVA	165
8.2. SLUČAJ ISTRAŽIVANJA – POTREBE IDENTIFIKACIJE	165
8.2.1. Upitnik	165
8.2.2. Rezultati	166
8.3. TEST ISTRAŽIVANJA	166
8.3.1. Intervjui	166
8.3.2. Rezultat	166
8.4. UTICAJ VREMENA I STRATEGIJE ODRŽAVANJA NA POUZDANOST I RASPOLOŽIVOST TEHNIČKIH SISTEMA U RUDNICIMA	167
8.4.1. Uvod	167
8.4.2. Zavisnost operativne i ukupne raspoloživosti od vremena	167
8.4.3. Obrada podataka i rezultata	170
8.4.4. Zaključak	174
8.5. EKSPERTNI SLUČAJ	174
8.5.1. Ispitanici	174
8.5.2. Rezultati	175
8.5.2.1. Prvi deo: Prvi nacrt uputstva za implementaciju	175
8.5.2.2. Drugi deo: Prvi nacrt odluke i podrška razvoju	176
8.6. SLUČAJ MAŠINA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA	177
8.6.1. Uvod	177
8.6.2. Rezultati	177
8.7. RADIONICA SLUČAJA ODLUČIVANJA	179
8.7.1. Uvod	180
8.7.2. Rezultati	180
8.8. UNAPREĐENJE OPERATIVNOG RADA MAŠINA POMOĆNE MEHANIZACIJE (PM)	182
9. ZAKLJUČAK	187
10. PREDLOG DALJIH ISTRAŽIVANJA	190
11. L I T E R A T U R A	191
12. PRILOZI	196
13. BIOGRAFSKI PRIKAZ	218

UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNIČKI FAKULTET "MIHAJLO PUPIN"
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Monografska dokumentacija

Tip zapisa:

TZ

Tekstualni štampani materijal

Vrsta rada:

VR

Doktorska disertacija

Autor:

AU

Mr. Pera Paunjorić

Mentor:

MN

Prof. Dr Živoslav Adamović, redovni profesor

Naslov rada:

NR

Metode održavanja i njihov uticaj na pouzdanost složenih mašina na površinskim kopovima srpski

Jezik publikacije:

JP

Jezik izvoda:

JI

srpski/engleski

Zemlja publikovanja:

ZP

Srbija

Uže geografsko područje:

UGP

Srbija

Godina:

GO

2016.

Izdavač:

IZ

Autorski reprint

Mesto i adresa:

MA

Zrenjanin, Đure Đakovića bb

Fizički opis rada: broj poglavlja/broj strana/broj slika/broj tabela/broj grafikona/broj priloga/broj citata

FO

12/218/40/9/94

Naučna oblast:

NO

Industrijsko inženjerstvo

Naučna disciplina:

ND

Upravljanje razvojem – tehnologija održavanja

Predmetna odrednica/ ključne reči:

PO

Rudarska mehanizacija, pouzdanost, dijagnostika, metode održavanja, istraživanje

UDK

Čuva se:

ČU

U biblioteci Tehničkog fakulteta „Mihajlo Pupin“ u Zrenjaninu, Đure Đakovića bb.

Važna napomena:

VN

nema

Izvod:

IZ

Ova doktorska disertacija bavi se metodama održavanja i njihovim uticajem na pouzdanost složenih mašina na površinskim kopovima. Ona razrađuje nove metode održavanja i analizira uticaj najvažnijih parametara bitnih za nivo pouzdanosti rudarske mehanizacije. Ovaj rad definiše teorijski, empirijski, kritički i sistematski metode održavanja u cilju određivanja stepena sigurnosti funkcionisanja sastavnih elemenata rudarske mehanizacije. Ove metode su univerzalnog karaktera jer se mogu primeniti i na druge tehničke sisteme.

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP

20.12.2012.

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

Prof. dr Miroslav Lambić, redovan profesor,
Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin" Zrenjanin.

član:

Prof. dr Dragan D. Milanović,
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

član:

Prof. dr Branko Škorić, redovan profesor,
fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu

član:

Doc. dr Ljiljana Radovanović
Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin" Zrenjanin.

mentor:

Prof. dr Živoslav Adamović, redovan profesor,
Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin" Zrenjanin.

UNIVERSITY OF NOVI SAD
TECHNICAL FACULTY "MIHAJLO PUPIN"

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:
ANO

Identification number:
INO

Document type: Monograph publication
DT

Type of record: Textual printed material
TR

Content code: Doctoral Dissertation
CC

Author: **Pera Paunjorić, MSc**
AU

Mentor/comentor: **Živoslav Adamović, PhD**
MN

Title: **Maintenance methods and their impact on reliability of complex
opencast mine equipment**
TI

Language of text: Serbian
LT

Language of abstract: Serbian/English
LA

Country of publication: Republic of Serbia
CP

Locality of publication: Republic of Serbia
LP

Publication year: 2016
PY

Publisher: Author's reprint
PU

Publication place: Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Đure Đakovića bb, Zrenjanin
PP

Physical description: 12/218/40/9/94
PD

Scientific field: Industrial engineering
SF

Scientific discipline: Administering development - maintenance technology
SD

Subject/ Key words: Mining equipment, reliability, diagnostics, maintenance methods, research
SKW

UC

Holding data: Library of Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Đure Đakovića bb,
Zrenjanin
HD

Note: none
N

Abstract: This doctoral thesis deals with maintenance methods and their impact on
reliability of the complex opencast mine equipment. It elaborates new
maintenance methods, analyses the effects of the most important parameters
of the mine equipment vital for reliability level. The paper theoretically,
empirically and systematically defines maintenance methods and selects
optimal parameters for determining reliability level of the component parts
of the mine equipment. These methods are universal since they can be
applied for other mechanical systems.
AB

Accepted by the Scientific Board: 20th of December 2012
ASB

Defended on:

DE

Thesis defend board:

DB

President:

Ph.D. Miroslav Lambić, full professor,
Technical Faculty "Mihailo Pupin", Zrenjanin

Member:

Ph.D. Dragan D Milanović
Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade.

Member:

Ph.D. Branko Škorić, full professor,
Faculty of Technical Sciences, Novi Sad

Member:

Ph.D. Ljiljana Radovanović,
Technical Faculty "Mihailo Pupin", Zrenjanin

Mentor:

Ph.D. Živoslav Adamović, full professor,
Technical Faculty "Mihailo Pupin", Zrenjanin

REZIME

Dobro organizovano održavanje mašina na površinskim kopovima zavise od velikog broja faktora. U poslednjih nekoliko decenija strategije i koncepti održavanja su evoluirali u velikoj meri, a praćenje stanja opreme je postao bitan faktor. U procesu održavanja praćene su kritične karakteristike mašinskih elemenata (vibracije, temperature...) radi dobijanja podataka o mogućim uzrocima otkaza. Na osnovu podataka dobijenih od službe održavanja ustanovljeno je da procedura održavanja nije sprovedena u istoj meri u svim pogonima RTB-Bor, što je imalo uticaja na nivo pouzdanosti rudarske opreme. Takođe je utvrđeno da metod preporučen u ovom radu kao primenljiviji zbog već navedenih prednosti, može da obezbedi pozitivne efekte i visok stepen pouzdanosti i u drugim granama industrije. Uz organizovaniju organizaciju održavanja, praćenje stanja i kvalifikovan kadar. Primenom sistemskog pristupa i studije slučaja, u ovom radu sam istraživao na koji način metode održavanja utiču na postojeće stanje opreme. Metod koji je primenjen započinje testom izvodljivosti koji prate analiza, implementacija i procena. Nakon sumiranja rezultata, utvrđena je najpovoljnija procedura održavanja koja uključuje sve potrebne uslove i relevantne faktore kao što su podrška uprave, obuka i obrazovanje kadrova, motivacija i dobra komunikacija, itd.

Održavanje na bazi stanja rudarskih mašina predstavlja program koji na bazi informacija dobijenih na osnovu praćenja stanja opreme daje odgovarajuće preporuke za donošenje konkretnih odluka o preduzimanju interventnih mera. Ovaj program održavanja se sastoji iz tri koraka: prvi korak je prikupljanje podataka, zatim njihova obrada i na kraju donošenje odluka relevantnim za održavanje. Dijagnostika i prognostika čine značajne aspekte ovog programa održavanja i pojavljuju se u mnogim akademskim i stručnim radovima sa njihovom teoretskom i praktičnom primenom.

U ovaj rad su uključena savremena istraživanja iz oblasti dijagnostike i prognostike vezane za mehaničke sisteme kod kojih se primenjuje održavanje na bazi stanja i savremeni modeli, algoritmi i tehnologije za obradu podataka.

AUTOR

Mr Pera Paunjorić

RESUME

A well-organized maintenance of the opencast mine equipment depends on a number of factors. The concept and strategies of maintenance procedures have evolved to a great extent in the recent decades, and equipment monitoring has become an important factor. In the process of maintenance critical characteristics of the machine components were monitored (vibrations, temperature...) to obtain information about possible failure causes. According to the data obtained from the maintenance department, it was found out that the maintenance procedure had not been evenly carried out in all plants of RTB Bor, which greatly influenced the reliability level of the mine equipment. It was also realized that the method recommended in my paper as more applicable owing to its advantages already mentioned, could provide positive effects and high reliability level in other branches of industry as well on condition that there is an appropriate maintenance organization, state monitoring and qualified personnel.

By applying a schematic approach and a case study, in this paper, I tried to find out in which way the maintenance procedure participates in creation of the existing state of the equipment. The method applied begins with feasibility test followed by analysis, implementation and estimation. Having summarized the results obtained, the most favorable maintenance procedure was defined including all necessary conditions and relevant factors such as management support, training and education of the personnel, motivation, good communication, etc.

Maintenance procedure based on the state of the mine equipment represents the programme which on the ground of the information about the state of the equipment monitored gives the appropriate recommendations for relevant decision making and for taking emergency measures. This maintenance programme is organized in three main phrases: the phase of data collection their processing and finally decision making related to maintenance. Diagnostics and prognostics are important aspects of this maintenance programme appearing in many academic and expert papers and articles with their theoretical and empirical application.

This paper includes current research in the field of diagnostic and prognostics in connection with mechanical systems undergoing state based maintenance procedure with application of current models, algoritms and technologies for data processing.

AUTHOR

Pera Paunjorić, MSc

PREDGOVOR

Svoja istraživanja vezana za izradu doktorske disertacije obavio sam na površinskim kopovima „Veliki Krivelj“ i „Cerovo“ u Boru i na površinskom kopu u Majdanpeku, u vremenskom periodu od 2010. do 2015. godine. Deo istraživanja je objavljen u naučnim radovima sa mentorom prof. Dr Živoslavom Adamovićem i deo je same doktorske disertacije.

Profesor Živoslav Adamović je davao sugestije i pravce istraživanja, nesebično pomagao u svakom delu rada i time omogućio najkraći mogući vremenski put od početka do kraja izrade disertacije koja je iziskivala puno vremena i truda. Zahvalnost dugujem rukovodiocima preduzeća u kojima su vršena istraživanja i koji su mi omogućili korišćenje potrebnih informacija.

Svoju iskrenu zahvalnost dugujem takođe svojim saradnicima u tehničkom delu izrade disertacije, porodici i prijateljima na podršci, razumevanju i strpljenju.

Zrenjanin, 2016. godine.

PREFACE

In the period from 2010 to 2015 I carried out my doctoral thesis research in RTB Bor at opencast Veliki Krivelj and Cerovo at Bor and in Majdanpek.

By applying in practice the maintenance methods mentioned in the paper I realized that they had a positive impact on acquiring the higher reliability and availability levels of the monitored mine equipment.

While elaborating my doctoral thesis, most of my consultations I had with my mentor prof Živoslav Adamović D. sc. His suggestion and guidance were of great assistance to me. Except for my mentor I owe my gratitude to the company's management which made it possible for me to carry out my research and use the necessary data and information. I am also grateful to all my associates, my family and friends for their support, understanding and patience.

Zrenjanin, 2016

1. UVOD

1.1 Svrha istraživanja

Mnogi autori prave razliku između tri različite potrebe izvođenja studija: lične, praktične i istraživačke svrhe. Lične svrhe su one koje motivišu istraživača da izvrši studije, kao što su radoznalost i želja ili jednostavno napredovanje u karijeri. Praktične svrhe su usmerene na postizanje nečega (drugim rečima, da zadovolje potrebe, da promene situaciju, ili da se postigne operativni cilj). Konačno, cilj istraživanja usmeren je na razumevanje, odnosno, sticanje uvida u ono što se dešava i zašto. Praktična potreba ovog istraživanja je industrijski fokus, tj. da bi se olakšalo sprovođenje održavanja prema stanju na površinskim kopovima, gde je primenljivo.

1.2 Istraživačka pitanja

Pre primene održavanja prema stanju, neophodno je da se razume i znanje o stanju na osnovu pristupa održavanja. Tehnologija u stanju na osnovu održavanja je u jakom fokusu. Ovo istraživačko pitanje se postavlja da bi istražilo i istaklo sastojke na bazi uslova za sistemski pristup održavanju.

Neophodno je analizirati trenutno stanje kompanije na površinskim kopovima, koja posluje danas kako bi se sproveo novi sistem održavanja. Na koji način je strategija tekućeg održavanja formulisana, ukoliko još postoji? Koji su trenutni troškovi održavanja, i kako se oni odražavaju na ishod ciljeva? Na pitanja poput ovih, a verovatno i na još mnogo ovakvih treba odgovoriti kako bi se zaključilo da li je uslov za sistemsko održavanje sastavni deo ostvarivanja ciljeva održavanja kompanije na površinskim kopovima. Održavanje prema stanju se ne da koristiti kao opšta politika. Dakle, odluka da sredstva budu deo programa monitoringa treba da se razmotri pažljivo. Takođe, uslov na osnovu održavanja i praćenja stanja dolazi u više različitih tehnika i tehnologija, kako bi se odlučilo šta se nadgleda i na koji način. Treba dati odgovor na ovo istraživačko pitanje pre donošenja odluke o implementaciji.

Što se promene tiče, tu postoje brojne barijere koje se tiču kulture, parališuće birokratije, niskog nivoa poverenja, nedostatka timskog rada, arogantnih stavova, nedostatka vođstva u srednjem menadžmentu, kao i opštih ljudskih strahova od nepoznatog. Ovo je samo nekoliko faktora koje treba prevazići da bi postali uspešni u sprovođenju uslova zasnovanih na sistemskom pristupu. Ovo istraživačko pitanje se postavlja da bi se ispitalo kako su kompanije uspešno implementirale, ili uspešno mogu da implementiraju, na osnovu stanja pristupa zasnovanog na tehničkom održavanju, a omogućava im da sagledaju faktore od suštinskog značaja i da se usredsrede na napor sprovođenja.

1.3 Očekivani rezultati

Očekivani rezultati istraživanja su dvostruki, prvi, praktičan metod kompanije na površinskim kopovima će moći da koriste u sprovođenju uslova za održavanje zasnovan na pristupu održavanja prema stanju, i drugo, istraga o tome kako su uspele industrijske kompanije u procesu implementacije. U ovom istraživanju, metod se tretira kao „sistemski postupak kako bi se postigli konkretni rezultati“. Dalje, ona će se sastojati od različitih alata, smernica i modela

sa sekvencijalnim rasporedom korišćenja. Metod, sa pratećim delovima, treba da bude razvijen na osnovu podataka iz nekoliko industrijskih preduzeća i literature.

1.4 Razvoj generacija sistema održavanja u svetu

Danas, jedna od najpopularnijih reči u svetu biznisa razvijenih zemalja sveta je LEAN. Ovaj termin predstavlja ideju eliminacije nepotrebnog viška, tj. eliminaciju slabosti poduhvata, liniju vodilju procesa za povećanje produktivnosti i efikasniju upotrebu tehničkih i ljudskih resursa u težnji ostvarivanja kontinualnog unapređenja.

Prvi korak implementacije LEAN proizvodnje je najjednostavniji, ali u isto vreme i najteži – „Moramo biti spremni na promene.“. Da bi se ovo uspelo ostvariti, organizacija mora da ima posvećenost menadžmenta.

Smisao LEAN proizvodnje je njena jednostavnost, doktrina je ograničenje trošenja, održavanje radnog mesta čistim i ohrabrivanje zaposlenih radnika da stalno budu u potrazi za efikasnošću, dok je izazov njegova celina. Koncept zahteva od organizacija da smanje troškove procesa proizvodnje, tj. od sektora proizvodnje u organizaciji, administracije, pa sve do procesa pakovanja proizvoda, odnosno do salona za prodaju istog krajnjem klijentu.

Neke organizacije se suviše često oslanjaju na obim proizvodnje kao na ultimativni test za svoj uspeh. Kod LEAN pristupa, produktivnost se ne stavlja u prvi plan i ova činjenica za veliki broj organizacija predstavlja razmišljanje koje sa velikom teškoćom mogu da prihvate.

Ovde se radi o uklanjanju slabosti iz procesa proizvodnje i izgradnji kvaliteta. Svi poslovni procesi jedne organizacije moraju imati zajednički cilj u LEAN transformaciji, a to je postizanje konkurentne prednosti. Svi sektori organizacije treba da rade na obezbeđenju informacija i podataka u cilju identifikovanja i korigovanja problema, da održavaju neometan rad u prodajnim salonima, kao i u radnim kancelarijama, što predstavlja neophodnost za uspeh LEAN operacija.

Kako se uvek teži da se poslovi održavanja obavljaju na efikasniji i efektivniji način, u poslednje vreme se teži na integraciji postojećih metoda i tehnika održavanja i stvaranju sistema odražavanja četvrte generacije kojim će se omogućiti ostvarivanje sinergijskih efekata u oblasti održavanja. Evolucija generacija sistema održavanja tokom vremena i vremenska etapa nastanka četvrte generacije sistema održavanja predstavljena je kroz tabelu 1.1. `5]¹

¹ [5]. Adamović, Ž., Ilić, B., „Nauka o održavanju tehničkih sistema“, Srpski akademski centar, Novi Sad, 2013

	Prva generacija sistema održavanja	Druga generacija sistema održavanja	Treća generacija sistema održavanja	Četvrta generacija sistema održavanja
Zahtevi	Pristupi aktivnostima održavanja nakon nastupanja stanja u otkazu	Smanjiti troškove održavanja Povećati gotovost sistema Duži životni vek sistema	Povećati pouzdanost sistema Povećati sigurnost rukovanja Poboljšati kvalitet proizvoda Poštovati ekološke zahteve	Maksimizacija efektivnosti i efikasnosti
Pristupi	Korektivno održavanje	Preventivno održavanje Prediktivno održavanje	Totalno produktivno održavanje Održavanje prema stanju Održavanje prema pouzdanosti Six Sigma	Održavanje usmereno prema profitu
Softverska podrška		Softverski proizvodi niskih nivoa performansi	Ekspertni sistemi Digitalni tehnički priručnici Sistemi za računarsko upravljanje održavanjem Sistemi za planiranje resursa preduzeća	Potpuno integrisani sistemi Sistemi za opravke, dijagnostiku i održavanje na daljinu

Tabela 1.1 Razvoj generacija sistema održavanja [5]²

1.5 Analiza osnovnog uzroka otkaza

U toku eksploatacije mašine na površinskim kopovima su izložene dejstvu različitih oblika energije, kao što su: mehanička, toplotna, svetlosna, hemijska, električna energija itd., koje mogu poticati od:

- energije okoline, uključujući i energiju koja potiče od rukovaoca i održavaoca,
- unutrašnje energije, koja potiče kako od radnih procesa, tako i od rada pojedinih sastavnih delova sistema i
- potencijalne energije, koja je sakupljena u materijalima prilikom njihovog korišćenja (montažni naponi, unutrašnji naponi u odlivcima i sl.).

Delujući na mašine navedeni oblici energije uzrokuju u njima niz neželjenih procesa, pogoršavajući njihove tehničke karakteristike. Ti procesi su povezani sa složenim fizičko-hemijskim pojavama, koje dovode do habanja, deformacija, lomova, korozije i drugih oštećenja tehničkih sistema, što doprinosi promeni njihovih početnih parametara i može dovesti do smanjenja ili gubitka radne sposobnosti sistema, odnosno otkaza.

U toku rada mašina na površinskim kopovima, njihovi delovi su izloženi postepenom slabljenju.

Ovo slabljenje se ogleda i u promeni određenih parametara, a otkaz nastupa u trenutku kada samo jedan od parametara dostigne dozvoljenu (dopuštenu) graničnu vrednost.

Postoje procesi koji privremeno menjaju karakteristike (parametre) tehničkih sistema u nekim dozvoljenim granicama bez progresivnog pogoršanja. Najkarakterističniji primeri

² [5]. Adamović, Ž., Ilić, B., "Nauka o održavanju tehničkih sistema", Srpski akademski centar, Novi Sad, 2013

takvih procesa su: elastične deformacije sastavnih delova sistema, temperaturne deformacije i dr.

Međutim, postoje i procesi koji vremenom dovode do progresivnog pogoršanja tehničkih karakteristika sistema. Najkarakterističniji primeri takvih procesa su: habanje, korozija, zamor, unutrašnji napon i sl.

S obzirom kojom se brzinom odvijaju, procesi koji dovode do smanjenja radne sposobnosti mašina na površinskim kopovima se dele na:

- brzo prolazeće (vibracije, promena sila trenja, kolebanje radnih opterećenja i sl.),
- srednje prolazeće (promena temperature, habanje i sl.) i
- sporo prolazeće (preraspodela unutrašnjih napona, zaprljanje delova, trenje, korozija i sl.).

Od karaktera pojave i razvoja procesa, oštećenja zavise tipovi otkaza mašina. Svi tipovi oštećenja mašina na površinskim kopovima nisu samo posledica njihove eksploatacije, oštećenja se mogu pojaviti i kao posledica grešaka pri projektovanju i izradi tehničkih sistema ili iz nekih drugih razloga. Oštećenja mašina mogu nastati u toku proizvodnje, skladištenja i transporta, montaže i eksploatacije.

Oštećenje je promena stanja mašine, koja još ne utiče na funkciju rada, ali može se razviti u otkaz. Oštećenje (trošenje) se, u najširem smislu, definiše kao nepoželjno odstranjenje materijala sa površine bez obzira na uzrok.

Oštećenja mašina na površinskim kopovima mogu biti:

- znatna, ako dovode do narušavanja radne sposobnosti sistema i izazivaju njegov otkaz, i
- neznatna, ako ne dovode do narušavanja radne sposobnosti mašina, neka neznatna oštećenja mašina tokom vremena mogu preći u znatna, koja mogu dovesti do otkaza mašine.

Takođe, oštećenja mašina mogu biti:

- dopuštena oštećenja (postepeno habanje, zamor površinskih slojeva materijala i sl.), otklanjaju se u toku eksploatacije mašina provođenjem planskih aktivnosti održavanja; i
- nedopuštena oštećenja (oštećenja zbog nedovoljne čvrstoće, "toplotne prskotine", brzo habanje koje dovodi do zadiranja površina i sl.) moraju biti otklonjena pre puštanja sistema u eksploataciju.

U toku eksploatacije mašine na površinskim kopovima i njihovi sastavni delovi mogu se naći u jednom od dva osnovna stanja:

- ispravnom stanju (stanje u radu) i
- neispravnom stanju (stanje u otkazu).

Mašina je u ispravnom stanju ako ispunjava sve zahteve ispravnosti propisane normativno-tehničkom dokumentacijom, tj. izvršava postavljenu funkciju kriterijuma.

Mašina je u neispravnom stanju ako ne ispunjava bar jedan od zahteva ispravnosti propisanih normativno-tehničkom dokumentacijom, tj. ne izvršava postavljenu funkciju

kriterijuma (kada dođe do gubitka funkcije sistema). Da bi se izbeglo neispravno stanje tehničkog sistema preduzimaju se odgovarajuće aktivnosti održavanja.

Ovakva podela stanja, naročito kod složenih mašina na površinskim kopovima ne može se do kraja prihvatiti, jer postoje i neka druga međustanja.

Intervali vremena u kojem je sistem u radu i u otkazu smenjuju se u nepravilnim i nepredvidivim razmacima. Opšta težnja je da intervali vremena u radu budu što duži, a intervali vremena u otkazu što kraći.

Pod otkazom se podrazumeva gubitak sposobnosti mašine da obavlja funkciju za koju je namenjena. Otkaz jednog dela mašine ne znači istovremeno i otkaz cele mašine ako je deo sistema na kojem se dogodio otkaz perifernog značaja, ako je deo od vitalnog značaja, onda njegov otkaz znači i otkaz cele mašine.

Otkaz mašine može doći kao posledica nedovoljnog kvaliteta aktivnosti održavanja, odnosno pojave neželjenih događaja.

Osnovni pojmovi vezani za otkaze su:

- uzroci otkaza,
- načini na koje se manifestuju otkazi,
- mesta (lokacije) otkaza i
- načini otklanjanja otkaza,

Najčešći uzroci otkaza su:

- zamor materijala,
- habanje (istrošenost),
- preopterećenje,
- korozija,
- lomovi,
- starenje,
- dugo nekorišćenje i dr.

Uzroci otkaza sastavnih delova sistema mogu biti različitog porekla, kao što su:

- Slabljenja sastavnih delova sistema, nastaju zbog: zamora, istrošenosti (habanja), korozije, nagriženosti, erozije, starenje nemetalnih sastavnih delova i sl.
- Mehanička preopterećenja sastavnih delova sistema, nastaju zbog: preopterećenja, plastičnih deformacija, naduvenosti, slabljenja karakteristika opruge, oštećenja površine, udara, lomova, olabavljenosti, pohabanosti od duge upotrebe, slabe zaštite, vibracija i sl.
- Električna oštećenja sastavnih delova sistema, nastaju zbog: slabih kontakata, slabe izolacije, slabe dielektričnosti, slabe emisije moći, varničenja, razdešenosti elektronskog kola, otkaza lemljenog spoja, slabih električnih karakteristika, nekvalitetnog napona napajanja električnom energijom i sl.
- Fizičko-hemijska oštećenja, nastaju zbog: sagorevanja, topljenja, pregrevanja, zamrzavanja, vlažnosti, gubitka hermetičnosti, curenja tečnosti, pada pritiska fluida, dejstva zračenja (npr. elektromagnetnog i sl.), dejstva statičkog elektriciteta, dejstva spojenih hemijskih agenasa, bakaranja, promene

karakteristika tečnosti, dejstva bioloških agenasa (buđi, bakterija, insekata i sl.) i sl.

- Nepodešenosti, nastaju zbog: slabljenja veza, istrošenosti (habanja), deformacija, korozije, slabe zaštite od spoljašnjih uticaja, neispravnosti drugog sastavnog dela, zaglavljivanja, zakočenja, nedostatka sastavnog dela, nedostatka montažnog dela, gubitka preciznosti (performansi i sl.), smanjenja brzine i sl.
- Drugi razlozi, kao što su: dugo nekorišćenje, starenje, nepridržavanja uputstava za rukovanje, loše osnovno održavanje od strane rukovalaca, loše izvedene preventivne popravke (remonti), loša zaštita od klimatskih uticaja, slab kvalitet montaže, nedovoljna količina fluida i energije i sl.

Otkazi mašina se mogu manifestovati na više načina, kao što su: mašina ne radi, mašina radi nekvalitetno, nenormalan šum, visok nivo vibracija, visoka temperatura i sl.

Mesta (lokacije) otkaza mašina mogu biti različita, kao što su: kaišni prenosnici, zupčasti prenosnici, hidraulične komponente, pneumatske komponente, električna instalacija, elektronske komponente, pribor ili alat i dr.

Načini otklanjanja otkaza mašina mogu biti različiti, kao što su: čišćenje i podmazivanje, podešavanje i štelovanje, dorada rezervnog dela, zamena sastavnih delova sistema i dr.

Podela otkaza mašina se može izvršiti na više načina, i to:

- Prema karakteru promene karakterističnog parametra do trenutka nastanka otkaza, otkazi se dele na: iznenadne i postepene.
- Prema načinu ispoljavanja, otkazi se dele na: očigledne i prikrivene.
- Prema uzroku nastanka, otkazi se dele na: konstrkcione (nastale zbog greške konstruktora), tehnološke (nastale zbog greške pri izradi) i eksploatacione (nastale zbog nepravilnog rukovanja ili vanrednih uslova eksploatacije).
- Prema vremenu nastanka, otkazi se dele na: otkaze nastale za vreme uhodavanja mašine, otkaze nastale za vreme normalne eksploatacije i otkaze nastale pri kraju radnog veka mašine itd.

2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA METODA ODRŽAVANJA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA

2.1 Objavljeni radovi i knjige iz održavanja mašina na površinskim kopovima

Ovde će biti prikazani neki od korišćenih najznačajnijih i najinteresantnijih radova iz oblasti modela održavanja i njihovog uticaja na pouzdanost mašina na površinskim kopovima.

Barlow, R., Proschan, F., MATHEMATICAL THEORY OF RELIABILITY, New York, 1996. U ovoj knjizi dat je model i za slučajne otkaze. Ovaj model se zasniva na pretpostavci da je dužina eksploatacije motornih vozila između dva uzastopna dijagnostičiranja nepromenljiva. Primena ovog modela vrši se minimiziranje funkcije troškova (traženje njene minimalne ekstremne vrednosti). Takođe, dat je i model Baldina za pozne otkaze koji potiču od strukturnih preopterećenja (zamora, habanja, starenja, korozije i drugih oblika slabljenja osnovne strukture).[30]³

U knjizi Gertsbakh, I. B., MODELS OF PREVENTIVE MAINTENANCE, North-Holland publishing company, Amsterdam-New York-Oxford, 1997. dat je prikaz velikog broja modela održavanja motornih vozila, kao i prikaz modela za određivanje optimalne periodičnosti dijagnostičkih stanja motornih vozila pri održavanju. Za primenu ovog modela neophodno je poznavati: zakonitost promene stanja vozila, troškove dijagnostike i preventivno i korektivno održavanje motornih vozila.

Muždeka, S., LOGISTIKA – LOGISTIČKO INŽENJERSTVO – POUZDANOST, POGODNOST ZA ODRŽAVANJE, GOTOVOST, INTEGRALNO TEHNIČKO OBEZBEĐENJE, Skripta, TU SSNO, Beograd, 2000. U ovoj knjizi prikazan je model koji se koristi za određivanje dijagnostičkih stanja motornih vozila na osnovu postupaka održavanja. Primena ovog modela je moguća ako je poznata kriva verovatnoće pouzdanosti i ukupni otkazi pri održavanju. Analizirani model dijagnostike stanja tehničkog sistema se zasniva na poznavanju sledećih vrednosti verovatnoće uspešnog programiranja dijagnostike stanja, vremena potrebnog rada između otkaza, intervale preventivnog, korektivnog održavanja i odnos vremena potrebnog za sprovođenje korektivnog i preventivnog održavanja kao i uticaj na pouzdanost motornih vozila.[72]⁴

Kolegaev, N. R., OPREDELENIE OPTIMALNOJ DOLGOVEENOSTI TEHNIČESKIH SISTEM, Sovetskoe radio, Moskva, 1967. U literaturi date su metode i model za određivanje optimalne frekvencije dijagnostičkih kontrola maksimiziranjem dobiti. Ove metode zasnivaju se na primeni teorije verovatnoće matematičke statistike, teorije sistema, teorije fazi-skupova, teorije neodređenosti i tzv. metoda „mekog inženjerstva“. Današnji napor u oblasti definisanja modela dijagnostike stanja i njihovog uticaja na pouzdanost motornih vozila kreću se u pravcu iznalaženja optimalnih rešenja sistema održavanja vozila primenom metoda višekriterijumske optimizacije. [62]⁵

³ [30]. Barlow, R., Proschan, F., Mathematical theory of reliability, New York, 1996.

⁴ [72]. Muždeka, S., Logistika – Logističko inženjerstvo – pouzdanost, pogodnost za održavanje, gotovost, integralno tehničko obezbeđenje (skripta), SSNO, Beograd, 2000.

⁵ [62]. Kolegaev, N.R., Opredelenie optimalnoj dolgovečnosti tehničkih sistem, Sovetskoe radio, Moskva, 1967.

Vorfolomeev, B. H., NAUČNIE OSNOVI, Sovetskoe radio, Moskva, 1994. U ovoj knjizi dat je prikaz kako se može odrediti nivo pouzdanosti tehničkog sistema sa odabranim pokazateljima pouzdanosti. Korišćenjem pokazatelja kretanja otkaza može se odabrati odgovarajuće metode kontrole nivoa pouzdanosti. Nivo pouzdanosti kontroliše se putem upoređenja sa gornjom granicom regulacije u čijim granicama praćeni broj otkaza ima slučajni karakter. Gornja granica regulacije zasniva se na krivoj raspodele po Poasonu i upoređuje se sa usvojenom verovatnoćom gornjom granicom otkaza. U ovoj knjizi dat je i precizan prikaz određivanja potpunih karakteristika pouzdanosti tehničkih sistema (funkcija pouzdanosti, funkcija nepouzdanosti, frekvencija pojave otkaza, intenzitet otkaza i srednje vreme bezotkaznog rada) koje su neophodne pri primeni odgovarajućih dijagnostičkih modela. [94]⁶

Istraživanje Philippe Webera and Lionel Jouffea kombinuje više metoda poput metode analize stabla otkaza, Baeisijanove mreže i Markovljevih lanaca. Ovo istraživanje je usmereno na modelovanje pouzdanosti proizvodnih procesa kod složenih tehničkih sistema. To znači i veće zahteve u domenu modelovanja pouzdanosti pogotovu jer je ovaj model uvažio postojanje preventivnih akcija održavanja kao i vremensku dinamiku pouzdanosti. Ono što je izostalo od realnih okolnosti jesu interakcije otkaza i mogućnost primene modela na složenih tehnički sistem dekomponovan na veliki broj komponenata usled eksponencijalnog rasta broja kombinacija u modelu te je proračune za pojedine slučajeve nemoguće izvršiti u razumnom vremenskom roku.

Nikhil Dev i dr. su istraživali indeks pouzdanosti elektrane koja je dekomponovana i grafičkom metodom prezentovana. Ovo istraživanje je solidan pokušaj rešavanja krucijalnog problema kod ovakvih složenih tehničkih sistema koji se i preventivno održavaju u smislu da je moguće nadomestiti mali broj podataka o otkazima. Ipak, model se i previše oslanja na empiriju i nema dovoljno objektivne podatke te je moguće primenjivati ga efikasnije na sisteme koji su novi. Sistemi u eksploataciji i sistemi koji se mogu posle dužeg perioda eksploatacije prema otkazima dekomponovati na veći broj komponenti nisu podesni za primenu ovakvog modela pouzdanosti. Jasno je da su upravo sistemi u periodu eksploatacije. Još i važnije, interakcije otkaza komponenata sistema nisu predviđene modelom. Kao rezultat modela dobija se RTRI - indeks pouzdanosti u realnom vremenu što zapravo predstavlja vrednost pouzdanosti u jednoj vremenskoj tački kalkulacije.

Predrag Jovančić, ODRŽAVANJE RUDARSKIH MAŠINA, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, 2014. Ovaj udžbenik je namenjen studentima Rudarskog inženjerstva i to na IV godini modula Mehanizacija rudnika kao obavezan predmet, odnosno na Master studijama studentima modula Površinska eksploatacija, kao izborni predmet. Pored njih, ovaj udžbenik mogu da koriste i svi studenti tehničkih nauka koji se bave i koji će se baviti održavanjem tehničkih sistema. Udžbenik se sastoji od 16 poglavlja, saglasno nastavnom planu i programu predmeta Održavanje rudarskih mašina koji se sluša na osnovnim i master akademskim studijama Rudarsko - geološkog fakulteta. Prvih 15 poglavlja obrađuje sledeću tematiku: osnovna načela o pojmu tehničkog sistema u rudarstvu, o sigurnosti funkcionisanja, o životnom ciklusu, upravljanju i kontroli održavanja, sistemu, metodologiji i koncepciji održavanja, organizaciji, tehnologiji, logistici, modeliranju, projektovanju, karakteristikama održavanja, pouzdanosti, analizi i oceni sistema održavanja, upravljanjem rezervnim delovima, o montaži rudarskih mašina, o podmazivanju, i o informacionim sistemima u održavanju. [59]⁷

⁶ [94]. Vorfolomeev, B. H., Naučnie osnovi, Sovetskae radio, Moskva, 1994.

⁷ [59]. Jovančić, P., Održavanje rudarskih mašina, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2014.

Dragan Ignjatović, Predrag Jovančić, MAŠINE I UREĐAJI ZA POVRŠINSKU EKSPLOATACIJU I TRANSPORT - ZBIRKA ZADATAKA, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, 2012. Ova zbirka zadataka prvobitno je bila namenjena studentima smera za mehanizaciju koji su slušali kurs „Mašine i uređaji za površinsku eksploataciju i transport“ u VII, VIII i IX semestru na Rudarsko-geološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Promenom nastavnih planova ovaj predmet je podeljen na predmete: „Mašine za površinsku eksploataciju, „Mašine i uređaje za transport“ i „Mašine i uređaji za pomoćne radove na površinskim kopovima“. Takođe, ova zbirka zadataka može poslužiti u nekim delovima i za predmete „Tehnologija površinske eksploatacije“ i „Transport na površinskim kopovima“. Zbirka je koncipirana po poglavljima koja obuhvataju: mašine za otkopavanje, mašine za odlaganje, mašine i uređaje za transport, mašine za pomoćne i pripremne radove, poglavlje koje obrađuje efektivnost i pouzdanost, čeličnu konstrukciju rudarskih mašina, opremu za radionice i poglavlje vezano za zaštitu životne sredine, odnosno buku i vibracije. U Zbirci su dati proračuni osnovnih mehanizama mašina za površinsku eksploataciju, proračun i izbor osnovnih elemenata mehanizama, proračun kapaciteta, određivanje potrebnog broja mašina. U nekim poglavljima dati su i zadaci koji obrađuju tehnologiju rada ovih mašina. To je učinjeno da bi studenti bolje shvatili princip rada, radne parametre i uslove za izbor mašina.

Ivica Ristović, EFEKTIVNOST RADA I ODRŽAVANJE POMOĆNE MEHANIZACIJE NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA LIGNITA, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, 2007. Kako do danas, na našim površinskim kopovima lignita, ne postoji naučno zasnovana metoda za praćenje i obradu pokazatelja efektivnosti rada pomoćne mehanizacije, posebno pokazatelja pouzdanosti ovih mašina, to je prezentacija ove složene problematike u stručnim radovima i projektnoj dokumentaciji najčešće opterećena brojnim improvizacijama i subjektivnim procenama stručnjaka koji se bave eksploatacijom i održavanjem pomoćne mehanizacije. U ovoj monografiji definisani su kriterijumi, odnosno utvrđena je metoda za praćenje i obradu pokazatelja efektivnosti rada (pouzdanosti, gotovosti, raspoloživosti, pogodnosti za održavanje, kao i troškova eksploatacije i održavanja) pomoćne mehanizacije na površinskim kopovima lignita, čime se stvaraju preduslovi za kontinualno praćenje rada pomoćnih mašina i planiranje njihovog angažovanja za naredni period. Monografijom je učinjen pokušaj metodološkog pristupa praćenja i obrade pokazatelja efektivnosti rada, primenom savremene računarske tehnike i novih dostignuća u softverskom modeliranju. [86]⁸

Slobodan Ivković, Dragan Ignjatović, Predrag Jovančić, Miloš Tanasijević, PROJEKTOVANJE ODRŽAVANJA OPREME POVRŠINSKIH KOPOVA UGLJA, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, 2007. Katedra za mehanizaciju rudnika i Katedra za opšte mašinstvo i termodinamiku Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, preko 30 godina bavi se problematikom pouzdanosti i održavanja mehanizacije rudnika, posebno površinskih kopova lignita u basenima Kolubara i Kostolac. Zadnjih decenija urađeno je više studija održavanja, projekata radionica za održavanje, objavljeno više desetina naučnih i stručnih radova, odbranjeno više doktorskih i magistarskih teza, više desetina diplomskih radova. Studije i projekti rađeni su uz saradnju inženjera sa rudnika koji se bave ovom problematikom, te su u sve ugrađena i njihova iskustva. Pošto su mnogi od ovih materijala ograničene cirkulacije, smatramo korisnim da u ovoj knjizi iznesemo, naša znanja i iskustva. [52]⁹

⁸ [86].Ristović, I., Efektivnost rada i održavanje pomoćne mehanizacije na površinskim kopovima lignita, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2007.

⁹ [52]. Ivković, S., Ignjatović, D., Jovančić, P., Tanasijević, M., Projektovanje održavanja opreme površinskih kopova uglja, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2007.

Veselin Batalović, HIDRAULIČKI TRANSPORT ČVRSTIH MATERIJALA, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, 2007. Neposredni povod za izdavanje ove Monografije je potreba da se popuni praznina, koja već godina-ma postoji, u našoj stručnoj literaturi u kojoj se razmatraju problemi transporta fluida, posebno problemi koji su povezani sa hidrauličkim transportom čvrstih materijala. Ovaj rukopis nastao je kao plod dugogodišnjeg rada, koji je autor uložio, na rešavanju teorijskih i praktičnih problema transporta čvrstih materijala cevima. Rad je započeo davnih osamdesetih godina kada se autor, radeći u rudnicima Kišnica i Novo Brdo, susreo sa problemima koji prate: deponovanje flotacijske jalovine; hidrauličko zasipanje otkopanih prostorija pri podzemnoj eksploataciji ruda olova i cinka; održavanje elemenata i sistema za transport. [31]¹⁰

2.2 Uzroci koji dovode do neispravnosti rudarske mehanizacije

Opšti zadatak dijagnoze stanja komponenti rudarske mehanizacije je provera ispravnosti, provera radne sposobnosti, provera pravilnog funkcionisanja i istraživanja uzroka neispravnosti. Dijagnoza stanja ima za zadatak, pre svega, istraživanje uzroka neispravnosti rudarske mehanizacije a zatim i ukazivanje na mesta pojave neispravnosti sklopova rudarske mehanizacije.

Osnovna delatnost službe održavanja i razvoja u periodu rada i održavanja sklopova rudarske mehanizacije je pronalaženje novih modela održavanja koji omogućavaju povećanje raspoloživosti rudarske opreme. Kontinuiran rad ovih službi predstavlja neophodan uslov za proces usavršavanja komponenti rudarske mehanizacije a poseban značaj za proizvođača sklopova ima sa aspekta kvaliteta. Korisnik ovih komponenti poseban interes ima zbog povećanja pouzdanosti u toku rada. Proizvođač sklopova ove rudarske mehanizacije ima za cilj da sve nedostatke izražene u procesu eksploatacije otkloni u skladu sa službama održavanja i razvoja.

Dijagnoza stanja ima za zadatak, pre svega, istraživanje uzroka neispravnosti rudarske mehanizacije, ukazivanje na uzroke i mesta pojave otkaza sklopova rudarskih mašina. Održavanje se bazira na zameni sastavnih komponenti i otklanjanja grešaka u montaži istih.

Otkazi kod sastavnih sklopova rudarske mehanizacije najčešće nastaju zbog povišenih temperature, pohabanosti mašinskih elemenata, oštećenja ležajeva, korišćenja nekvalitetnih sredstava za podmazivanje, korišćenja nekvalitetnog goriva, vibracija, zamora materijala i dotrajalosti mašinskih delova.

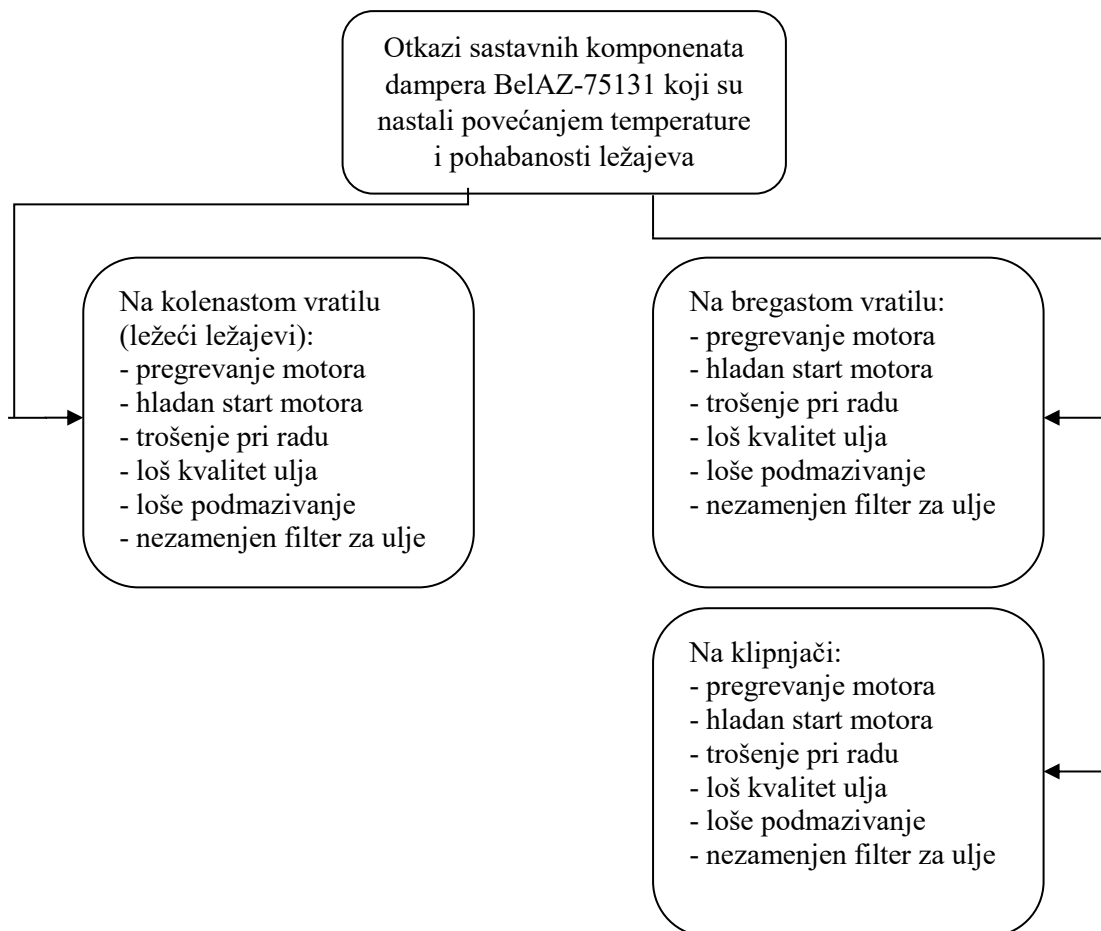
U toku celokupnog perioda korišćenja rudarske mehanizacije veliki broj spoljašnjih i unutrašnjih faktora uslovljavaju odstupanje njihovih osnovnih karakteristika od nominalne vrednosti.

Da bi se radne karakteristike rudarskih mehanizacija održale u granicama predviđenog usavršene su mnoge metode održavanja i sistemi dijagnostike preko kojih se mogu pratiti parametri koji utiču na uzrok otkaza.

¹⁰ [31]. Batalović, V., Hidraulički transport čvrstih materijala, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2007.

Na slici 2.1 je prikazano stablo otkaza nekih sastavnih komponenata rudničkog dampera BelAZ-75131. Preko ovog stabla otkaza se mogu pogledati otkazi odnosno neželjene posledice oštećenja na kolenastom vratilu, bregastom vratilu i klipnjači koje mogu nastati usled povećanja temperature i pohabanosti ležajeva.

Na sličan način se može uraditi stablo otkaza i za neke druge sastavne komponente rudarskih mašina preko kojih se mogu posmatrati i neka druga oštećenja.



Slika 2.1 Stablo otkaza na sastavnim komponentama Dampera BelAZ-75131

2.3 Pouzdanost, pogodnost održavanja i raspoloživost rudarske mehanizacije

Pouzdanost se bavi izučavanjem zakonitosti pojava otkaza rudarskih mašina i njihovih sastavnih komponenata. Takođe sa praktičnog stanovišta može se definisati kao svojstvo da vozilo radi bez otkaza pod određenim uslovima u određenom periodu vremena. Analiza pouzdanosti podrazumeva permanentno analiziranje otkaza sastavnih komponenata rudarske mehanizacije, kao i svih činilaca koji na određeni način utiču na njihovu pojavu.

U cilju kvantitativnog utvrđivanja karakteristika pouzdanosti sastavnih komponenata rudarske mehanizacije potrebno je: definisati uslove ispitivanja, odrediti parametre koji se posmatraju, definisati otkaz, odrediti obim uzorka, odrediti način uzorkovanja, definisati slučajne veličine, definisati plan ispitivanja prema konkretnom tipu ispitivanog uzorka, utvrditi vreme trajanja ispitivanja i odrediti funkciju raspodele slučajne veličine.

U slučaju da su poznate sve veličine stohastičkog uticaja, onda se uz pomoć proračuna verovatnoće mogu izvesti odgovarajući matematički odnosi za pogodnost održavanja i trajanja preostalog vremena korišćenja komponenata rudarskih mašina.

Pogodnost održavanja definiše se kao verovatnoća da će projektovani postupak održavanja biti izveden u datom remenu, datim uslovima okoline i pri minimalnim troškovima. Pri tome je pogodnost održavanja vezana za:

- princip jednostavnosti strukture komponenata i pogodnost njihovog komponovanja (montaža, demontaža, laka zamenljivost, dostupnost),
- kvalitet gradnje sistema,
- uslove izvođenja aktivnosti održavanja
- nivo integralne systemske podrške komponenta.

Pogodnost održavanja zavisi od više činilaca kako unutrašnjeg, tako i spoljašnjeg karaktera. Spoljne faktore izučava logistika i teorija održavanja koja ukazuje na puteve optimizacije unutrašnjih faktora, koji proističu iz konstrukcije komponenata mašina: laka dostupnost komponentama, standardizacija i unifikacija sastavnih komponenata, redosled tehnologije u postupku održavanja, mogućnost zamene komponenata sa rezervnim istog tipa, dobar prilaz mestima podešavanja, mogućnost transporta, primena standardnih alata i pribora, lako zaustavljanje, lako puštanje u rad i dr.

Raspoloživost kod popravljivih sistema je verovatnoća da je sistem u prihvatljivom stanju, odnosno verovatnoća da će sistem u bilo kom trenutku vremena t biti raspoloživ, odnosno da će biti u stanju da radi ili da se uključi u rad, pod uslovom da je bio operativan u vremenu $t = 0$.

Raspoloživost predstavlja verovatnoću da će rudarska mašina u bilo kom trenutku vremena ispravno da radi, tj. da se uključi u rad (ukoliko neposredno pre toga nije već bilo u radu). Očigledno je da postoje određene razlike u karakteru uključivanja u rad, u zavisnosti od toga da li se rudarska mašina pre toga nalazila na korišćenju. Ako se rudarska mašina nalazi na korišćenju njegovo stanje je poznato te uključivanje u rad nije praćeno dodatnom neizvesnošću pa postoji neizvesnost da li će da se uključi u rad ili ne.

Gotovost je jedna od osnovnih karakteristika sistema održavanja. Ona zavisi i od pouzdanosti, te stoga predstavlja kompleksnu karakteristiku, zbirnu meru kvaliteta komponenata u pogledu održavanja i pouzdanosti. S obzirom da su činiooci koji određuju vrednost gotovosti slučajni, to je gotovost karakteristika slučajnog karaktera.

3. METODOLOSKI KONCEPT ISTRAŽIVANJA

3.1 Problem i predmet istraživanja

Doktorska disertacija obuhvata problematiku formiranja modela održavanja mašina na površinskim kopovima na osnovu određenih vrednosti analizirane pouzdanosti. Dat je sistematizovan pregled metoda i modela u užem smislu, a u širem smislu, ti modeli su primenljivi na komponente mašina na površinskim kopovima. Doprinos disertacije se ogleda u primeni metoda simulacije za izbor najboljih parametara i funkcionisanja komponenata sklopova, sa aspekta pouzdanosti njihovih sklopova.

Rešavanje problema metode održavanja ima veliki značaj iz razloga što je svaku složen sklop podložan otkazima, a dijagnostika će omogućiti i ustanoviti prirodu i mesto tog otkaza. Analizom parametara moguće je razviti model održavanja prema stanju za period rada komponenti. Njihov zadatak je provera stanja komponenti i postupaka preventivnog održavanja, kako ne bi došlo do pojave otkaza.

Problem istraživanja predstavlja analizu i sprovođenje izbora parametara stanja mašina sa ciljem određivanja sigurnosti funkcionisanja sastavnih komponenata mašina. Za definisanje uticaja promena radne temperature i pohabanosti delova mašina u određivanju sigurnosti funkcionisanja sklopova mašina na površinskim kopovima, neophodno je postaviti pristup u analizi kontrole parametara, a koji obuhvata teorijsku i eksperimentalnu analizu.

Izbor parametara za formiranje metoda održavanja, teorijska i eksperimentalna analiza sastavnih komponenata mašina na površinskim kopovima predstavljaju predmet istraživanja. Stoga se u predmetnom istraživanju analiziraju sve funkcije koje određuju pogodnost sistema dijagnostike. Formiranjem modela održavanja predviđa se mogućnost primene najznačajnijih parametara teorijske i eksperimentalne analize. Na osnovu ocene sposobnosti i određenog kvaliteta pouzdanosti definišu se granice sigurno ispravnog i optimalnog rada i oblasti rizika.

Predmet istraživanja je određen opštim saznanjem o nedovoljno izučenim metodama praćenja modela održavanja i njihovog uticaja na pouzdanost, pa se otvara prostor za nova istraživanja, što je i suština ove doktorske disertacije.

Jednu od najvažnijih funkcija sistema održavanja mašina na površinskim kopovima čini planiranje praćenja preventivnog održavanja mašina. Ona proističe iz činjenice da dijagnosticiranje predstavlja najvažniji deo logističke podrške sistemu za koji posmatrane mašine predstavljaju održavanje komponenata mašina. Sistemskim planiranjem se obezbeđuje kvalitetno funkcionisanje upravljanja održavanjem.

3.2. Hipoteza istraživanja

Metode održavanja mašina na površinskim kopovima treba razviti tako da se stanje mašina prati u svakom trenutku vremena u cilju postizanja što većeg nivoa pouzdanosti.

Rezultati istraživanja koji se mogu generalizovati i primeniti i u drugim uslovima i slučajevima, van posmatranih metoda se unapred planiraju. Istovremeno, oni treba da pokažu da su opšti prilaz i principi metoda održavanja i praćenja informacionog sistema mašina i njihov nivo pouzdanosti, u funkciji modela i da je moguće uspostaviti standardizovane parametre procesa koji u potrebnoj i dovoljnoj meri održavaju pouzdanost mašina na površinskim kopovima.

Metode održavanja bi trebalo razraditi na pomenutim osnovama, a time povećati nivo pouzdanosti mašina. One treba da su zasnovane na izboru parametara i formiranju modela održavanja mašina na površinskim kopovima radi postizanja maksimalne pouzdanosti i raspoloživosti u radu.

U planiranju otkaza, koji definiše strategiju i promenu stanja rada komponenata sklopova mašina, ovi modeli će biti primenljivi. Oni će određivati rešenja koja su optimalna po pojedinim kriterijumima, a zatim kompromisna rešenja koja se predlažu i iz kojih treba usvojiti jedno konačno rešenje. Ovakvi modeli mogu se primenjivati kako na jednostavne, tako i na složene sisteme bez obzira na gabarite komponenata sklopova mašina. Uspešno izvršena analiza parametara stanja komponenti koje utiču na model za utvrđivanje optimalne vrednosti održavanja, je u funkciji postizanja maksimalne pouzdanosti i raspoloživosti komponenata sklopova mašina na površinskim kopovima.

Glavna hipoteza koja je obuhvaćena ovom doktorskom disertacijom ima za cilj postizanje višeg nivoa pouzdanosti rada sastavnih komponenti sklopova mašina na površinskim kopovima.

Glavna hipoteza glasi: **„Razvoj novih metoda održavanja mašina na površinskim kopovima može doprineti povišenju nivoa pouzdanosti tih mašina“.**

Zadatak istraživanja održavanja mašina je da izvrši izbor najboljih parametara pri određivanju sigurnosti funkcionisanja sastavnih komponenata mašina na površinskim kopovima. Stvaranje mogućnosti za automatizovanu optimizaciju sadržaja preventivnog postupka održavanja, njegovog trajanja i periodičnosti, kako po nivoima održavanja i vrsti, tj. tipu mašine, tako i za svaku mašinu pojedinačno, jeste takođe istraživanje. Na taj način treba da budu stvoreni uslovi za visoku efektivnost mašine i za permanentno usavršavanje sistema održavanja.

U cilju postizanja gore navedenog, formiran je model metode održavanja rada komponenti sklopova prema izabranim parametrima, i mernim mestima na osnovu izmerenih vrednosti komponenata sklopova. Model će biti primenljiv u planiranju otkaza koji definiše strategiju i promenu stanja rada komponenti sklopova mašine. Ovakav model će određivati rešenja koja su optimalna po pojedinim kriterijumima, a zatim i kompromisna rešenja koja se predlažu i iz kojih treba usvojiti jedno konačno rešenje.

3.3. Metode istraživanja

Metode održavanja sastavnih komponenata mašina na površinskim kopovima se zasniva na metodologiji istraživanja koja je obuhvatila opšte i posebne naučne metode i postupke i metode tehnike. Primenjene metode koje će se koristiti u ovoj disertaciji su: statistička metoda, metoda analize, metoda modelovanja i metoda naučnog ispitivanja.

Statistička metoda utvrđuje parametre i pokazatelje koji su praćeni u toku analize i preko kojih se najčešće ocenjuje optimalan period postupaka održavanja. Analiziraće se pojedine komponente, mašina na površinskim kopovima i ponašanje određenih pokazatelja koji su bitni za analizu.

Metoda analize zasniva se na analizi komponenata mašina na površinskim kopovima. Svoju primenu, ova metoda je našla u postupku rastavljanja mašina na sastavne sklopove. U

okviru nje postoji i razvijena je verovatnoća nastanka neželjenih događaja, tako da se javljaju: dijagnostika sklopova mašina i postupci održavanja sklopova mašina.

Metodom modelovanja na osnovu postojećih, a uz korišćenje još nekih modela, za utvrđivanje dijagnostike stanja, mogao bi se razviti i sopstveni prilaz za utvrđivanje stanja mašina. U završnom delu rada izvršiće se uporedna analiza pojedinih sklopova mašina iz koje bi trebalo da se vidi vrednost za utvrđivanje primenljivosti metoda održavanja.

3.4. Organizacija istraživanja

Sistemske planiranjem metoda održavanja obezbeđuje se kvalitetna funkcija upravljanja održavanjem. U slučaju da dođe do većih odstupanja proračunskih podataka od stvarnih, treba iznova ponoviti nove ulazne podatke. Radi uspešnog ostvarenja postavljenog cilja doktorske disertacije, istraživanja su organizovana u okviru sledećih faza:

Prva faza istraživanja obuhvata analizu literalne građe iz predmetne oblasti radi sagledavanja domaće nauke i prakse i njihovog poređenja sa iskustvima razvijenih zemalja u svetu.

Druga faza istraživanja sadrži postavljanje metoda održavanja i njegov uticaj na pouzdanost mašina, kao i njihova primena u praksi.

Treća faza istraživanja zasniva se na analizi dobijenih rezultata i potvrđivanju hipoteze.

Teorijska i eksperimentalna istraživanja su u ovoj disertaciji obavljena prvenstveno sa ciljem unapređenja metoda održavanja mašina na površinskim kopovima, a kroz davanje modela, kojim su obuhvaćeni svi relativni uticajni faktori koji utiču na njihovo tehničko stanje.

3.5. Naučna i društvena opravdanost istraživanja

Ispravnost korišćenja i održavanja savremenih mašina na površinskim kopovima zavisi od postavljenog i korišćenog modela održavanja, koje predstavljaju bazu primene fleksibilnih servisnih sistema. Podaci dobijeni od odgovarajućih senzora i davača, ugrađenih na savremenim mašinama, potiču iz baze podataka, pa ukoliko se koriste na pravi način u okviru baze znanja, uz poštovanje određenih kriterijuma i ograničenja, omogućiće dobijanje korisnih informacija za rad.

Optimizacija postupaka metoda održavanja, izborom najboljih parametara u određivanju sigurnosti funkcionisanja sastavnih sklopova rudarskih mašina, čini naučnu opravdanost ovih istraživanja. Kao alternativa, uzeto je određivanje potrebne sigurnosti pouzdanosti rada komponenata na osnovu zabeleženih otkaza mašina na površinskim kopovima.

Ostvareni rezultati, bazirani na datim istraživanjima, a koji predstavljaju naučni i društveni doprinos predmetnoj problematici, omogućili su proveru i dokazivanje glavne hipoteze i postavljanje pomoćnih hipoteza ove disertacije.

Model pouzdanosti, baziran na određenim vrednostima analizirane pouzdanosti, zasniva se na modelu blok dijagrama o mernim mestima mašina na površinskim kopovima. Takođe, sa primenom izabranih novih dijagnostičkih parametara stanja, koji ima preventivni karakter, obezbedićemo stalnim praćenjem parametara stanja mašina na površinskim kopovima radi blagovremenog otkrivanja promena dozvoljene vrednosti parametara stanja ili radi otkrivanja graničnih vrednosti parametara stanja pri kojoj se javlja otkaz.

4. PROIZVODNI SISTEMI NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA I TEHNIČKO ODRŽAVANJE

4.1. Proizvodni sistemi na površinskim kopovima

Postoje mnoge definicije proizvodnje i proizvodnih sistema. U pokušaju da razjasnimo, sistem proizvodnje, za potrebe ovog istraživanja, da se definiše kao „...ljudi, oprema i procedura koje se organizuju za kombinacije materijala i procesa koji čine firme proizvodnih operacija. Proizvodni sistemi obuhvataju ne samo grupe mašina i radne stanice u fabrici, ali i procedure koje ih teraju da rade.“ Proizvodni sistem, sa druge strane se definiše kao: „ ... kolekcija integrisanih oprema i ljudskih resursa, čija je funkcija da vrše jednu ili više obrade i/ili da okupe operacije na polaznu sirovinu, deo, ili skup delova“.

Proizvodni sistem se danas često rukovodi složenim proizvodnim strategijama. Sa strategijama kao što su: „just-in-time“, upravljanje lancem nabavke, proizvodnjom, kvalitetom, i drugima, sve je važno da je proizvodnja na raspolaganju i da zadovolji zahteve kupaca. Kao trendove novih proizvodnih strategija podrazumeva i rad sa manje zaliha, proizvodni sistemi će postati još ranjiviji na neplaniranim nedostupnostima.

Otkazi u proizvodnji sistema na površinskim kopovima mogu stvoriti mnoge neprijatnosti. Rezultat rada može napraviti velike troškove:

- izgubljeno vreme proizvodnje,
- izgubljena proizvodnja,
- masa štetnih hemikalija na životnu sredinu,
- izgubljeni kupci,
- garancija plaćanja,
- troškovi mobilizacije vanrednog stanja resursa

4.1.1. Tehnički sistemi - opis

1. Bager Bucyrus RH 120 E

Mašina je napravljena u skladu sa najnovijim standardima i prepoznatim sigurnosnim pravilima. Ipak, njena upotreba može izazvati rizik po život korisnika ili trećih lica, ili prouzrokovati oštećenje mašine i drugih materijalnih dobara (prihvatljiv rizik). Prihvatljiv rizik je prisutan, npr.: nestabilan materijal ili materijal koji se utovara može ispasti iz čone kašike ili rovokopača dok se radna oprema okreće. Mašina sme da se koristi samo u tehnički odličnom stanju u skladu sa predviđenom primenom i instrukcijama navedenim u uputstvu za rukovanje, a samo od strane sigurnosno-svesnih osoba koje su u potpunosti svesne rizika koji obuhvata posao rukovanja mašinom. Sve greške u funkcionisanju, posebno one koje utiču na sigurnost mašine, stoga trebaju odmah da se isprave (slika 4.1).

Bager Bucyrus RH 120 E je napravljen u skladu sa najnovijim standardima i prepoznatim sigurnosnim pravilima. Bager sa utovarnom kašikom je namenjen isključivo za kopanje i utovarivanje:

- iskopanog zemljišta,
- peska,
- šljunka,
- miniranog kamenja,

- ruda,
- uglja,
- i drugih sirovina.

Nepravilno korišćenje može povući za sobom rizik opasan po život za rukovaoce ili drugo osoblje, ili može prouzrokovati povrede ili veliko oštećenje. Proizvođač/isporučilac se ne može smatrati odgovornim za bilo koju štetu nastalu kao posledica nepredviđene primene. Rizik usled pogrešnog korišćenja je na korisniku.



Slika 4.1 Bager Bucyrus RH 120 E

2. Damperi za površinske kopove BelAZ-75131

Ovi damperi su nosivosti 130 tona i namenjeni su za transport jalovine i ruda na površinskim kopovima rudnika, kao i zemlje u građevinarstvu.

Damperi su namenjeni za eksploataciju na specijalno pripremljenim putevima, čiji je uzdužni nagib 6-8%. Prilikom eksploatacije dampera na putevima, čiji je uzdužni nagib preko 6% treba da budu predviđene deonice sa manjim uzdužnim nagibima (2% i manje) ili horizontalne deonice dužine najmanje 50 m na svakih 600 m puta sa nagibom. Putevi treba da budu predviđeni za transportna sredstva, čije je osovinsko opterećenje najmanje 140000 kg.

Površina kolovoza puteva treba da bude ravna i da obezbeđuje kretanje dampera predviđenom brzinom. Međuprostor između letve dužine 3 metra i površinom kolovoza puta ne smije biti veći od 2,5 cm.

Ako se na ravnom delu puta nađe pet neravnina dubine od 3 do 5 cm (razmak između letve i površine kolovoza) ili jedna neravnina dubine 10 cm, sa dimenzijama, koje su veće od kontakta gume sa kolovozom, brzinu kretanja dampera treba smanjiti do 25 km/sat. Kad se poveća broj neravnina dva puta brzina kretanja dampera treba da se smanji do 15 – 20 km/na sat.

Nije dozvoljena eksploatacija dampera na putevima sa neravninama dubine preko 10 cm, a na čelu kopa ili u odlagalištima sa neravninama preko 20 cm, sa dimenzijama koje su prethodno navedene.

Damperi su predviđeni za eksploataciju kada je temperatura okolnog vazduha od minus 50 do plus 40°C, relativna vlažnost vazduha do 80% na temperaturi od 20°C, sadržaj prašine u vazduhu do 0,6 g/m³, brzina vetra do 20 m u sekundi i u područjima, koja se nalaze na visini do 2000 m nadmorske visine. Da bi se povećala produktivnost dampera preporučuje se njihova eksploatacija u kompleksu sa bagerima, čija je zapremina kašike do 12,5m³ (slika 4.2)



Slika 4.2 Damper BelAZ-75131

3. DML Electric bušilice

Garnitura DML bušilice prikazana je na slici 4.3.



Slika 4.3 DML Electric bušilica

DML je bušaća garnitura montirana na gusenice sa hidrauličnim pogonom visokog obrtnog momenta sa više rotirajućih prečnika, posebno dizajnirana za udarno bušenje do dubine od 180 stopa (54, 9 m) sa raznim bušnim šipkama za bušenje do 35 stopa (10, 7 m). Opseg veličine rupa za aplikacije za rotaciono bušenje je nominalno 6 do 9-7/8 inča (152 mm do 249, 5 mm). Brzina bušenja stvara silu izvlačenja pribora do 60,000 lb. (27, 216 kg). DML koristi električni motor za pogon vazdušnog kompresora i hidrauličnog sistema. Rad bušilice se vrši elektronski preko hidrauličnih upravljača ergonomski postavljenih tako da se rukovalac nalazi nasuprot centralizatora bušilice tokom bušenja. DML poseduje asimetričan vazdušni kompresor sa rotacionim šrafom (slika 4.3).

Da omogući optimalne performanse kroz širok spektar aplikacija i terenskih zahteva, mašina je opremljena sa:

- a) Instaliranim kompresorom niskog pritiska DML/LP ELECTRIC)
- b) Opremom protiv nagomilavanja prašine
- c) Standardnim nosačem za 4 šipke za bušenje
- d) Radnim komandama u zvučno izolovanoj kabini
- e) Velikom sposobnošću vozila za savlađivanje uspona

Pogonski sistem ima nezavisni hidrostatički pogon/sistem za kočenje za svaku gusenicu, što omogućava upravljanje preko raznih poluga komandnih uređaja.

Bušilice su opremljene sa duplim sistemom za filtriranje vazduha. Čistači vazduha suvog tipa sa 2-faze, sa opcionim prečistačem naizmjenično obezbeđuju čist vazduh kompresoru.

Motor se isključuje ili preko prenosivog ključa sa prekidačem za „uključivanje/isključivanje“ ili preko prekidača za hitne slučajeve.

DML Electric bušilice su izgrađene u skladu sa najsavremenijim standardima i priznatim propisima o bezbednosti. Ipak, njihova pogrešna upotreba može predstavljati rizik po život i telo korisnika ili trećih lica i može prouzrokovati štetu na bušilicama ili oštećenje druge materijalne imovine.

DML/LP je specijalno dizajnirana za proizvodno udarno bušenje rotacionim delovanjem, do dubine od 180 ft. (54, 9 m) sa 35 ft (10, 7 m) izmenom bušnih cevi, na pripremljenim klupama koje su ravne i čvrste. Nominalni prečnik veličine rupa kreće se u rasponu od 6 in. (152 mm) do 9-7/8 in. (249.5 mm) za primene rotacionog svrdla.

Pored ovih mašina na površinskim kopovima koristi se veći broj drugih složenih mašina koje su takođe analizirane kroz svoje sastavne delove.

4.2. Održavanje tehničkih sistema na površinskim kopovima

Održavanje kao funkcija podrške u proizvodnji na površinskim kopovima je cenjena kao kritična uloga, čak i kao preduslov. To, naravno, podrazumeva i da se održavanje mora efikasno obavljati, drugim rečima, akciju pravilnog održavanja treba preduzeti u pravo vreme. Neadekvatno održavanje na površinskim kopovima, s druge strane, može da dovede do povećanja svih troškova.

U suštini postoji korektivno i preventivno održavanje.

Korektivno održavanje se definiše kao: „Održavanje sprovedeno nakon greške odnosno pojave otkaza i za cilj ima da se mašina stavi u stanje u kome može obavljati potrebne funkcije“. Za popravke, neki pristupi modelovanju su na raspolaganju. Sa minimalnom popravkom, mašina nije uspela da se vrati u funkcionalno stanje i nastavlja kao da se ništa nije dogodilo. Verovatnoća neuspeha ostaje ista kao što je i bila neposredno pre neuspeha. Upotreba minimalne popravke znači da se sama mašina vratila u „kao loš, kao star“ stanje. Minimalna popravka može da bude izvršena iz različitih razloga, kao što je nedostatak vremena, nedostatak

rezervnih delova, nadležnost, i tako dalje. Ukoliko se deo ne zamenjuje novom komponentom istog tipa, koji je upravo pušten u upotrebu taj se proces zove obnova ili ponekad maksimalna popravka.

Za otkaze na kritičnim funkcijama, korektivno održavanje mora da bude odmah izvršeno. Međutim, za propuste koji nemaju ili imaju malo značaja na efikasnost funkcije, održavanje može biti odloženo neko vreme koje bi bolje odgovaralo prilici. Korektivno održavanje treba da se koristi samo u nekritičnim oblastima gde su: troškovi kapitala mali, posledice neuspeha male, nema bezbednosnih rizika i brze identifikacije neuspeha nad brzim otkazima popravke su moguće. Kompanije često usvajaju neprimereno korektivno održavanje, što dugoročno može postati skupo.

Preventivno održavanje je definisano kao: "Održavanje koje se vrši unapred ili u skladu sa propisanim kriterijumima i ima za cilj da smanji verovatnoću neuspeha ili degradaciju funkcionisanje mašine".

Unapred određeno održavanje je planirano bez pojave bilo koje aktivnosti praćenja. Planiranje može biti zasnovano prema broju sati u upotrebi, koliko se puta mašina koristi, broj kilometara toka koji se koristi, u skladu sa propisanim datumima, i tako dalje. Unapred određeno održavanje je najpogodnije za stavke gde je vidljivo starenje, ili habanje karakteristika i gde se zadatak održavanja može obaviti na vreme da će sprečiti pojavu otkaza. Unapred održavanje se ponekad naziva i kao održavanje zasnovano na vremenu održavanja i planirano održavanje (održavanje „po konstantnom datumu“).

Održavanje kao disciplina je izuzetno evoluiralo tokom poslednjih decenija. Moguće je podeliti u tri generacije promene. Prva generacija dostiže i do Drugog svetskog rata, druga generacija proteže se od sredine sedamdesetih godina do danas. Tokom prve generacije, fokus nije mnogo bio usmeren na održavanje. Proizvodnja nije bila visoko mehanizovana, a oprema je bila relativno jednostavna (u mnogim slučajevima čak i preko dizajnirana). Ovo je dalo malo ili uopšte nije dalo potrebe za održavanjem, osim jednostavnog čišćenja, servisiranja i podmazivanja. U drugoj generaciji je povećana tražnja robe i smanjen broj ljudi zbog rata, što je dovelo do povećane mehanizacije. To je dovelo do koncepta preventivnog održavanja u vidu remonta, koji se obavljao u fiksnim intervalima vremena. Naravno, sa ovim pristupom, troškovi održavanja su povećani, što dovodi do razvoja i korišćenja planiranja održavanja i kontrole. Međutim, nova očekivanja, nova istraživanja, kao i nove tehnike, negde sredinom sedamdesetih prošlog veka počeli su da guraju održavanje u treću generaciju. Kako je proizvodna oprema evoluirala i postala sve kompleksnija, očekivanja o održavanju su povećana. Viši stepen pouzdanosti i raspoloživosti, viši nivo bezbednosti, duži vek trajanja opreme, povećani zahtevi na isplativost su između ostalih očekivanja, koja su postala sasvim uobičajena u poslednjih nekoliko godina za održavanje odeljenja u skoro svim sektorima. Kao što je već rečeno, veruje se da su karakteristike starenja mnogo više nego u prve dve generacije.

4.3. Konceptije održavanja složenih mašina na površinskim kopovima

4.3.1. Proces održavanja složenih mašina na površinskim kopovima

Poslednjih godina mogu se uočiti značajne promene u organizaciji održavanja složenih mašina na površinskim kopovima. Promene su izazvane direktnim pritiskom na smanjenje cene bakra po zaposlenom radniku, odnosno pritiskom izazvanim konkurentnim cenama drugih energenata. Kako je udeo održavanja složenih mašina u ukupnim troškovima veoma značajan, a sa druge strane, smanjenje troškova u samoj proizvodnji ograničeno, fokusirano je održavanje kao segment koji se boljom organizacijom i drugačijim pristupom može učiniti efikasnijim i pouzdanijim. Naravno, smanjenje troškova ni na koji način ne sme da ugrozi pouzdanost mašina na površinskim kopovima.

Kako je osnovna mehanizacija i oprema na površinskim kopovima veoma raznovrsna, složena i najčešće, različite starosti, proces održavanja, kao jednu od glavnih pretpostavki efikasnijoj proizvodnji čini veoma kompleksnim.

Današnji sistemi održavanja složenih mašina na površinskim kopovima u potpunosti prate organizacione trendove primenjene u drugim oblastima, oslanjajući se na standarde ISO i IEC serije, kao i na najsavremenije mogućnosti upravljanja i praćenja stanja.

Složene mašine na površinskim kopovima su za vreme procesa eksploatacije, a često za vreme stajanja, izloženi uslovima habanja i starenja, pa dolazi do promene njihove radne sposobnosti. Zato održavanja mora preduzeti sve mere da očuva radnu sposobnost složene mašine i proizvodnju čini ekonomičnom i bez troškova (da pozitivno utiče na efikasnost poslovanja preduzeća).

Prema nemačkom standardu DIN 31051 održavanje se definiše kao „mera za očuvanje i ponovno uspostavljanje početnog stanja i za utvrđivanje i procenu stvarnog stanja sredstava rada, odnosno ukupnog radnog sistema“.

U literaturi postoje različite definicije održavanja, koje se međusobno razlikuju kako u obuhvatanju aktivnosti koje spadaju u područje održavanja tako i tretiranjem organizacije u okviru organizacione šeme preduzeća (deo podsistema u okviru poslovnog sistema, funkcija poslovnog sistema, uslužna delatnost licenciranog i usko specijalizovanog preduzeća). Iako se održavanje tehničkih sistema može definisati na različite načine, najčešće se pod ovim pojmom podrazumeva to „skup aktivnosti, postupaka, modela i metoda koji se tokom perioda eksploatacije sprovode i koriste na tehničkim sistemima u cilju sprečavanja pojave stanja u otkazu, ili za otklanjanje pojave stanja u otkazu kao i nastalog otkaza“.

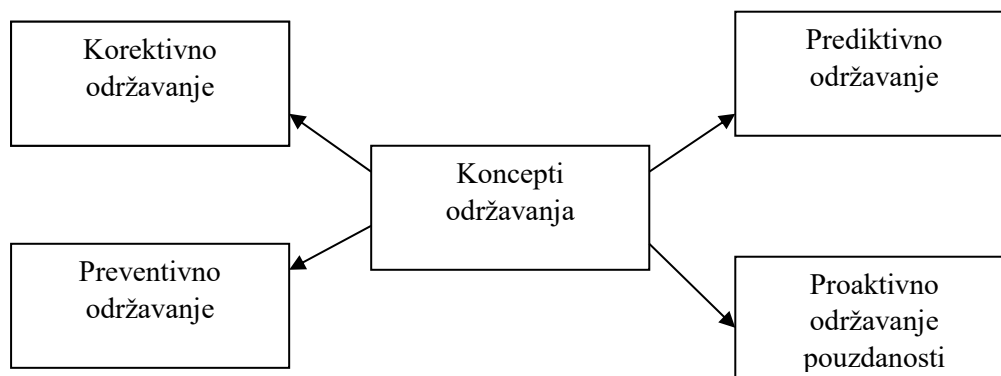
Rudarska mehanizacija u eksploataciji može biti u jednom od moguća dva stanja: „*stanju u radu*“ ili „*stanju u otkazu*“. Ako je u „*stanju u radu*“ znači da je ispravna, tj. da je radno sposobna i da može da izvršava postavljene zadatke na propisan način i u propisanom vremenu. Ako je u „*stanju u otkazu*“, znači da se nalazi u neradnom stanju izazvano pojavom otkaza ili potrebom sprovođenja obimnijih postupaka preventivnog održavanja, odnosno zadatak i funkcija cilja se ne izražava na propisan način.

Osnovu održavanja karakter informacija o tehničkom stanju i pouzdanosti objekta eksploatacije, koji se koriste pri određivanju obima i periodičnosti aktivnosti održavanja. Tako se u zavisnosti od vremena prijema i iskorišćenja informacija kao i od izvora njegovog dobijanja mogu razlikovati više metoda održavanja.

Osnovne metode koje se primenjuju u procesu održavanja složenih mašina na površinskim kopovima su:

- Korektivno održavanje,
- Preventivno održavanje,
- Prediktivno održavanje (ili održavanje prema stanju),
- Proaktivno održavanje.

Osim navedenih metoda održavanja primenjuju se i prelazne, odnosno kombinovane metode održavanja.



Slika 4.4 Koncepti održavanja mašina na površinskim kopovima

4.3.2. Karakteristike korektivnog održavanja

Kod metode korektivnog održavanja (na osnovu pojave otkaza) sastavni deo mašine ostaje u mašini do momenta otkaza.

Nastanak otkaza dolazi, po pravilu, do naglog ispadanja mašine iz rada. Posle ispada, otkazani sastavni deo se zamenjuje novim ili se popravlja na licu mesta. Pri tome, stohastičko vreme korišćenja sastavnih delova mašina izaziva i stohastičko trajanje vremena u otkazu. Ova vremena su međusobno nezavisna.

Rasipanje vremena u otkazu izazvano održavanjem, kao i njegova dužina trajanja relativno su veliki, tako da momenat ispadanja nije moguće predvideti, a prema tome ograničene su mogućnosti organizacionih i tehnoloških priprema.

Metoda korektivnog održavanja je dominirala dug period vremena, a njeni troškovi su relativno visoki zbog neplaniranih zastoja, oštećenja tehnološke opreme i prekovremenog rada na površinskim kopovima. Kod ove metode održavanja, menadžment i služba održavanja samo naslućuju stvarno stanje rudarske opreme. Zbog toga je praktično nemoguće planirati potrebe održavanja, niti predvideti raspoloživost složenih mašina. Metoda korektivnog održavanja treba da čini samo mali deo savremenog programa održavanja, pošto u nekim situacijama, ipak, ima smisla primeniti ovaj način održavanja. Kao primer može da posluži postrojenje u okviru koga radi veliki broj sličnih mašina, čija popravka ili zamena nije skupa. Kada jedna mašina otkáže, uključuje se druga, a postrojenje nije dugo u zastoju.

4.3.3. Karakteristike preventivnog održavanja

Pod metodom preventivnog održavanja podrazumeva se da se nekim postupkom preventivnog održavanja sastavni deo složene mašine obnavlja. Naime, posle preventivne aktivnosti (postupaka) održavanja tehničko-eksploatacione karakteristike sastavnih delova

složenih mašina su dovedene u granice koje se traže od novog tehničkog sistema (ili približno). Preventivnim postupcima održavanja vrši se zamena (obnavljanje) neispravnog sastavnog dela sistema sa identično ispravnim (novim ili ranije popravljenim), podmazivanje delova mašine, rekonstrukcija dela sistema radi boljeg održavanja i dr. Znači, preventivno održavanje čini niz zahvata (postupaka) neophodnih za sprečavanje pojave stanja „u otkazu“, odnosno održavanje parametara funkcije kriterijuma u granicama dozvoljenih odstupanja u što dužem vremenu trajanja.

Zamena sastavnog dela složene mašine na površinskim kopovima pre pojave otkaza ima opravdanje samo u slučajevima kada intenzitet otkaza (brzina pojave otkaza) počinje da raste.

Metoda preventivnog održavanja predstavlja napredak u odnosu na metodu korektivnog održavanja. Ova metoda se ponekad naziva održavanje zasnovano na „istoriji“. To znači da se analizira istorija svake složene mašine, preventivno održavanje se planira tako da se spreči pojava statistički očekivanih problema. Aktivnosti ove metode održavanja mogu biti planirane na osnovu: kalendarskog vremena, radnih časova mašine, broja proizvedenih delova, količine otkopane jalovine ili rude bakra itd.

4.3.4. Karakteristike prediktivnog održavanja – održavanje prema stanju

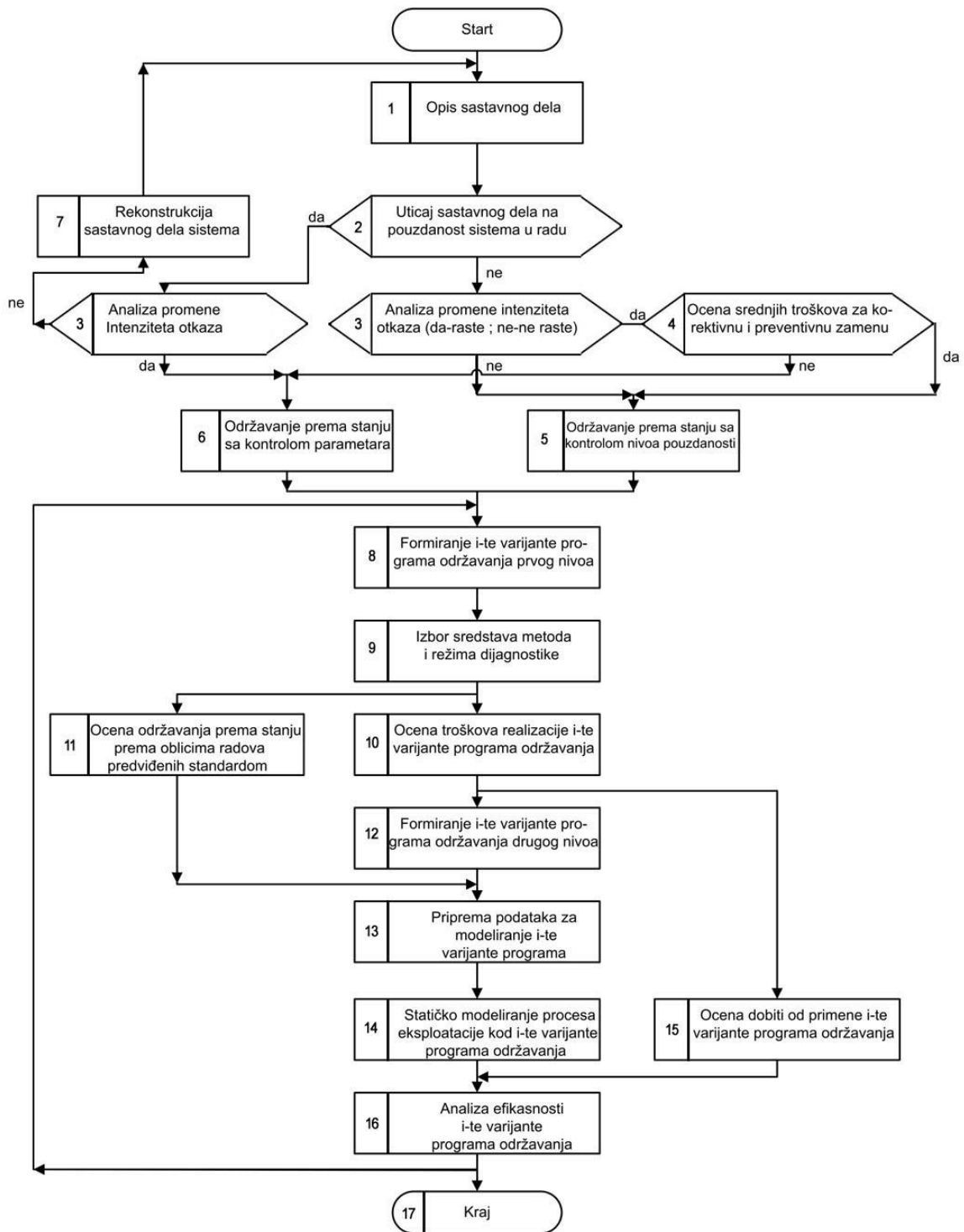
Metoda prediktivnog održavanja se zasniva na utvrđivanju stanja složene mašine na površinskim kopovima. Ova metoda održavanja je održavanje prema stanju, tj. održavanje na osnovu utvrđenog stanja (slika 4.5).[5]¹¹

Kod prediktivnog održavanja, strategija donošenja odluka o aktivnostima održavanja zasniva se na periodičnoj kontroli tehničkog stanja složenih mašina u procesu eksploatacije. Prema rezultatima dijagnostičke kontrole donose se odluke o neophodnom roku i obimu planskih aktivnosti održavanja (dijagnostikom se utvrđuje stanje sistema).

Dok se kod preventivnog održavanja , aktivnosti održavanja vrše nakon utvrđenog vremena, kod prediktivnog održavanja vrši se dijagnostička kontrola određenih tehničkih parametara stanja i interveniše se samo ako je tehničko stanje izvan propisanih granica.

Prediktivno održavanje je, prema tome, dijagnostički proces koji omogućuje određivanje tehničkih stanja svakog sastavnog dela složene mašine, odnosno označava mehaničko „zdravlje“ i omogućuje permanentno planiranje aktivnosti održavanja (zamene ili popravke sastavnih delova sistema) baziranih na stvarnom tehničkom stanju, povećavajući, na taj način, vreme efikasnog rada složene mašine i eliminišući nepotrebne zastoje. Sprovodi se na taj način, što se najpre, u određenim vremenskim intervalima, nezavisno od stanja oštećenosti sastavnih delova sistema vrši dijagnostička kontrola tehničkog stanja, a nakon toga, u zavisnosti od tehničkog stanja, vrše se aktivnosti održavanja na sastavnim delovima složene mašine ili oni ostaju i dalje u procesu eksploatacije.

¹¹ [5]. Adamović, Ž., Ilić, B., „Nauka o održavanju tehničkih sistema“, Srpski akademski centar, Novi Sad, 2013



Slika 4.5 Algoritam formiranja programa održavanja prema stanju [5]¹²

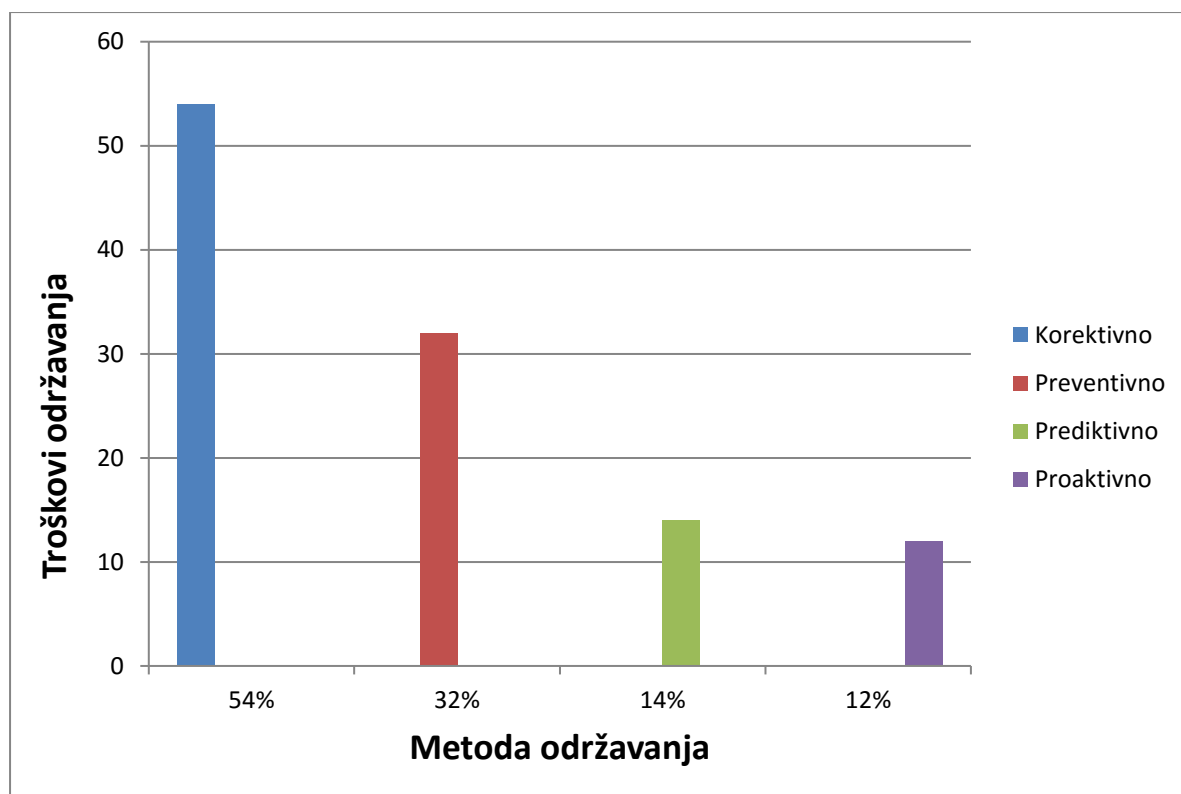
¹² [5]. Adamović, Ž., Ilić, B., "Nauka o održavanju tehničkih sistema", Srpski akademski centar, Novi Sad, 2013

4.3.5. Karakteristike proaktivnog održavanja

Proaktivni pristup problemima održavanja složenih mašina na površinskim kopovima, baziran je na stalnom praćenju i kontroli osnovnih uzročnika otkaza i aktivnostima na njihovom eliminisanju ili značajnom smanjenju negativnog dejstva. Proaktivni koncept ne prihvata otkaz kao normalno moguće stanje, već se sprovodi niz adekvatnih mera da do otkaza uopšte ne dođe (slika 4.6) [10].¹³

Jednostavno rečeno, teži se da mašine „vode zdrav život“ i da im se na taj način maksimalno produži vek eksploatacije.

Svaki otkaz na složenim mašinama se analizira i preduzimaju potrebne mere da bi se sprečilo njegovo ponovno javljanje. Ovakav koncept koristi i analizu korena uzroka otkaza. Zadatak ove analize je pronalaženje problema koji prouzrokuju otkaze.



Slika 4.6 Konceptije održavanja mašina na površinskim kopovima i relativni troškovi održavanja [10]

¹³ [10] Adamović, Ž., Nestorović, G., Paunjorić, P., Teorija pouzdanosti, Akademija inženjstva održavanja, Beograd, 2008 ISBN 978-86-83701-17-9

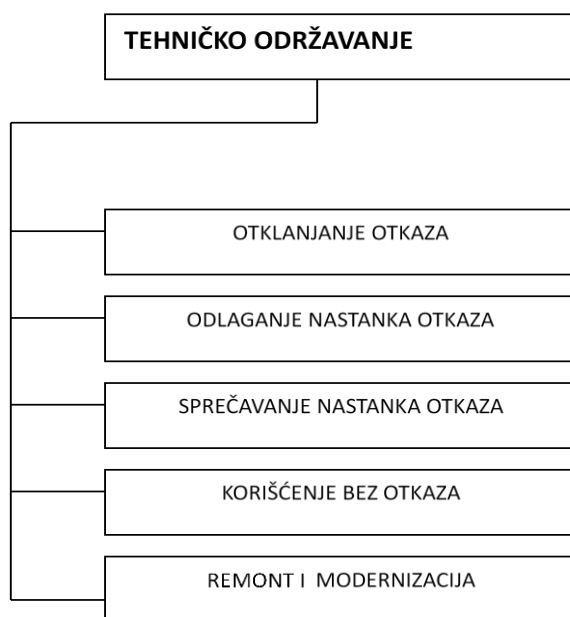
4.4. Metodologije održavanja

4.4.1. Ciljevi održavanja

Tehničko održavanje sistema (mašina i postrojenja) predstavlja skup postupaka i aktivnosti čija je svrha sprečavanje pojave stanja u otkazu (ili u zastoju), kao i vraćanje sistema po pojavi stanja u otkaza (ili pojavi otkaza) ponovo u stanje u radu (u radno sposobno stanje), u što kraćem vremenu i sa što manjim troškovima, u datim uslovima okoline i organizacije rada (slika.4.7) [14]¹⁴.

Tehničko održavanje sistema (ili održavanje sistema) obuhvata mere koje zadiru u područje proizvođača i korisnika tehničkog sistema (mašine). Osnovni zadaci održavanja počinju projektovanjem, konstruisanjem i izradom tehničkih sistema koji treba da imaju povoljnu karakteristiku trošenja, koja treba da umanjuje i usporava proces habanja i trošenja, povisuje nivo eksploatacione pouzdanosti (verovatnoću ispravnog rada) u radu i produžava životni ciklus sistema.

Proces trošenja (habanja) sistema je jedan od uzroka da održavanje mora postojati u životnom ciklusu sistema. Proizvođač sistema mora voditi računa da trošenje bude u granicama projektovanog, a korisnik da uslovi trošenja za vreme procesa eksploatacije što manje dođu do izražaja.



Slika 4.7 Tehničko održavanje [14]

Svrishodnost održavanja se može do kraja sagledati samo kroz efektivnost osnovnog procesa proizvodnje, da troškovi održavanja i troškovi zbog zastoja u proizvodnji budu što manji, kvalitet proizvoda što viši, a produktivnost proizvodnje što veća. Odnosno, zbir svih troškova po jedinici kapaciteta (proizvoda) nastalih zbog projektovanja, izrade, eksploatacije i održavanja tehničkog sistema, nezavisno od vremena i mesta gde su nastali, preko planiranog životnog ciklusa (veka trajanja), moraju težiti nekom minimumu.

¹⁴ [14]. Adamović, Ž., Savić N., Paunjorić P., idr., Restruktuiranje i preprojektovanje održavanja tehničkih sistema, Društvo za tehničku dijagnostiku – Adam institut, Smederevo, 2014. ISBN 978-86-83701-31-5

Koristeći tehničko održavanje za obezbeđenje osnovnog procesa proizvodnje (korišćenja) preuzimamo puno međusobno zavisnih zadataka: ideoloških, tehničkih, tehnoloških, organizacionih i ekonomskih.

Može se još reći da je održavanje tehničkih sistema funkcija proizvodnje koja obuhvata sve postupke koje treba preduzeti da mašine na površinskim kopovima budu što duže u ispravnom (radnom) stanju, da u životnom ciklusu rade sa dozvoljenim nivoom pouzdanosti, produktivnosti i ekonomičnosti. To znači da održavanje umnogome utiče na povišenje nivoa efikasnosti poslovanja preduzeća. Ono je uslov opstanka preduzeća u budućnosti.

Služba održavanja mora efikasno raditi na sprečavanju i otklanjanju otkaza (stanja u „otkazu“). Otkazi se načelno sprečavaju Preventivnim održavanjem (održavanjem pre prestanka otkaza), a otklanjaju se Korektivnim (održavanje posle otkaza) ili Kombinovanim održavanjem (kombinacijom korektivnog i preventivnog održavanja).

Mašine na površinskim kopovima moraju da rade što pouzdanije. Zbog toga se naglo širi pojam održavanja, pri čemu se danas može reći da je održavanje proces koji omogućava upravljanje tehničkim stanjem i pouzdanošću u toku čitavog životnog ciklusa mašine. Nadalje, ciljevi održavanja, između ostalog, zalaze i u sferu ekonomije poslovanja, pa se iskazuje u vidu racionalizacije i načelno su merljivi. Zbog svega toga, savremena nauka proces održavanja sve više izučava i podiže na nivo značajnosti u privredi i u društvu.

Osnovni ciljevi koji treba da se postignu procesom održavanja mašina na površinskim kopovima su [1]¹⁵:

- obezbeđenje (maksimiziranje) potrebnog nivoa pouzdanosti mašine na površinskim kopovima u procesu eksploatacije (pouzdanost je verovatnoća rada bez otkaza u toku vremena t , sa što većom raspoloživosti mašine, što manje otkaza),
- minimiziranje ukupnih troškova održavanja (direktnih i indirektnih),
- sprečavanje i ograničavanje zastarevanja mašina na površinskim kopovima,
- zajedničko učešće (sa svim funkcijama u preduzeću) u upravljanju proizvodnjom i finansijama (povezivanje u CIM sistem proizvodnje-kompjuterski integrisana proizvodnja),
- postizanje boljeg kvaliteta proizvoda,
- povećanje produktivnosti rada u proizvodnji,
- povišenje nivoa motivisanosti za rad (neispravne mašine na površinskim kopovima izazivaju loše stanje i odnose, pa i nezgode),
- čuvanje svih raspoloživih resursa,
- upravljanje znanjem, i
- isporuka proizvoda kupcima na vreme i dr.

Treba imati u vidu da održavanje u pogledu sadržaja i dinamike sprovođenja mora biti vrlo brižljivo odmereno i strogo usklađeno sa stvarnim potrebama. U protivnom se mogu dobiti i suprotni efekti. Umesto visoke pouzdanosti nepažljivo i prečesto sprovođenje, naročito složenih i dugotrajnih postupaka održavanja, može izazvati pojavu drugih, dodatnih i još ozbiljnijih otkaza, čime se može značajno smanjiti pouzdanost, uz osetno povećanje troškova.

¹⁵ [1]. Adamović, Ž., Ašonja, A., Milošević, D., Paunjorić, P., i dr., Teledijagnostika mašina, Duga knjiga, Sremski Karlovci, 2011., ISBN 978-86-86127-30-3

Zato između sasvim logičnog uputstva „Održavaj mašinu redovno kako te ne bi izneverila“ i njemu suprotnog saveta „Pusti mašinu da radi, nešto ćeš poremetiti“ treba naći kompromis koji će obezbediti najveće efekte. To i jeste cilj inženjerstva održavanja, odnosno savremenih naučnih i tehničkih disciplina koje se bave ovim problemima.

Razvoj novih naučnih disciplina, zasnovanih na sve ubrzanijem razvoju tehnike i tehnologije, posebno Kibernetike, Teorije sistema, Informatike i drugih grana sistematskih nauka, značajno je doprineo promeni odnosa prema održavanju tehničkih sistema. Zahvaljujući tome, mašine na površinskim kopovima se danas više ne posmatraju kao uređaji koje je napravio čovek tako da se ponašaju po nekim sopstvenim, zamišljenim ili dodeljenim zakonima, nezavisno od okoline i drugih prirodnih uslova, već kao integralni delovi opšteg prirodnog sistema, koji podležu opštim i posebnim zakonima.

4.4.2. Održavanje kao funkcija

Održavanje tehničkih sistema je funkcija osnovne proizvodnje u preduzeću. Zato se ono organizuje u određene organizacione forme i celine i funkcionise kao poseban podsistem u preduzeću. Održavanje, je znači, suštinski vezano za osnovni proces proizvodnje, jer doprinosi da se proizvodnja odvija na racionalan način, uz optimalni nivo pouzdanosti svih tehničkih sistema u preduzeću.

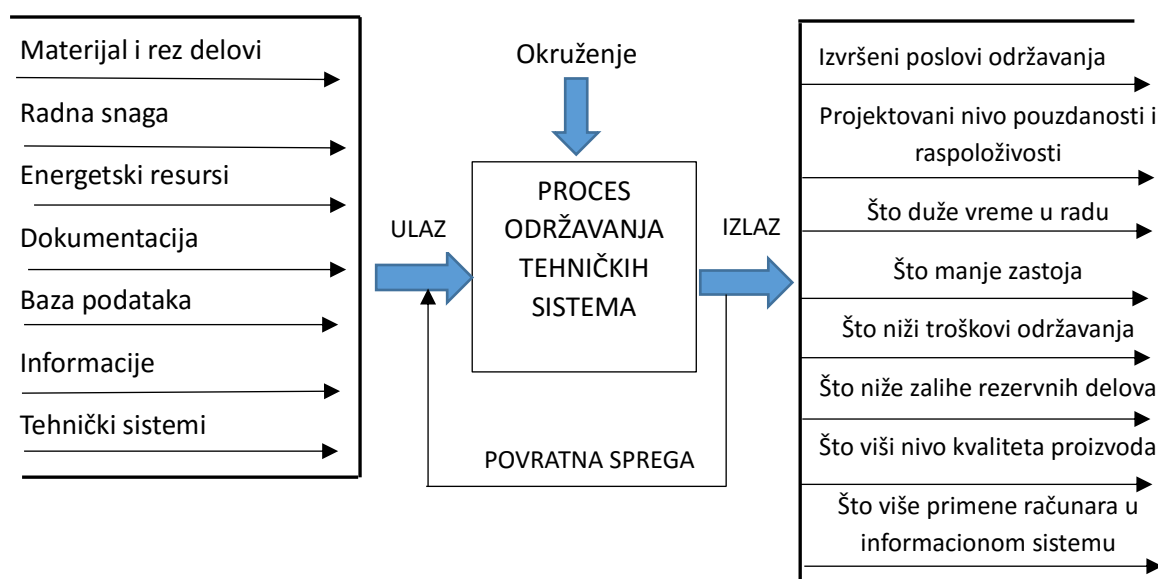
Kada se govori o jedinstvu funkcija održavanja i proizvodnje, kao jedinstvenom činiocu proizvodnje, onda se imaju u vidu osnovne postavke:

- ukupna funkcija proizvodnje se sastoji od zbira aktivnosti proizvodnje i održavanja, podržanih od ostalih poslova u preduzeću (poslovi razvoja, marketinga, finansija i dr.),
- funkcija održavanja (bez obzira kako je organizaciono postavljena) ne predstavlja uslužnu delatnost, nego ima proizvodni karakter,
- radnici u održavanju su proizvodni radnici,
- poslovi održavanja savremenih tehničkih sistema su multidisciplinarne prirode i zahtevaju stručniju radnu snagu nego klasični poslovi proizvodnje.

Održavanje je proces koji se proteže kroz sve faze nastanka i eksploatacije tehničkih sistema, do njihovog konačnog rashodovanja. Ono je sastavni deo reproduktionog procesa, te ga zato treba posmatrati i izučavati kao integralnu aktivnost u obezbeđenju planiranog životnog ciklusa svakog tehničkog sistema. To je funkcija proizvodnje, koja ima jasno definisan proces rada, a kao sistem, to je deo proizvodnog sistema preduzeća. Savremena predviđanja, daju održavanju u budućnosti, odlučujuću ulogu u proizvodnji sa ciljem da se ostvaruju optimalni proizvodni rezultati uz uvođenje novih tehnologija održavanja. U budućnosti će u fabrikama, uglavnom raditi samo radnici na održavanju.

4.4.3. Integralni sistematski prilaz održavanju

Održavanje tehničkih sistema može da se posmatra i analizira metodama Integralnog sistematskog prilaza, tj. kao skup većeg broja segmenata koji svoju funkciju obavljaju u određenoj okolini i u određenom vremenu. Drugim rečima može se govoriti o Sistemu održavanja, kao skupu segmenata ili elemenata koji zajedničkim dejstvom obezbeđuju održavanje tehničkog sistema, u skladu sa postavljenim zahtevima i kriterijumima (slika 4.8).



Slika 4.8 Proces održavanja tehničkih sistema [16]¹⁶

Treba da se ukaže da se ovi prikazani segmenti održavanja razlikuju po svom karakteru. Karakteristike kao Pouzdanost ($R(t)$) i Pogodnost održavanja (Po) odnose se očigledno na same mašine koja se održavaju, i to su, dakle, sa stanovišta održavanja „spoljni elementi“, od kojih potiču zahtevi za održavanje kojima sistem održavanja treba da se prilagodi. Nasuprot tome, preostali elementi, koji se odnose na Konceptciju, Tehnologiju, Organizaciju sistema održavanja, itd. čine „unutrašnje elemente“ sistema održavanja, koji se rešavaju njegovim projektovanjem i kasnije upravljanjem.

Pouzdanost mašina na površinskim kopovima predstavlja jedno od njihovih osnovnih svojstava, jedan od najvažnijih činilaca ukupne Sigurnosti funkcionisanja. Ove osobine mašina na površinskim kopovima neposredno utiču i na njihov sistem održavanja, diktirajući potrebe i zahteve za održavanjem, kako u pogledu sadržaja, tako i u pogledu obima. Kada bi mašina bila „apsolutno pouzdana“, odnosno kada ne bi nikada, ni pod kakvim uslovima mogla da otkáže, ne bi je ni trebalo održavati.

Pouzdanost održavanja (verovatnoća da će održavanje biti izvedeno u datom vremenu) je, takođe, jedno od bitnih svojstava mašine na površinskim kopovima, što je veoma uticajno na njenu ukupnu Sigurnost funkcionisanja, a posebno na Performanse raspoloživosti. Ovim pojmom obuhvataju se osobine mašine na površinskim kopovima u pogledu mogućnosti sprovođenja potrebnih postupaka održavanja, odnosno „prilagođenost“ mašine za obavljanje preventivnih i korektivnih postupaka održavanja.

¹⁶ [16]. Adamović, Ž., Stanković, N., Savić, B., Pouzdanost mašina i postrojenja, Stylos, Novi Sad, 2011., ISBN 978-86-7473-552-7

4.4.4. Konceptcija i tehnologija održavanja

4.4.4.1. Sistem tehničkog održavanja

Sistem održavanja mašina na površinskim kopovima može da se realizuje na više načina, u više međusobno različitih varijanti. Pojedine varijante, odnosno pojedina rešenja sistema održavanja mogu da se razlikuju u nizu detalja, ali i u osnovnim, za sistem bitnim obeležjima. Ovo se odnosi pre svega na koncepciju sistema održavanja, a zatim na primenjenu Tehnologiju i Organizaciju. Pod koncepcijom sistema održavanja podrazumeva se princip donošenja odluka o vremenu u kojem treba da se sprovedu postupci (skup aktivnosti) održavanja. U ovom pogledu postoje osnovne mogućnosti: preventivno, korektivno i kombinovano održavanje. Kod preventivnog održavanja, potrebni postupci se sprovedu pre nego što dođe do pojave otkaza, a kod korektivnog pošto se otkaz već pojavi. Tehnološki aspekt se odnosi na vrstu i način izvođenja postupka održavanja, a organizacija zavisi od odnosa pojedinih nivoa na kojima se sprovedu postupci održavanja (pri ovome, postupci održavanja su one aktivnosti koje se sprovedu na mašini da ne bi došlo do otkaza – pregled (ili dijagnostika), zamena delova i dr.).

4.4.4.2. Konceptcija sistema održavanja

Konceptcija sistema održavanja predstavlja njegovo obeležje, koje utiče na opšti kvalitet sistema održavanja. Pod ovim pojmom podrazumeva se obeležje sistema koje zavisi od principa na osnovu koga se odnose odluke o sprovođenju postupaka održavanja. Tri su osnovne koncepcijske mogućnosti: Preventivno, Korektivno i Kombinovano održavanje. U prvom slučaju, postupci održavanja se sprovedu pre nego što dođe do pojave otkaza, odnosno u ovoj koncepciji održavanje ima zadatak da spreči ili odloži pojavu otkaza. Konceptcija korektivnog održavanja, nasuprot prethodnoj, predviđa da se postupci održavanja sprovedu tek pošto dođe do pojave otkaza. U ovom slučaju, dakle, njihov je zadatak da mašinu iz stanja „u otkazu” ponovo vrata u stanje „u radu“. Obe ove osnovne koncepcije mogu da se povežu – to je kombinovano održavanje.

Kombinovano održavanje može da se realizuje na više načina, ali obično tako da se određeni delovi mašine (određeni elementi) održavaju preventivno, dok se za preostale delove postupci održavanja sprovedu tek pošto dođe do pojave otkaza. Preventivno održavanje, može da se realizuje na više načina. Ovo se posebno odnosi na vrstu i karakter postupaka preventivnog održavanja, a zatim i na vreme koje se određuje za sprovođenje ovih postupaka.

U načelu postoje dve osnovne vrste preventivnog održavanja. U prvom slučaju preventivno održavanje se sprovodi isključivo na osnovu informacije o pouzdanosti, tj. na osnovu podele vremena rada do pojave otkaza za posmatranu mašinu, odnosno njegov sastavni deo. U drugom slučaju posmatra se prati neki pokazatelj – parametar, koji reprezentuje stanje posmatrane mašine, tj. njegovog dela, i koji je po svom karakteru slučajan. Obe ove vrste preventivnog održavanja mogu da se vežu za neki određeni period vremena, ili za vreme koje se ne određuje unapred, već se tokom rada sistema podešava (adaptira) konstantovanom stanju, odnosno informacijama o izabranim pokazateljima stanja koji se prikupljaju i analiziraju.

Moguće postupke preventivnog održavanja čine sve one aktivnosti koje je potrebno sprovesti da bi se mašine na površinskim kopovima održale u radno sposobnom stanju na zahtevanom nivou eksploatacione pouzdanosti, kako je već rečeno.

4.4.4.3. Organizacija sistema održavanja

Organizacija sistema održavanja definiše odnose koji postoje između pojedinih nivoa, odnosno mesta – radionica, u kojima se sprovode postupci održavanja. Ukoliko je sistem održavanja složeniji, tj. ukoliko ima više mesta ili radionica u kojima se obavlja održavanje, struktura sistema održavanja je složenija, te je i njegova organizacija kompleksnija (centralizovana i decentralizovana koncepcija).

Od većeg broja mogućnosti organizovanja, najznačajnije su Linijski i Hijerarhijski sistemi. Kasnije će biti pokazano da je organizacija sistema održavanja u tesnoj vezi sa njegovim makro – tehnološkim obeležjima, posebno ako se radi o Hijerarhijskim sistemima, kao i podsystemom koji se odnosi na personel, odnosno radnike koji rade na poslovima održavanja. Organizaciona struktura funkcije održavanja je jedna od najsloženijih i potrebno je da je prave (formiraju) stručnjaci koji se bave ovom problematikom u dužem periodu vremena.

4.4.4.4. Tehnologija održavanja

Tehnologija održavanja definiše postupke održavanja i način sprovođenja postupaka održavanja. Tehnologijom održavanja određuje se na koji način postupak treba da se obavi, sa kojim alatom, kojim redosledom, u kom vremenu. Ovo se odnosi na svaki nivo održavanja posebno, a i na sve predviđene postupke održavanja [14]¹⁷:

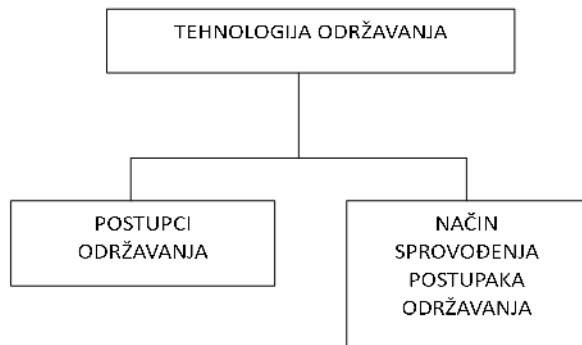
- osnovno održavanje od strane rukovaoca,
- preventivni periodični pregledi, bez posebnih instrumenata,
- kontrolni pregledi regulisani propisom i zakonom,
- podmazivanje delova tehničkih sistema,
- tehnička dijagnostika (utvrđivanje stvarnog stanja sistema),
- preventivne periodične zamene delova,
- traženje i otklanjanje slabih mesta (inovacije),
- popravljanje i obnavljanje istrošenih delova,
- preventivne periodične opravke (profilakse) – male i srednje,
- generalne periodične opravke i modernizacije (remonti).

Očigledno je da tehnologija održavanja zavisi u velikoj meri od konstrukcijskih i drugih osobina sistema koji se održava, ali isto tako i od uslova u kojima se održavanje sprovodi. Isti uticaj imaju ekonomski činioci, koji se odnose na raspoložive kapacitete, produktivnost, potrebnu brzinu obnavljanja postupka na raspoložive kapacitete, odnosno potrebnu gotovost tehničkog sistema, itd. Shodno tome, tehnološki postupci održavanja mogu da se reše na različite načine, što zavisi od niza bitnih uticajnih činilaca.

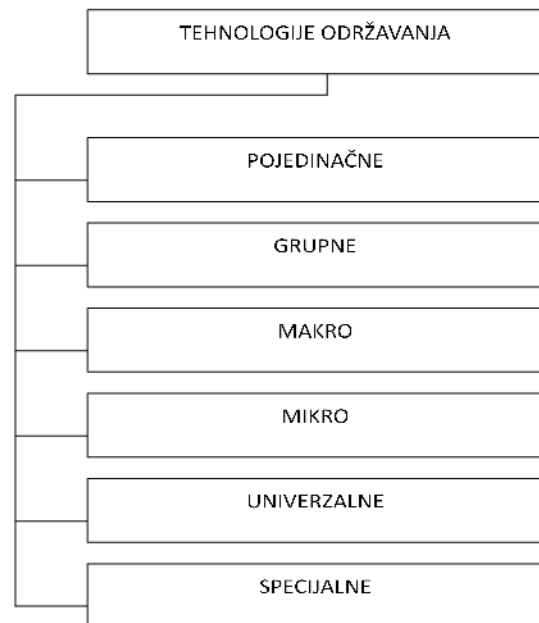
Očigledna je stvar da tehnologija održavanja može biti za svaki posebni slučaj rešena na mnogo različitih načina. Svako rešenje više ili manje neposredno utiče na kvalitet sistema održavanja, odnosno na Pogodnost održavanja, Gotovost i druge karakteristike procesa održavanja, a isto tako i na troškove održavanja i ukupne troškove ostvarene efektivnosti. Izbor tehnologije održavanja predstavlja, prema tome, jednu od značajnih faza u projektovanju sistema održavanja jednog tehničkog sistema.

¹⁷ [14]. Adamović, Ž., Savić N., Paunjorić P., idr., Restruktuiranje i preprojektovanje održavanja tehničkih sistema, Društvo za tehničku dijagnostiku – Adam institut, Smederevo, 2014. ISBN 978-86-83701-31-5

Na izbor tehnologije održavanja neposredno utiču i druge komponente sistema održavanja, odnosno koncepcija i organizacija sistema održavanja. To znači da sistem održavanja treba da se projektuje jedinstveno, tražeći uvek najpovoljnije kompromise mogućih pojedinačnih rešenja (slika 4.9).



Slika 4.9 Tehnologija održavanja



Slika 4.10 Tehnologije održavanja

Tehnologija održavanja se neposredno nadovezuje na razvojne i proizvodne tehnologije. Ona traži odgovore na više pitanja, pri čemu se izdvajaju: zašto treba da se sprovede postupak održavanja, kada nastaje potreba da se sprovede određeni postupak, kakav postupak održavanja se primenjuje, gde se izvode radovi održavanja, koji izvršioци rade, na koji način i kojim redosledom se izvode postupci održavanja. Za sprovođenje tehnologije održavanja neophodno je imati jasno koncipirane Koncepciju i Organizaciju održavanja (slika 4.10).

4.5. Analiza pouzdanosti hidrauličnog bagera RH 120 E

4.5.1. Životni ciklus bagera

Na sistemu za kopanje i utovarivanje rude bakra u pogonu Cerovo koristi se hidraulični bager RH120E. Ovaj bager je proizvod firme BUCYRUS iz Nemačke.

Mašina je napravljena u skladu sa najnovijim standardima i prepoznatim sigurnosnim pravilima. Ipak, njena upotreba može izazvati rizik po život korisnika ili trećih lica, ili prouzrokovati oštećenje mašine i drugih materijalnih dobara (prihvatljiv rizik).

Prihvatljiv rizik je prisutan, npr.: nestabilan materijal koji se utovara može ispasti iz čelone kašike ili rovokopača dok se radna oprema okreće.

Mašina sme da se koristi samo u tehnički odličnom stanju u skladu sa predviđenom primenom i instrukcijama navedenim u uputstvu za rukovanje, a samo od strane sigurnosno-svesnih osoba koje su u potpunosti svesne rizika koji obuhvata posao rukovanja mašinom. Sve

greške u funkcionisanju, posebno one koje utiču na sigurnost mašine, stoga trebaju odmah da se isprave.

Bager sa utovarnom kašikom je namenjen isključivo za kopanja i utovarivanje:

- iskopanog zemljišta,
- peska,
- šljunka,
- miniranog kamenja,
- ruda,
- uglja, i drugih sirovina.

Rad hidrauličnog bagera je neprekidan i dugotrajan. Bager je projektovan za dugotrajnu eksploataciju u teškim uslovima rada. Mesto bagera u procesu kopanja i utovarivanja rude je veoma značajan i od njegove ispravnosti i izdržljivosti zavisi rad celog sistema. Iako je radni vek bagera veoma dug potrebno je redovno održavati i istrošene delove na vreme zameniti novim kako bi se izbegle veće havarije.

S obzirom na potrebu da se hidraulični bager što ekonomičnije koristi vrlo je važno njegovo tehničko održavanje. Da bi bager što duže sačuvao svoja projektovana eksploatacijska svojstva, neophodno je sprovoditi redovno tehničko održavanje. Iako se bager pravilno održava delovi se ipak troše u okviru dopuštenih granica.

Od održavanja i servisiranja zavisi uglavnom sigurnost u radu, kao i sprečavanje nastajanja skupih kvarova. S održavanjem treba da se počne odmah nakon puštanja mašine u rad, uz redovno čišćenje.

Čista mašina ostaje duže vremena sposobna za rad, nego zapuštena mašina.

Potrebno je da se mašina redovno kontroliše i da se istrošeni delovi na vreme zamene novima, da bi se izbegle veće reparature.

U redovno održavanje spada:

- svakodnevno održavanje,
- nedeljno održavanje,
- periodično održavanje (šestomesečno i godišnje) i
- velike reparature (remonti).

4.5.2. Otkazi hidrauličnog bagera RH120E

Najčešći otkazi hidrauličnog bagera RH120E su:

- 1) elektromotor
- 2) električni sistem
- 3) hidraulični sistem
- 4) reduktor prenosa pumpe
- 5) reduktor okreta
- 6) reduktor hoda
- 7) pogonski lanci
- 8) okretni prsten i
- 9) centralno podmazivanje

Da bi se što manje habali delovi bagera veoma veliki značaj ima sistem za centralno podmazivanje i vrste maziva koje se koriste u toku eksploatacije. Najčešći otkazi u sistemu za centralno podmazivanje dati su u tabeli 4.1.

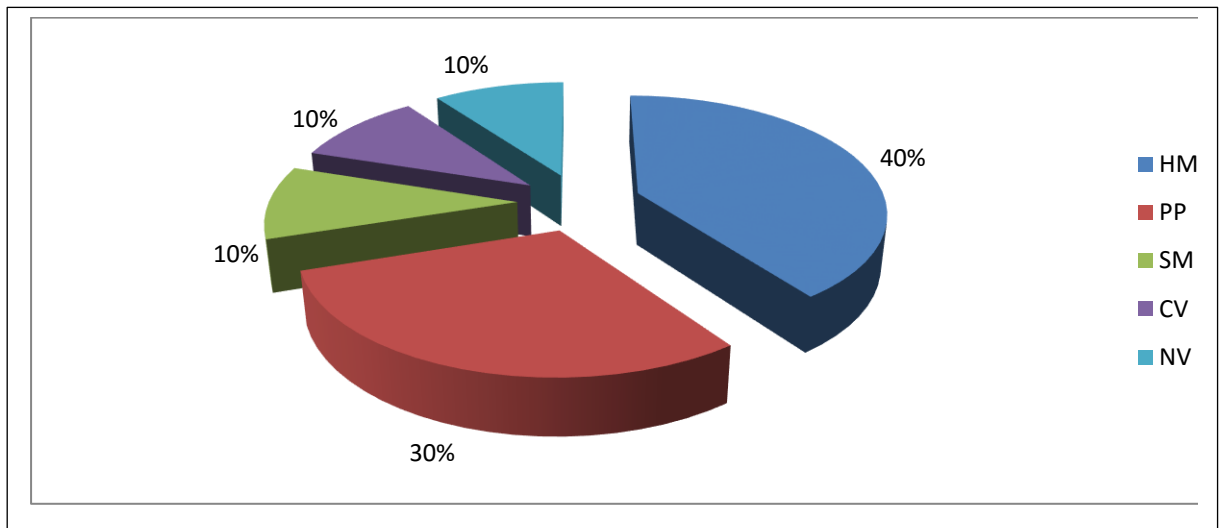
Otkaz				Korektivna radnja		
Pumpa za podmazivanje ne radi, BCS ne pokazuje upozorenje				Provera		
Uključena automatska sklopka				P		
				E	Podešavanje	
Pumpa za podmazivanje ne radi, svetli probna lampica				W	Zamena	
				A	Dopuna	
				S	Smanjenje	
Pumpa za podmazivanje radi, nema isporuke masti				R	Čišćenje	
				L	Odzračenje	
Previsoki ili prenizak pritisak podmazivanja				Obratite se Bucyrus HEX servisu		
				Poglavlje		
				Uzrok		
•	•			Neispravan tajmer		P/W
•				Neispravni vodovi između tajmera i hidromotora		P/W
•	•			Neispravan hidromotor		P/W

•	•	•	•	Neispravna pumpa za podmazivanje		P/W
			•	Zapušeno sito za most		P/R
			•	Neispravan distributor		P/W
		•		Prazna posuda za masti		P/A
		•		Pumpa za podmazivanje ne usisava masti		P/L
		•		Curenje na vodovima		P/L
		•		Neispravan nepovratni ventil		P/W
			•	Neispravan prekidač pritiska		E

Tabela 4.1. Tabela otkaza sistema za centralno podmazivanje

Najčešći otkazi u sistemu za centralno podmazivanje kod hidrauličnog bagera su (slika 4.11):

- neispravan hidromotor,
- neispravna pumpa za podmazivanje,
- zapušeno sito za mast,
- curenje na vodovima,
- neispravan nepovratni ventil.



Slika 4.11 Procentualni udeo najčešćih otkaza u sistemu za centralno podmazivanje kod hidrauličnog bagera RH120E pre uvođenja održavanja prema stanju

4.5.3. Pregled rezultata istraživanja

Predmet ovog istraživanja je analiza najčešćih otkaza na hidrauličnom bageru. Rezultati istraživanja koji su sistematizovani odnose se na bager RH120E. Oni prikazuju trajanje zastoja izazvanim kvarovima hidrauličnog bagera. Analiza rezultata ovog istraživanja je pokazala da se najveći zastoj u radu hidrauličnog bagera RH120E dešava zbog oštećenja pumpe za podmazivanje. Održavanjem pouzdanosti određenih celina hidrauličnog bagera moguće je postići veću ukupnu pouzdanost hidrauličnog bagera. Pri tome prioritet treba dati onim celinama hidrauličnog bagera čija je pouzdanost najniža. U cilju sprovođenja istraživanja hidrauličnog bagera rađene su parcijalne analize sledećih celina sistema za centralno podmazivanja:

- hidromotor (HM)
- pumpa za podmazivanje (PP)
- sito za mast (SM)
- curenje na vodovima (CV)
- nepovratni ventil (NV).

Rezultati analize pokazuju da funkcije pouzdanosti odgovaraju Weillbullovoj dvoparametarskoj raspodeli (slika 4.12).

$$R_{HM}(t) = e^{-\left(\frac{t}{5330}\right)^{1,2}}$$

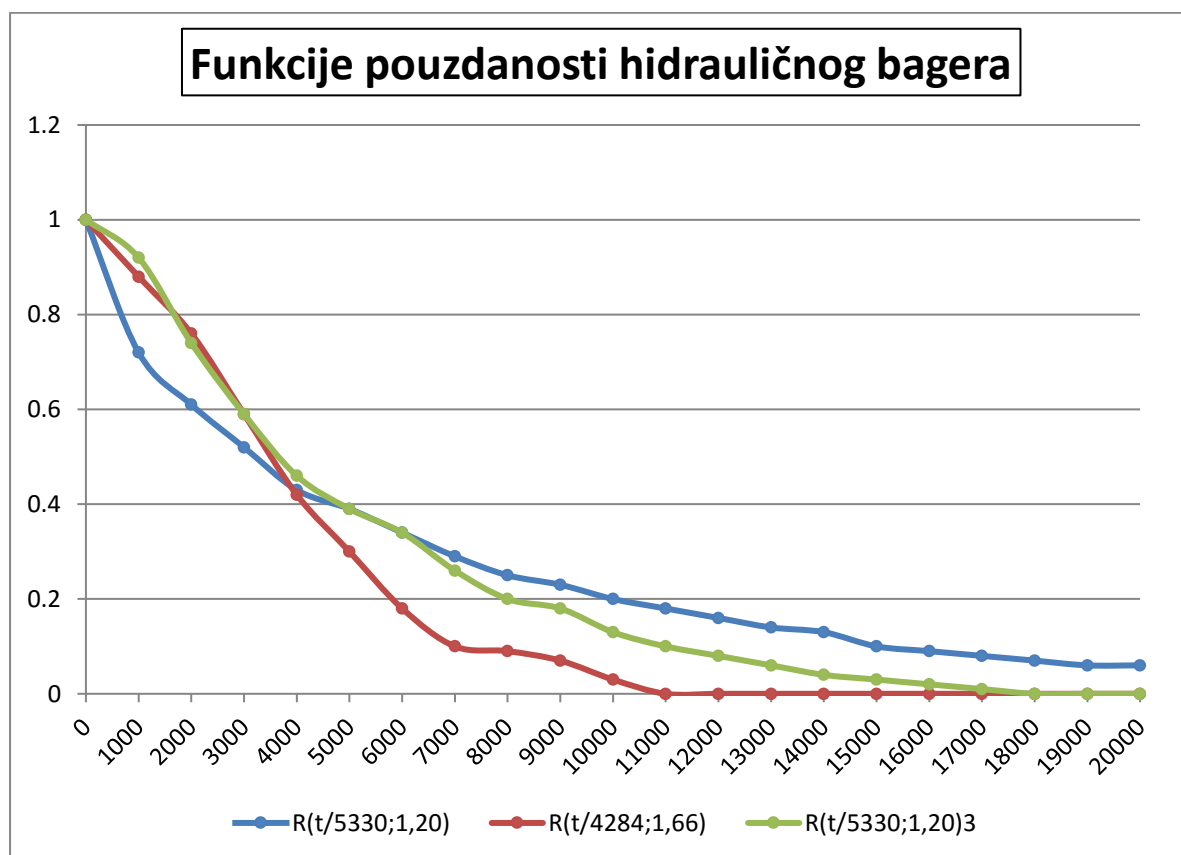
$$R_{PP}(t) = e^{-\left(\frac{t}{4284}\right)^{1,66}}$$

$$R_{SM}(t) = e^{-\left(\frac{t}{6065}\right)^{1,07}}$$

$$R_{CV}(t) = e^{-\left(\frac{t}{6065}\right)^{1,07}}$$

$$R_{NV}(t) = e^{-\left(\frac{t}{6065}\right)^{1,07}}$$

Rezultati ovih istraživanja se poklapaju sa prethodnim i pokazuju da je najnepovoljnija celina u sistemu za centralno podmazivanje kod hidrauličnog bagera je neispravna pumpa za podmazivanje.



Slika 4.12 Funkcije pouzdanosti hidrauličnog bagera [76]¹⁸

Izborom odgovarajućeg koncepta održavanja hidrauličnog bagera kao najznačajnije mašine u procesu kontinualne proizvodnje rude bakra površinskom eksploatacijom treba da se omogući efikasno otklanjanje otkaza u toku njene eksploatacije. Potrebno je skratiti vreme trajanja otkaza, odnosno povećati efektivno vreme rada. Time se postiže povećanje raspoloživosti mašine.

Dugotrajan neometan rad hidrauličnog bagera može se postići uvođenjem sistema automatizovanog permanentnog praćenja dinamičkih veličina putem monitoringa stanja, koje se očitava praćenjem odgovarajućih signala na vitalnim mestima na hidrauličnom bageru.

Sistem monitoringa stanja hidrauličnog bagera mora da ispuni neke osnovne zahteve kao što su: prikupljanje, obrada, arhiviranje, interpretiranje i prezentovanje podataka o pojedinim parametrima elemenata i sklopova hidrauličnog bagera u realnom vremenu.

Ovi zahtevi se mogu obezbediti primenom moderne merne i računarske tehnike.

¹⁸ [76]. Paunjorić, P., Adamović, Ž., Implementacija održavanja prema stanju tehničkih sistema na površinskim kopovima, Časopis Tehnička dijagnostika, br. 3, 2016, Beograd, ISSN 1451-1975

4.6 Analiza pouzdanosti drobilice Allis Chalmers 48"-74"

4.6.1. Životni ciklus drobilice

Na sistemu za transport-izvoz i drobljenje pogona CEROVO za primarno usitnjavanje rude Bor koristi se kružna drobilica Allis Chalmers 48"-74". Ova drobilica je proizvod firme Allis Chalmers iz Amerike. Drobilica služi za usitnjavanje rude od 1000 mm na komade 0-150mm.

Kapacitet drobilice je 1000t/h. Drobilicu pokreće elektromotor snage 430 KW preko 12 klinastih kaiševa profila 40 x 10000. Za promenu izlaznog otvora drobilice koristi se sistem hidraulike. Podmazivanje drobilice je cirkularno i obavlja se pomoću posebnog agregata. Za manipulaciju delovima i opremom pri održavanju drobilice u hali za drobljenje postavljen je kran nosivosti 40 t, a za kretanje osoblja na opsluživanju i održavanju drobilice postavljen je lift nosivosti 800 kg. Primarna drobilica Allis Chalmers 48"-74" ima ulogu da prihvati rudu krupnoće 150-1000 mm i izdrobi je na komade 0-150 mm. Ruda koja prođe kroz drobilicu pada u prihvatni bunker.

Kako sva proizvedena ruda u pogonu CEROVO prođe kroz ovu drobilicu jasno je da su ispravnost i pouzdan rad drobilice od prvorazrednog značaja za rad celog pogona.

Rad drobilice je neprekidan i dugotrajan. Drobilica je projektovana za dugotrajnu eksploataciju u teškim uslovima rada. Mesto drobilice u procesu usitnjavanja rude je veoma značajan i od njene ispravnosti i izdržljivosti zavisi rad celog sistema. Iako je radni vek drobilice veoma dug potrebno je redovno održavati i istrošene delove na vreme zameniti novim kako bi se izbegle veće havarije.

S obzirom na potrebu da se drobilica što ekonomičnije koristi vrlo je važno njeno tehničko održavanje. Da bi drobilica što duže sačuvala svoja projektovana eksploatacijska svojstva, neophodno je sprovoditi redovno tehničko održavanje. Iako se drobilica pravilno održava delovi se ipak troše u okviru dopuštenih granica.

Od održavanja i servisiranja zavisi uglavnom sigurnost u radu, kao i sprečavanje nastajanja skupih kvarova. S održavanjem treba da se počne odmah nakon puštanja mašine u rad, uz redovno čišćenje.

Čista mašina ostaje duže vremena sposobna za rad, nego zapuštena mašina.

Potrebno je da se mašina redovno kontroliše i da se istrošeni delovi na vreme zamene novima, da bi se izbegle veće reparature.

U redovno održavanje spada:

- a) svakodnevno održavanje,
- b) nedeljno održavanje,
- c) periodično održavanje (šestomesečno i godišnje) i
- d) velike reparature (remonti).

a) Svakodnevno održavanje [55]¹⁹

Pre i posle puštanja mašine u rad održavaoci moraju da prekontrolišu sledeće:

- **Nivo ulja** u rezervoaru za cirkularno podmazivanje, kao i rezervoaru agregata za hidraulično pomeranje drobećeg tela. U oba slučaja nivo ulja treba da je na polovini gornjeg okca za kontrolu nivoa ulja, a u najgorem slučaju do polovine donjeg okca.
- **Temperatura ulja** ne sme da bude niža od 22°C kod puštanja mašine u rad, niti viša od 45°C za vreme rada. Kod agregata za cirkularno podmazivanje temperatura se čita na kontaktnom termometru koji se nalazi na samom rezervoaru za ulje.
- **Pritisak ulja** na manometru pozadi filtera pri puštanju mašine u rad treba da iznosi 1,1-1,3 bara, a posle izvesnog vremena on mora da bude 0,6-0,9 bara. Količina ulja koja se vraća iz drobilice, kroz cev od 4“, u rezervoar za ulje i ulja koja se direktno vraća kroz vod, na kome je ugrađen ventil za regulaciju, treba na početku kada je temperatura ulja 22°C da bude 100 l/min., što je polovina kapaciteta pumpe. Kada je ulje zagrejano na oko 40°X, onda se celokupna količina ulja vodi u drobilicu i vraća u rezervoar kroz glavnu povratnu cev od 4“.

Sve se ovo vidi i proverava podizanjem poklopca na rezervoaru za ulje.

- **Razlika u pritiscima na manometru ispred i pozadi filtera** treba da se u toku rada redovno kontroliše da bi se filter očistio na vreme. Razlika pritisa treba da je 0,2-0,4 bara.
- **Svi merno regulacioni instrumenti** moraju da budu ispravni. To se odnosi na : kontaktni termometar, grejači za ulje sa termostatom, regulator temperature ulja uključuje i isključuje ventilator za hlađenje, ventil za regulisanje, kontrolnik protoka ulja, termostat na ležaju remenice.

Pre svakog starta drobilice treba proveriti da li je **drobilica čista**. U samoj drobilici ne sme biti **ni najmanja krupica rude** pre njenog starta.

- **Ulje za podmazivanje** treba kontrolisati svakoga dana. Ovo se kontroliše podizanjem poklopca na rezervoaru za ulje. Visok stepen zaprljanosti ulja dovodi do lošeg zaptivanja ispod kruške što se mora odmah otkloniti.
- Treba kontrolisati **jačinu struje motora drobilice**. Jačina struje koju pokazuje ampermetar mora da bude niža za 25% od normalne struje motora.
- **Zvuk mašine u radu** treba redovno kontrolisati.

b) Nedeljno održavanje (servisiranje)

Jednom nedeljno mora se prekontrolisati sledeće:

- 1) **Klinasti kaiševi**, zategnutost i habanje.
- 2) Zategnutost **zavrtnjeva na šapama elektromotora**.

¹⁹ [55]. Jevtić, N., Adamović, Ž., Josimović, Lj., Paunjorić, P., Hidraulični cilindri, Akademija inženjstva održavanja, Beograd, 2008

- 3) **Zaptivenost cevovoda drobilice.**
 - 4) **Sve zavrtnje na drobilici, kao i fundament zavrtnjeva.** Svi zavrtnjevi moraju da budu dobro zategnuti i da budu dobro postavljeni u svojim ležištima.
 - 5) **Spreznjaci (1/18)** proveravaju se udaranjem čekića da bi se ustanovilo da li su dovoljno zategnuti. Svaki zavrtnj prilikom provere mora da daje isti zvuk.
 - 6) Potrebna je kontrola **izlaznog otvora drobilice** kako bi se postizala ista finoća izdrobljene rude.
 - 7) Potrebna je kontrola **merača nivoa rude** ispod drobilice. Naročita pažnja treba da se obrati na maksimalni nivo rude ispod drobilice.
- c) Periodično održavanje (šestomesečno i godišnje) [3]²⁰

Periodičnim pregledima treba obratiti posebnu pažnju na dole navedene delove i sklopove. Učestalost pregleda i kontrole dole navedenih delova drobilice zavisi od dužine dnevnog rada drobilice:

- 1) **Donji i gornji konus za drobljenje (5/3 i 5/4) kao o obloge lonca (statora) (1/4.1/9)** treba kontrolisati da li dobro (čvrsto) leže. Kontrola se mora vršiti kad je drobilica prazna i u mirovanju. Obloge se mogu za vreme rada odvojiti. Zato ih treba bar jedanput nedeljno prekontrolisati i pažljivo ispitati. Treba paziti da li se na oblogama pojavljuju neke promene. Usled stalnih udara rude može doći do udubljenja (ispupčenja) na oblogama, kao i nažuljenja na mestima udara.
- 2) Odstojanje između obloženih pločica mora biti konstantno, tj. ploče se ne smeju dodirivati. U slučaju da se ploče dodiruju postoji opasnost da se pritisak pri drobljenju prenese na lonac što može dovesti do toga da lonac prsne.
- 3) **Ulje** u rezervoaru mora biti čisto, a na dnu rezervoara ne sme se odtaložiti veća količina mulja od 30-50 mm. Ovo kontrolisati na 15 dana.
- 4) **Sita za filtriranje ulja**, ima ih dva u samom rezervoaru, moraju se jedanput nedeljno vaditi i kontrolisati da nema metalnih opiljaka na njima. Sitniji opiljci u manjim količinama nisu opasni, dok veće količine i krupniji opiljci znače da je neka od čaura propala i to treba odmah ispitati i kvar otkloniti.
- 5) **Obložene ploče (1/4 do 1/9), kapa poprečnog tela (2/2), krak poprečnog tela (2/4). Obloga drobećeg konusa (5/3 i 4), zaštita konzole (1/14 i 1/15).** Ovi delovi moraju se kontrolisati s obzirom na habanje. Ukoliko su se delovi istanjili, kontrola se mora sprovoditi svakoga dana, da bi se izbeglo oštećenje na delovima koje treba štititi.
- 6) **Popunjenost mašču prostora između zaptivnih prstenova (5/7) i drobećeg konusa (5/2) sa prstenovima (5/5 i 5/6).** Pomoću mazilice na prstenu (5/5) treba dobro utisnuti mast u prazan prostor zaptivanja. Svi prazni prostori moraju uvek biti dobro popunjeni mašču da bi se izbeglo prodiranje prašine u ulje koje dolazi cirkulacionim podmazivanjem.
- 7) **Hidraulični agregati i pripadajući cevovodi** treba da se stalno kontrolišu s obzirom na **zaptivenost**.

²⁰ [3]. Adamović, Ž., Đurić, Ž., Josimović, P., Paunjorić, P., Osnovi hidraulike i pneumatike, Tehdis, Smederevo, 2002

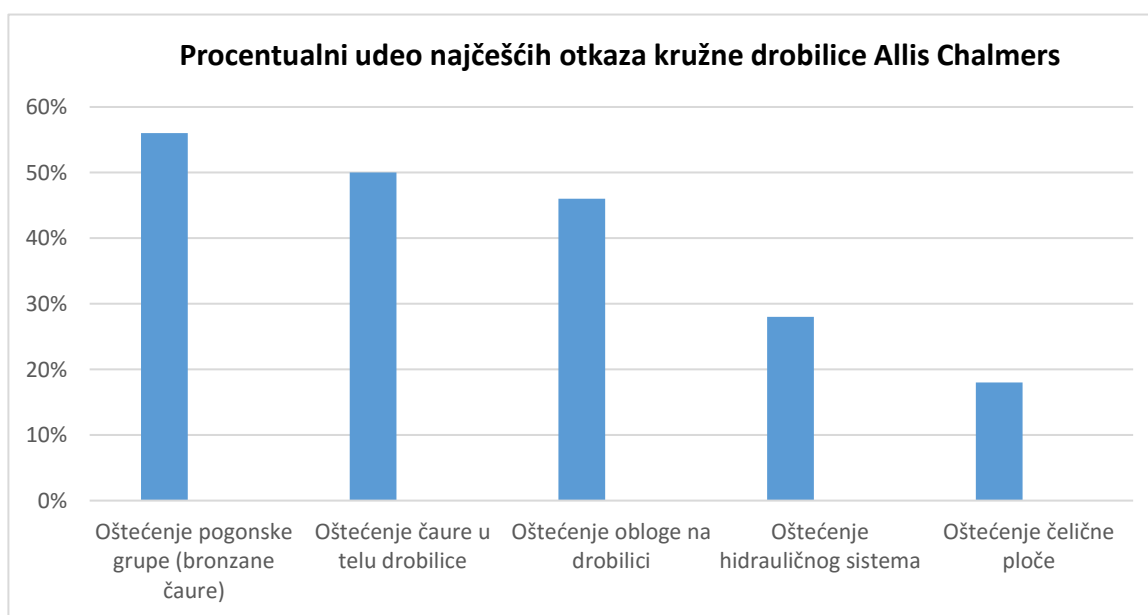
d) Velike reparature (remonti)

Remonti treba da se obavljaju svake godine. Remont treba da obuhvati defektažu same drobilice, kontrolu delova i sklopova, reparaciju oštećenih delova ili ugradnju novih, kao i kontrolu sklopljene drobilice.

4.6.2. Otkazi kružne drobilice Allis Chalmers 48''-74''

Najčešći otkazi kružne drobilice Allis Chalmers 48''-74'' su (slika 4.13) :

- oštećenje pogonske grupe (bronzane čaure),
- oštećenje čaure u telu drobilice,
- oštećenje obloge na kruški,
- oštećenje hidrauličnog sistema,
- oštećenje čelične ploče.



Slika 4.13 Procentualni udeo najčešćih otkaza kružne drobilice Allis Chalmers 48''-74'' posle uvođenja održavanja prema stanju

4.6.3. Pregled rezultata istraživanja

Predmet ovog istraživanja je analiza najčešćih otkaza na drobilici. Rezultati istraživanja koji su sistematizovani na slici i odnose se na ceo sistem kružne drobilice Allis Chalmers 48''-74''. Oni pokazuju trajanje zastoja izazvanim otkazima drobilice.. Analiza rezultata ovog istraživanja je pokazala da se najveći zastoj u radu kružne drobilice Allis Chalmers 48''-74'' dešava zbog oštećenja pogonske grupe (bronzane čaure). Održavanjem pouzdanosti određenih celina drobilice moguće je postići veću ukupnu pouzdanost drobilice. Pri tome prioritet treba dati onim celinama drobilice čija je pouzdanost najniža. U cilju sprovođenja istraživanja drobilice rađene su parcijalne analize sledećih celina:

- pogonska grupa (PG),
- čaure u telu drobilice (ČTD),

- obloge na kruškama (ONK),
- hidraulični sistem (HS),
- čelične ploče (ČP).

Rezultati analize pokazuju da funkcije pouzdanosti odgovaraju Weibullovoj dvoparametarskoj podeli.

$$R_{PG(t)} = e^{-(t/5220)^{1,1}}$$

$$R_{\check{C}TD(t)} = e^{-(t/4284)^{1,66}}$$

$$R_{ONK(t)} = e^{-(t/5330)^{1,2}}$$

$$R_{HS(t)} = e^{-(t/5086)^{0,73}}$$

$$R_{\check{C}P(t)} = e^{-(t/6065)^{1,07}}$$

Rezultati ovih istraživanja se razlikuju od prethodnih i pokazuju da je najnepouzdanija celina na drobilici čaura u telu drobilice [15]²¹.

²¹ [15]. Adamović, Ž., Savić, N., Josimović, Lj., Milošević, D., Paunjorić, P., Statističke metode u naučnoistraživačkom radu, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2010, ISBN 978-86-83701-28-5

5. TEORIJSKA ISTRAŽIVANJA

5.1. Održavanje prema stanju (CBM)

Pouzdanost je oduvek bio značajan aspekt u proceni industrijskih proizvoda i/ili opreme. Dobar dizajn proizvoda je naravno suštinski za proizvode sa visokom pouzdanošću. Ipak, bez obzira na to koliko je dizajn proizvoda dobar, proizvodi se vremenom pogoršavaju s obzirom na to da oni operišu pod izvesnim stresom ili opterećenjem u stvarnom okruženju, često uključujući slučajnost. Održavanje je, dakle, uvedeno kao efikasan način obezbeđivanja zadovoljavajućeg nivoa pouzdanosti u toku korisnog života fizičkih sredstava.

Najranija tehnika održavanja je u osnovi održavanje posle otkaza (takođe poznato i kao neplanirano održavanje ili radi-dok-ne-propadne održavanje), koje se odvija samo tokom otkaza. Kasnija tehnika održavanja je preventivno održavanje zasnovano na vremenu (takođe poznato i kao planirano održavanje), koje postavlja periodični interval za sprovođenje preventivnog održavanja bez obzira na stanje fizičkih sredstava. Sa brzim razvojem moderne tehnologije proizvodi postaju sve više i više kompleksni uz zahtev za boljim kvalitetom i većom pouzdanošću. Ovo čini troškove preventivnog održavanja sve višim i višim. Na kraju, preventivno održavanje postaje najveći trošak mnogih industrijskih kompanija. Stoga se implementiraju efikasniji pristupi preventivnom održavanju, kao što je održavanje na bazi stanja (CBM), da bi upravljali situacijom.

CBM je program održavanja koji preporučuje akcije održavanja koje se zasnivaju na informacijama prikupljenim u toku procesa praćenja stanja. CBM pokušava da izbegne nepotrebno delanje pri održavanju tako što preduzima akcije održavanja samo kada postoji dokaz abnormalnog ponašanja fizičkog sredstva. CBM program, ako je propisno uspostavljen i efikasno implementiran, može značajno redukovati troškove održavanja smanjenjem broja nepotrebnih operacija predviđenih planskim održavanjem.

CBM program se sastoji od tri ključna koraka [15]²²:

1. Korak prikupljanja podataka (prikupljanje informacija), za dobijanje podataka relevantnih za zdravlje mašina na površinskim kopovima,
2. Korak obrade podataka (rukovanje informacijama), za rukovanje i analizu podataka i signala prikupljenih u koraku 1 sa ciljem boljeg razumevanja i interpretacije podataka,
3. Korak donošenja odluka o održavanju (donošenje odluka), za preporučivanje efikasnih politika održavanja.

Dijagnostika i prognostika su dva značajna aspekta u CBM programu. Dijagnostika se bavi detekcijom otkaza, izolacijom i identifikacijom kada se on dogodi. Detekcija otkaza je zadatak prilikom koga se ukazuje da li je nešto krenulo po zlu u sistemu koji se prati; izolacija otkaza je zadatak lociranja neispravne komponente; i identifikacija otkaza je zadatak utvrđivanja prirode otkaza kada je detektovan. Prognostika se bavi predviđanjem otkaza pre nego što se on dogodi. Predviđanje otkaza je zadatak utvrđivanja da li otkaz predstoji i procenjivanje za koje vreme i sa kojom verovatnoćom će se otkaz dogoditi. Dijagnostika je posteriorna analiza događaja, a prognostika je priorna analiza događaja. Prognostika je mnogo efikasnija od dijagnostike u smislu postizanja performansi kada je vreme zastoja jednako nuli. Dijagnostika se, ipak, zahteva kada predviđanje otkaza ne uspe i otkaz se dogodi.

²² [15]. Adamović, Ž., Savić, N., Josimović, Lj., Milošević, D., Paunjorić, P., Statističke metode u naučnoistraživačkom radu, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2010, ISBN 978-86-83701-28-5

CBM program može biti korišćen da sprovede dijagnostiku, ili prognostiku, ili oba, ipak, bez obzira na to koji je cilj CBM programa, prethodna tri CBM koraka će biti ispraćena.

Literatura posvećena mašinskoj dijagnostici i prognostici je velika i raznolika prevashodno zbog raznovrsnosti sistema komponenti i delova. Stotine radova u ovoj oblasti, uključujući teorije i praktične primene, pojavljuju se svake godine u akademskim časopisima, zbornicima radova i tehničkim izveštajima. Ovaj rad prati pregled istraživanja dijagnostike i prognostike mehaničkih sistema koji implementiraju CBM sa naglaskom na modelima algoritmima i tehnologijama za obradu podataka i donošenje odluka pri održavanju mašina na površinskim kopovima.

5.2. Dobijanje podataka

Dobijanje podataka je proces prikupljanja i čuvanja korisnih podataka (informacija) iz konkretnih fizičkih sredstava u svrhu CBM. Ovaj proces je suštinski korak u implementiranju CBM programa za dijagnostiku i prognostiku mašinskog otkaza (ili kolapsa, što je obično posledica jednog ili više mašinskih otkaza). Podaci prikupljeni u CBM programu mogu biti kategorizovani u dva glavna tipa: podaci prikupljeni tokom događaja i podaci prikupljeni u toku praćenja stanja. Podaci prikupljeni tokom događaja uključuju informaciju o tome šta se dogodilo (npr. instalacija, oštećenje, remont, itd. i šta je bio uzrok toga) i/ili šta je urađeno (npr. minimalna popravka, preventivno održavanje, zamena ulja, itd.) na konkretnom fizičkom sredstvu. Podaci prikupljeni u toku praćenja stanja su merenja koja se odnose na zdravstveno stanje fizičkog sredstva.

Podaci prikupljeni u toku praćenja stanja su vrlo raznovrsni. Mogu biti podaci o vibriranju, akustični podaci, podaci o analizi ulja, temperatura, pritisak, vlaga, vlažnost, vremenske prilike, podaci o okruženju, itd. Razni senzori, kao što su mikro senzori, ultrasonični senzori, senzori sa akustičnom emisijom, itd., su dizajnirani da prikupe različite tipove podataka. Bežične tehnologije, kao što je Bluetooth, obezbeđuju alternativno rešenje za isplativu komunikaciju podacima. Informacioni sistemi za održavanje, kao što su kompjuterizovani informacioni sistem za održavanje (CMMS), sistemi za planiranje resursa u preduzećima, itd., su razvijeni za čuvanje i rukovanje podacima. Kolekcija podataka prikupljenih tokom događaja obično zahteva ručni unos podataka u informacioni sistem. Sa ubrzanim razvojem kompjutera i naprednih senzorskih tehnologija, uređaji i tehnologije za prikupljanje podataka postaju mnogo moćniji i manje skupi, čineći na taj način prikupljanje podataka za CBM implementaciju dostupnijim i izvodljivijim.

Ovaj rad neće pokriti detalje o tehnikama prikupljanja podataka. Podaci prikupljeni tokom događaja i podaci prikupljeni u toku praćenja stanja jednako su značajni u CBM. U CBM praksi, ipak, ljudi imaju tendenciju da više ističu kolekciju podataka prikupljenih u toku praćenja stanja i ponekad zanemare kolekciju podataka prikupljenih tokom događaja. Zanemarivanje podataka prikupljenih u toku događaja može biti posledica pogrešnog verovanja da podaci prikupljeni tokom događaja nisu korisni sve dok se indikatori stanja (ili osobina) čine da rade dobro u smislu redukovanja otkaza opreme. Ovo uverenje je netačno s obzirom na to da su podaci prikupljeni tokom događaja korisni bar u proceni performansi tekućih indikatora stanja (ili osobina), i mogu se čak koristiti bilo kao povratna informacija dizajneru sistema za razmatranje redizajniranja sistema ili za poboljšanje indikatora stanja (ili osobina). Zanemarivanje može takođe biti posledica činjenice da kolekcija podataka prikupljenih tokom događaja obično zahteva ručni unos podataka. Jednom kada ljudsko biće biva uključeno sve postaje komplikovanije i sklonije greškama. Rešenje bi moglo biti da se implementira i automatizuje prikupljanje podataka tokom događaja i izveštavanje u informacionom sistemu održavanja.

5.3. Obrada podataka

Prvi korak obrade podataka je selekcija podataka. Ovo je važan korak s obzirom na to da podaci, posebno podaci prikupljeni tokom događaja, koji su, u stvari, uneti ručno, uvek sadrže greške. Čišćenje podataka obezbeđuje ili bar povećava verovatnoću da su čisti podaci (podaci bez grešaka) korišćeni za dalju analizu i modelovanje. Greške u podacima su prouzrokovane mnogim faktorima, uključujući već spomenuti faktor. Kod podataka prikupljenih u toku praćenja stanja, greške mogu biti prouzrokovane senzorskim greškama. U ovom slučaju treba primeniti izolaciju senzorskih grešaka. Generalno, ipak, ne postoji jednostavan način za čišćenje podataka. Ponekad ono zahteva ručno ispitivanje podataka. Grafički alati bi bili veoma korisni u pronalaženju i uklanjanju grešaka u podacima. Čišćenje podataka je zaista velika oblast. Ono je izvan okvira ovog rada i neće biti detaljno razmatrano ovde.

Sledeći korak obrade podataka je analiza podataka. Razni modeli, algoritmi i alati su dostupni u literaturi za analiziranje podataka usled boljeg razumevanja i interpretacije podataka. Modeli, algoritmi i alati koji se koriste za analizu podataka zavise uglavnom od tipova prikupljenih podataka.

Kao što je već spomenuto, podaci prikupljeni u toku praćenja stanja dobijeni u koraku prikupljanja podataka su raznovrsni. Oni se svrstaju u tri kategorije:

Vrednosni tip: Podaci prikupljeni u specifičnom vremenskom trenutku za neku promenljivu pri praćenju stanja imaju jednu vrednost. Na primer, podaci o analizi ulja, temperatura, pritisak i vlažnost su sve podaci vrednosnog tipa.

Signalni tip: Podaci prikupljeni u specifičnom vremenskom trenutku za neku promenljivu pri praćenju stanja su vremenske serije, koje se često nazivaju vremenski signali. Na primer, podaci o vibriranju i akustični podaci su signalnog tipa.

Višedimenzioni tip: Podaci prikupljeni u specifičnom vremenskom trenutku za neku promenljivu pri praćenju stanja su višedimenzioni. Najčešći višedimenzioni podaci su slike kao što je infracrvena termografija, rentgenski snimci, vizuelne slike, itd.

Obrada podataka za signalne i višedimenzione podatke se takođe naziva i obrada signala. Razne tehnike obrade signala su razvijene za analiziranje i interpretaciju signalnih i višedimenzionih podataka sa ciljem ekstrahovanja korisnih informacija za dalju dijagnostiku i prognostiku. Procedura ekstrahovanja korisnih informacija iz sirovih signala je tzv. ekstrahovanje karakteristika.

Obrada signala za multidimenzione podatke, kao što je obrada slika, je slična obradi signala, ali je komplikovanija s obzirom na to da imamo uključenu jednu dimenziju više. U praksi, sirove slike su obično vrlo komplikovane i informacija za detekciju kvara ne može biti dostupna odmah. U ovim slučajevima, tehnike za obradu slika su moćne pri ekstrahovanju korisnih karakteristika iz sirovih slika za dijagnostikovanje otkaza. Obrada slika se čini nepotrebnom kada sirove slike obezbeđuju dovoljne i jasne informacije za identifikaciju šablona i detekciju otkaza. Ipak, obrada slika može da pomogne u ekstrahovanju karakteristika pri automatskoj detekciji kvara u takvim situacijama. Pored sirovih slika dobijenih putem prikupljanja podataka, neke tehnike za obradu signala, kao što je vremensko-frekvencijska analiza, takođe proizvode slike. U ovim situacijama obrada slika se može kombinovati sa obradom signala da bi se dobili bolji rezultati. Obično obrada signala niskog nivoa je dovoljno dobra za dobijanje zadovoljavajućih rezultata. U skladu sa tim, istraživanje koje primenjuje naprednu obradu slika u mašinskoj dijagnostici i prognostici nije veliko.

5.3.1. Analiza signalnih podataka

U literaturi za dijagnostiku i prognostiku mehaničkih sistema postoje brojne tehnike i algoritmi za obradu signala. Neophodni su znanje i ispitivanje koji zavise od slučaja do slučaja da bi se odabrao odgovarajući alat za obradu signala među brojnim mogućnostima.

Najčešći signalni podatak u praćenju stanja su vibracioni signali i akustična emisija. Drugi signalni podaci su ultrazvučni signali, struja motora, parcijalno pražnjenje, itd. U literaturi postoje tri glavne kategorije analize signalnih podataka: vremenska analiza, frekvencijska analiza i vremensko-frekvencijska analiza.

5.3.1.1. Vremenska analiza

Vremenska analiza se direktno bazira na obliku signala kroz vreme. Tradicionalna vremenska analiza izračunava karakteristike iz samog oblika signala u odnosu na vreme, kao što su opisne statistike: srednja vrednost, pik, interval između dva pika, standardna devijacija faktora koji govori o tome koliki je odnos između maksimalnog i efektivnog nivoa signala (eng. crest factor); statistike višeg nivoa: srednja kvadratna vrednost, iskošenost, spljoštenost, itd. Ove osobine se obično nazivaju vremenske osobine. Popularni pristup vremenske analize je vremenski sinhronizovani prosek (TSA). Ideja za TSA je da se iskoristi prosek sirovog signala u brojnim evolucijama u pokušaju da se ukloni ili redukuje šum i efekti iz drugih izvora, tako da se pojačaju komponente signala koje su od interesa. TSA je dat sa:

$$s(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} s(t + nT), 0 \leq t \leq T,$$

gde $s(t)$ označava signal, T je period u kom se vrši uprosečavanje i broj N je broj semplova (uzoraka) za uprosečavanje. Detalji TSA neće biti razmatrani u ovom radu.

Mnogo napredniji pristupi vremenske analize primenjuju modele vremenskih serija na signalne podatke. Glavna ideja modelovanja vremenskih serija je uklopiti signalne podatke u parametrizovani model vremenskih serijama i ekstrahovati karakteristike bazirajući se na ovom parametrizovanom modelu. Popularni modeli koji se koriste u literaturi su autoregresivni (AR) model i autoregresivni model sa pomerajućim prosekom (ARMA). ARMA model reda p, q se označava sa ARMA (p, q) i izražen je:

$$x_t = a_1 x_{t-1} + \dots + a_p x_{t-p} + \varepsilon_t - b_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - b_q \varepsilon_{t-q}$$

gde je x oblik signala, ε -i su nezavisni, normalno distribuirani sa očekivanjem 0 i konstantnom devijacijom σ^2 , a a_i, b_i su koeficijenti modela. AR model reda p je specijalan slučaj ARMA (p, q) za $q = 0$. Ovo se može primeniti kao AR model na vibracione signale prikupljene sa indukcionog motora i koristiti koeficijente modela AR kao ekstrahovane karakteristike.

5.3.1.2. Frekvencijska analiza

Frekvencijska analiza se bazira na transformisanom signalu u domenu frekvencija. Prednost frekvencijske analize nad vremenskom analizom je njena mogućnost da lako identifikuje i izoluje izvesne frekvencijske komponente koje su od interesa. Najrasprostranjenija konvencionalna analiza je spektralna analiza putem brze Furijeove transformacije (FFT). Glavna ideja spektralne analize je da posmatra celi spektar ili da

posmatra bliže svaku frekvencijsku komponentu koja je od interesa i, dakle, ekstrahuje karakteristike iz signala. Najčešće korišćeni alat u spektralnoj analizi jeste spektar snage signala. Definiše se kao $E [X(f) X^*(f)]$, gde je $X(f)$ Furijeova transformacija signala $x(t)$, E označava matematičko očekivanje i $*$ označava konjugovano kompleksni broj. Neki korisni pomoćni alati za spektralnu analizu su grafička prezentacija spektra, frekvencijski filteri, analiza anvelope (takođe se naziva i amplitudna demodulacija), analiza strukture jednog bočnog opsega signala.

Uprkos širokoj prihvaćenosti spektra snage signala, razvijeni su drugi korisni spektri za obradu signala i pokazano je da imaju svoje prednosti nad FFT spektrima u izvesnim slučajevima. Keptar ima mogućnost da detektuje harmonike i oblike bočnog spektra u spektru snage signala. Ima nekoliko verzija definicije keptra. Među njima, keptar snage signala, definisan kao inverzna Furijeova transformacija logaritma spektra snage, se najčešće koristi. Spektar višeg nivoa, tj. bispektar ili trispektar, može obezbediti više dijagnostičkih informacija nego spektar snage za ne-Gausove signale. U literaturi, spektar višeg nivoa se takođe naziva statistika višeg nivoa. Ovo ime je posledica činjenice da su bispektar i trispektar, u stvari, Furijeova transformacija statistike trećeg i četvrtog reda signala u odnosu na vreme, redom. Ali, ovo ime može da se pobrkava sa vremenskim statistikama višeg reda. Pokazano je da bispektralna analiza ima široke primene u mašinskoj dijagnostici za razne mehaničke sisteme kao što su zupčanici, ležajevi, rotacione mašine i indukcione mašine.

Uopšteno govoreći, postoje dve klase pristupa za procenu spektra snage signala. Prva su neparаметarski pristupi koji procenjuju autokorelisanu sekvencu signala i onda primenjuju Furijeovu transformaciju na procenjenju autokorelisanu sekvencu. Druga klasa uključuje parametarske pristupe koji grade parametarski model za signal i onda procenjuju spektar snage signala na osnovu odgovarajućeg modela. Među njima, AR spektar i ARMA spektar koji se zasnivaju na AR modelu i ARMA modelu, redom, su najčešće korišćeni parametarski spektri u mašinskoj dijagnostici otkaza.

5.3.1.3. Vremensko-frekvencijska analiza

Jedno ograničenje frekvencijske analize jeste njena nemogućnost da barata nestacionarnim signalima, koji su vrlo uobičajeni kod pojave mašinskih otkaza. Stoga se za nestacionarne signale razvija vremensko-frekvencijska analiza, koja ispituje oblik signala u oba, vremenskom i frekvencijskom domenu. Tradicionalna vremensko-frekvencijska analiza koristi vremensko-frekvencijske distribucije koje predstavljaju energiju snage signala kao dvodimenzionalne funkcije vremena i frekvencije za bolje otkrivanje šablona grešaka i time precizniju dijagnostiku. Kratkotrajna Furijeova transformacija (STFT) ili spektrogram (snaga STFT) i Wigner-Ville distribucija su najpopularnije vremensko-frekvencijske distribucije. Spektrogram ima izvesna ograničenja u vremensko-frekvencijskoj rezoluciji s obzirom na segmentaciju signala. Može se primeniti samo na nestacionarne signale sa sporom promenom u njihovoj dinamici. Bilinearne transformacije kao što je Wigner-Ville distribucija ne baziraju se na segmentaciji signala i stoga prevazilaze ograničenja vremensko-frekvencijske rezolucije spektrograma. Ipak, postoji jedan glavni nedostatak bilinearnih transformacija s obzirom na uslove smetnje koji su posledica same transformacije. Ovi uslovi smetnje čine interpretaciju procenjene distribucije teškom.

Sledeća transformacija za vremensko-frekvencijsku analizu je transformacija talasićima. Za razliku od vremensko-frekvencijske distribucije, koja je vremensko-frekvencijska reprezentacija signala, transformacija talasićima je reprezentacija signala na vremenskoj skali. Teorija talasića se ubrzano razvija u prethodnoj deceniji i ima široku primenu. Kontinualna transformacija talasićima se definiše kao:

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt,$$

gde je $x(t)$ oblik signala, a je parametar skale, b je vremenski parametar i $\psi(\cdot)$ je talasić, koji je skoro konstantna oscilatorna funkcija, centrirana oko nule sa konačnom energijom, i * označava konjugovano kompleksni broj. Najčešće korišćeni talasići su Morlet, Meksički šešir, Haar, i dr. Slično Furijeovoj transformaciji, transformacija talasićima ima takođe svoju diskretnu formu koja se dobija diskretizacijom a i b , i izračunavanjem $x(t)$ u diskretnoj formi. Slično FFT, brza transformacija talasićima je takođe dostupna za izračunavanje.

Analiza oblika signala talasićima izražava signal nizom oscilatornih funkcija sa različitim frekvencijama u različitim vremenskim trenucima preko dilatacija parametra skale a i translacija vremenskog parametra b . Slično spektru snage signala i faznom spektru u Furijeovoj analizi, skalogram definisan kao $|W(a,b)|$ i fazni spektar talasića definisan kao fazni ugao kompleksne promenljive $W(a,b)$, koriste se za interpretaciju signala. Jedna glavna prednost transformacije talasićima je njena mogućnost da proizvede visokofrekventnu rezoluciju na niskim frekvencijama i kratkotrajnu rezoluciju na visokim frekvencijama za signale sa dugim trajanjem niskih frekvencija i kratkim trajanjem visokih frekvencija. Još jedna prednost transformacije talasićima je njena mogućnost da redukuje šum u sirovim signalima.

Transformacija talasićima se uspešno primenjuje na obradu signala u dijagnostici kvarova na zupčanicima, ležajevima i drugim mehaničkim sistemima. Nova tehnika poznata kao potraga za bazom i koja se bazira na rečniku uopštenih paketa talasića primenjena je na analizu vibracionih signala za dijagnostiku kvarova na kugličnim ležajevima. Pokazano je da potraga za bazom ima izvesne prednosti u odnosu na druge često korišćene pristupe analizom talasićima.

5.3.2. Analiza podataka vrednosnog tipa

Podaci vrednosnog tipa uključuju i sirove podatke dobijene putem prikupljanja podataka i vrednosti karakteristika ekstrahovanih iz sirovih signala putem obrade signala. Podaci vrednosnog tipa izgledaju mnogo jednostavnije nego signali i podaci o slikama. Ipak, kompleksnost leži u strukturi međusobne zavisnosti kada je broj promenljivih veliki. Multivarijacione tehnike analize kao što je PCA i analiza nezavisnih komponenti (ICA) su vrlo korisne za manipulisanje podacima sa komplikovanom strukturom međusobne zavisnosti.

Tehnike analize trenda kao što su regresivna analiza i model vremenskih serija su često korišćene tehnike za analiziranje podataka vrednosnog tipa.

5.3.3. Analiza podataka kombinovanjem podataka dobijenih tokom događaja i podataka dobijenih praćenjem stanja

Analiza samo podataka dobijenih tokom događaja je poznata kao analiza pouzdanosti, koja uklapa podatke dobijene tokom događaja u vreme između verovatnosne distribucije događaja i koristi dobijenu pogodnu distribuciju za dalju analizu. U CBM su, ipak, dostupne dodatne informacije – podaci dobijeni praćenjem stanja. Stoga je korisno analizirati podatke dobijene tokom događaja i podatke dobijene praćenjem stanja zajedno. Ova analiza kombinovanih podataka može biti ostvarena kreiranjem matematičkog modela koji valjano opisuje osnovni mehanizam kvara ili kolapsa mašine. Kreirani model koji se bazira i na

podacima dobijenim u toku događaja i na podacima dobijenim praćenjem stanja je osnova za podršku u odlučivanju prilikom održavanja – dijagnostiku i prognostiku.

Vremenski zavisani model proporcionalnog rizika (PHM), koji je popularan model u analizi opstanka, je pogodan za analiziranje podataka dobijenih tokom događaja i podataka dobijenih praćenjem stanja zajedno. Dobra osobina vremenski zavisnog PHM je mogućnost da utvrdi zavisnost verovatnoće kolapsa mašine od promenljivih koje se odnose na starost i promenljivih koje se odnose na stanje mašine (promenljivih stanja), tako da smo u mogućnosti da procenimo verovatnoću kolapsa mašine zadate starosti u datom stanju. Vremenski zavisani PHM ima funkciju rizika koja je oblika:

$$h(t) = h_0(t) \exp(\gamma_1 x_1(t) + \dots + \gamma_p x_p(t))$$

gde je $h_0(t)$ osnovna funkcija rizika, $x_1(t), \dots, x_p(t)$ su kovarijate koje su funkcije vremena i $\gamma_1, \dots, \gamma_p$ su koeficijenti. Osnovna funkcija rizika $h_0(t)$ može biti u neparametarskom ili parametarskom obliku. Često korišćena parametarska osnovna funkcija rizika je Weibull funkcija rizika, koja je funkcija rizika Weibull raspodele. PHM sa Weibull osnovnom funkcijom rizika se naziva Weibull PHM. Kovarijate $x_1(t), \dots, x_p(t)$ mogu biti ma koje promenljive koje se odnose na stanja, kao što su indikatori zdravlja i karakteristike praćenja stanja. Procena maksimalne verodostojnosti se obično koristi za kreiranje PHM iz podataka dobijenih u toku događaja i podataka dobijenih praćenjem stanja. Procena maksimalne verodostojnosti se obično koristi za kreiranje PHM iz podataka dobijenih u toku događaja i podataka dobijenih praćenjem stanja. Modelovanje PHM je manje – više slično procesu regresivne analize: skup značajnih kovarijata se konačno pronade i samo te značajne kovarijate su uključene u model. Ipak, PHM modelovanje se razlikuje od analize regularnom regresijom u tome da ne postoje posmatranja „zavisne“ promenljive $h(t)$ i, umesto toga, zapažanja su dostupna kao podaci dobijeni u toku događaja. Proširenje za PHM je model proporcionalnog intenziteta (PIM), koji usvaja okruženje stohastičkog procesa i podrazumeva sličnu formu za funkciju intenziteta stohastičkog procesa. Vlok i dr. izučavali su primenu PIM na analiziranje otkaza i podataka dobijenih pri dijagnostičkim merenjima na ležajevima.

U održavanju usmerenom na pouzdanost, koncept poznat kao P – F interval se koristi za opis šablona otkaza u praćenju stanja. P – F interval je vremenski interval između mogućeg otkaza (P), koji se identifikuje indikatorom stanja, i funkcionalnog otkaza (F). P – F interval je koristan alat za utvrđivanje intervala praćenja stanja za periodično praćenje stanja. Interval praćenja stanja je obično postavljen na P – F interval podeljen celim brojem. U praksi je, ipak, obično teško odrediti P – F interval.

Sakriveni Markovljev model (HMM) je još jedan odgovarajući model za analiziranje podataka dobijenih u toku događaja i podataka dobijenih praćenjem stanja zajedno. HMM se sastoji od dva stohastička procesa: Markovljevog lanca sa konačnim brojem stanja koji opisuje osnovni mehanizam i procesa za posmatranje koji zavisi od sakrivenog stanja. HMM u diskretnom vremenu se definiše kao:

$$X_{k+1} = AX_k + V_{k+1},$$

$$Y_k = CX_k + W_k,$$

gde Y_k i X_k označavaju sakriveni proces i proces za posmatranje, redom. V_k i W_k su elementi šuma sa martingal inkrementima, i A i C su parametri. Podaci dobijeni u toku događaja i podaci dobijeni u toku praćenja stanja se koriste za obuku HMM modela, tj. za procenu parametra modela. S obzirom na to da cela funkcija verovatnoće nije dostupna za HMM, za procenu parametara se obično koristi statistički pristup poznat kao EM algoritam. Klase kvarova su

tretirane kao stanja u sakrivenom Markovljevom lancu, dok su vibraciona merenja tretirana kao realizacije procesa posmatranja. HMM je obučen korišćenjem laboratorijskih test podataka, a onda je bio primenjen na klasifikaciju kvarova za skup podataka iz operativnog menjača.

U praćenju stanja, stanje kvara je obično uočljivo. U ovoj situaciji, nije zgodno koristiti HMM za opisivanje procesa mašinskih stanja do kvara. Parametri modela su procenjeni koristeći i podatke dobijene u toku događaja i podatke dobijene u toku praćenja stanja. Odgovarajući model se može koristiti za dalju dijagnostiku i prognostiku.

Drugi modeli koji su se pojavili u literaturi i koji se mogu koristiti za analiziranje podataka dobijenih u toku događaja i podataka dobijenih praćenjem stanja su modeli koji koriste koncept vremenskog kašnjenja i modeli stohastičkih procesa kao što je gama proces.

5.4. Podrška donošenju odluka pri održavanju mašina na površinskim kopovima

Poslednji korak CBM programa je donošenje odluka pri održavanju. Dovoljna i efikasna podrška odlučivanju bila bi presudna za odluke osoblja koje radi na održavanju tokom preduzimanja akcija održavanja. Tehnike za podršku donošenju odluka pri održavanju u CBM programu mogu se podeliti u dve glavne kategorije: dijagnostika i prognostika. Kao što je već spomenuto ranije, dijagnostika otkaza se fokusira na detekciju, izolaciju i identifikaciju otkaza kada se oni dogode. Prognostika, ipak, pokušava da predvidi otkaze ili kolapse pre nego što se oni dogode. Očigledno, prognostika je superiornija u odnosu na dijagnostiku u smislu da prognostika može sprečiti otkaze ili kolapse, pa, ako je moguće, biti spreman (sa pripremljenim rezervnim delovima i planiranim ljudskim resursima) na probleme, i samim tim izbeći dodatni neplanirani trošak pri održavanju. Ipak, prognostika ne može u potpunosti nadomestiti dijagnostiku s obzirom na to da u praksi uvek postoje neki otkazi i kolapsi koji nisu predvidivi. Pored toga, prognostika, kao bilo koja druga tehnika predviđanja, ne može biti 100% pouzdana pri predviđanju otkaza. U slučaju neuspešnog predviđanja, dijagnostika može biti komplementarni alat za obezbeđivanje podrške donošenju odluka pri održavanju. Dodatno, dijagnostika takođe pomaže u poboljšanju prognostike na način da dijagnostičke informacije mogu biti korisne za pripremanje mnogo preciznijih podataka o događajima i samim tim izgradnju boljeg CBM modela za prognostiku. Štaviše, dijagnostičke informacije mogu poslužiti i kao korisne povratne informacije za redizajn sistema.

5.4.1. Tehnička dijagnostika

Dijagnostika mašinskih otkaza je procedura mapiranja informacije dobijene prilikom merenja prostora i/ili karakteristika u prostoru karakteristika na mašinske otkaze u prostoru otkaza. Ovaj proces mapiranja se takođe naziva prepoznavanje šablona (paterna). Tradicionalno, prepoznavanje šablona se radi ručno uz pomoć grafičkih alata kao što je graf spektra snage signala, graf spektra faze, graf kepra, graf AR spektra, spektrogram, skalogram talasića, graf faze talasića i dr. Ipak, ručno prepoznavanje šablona zahteva ekspertizu u konkretnoj oblasti primene dijagnostike. Za to je neophodno visoko podučeno i vešto osoblje. U skladu sa tim, automatsko prepoznavanje šablona je vrlo poželjno. Ovo se može postići klasifikacijom signala koja se bazira na informaciji i/ili karakteristikama ekstrahovanih iz signala.

5.4.1.1. Statistički pristupi

Čest metod dijagnostike otkaza je detekcija da li je konkretni otkaz prisutan ili ne na osnovu dostupnih informacija dobijenih praćenjem stanja bez nametljive inspekcije mašine. Ovaj problem detekcije otkaza se može opisati kao problem testiranja hipoteze sa nula hipotezom H_0 : otkaz A je prisutan, protiv alternative hipoteze H_1 : otkaz nije prisutan. U konkretnom problemu dijagnostike otkaza, hipoteze H_0 ; H_1 su interpretirane kao izraz koristeći specifične modele ili raspodele, ili parametri specifičnog modela ili raspodele. Test statistike se onda konstruiše za sumiranje informacija dobijenih praćenjem stanja sa ciljem odlučivanja da li da prihvate nula hipotezu H_0 ili da je odbace.

Konvencionalni pristup, SPC, koji je originalno razvijen u teoriji kontrole kvaliteta, je dobro razvijen i široko korišćen u dijagnostici otkaza. Princip SPC je merenje devijacije tekućeg signala iz referentnog signala koji predstavlja stanje da bi se videlo da li je tekući signal u okvirima kontrolnih limita ili ne.

Klaster analiza ili analiza grupisanja, kao metod multivarijacione statističke analize, je pristup statističke klasifikacije koji grupiše signale u različite kategorije otkaza na osnovu sličnosti karakteristika ili osobina koje oni poseduju. On nastoji da minimizuje varijansu u okviru grupe i maksimizuje varijansu između grupa. Rezultat analize grupisanja je broj heterogenih grupa sa homogenim sadržajima. Postoje značajne razlike između grupa, ali signali u okviru jedne grupe su slični. Prirodan način grupisanja signala se zasniva na izvesnim merenjima rastojanja ili merenju sličnosti između dva signala. Ova merenja su obično izvedena iz izvesnih diskriminacionih funkcija u statističkom prepoznavanju šablona. Često korišćene mere rastojanja su euklidsko rastojanje, Mahalanobisovo rastojanje, Kullback-Leibler rastojanje i Bajesovo rastojanje. Osim merenja rastojanja, koeficijent korelacije vektora karakteristika je takođe mera sličnosti koja se često koristi za klasifikaciju signala u mašinskoj dijagnostici otkaza. Mnogi algoritmi grupisanja su dostupni za utvrđivanje grupa signala. Algoritam koji se često koristi u klasifikaciji mašinskih otkaza je algoritam najbližeg suseda koji spaja dve najbliže grupe u jednu novu grupu i izračunava rastojanje između dve grupe kao rastojanje najbližeg suseda u dvema odvojenim grupama. Granica dve susedne grupe je određena diskriminacionom funkcijom koja je korišćena. Tehnika koja se naziva mašina sa nosećim vektorima (SVM) je najčešće korišćena da optimizuje graničnu krivu u smislu da je rastojanje najbliže tačke do granične krive maksimizovano.

5.4.1.2. AI pristupi

AI tehnike se sve više primenjuju u mašinskoj dijagnostici i pokazuju poboljšane performanse u odnosu konvencionalne pristupe. U praksi, ipak, nije lako primeniti AI tehnike s obzirom na nedostatak efikasnih procedura za dobijanje podataka za obuku i konkretnog znanja, koji se zahtevaju za obuku modela. Do sada većina aplikacija u literaturi je koristilo samo eksperimentalne podatke za obučavanje modela. U literaturi, dve popularne AI tehnike za mašinsku dijagnostiku su veštačke neuralne mreže (ANN) i ES. Druge AI tehnike koje su korišćene uključuju fazi logičke sisteme, fazi – neuralne mreže (FNN), neuralne – fazi sisteme i evolutivne algoritme (EA).

ANN je model za računanje koji imitira strukturu ljudskog mozga. Sastoji se od jednostavnih elemenata za procesiranje povezanih u složenu slojevitou strukturu koja omogućava modelu da aproksimira kompleksnu nelinearnu funkciju sa više ulaza i više izlaza. Element za procesiranje obuhvata čvor i težinu. ANN saznaje nepoznatu funkciju podešavajući svoje težine sa onim što je uočio na ulazu i izlazu. Ovaj proces se obično naziva obuka ANN. Postoje razni modeli neuralnih mreža. Struktura neuralne mreže sa propagacijom unapred (FFNN) je najšire korišćena struktura neuralne mreže u dijagnostici mašinskih otkaza. Specijalna FFNN, višeslojni perceptron sa BP algoritmom za učenje, je najčešće korišćen

model neuralnih mreža za prepoznavanje šablona i klasifikaciju, pa, dakle, i za dijagnostiku mašinskih otkaza. BP neuralne mreže, ipak, imaju dva glavna ograničenja: (1) teškoća utvrđivanja strukture mreže i broja čvorova; (2) spora konvergencija procesa učenja. Neuralna mreža kaskadne korelacije (CCNN) ne zahteva inicijativno utvrđivanje strukture mreže i broja čvorova. CCNN se može koristiti u slučajevima gde je poželjna online obuka. Drugi modeli neuralnih mreža primenjeni u mašinskoj dijagnostici su neuralne mreže sa radikalnim bazisnim funkcijama, rekurentne neuralne mreže i neuralne mreže sa obrnutom propagacijom. Uobičajena praksa obuke modela neuralne mreže je korišćenje skupa eksperimentalnih podataka sa poznatim (postojećim) otkazima. Ovaj proces obuke je nadgledano učenje. Nasuprot nadgledanom učenju, nenadgledano učenje ne zahteva spoljašnji ulaz. Nenadgledana neuralna mreža uči sama koristeći nove dostupne informacije [51]²³

Nasuprot neuralnim mrežama, koje uče znanje obukom nad uočenim podacima sa poznatim ulazima i izlazima, ES ugrađuje ekspertsko znanje iz odgovarajućeg domena u kompjuterski program sa mašinom za automatsko zaključivanje za izvođenje rezonovanja u cilju rešavanja problema. Tri glavna metoda rezonovanja za ES koja se koriste u oblasti mašinske dijagnostike su rezonovanje bazirano na pravilima, rezonovanje na osnovu slučajeva iz ranijeg iskustva i rezonovanje zasnovano na modelima. Za razliku od drugih modela rezonovanja, negativno rezonovanje barata negativnim informacijama, koje svojim odsustvom ili nedostatkom simptoma ukazuju na značajne zaključke.

ES i neuralne mreže imaju svoja ograničenja. Jedno glavno ograničenje ES baziranog na pravilima je kombinatorna eksplozija, koja ukazuje na problem izračunavanja izazvan eksponencijalnim povećanjem broja pravila sa porastom broja promenljivih. Drugo glavno ograničenje je održavanje konzistentnosti, koje ukazuje na proces kada sistem odlučuje kada treba ponovo izračunati vrednost nekih promenljivih kao odgovor na promene u drugim vrednostima. Dva glavna ograničenja neuralnih mreža su teškoća da se ima fizičko objašnjenje obučenog modela i teškoća da se sprovede proces obuke. Očito, kombinacija obe tehnike bi značajno poboljšala performanse.

U praksi praćenja stanja, znanje eksperata iz konkretne oblasti obično nije egzaktno i rezonovanje po tom znanju je često neprecizno. Stoga se kod ES zahtevaju mere neizvesnosti znanja i rezonovanja da bi se omogućilo rešavanje zahtevnijih problema. Često korišćene mere neizvesnosti su verovatnoća, fazi funkcije članice u teoriji fazi logike i funkcije uverenja u teoriji mreža uverenja.

Neuralne mreže i ES se takođe kombinuju sa drugim AI tehnikama sa ciljem unapređenja sistema za mašinsku dijagnostiku. Pokazano je da EA, koji imitiraju proces prirodne evolucije populacije, imaju takođe zasluga u primenama u mašinskoj dijagnostici. Genetski algoritmi (GA) su najšire korišćeni tip EA.

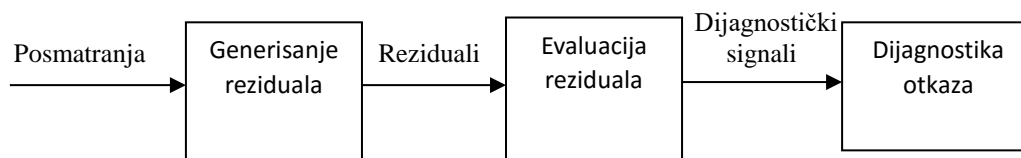
5.4.1.3. Drugi pristupi

Druga klasa pristupa u dijagnostici mašinskih otkaza su pristupi koji se zasnivaju na modelima. Ovi pristupi koriste fizički specifičan, eksplicitni matematički model posmatrane mašine. Na osnovu ovog eksplicitnog modela, za dobijanje signala koji se nazivaju reziduali, a koji su indikativi prisutnosti otkaza u mašini, korišćeni su metodi za generisanje reziduala kao što su Kalman-ov filter, procena parametra (ili identifikacija sistema) i relacije sličnosti. Konačno, reziduali se evaluiraju da bi se stiglo do detekcije otkaza, izolacije i identifikacije. Ova uopštena procedura je ilustrovana na slici 1. pristupi koji se zasnivaju na modelima mogu biti mnogo efektivniji nego drugi pristupi koji se ne zasnivaju na modelima, ako je izgrađen korektan i precizan model.

²³ [51]. Ilić, B., Adamović Ž., Savić, B., Paunjorić P., *Automatizovani dijagnostički sistemi električnih mašina*, Srpski akademski centar, Novi Sad, 2012, ISBN 978-86-89087-01-7

Ipak, eksplicitno matematičko modelovanje može biti nemoguće za kompleksne sisteme, s obzirom na to da bi bilo vrlo teško ili čak nemoguće izgraditi matematičke modele za takve sisteme.

Razni dijagnostički pristupi koji se zasnivaju na modelima primenjuju se u dijagnostici otkaza raznih mehaničkih sistema kao što su menjači, ležajevi, rotori i alati za sečenje. Pokazalo se da su informacije obezbeđene ovim metodama veoma korisne u dobijanju mnogo preciznije identifikacije otkaza zajedno sa evaluacijom poverenja dijagnostičkoj odluci.



Slika 5.1: Uopšteni tok pristupa koji se zasniva na modelu

Petri mreže, kao grafički alat opšte namene za opisivanje relacija koje postoje između stanja i događaja, nedavno su primenjene na detekciju i dijagnostiku mašinskih otkaza.

5.4.2. Prognostika stanja mašina

Postoje dva glavna tipa predviđanja u mašinskoj prognostici. Najočiglednija i najšire korišćena prognostika je predviđanje koliko je vremena preostalo pre nego što se „kolaps mašine“ dogodi (ili jedan ili više otkaza) u odnosu na zadato trenutno mašinsko stanje i protekli operacioni profil. Preostalo vreme do uočavanja otkaza se obično naziva preostali korisni život (RUL). U nekim situacijama, pogotovu kada je otkaz ili „kolaps mašine“ katastrofičan, bilo bi mnogo poželjnije predvideti šansu da mašina radi bez otkaza ili „kolapsa“ sve do nekog perioda u budućnosti (npr. sledećeg intervala inspekcije) u odnosu na zadato trenutno mašinsko stanje i protekli operacioni profil. U stvari, u ma kojoj situaciji, verovatnoća da mašina radi bez otkaza sve do sledećeg intervala inspekcije (ili praćenja stanja) mogla bi da bude dobra referenca osoblju koje radi na održavanju da utvrdi da li je inspekcioni interval odgovarajući ili ne. Većina radova u literaturi mašinske prognostike razmatra samo prvi tip prognostike, naime procenu RUL. Samo nekoliko radova obrađuje drugi tip prognostike.

5.4.2.1. Preostali korisni životni vek

RUL, koji se takođe naziva i preostali servisni život, rezidualni život ili ostatak života, ukazuje na vreme preostalo do uočavanja „otkaza“ u odnosu na datu trenutnu starost i stanje mašine i protekli operacioni profil. Definiše se kao uslovna slučajna promenljiva:

$$T - t / T > t, Z(t),$$

gde T označava slučajnu promenljivu vremena do „otkaza“, t je tekuća starost i $Z(t)$ je potekli profil stanja do trenutnog vremena. S obzirom na to da je RUL slučajna promenljiva, raspodela RUL bi bila od interesa za potpuno razumevanje RUL. U literaturi termin „procena preostalog korisnog života (RULE)“ se koristi sa dvostrukim značenjem. U nekim slučajevima on znači nalaženje raspodele za RUL. U nekim drugim slučajevima, pak, on znači samo očekivanje za RUL, tj.

$$E[T - t / T > t, Z(t)].$$

Prisetimo ovde da je odgovarajuća definicija „otkaza mašine“ suštinska za konkretnu interpretaciju RUL. Iako postoji kontroverza u trenutnoj industrijskoj praksi, formalna definicija „otkaza“ se može pronaći u mnogim udžbenicima o pouzdanosti. Za sprovođenje prognostike, pored znanja (ili podataka) o procesu propagacije otkaza, moraju biti dostupni i znanje (ili podaci) o mehanizmu „otkaza“. Prvi podrazumeva da „otkaz“ zavisi samo od promenljivih stanja, što reflektuje aktuelni nivo otkaza, i unapred utvrđenih granica. Najčešće korišćena definicija „otkaza“ u ovom slučaju je jednostavna: „otkaz“ se događa kada otkaz dostigne unapred utvrđeni nivo. Druga kreira model za mehanizam „otkaza“ koristeći dostupne istorijske podatke. U ovom slučaju mogu se koristiti različite definicije „otkaza“. „Otkaz“ se može definisati kao događaj kada mašina operiše na nezadovoljavajućem nivou, ili to može biti funkcionalni „otkaz“ kada mašina uopšte ne može izvoditi funkcije za koje je predviđena, ili to može biti samo slom kada mašina zaustavlja rad, itd. Slično dijagnostici, pristupi kod prognostike se svrstavaju u tri glavne kategorije: statistički pristupi, pristupi koji se zasnivaju na veštačkoj inteligenciji i pristupi koji se zasnivaju na modelima.

Pristupi u prognostici koji se baziraju na modelima zahtevaju konkretno mehanističko znanje i teoriju koji su relevantni za posmatranu mašinu. Drugačiji način primene pristupa koji se zasnivaju na modelima u prognostici je izvođenje eksplicitne mreže između promenljivih stanja i životnih vekova (tekući životni vek i životni vek otkaza) putem mehanističkog modelovanja.

5.4.2.2. Prognostika koja uključuje metode održavanja

Cilj mašinske prognostike je da obezbedi podršku odlučivanju pri sprovođenju akcija održavanja. U skladu sa tim, prirodno je uključiti metode održavanja u razmatranje procesa mašinske prognostike. Ovo čini situaciju mnogo komplikovanijom s obzirom na to da je potreban dodatni napor da se opiše priroda metoda održavanja. Održavanje u ovoj situaciji je tzv. CBM. U poređenju sa konvencionalnim održavanjem, matematičkih modela primenjenih na CBM scenario je mnogo manje.

Glavna ideja prognostike koja uključuje metode održavanja je da optimizuje metode održavanja prema izvesnom kriterijumu kao što je rizik, cena, pouzdanost i dostupnost. Rizik se definiše kao kombinacija verovatnoće i posledice. Obično, posledica se može izmeriti cenom. U ovom slučaju, kriterijum rizika je ekvivalentan kriterijumu cene. Ipak, postoje neki slučajevi, na primer, kritična oprema u elektrani, u kojoj posledica ne može biti procenjena cenom. U ovim scenarijima, kriterijum verovatnoće ili pouzdanosti bi bio mnogo prikladniji. S obzirom na to da se kriterijum cene može primeniti u većini slučajeva, ne iznenađuje činjenica da u literaturi o CBM optimizaciji dominira CBM optimizacija zasnovana na ceni.

U praćenju stanja, bez obzira koje se mašine prate, one se svrstavaju u dve kategorije: kompletno praćeni sistemi i delimično praćeni sistemi. Za kompletno praćen sistem, mašinsko stanje može biti kompletno praćeno ili identifikovano. Informacije sakupljene iz ovog sistema se nazivaju direktne informacije. Za delimično praćen sistem, mašinsko stanje ne može biti potpuno praćeno ili identifikovano. Informacije dobijene iz ovog sistema nazivaju se indirektno informacije, što je nekako povezano sa stvarnim mašinskim stanjem. Onda su pronađeni tragovi optimalne degradacije intervencije prilikom održavanja da bi se minimizovala očekivana cena celog sistema preko datog vremena rada direktnom pretragom. Primena modela Markovljevog procesa odlučivanja za sistem koji otkazuje u diskretnom vremenu u cilju nalaženja optimalne politike zamene u kojoj je sprovedena minimalna popravka nekog dela, ako odluka nije da on bude zamenjen. Formulirati proces odlučivanja kao diskretan Markovljev problem odlučivanja koji se zasniva na kontinualnom procesu oštećivanja, da bi se pronašla optimalna metoda održavanja u smislu cene. Uspostaviti CBM model koristeći Markovljev proces da bi opisao evolutivni proces promenljivih stanja, i PHM za opis mehanizma otkaza,

koji zavisi i od promenljivih koji se odnose na starost mašine i od promenljivih stanja. Onda je minimiziranjem dugoročne očekivane ukupne cene po jedinici vremena određena optimalna metoda zamene sa rizičnom kontrolom granice. Neki su primenili teoriju optimalnog zaustavljanja da bi pronašli metode zamene maksimizovanjem ukupnog očekivanog profita u toku života mašine, gde nije napravljena nikakva pretpostavka o monotonosti signalnog procesa. Predstavili su okosnicu za CBM optimizaciju zasnovanu na kontinualno-diskretnom stohastičkom modelu. Evolucija sakrivenog mašinskog stanja je opisana Markovljevim procesom u neprekidnom vremenu, a proces praćenja stanja je opisan stohastičkim procesom za posmatranje u diskretnom vremenu koji zavisi od sakrivenog mašinskog stanja. Onda je pronađena optimalna metoda zamene da bi se minimizovala dugoročna očekivana cena po jedinici vremena korišćenjem teorije optimalnog zaustavljanja. Stohastički rekurzivni model filterovanja je korišćen da se predvidi rezidual, a onda je uspostavljen model odlučivanja za preporučivanje optimalnih akcija održavanja. Optimalni intervali praćenja stanja utvrđeni su hibridnom simulacijom i analitičkom analizom. Minimiziranjem dugoročne prosečne cene po jedinici vremena, dobijeni su vektor optimalnog inspektionog vremena i nivo upozorenja konkretnog sistema koji se održava, pod ograničenjem verovatnoće preventivne zamene. Razmatrali su optimalnu CBM politiku za sistem sa dve jedinice, povezane paralelno, kod kojih su praćene informacije iz nivoa jedinica nesavršene i/ili parcijalne.

5.4.2.3. Interval praćenja stanja

Postoje dva tipa praćenja stanja: neprekidno i periodično. Kod neprekidnog praćenja, neko neprekidno prati (obično montiranim senzorima) mašinu i aktivira alarm upozorenja kad god je detektovano nešto pogrešno. Dva ograničenja neprekidnog praćenja su: (1) ono je često skupo; (2) neprekidno praćenje sirovih signala sa šumom proizvodi netačne dijagnostičke informacije. Periodično praćenje se, stoga, koristi s obzirom na to da je jeftinije i obezbeđuje tačniju dijagnostiku koristeći filterovane i/ili obrađene podatke. Naravno, rizik korišćenja periodičnog praćenja je mogućnost da se izgubi neki događaj kvara nastao između uzastopnih inspekcija.

Glavni problem relevantan za periodično praćenje je utvrđivanje intervala praćenja stanja. Neki od modela su:

- Model za nalaženje optimalnog vremena za sledeću inspekciju koja se zasniva na stanju istrošenosti utvrđenom do tekuće inspekcije. Kriterijum je da se minimizuje očekivana cena po jedinici vremena preko vremenskog intervala između tekućeg i sledećeg perioda inspekcije.
- Model odloženog vremena za dobijanje optimalnih sekvencijalnih inspektionih intervala kod CBM politike nad sistemom koji se troši, minimizovanjem dugoročne prosečne cene po jedinici vremena.
- Model razvijen za utvrđivanje dužine sledećeg intervala praćenja stanja za dati nivo rizika.
- Model za optimalne intervale praćenja stanja koji se zasniva na konceptu odloženog vremena kvara i konceptu uslovnog rezidualnog vremena.

Pretpostavlja se da se praćenje stanja biti izvedeno u fiksiranom intervalu praćenja stanja tokom čitavog života, a takođe i u dinamičkom intervalu praćenja stanja u periodu odloženog vremena kvara, polazeći od toga da će u ovom odloženom periodu možda biti potrebno češće praćenje. Korišćen hibrid simulacije i analitičke procedure za nalaženje optimalnih intervala koji se zasnivaju na jednoj od pet kriterijumskih funkcija za definisanje cene.

5.5. Fuzija podataka dobijenih višestrukim sensorima

Za kompleksni sistem, samo jedan senzor nije u stanju da sakupi dovoljno podataka za tačno praćenje stanja, dijagnostiku i prognostiku kvarova. Potrebni su višestruki senzori sa ciljem da se uradi bolji posao. Sa brzim razvojem računarske nauke i napredne senzorske tehnologije, postoji rastući trend korišćenja višestrukih senzora za praćenje stanja, dijagnostiku i prognostiku kvarova. Kada se koriste višestruki senzori, podaci prikupljeni sa različitih senzora mogu sadržati različite delimične informacije o istom mašinskom stanju. Sada je problem kako iskombinovati sve delimične informacije dobijene od različitih senzora za tačniju mašinsku dijagnostiku i prognostiku. Rešenje ovog problema poznato je kao fuzija podataka dobijenih višestrukim sensorima.

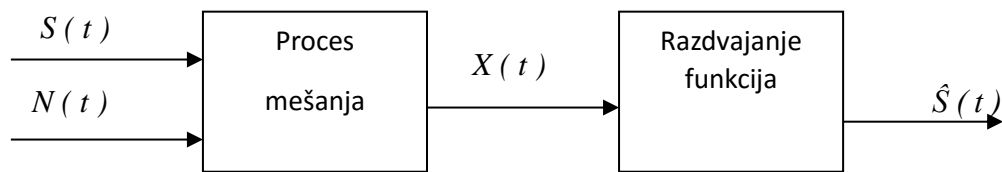
Postoje mnoge tehnike za fuziju podataka dobijenih višestrukim sensorima. One se mogu grupisati u tri glavna pristupa: (1) fuzija na nivou podataka, (2) fuzija na nivou karakteristika i (3) fuzija na nivou odluka. Pokazano je da dijagnostika koja se zasniva na fuziji podataka dobijenih višestrukim sensorima nadmašuje dijagnostiku zasnovanu na samo jednom senzoru.

- Fuzija na nivou odluka se naziva Dempster – Shafer teorija dokaza za dijagnostiku otkaza na dizel motoru.
- Pristup koji se bazira na modelu za prediktivnu dijagnostiku na baterijama koristeći fuziju na nivou odluka.
- Metodi fuzija karakteristika nesrazmernosti ulja i vibracija za bolju dijagnostiku i prognostiku otkaza na menjačima.
- Neuralna mreža sa radijalnim bazisnim funkcijama za fuziju karakteristika ekstrahovanih iz slika obrađenih površina i zvukova generisanih u toku procesa obrade, za praćenje stanja i dijagnostiku alata za sečenje.
- Radni okviri kod primena fuzije podataka u praćenju stanja i dijagnostičkom inženjeringu.
- Pouzdanost i samodijagnostika senzora u dijagnostičkom sistemu za fuziju podataka dobijenih višestrukim sensorima.

U mehaničkom sistemu sa instaliranim višestrukim sensorima, podaci prikupljeni sa svakog senzora mogu biti komplikovana mešavina podataka iz više izvora. Ali, samo neki od tih izvora su u vezi sa konkretnim mašinskim stanjem koje je od interesa. Sada je problem kako razdvojiti različite izvore za bolju mašinsku dijagnostiku i prognostiku fuzijom podataka uočenih višestrukim sensorima. Tehnika za rešavanje ovog problema je poznata kao slepo razdvajanje izvora (BSS). Oskora raste pažnja usmerena na BSS u oblasti dijagnostike i prognostike mašinskih kvarova. Uopštena ideja iza BSS je prikazana na slici 2. Pretpostavlja se da su izvorni signali $S(t) = [s_1(t), \dots, s_n(t)]$, generisani iz n nepoznatih nezavisnih izvora, i signali šuma $N(t)$ nezavisni od izvornih signala, kombinovani zajedno nepoznatim procesom mešanja. Rezultat mešanja se na izlaznom kanalu uočava kao m -dimenzionalni ($m \geq n$) signal $X(t) = [x_1(t), \dots, x_m(t)]$. Formula za proces mešanja se može zapisati kao:

$$X(t) = f(S(t), N(t)),$$

gde je f uopšte nelinearna funkcija koja zavisi od vremena. Često korišćena forma za proces mešanja razdvaja signal i šum, tj. $X(t) = f(S(t)) + N(t)$. Cilj BSS je da se pronađe funkcija razdvajanja koja je primenjena na posmatrane signale $X(t)$ da bi se dobila procena izvornih signala $S(t)$ (slika 5.2).



Slika 5.2: Uopštena ideja iza BSS

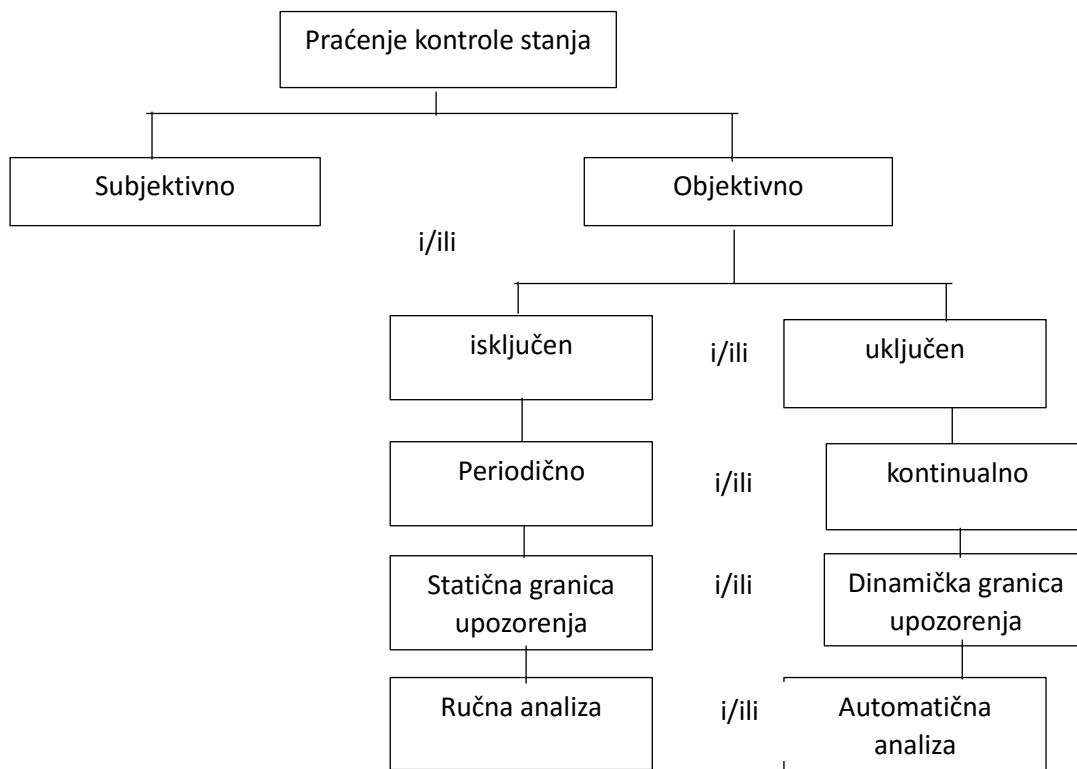
U literaturi, postoje dve kategorije procesa mešanja: trenutni i konvolutivni proces mešanja. Proces mešanja je trenutni ako je $f(\cdot)$ vremenski nezavisna (zaboravna) funkcija, inače je konvolutivni. Konvolutivni proces mešanja je češći, posebno za mehaničke sisteme. Trenutni model mešanja se takođe naziva ICA model, koji je prirodno proširenje PCA modela. Nekoliko autora je primenilo ICA zajedno sa drugim tehnikama obrade signala u praćenju stanja i mašinskoj dijagnostici kvarova.

5.6. Pristup održavanju prema stanju

Stanje na osnovu održavanja je definisano kao: „Preventivno održavanje na osnovu performansi i/ili parametar praćenja i narednim akcijama.“ Stoga je održavanje tip koji se koristi na stanje zadataka u cilju praćenja stanja tokom vremena i načina korišćenja telefona. Ovo se radi u cilju da se odluči ulaz na dinamičke akcije održavanja. Stanje na osnovu održavanja vrši se u sledeće dve svrhe:

- da utvrdi da li postoji problem, da li je problem ozbiljan, i koliko dugo deo može da radi pre totalnog otkaza, i
- da se otkriju i identifikuju specifične komponente.

Kontrolisanje je definisano kao: „delatnost, koja se obavlja ručno ili automatski, sa namerom da se posmatra stvarno stanje dela.“ Praćenje stanja sistema se može izvršiti pomoću više različitih pristupa i korišćenja različitih nivoa tehnologije (slika 5.3.) zajednička tačka će im biti aktivnosti, koje se obično obavljaju u radnom stanju.



Slika 5.3. Različiti pristupi praćenja stanja [1]²⁴

Cilj potreba praćenja stanja je da prikuplja podatke o stanju, da omogući da se otkriju propusti tako da se održavanja planiraju u odgovarajuće vreme. Još jedan cilj praćenja stanja je da se poveća znanje uzroka i posledice neuspeha i propadanje uzroka.

Postoji različit broj tehnika da se izmeri stanje stavke. U zavisnosti od vrste potencijalnih neuspeha, uslov je da krenemo od mere jedne ili više tehnike, koja se može koristiti. Tehnika praćenja stanja u skladu sa simptomima dizajnirani su da detektuju :

- dinamičke efekte, kao što su vibracija i buka,
- čestice, koje se ispuštaju u životnu sredinu,
- hemikalije koje se ispuštaju u životnu sredinu,
- fizičke efekte, kao što su pukotine, prelomi i deformacije,
- temperature porasta u opremi, kao i
- električne efekte, kao što su otpor, provodljivost, dielektrična čvrstoća, itd.

Stanje na osnovu održavanja podrazumeva pristup korišćenja rezultata monitoringa (odnosno potencijalni neuspesi) i dalje ih analizira. To podrazumeva dijagnostikovanje potencijalnih propusta i prognosticiranje komponente preostalog korisnog veka trajanja. Ovo se koristi zajedno kako bi se planirali najefikasniji zadaci održavanja.

5.7. Tehnologija na osnovu praćenja stanja

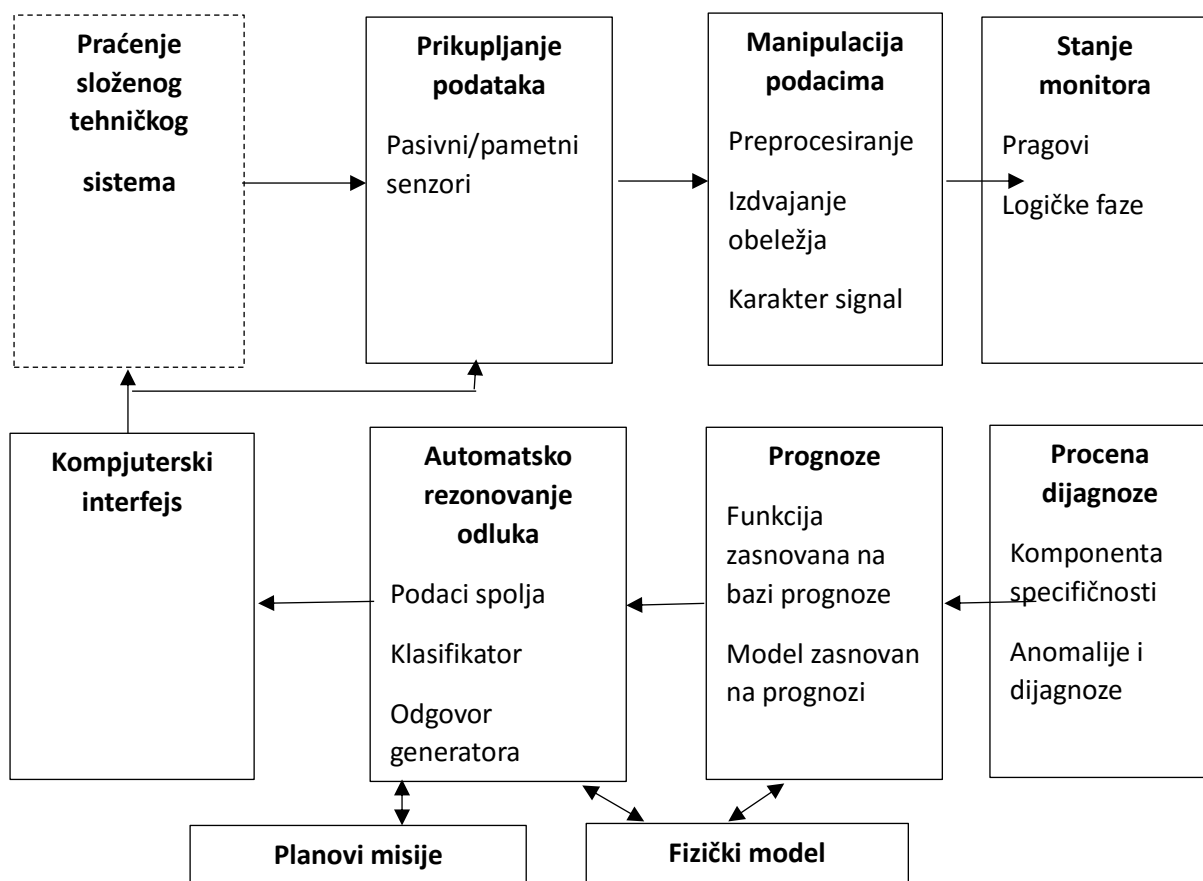
Sveobuhvatna tehnologija na osnovu stanja može da se vidi kao uslov održavanja mašina na površinskim kopovima. Uslov za održavanje sistema se definiše kao: „Sistem koji koristi uslov na osnovu održavanja određuje i raspoređuje aktivnosti održavanja samostalno ili u

²⁴ [1]. Adamović, Ž., Ašonja, A., Milošević, D., Paunjorić, P., i dr., Teledijagnostika mašina, Duga knjiga, Sremski Karlovci, 2011., ISBN 978-86-86127-30-3

interakciji sa drugim sistemima ili čovekom.“ Stanje zasnovano na sistemu za održavanje sadrži i module/aktivnosti: akviziciju podataka (senzori), obradu signala, praćenje stanja, dijagnozu, prognozu, podršku odlučivanju i prezentaciju (slika 5.4).

Prikupljanje podataka je prva aktivnost. Normalno, kada se koristi u objektivnom kontekstu, senzori su komponente prikupljanja podataka i smatraju se delovima modula stanja monitora. Senzori su:“ uređaj koji prima signal i reaguje sa električnim signalom.“

Svrha signal procesora je trostruka: (1) da uklone poremećaje i vrati signal u svoj prvobitni oblik, (2) da ukloni nevažne podatke senzora za dijagnostiku ili prognozu, i (3) da transformiše signal da relevantne karakteristike budu jasnije. U modulu praćenja stanja, mereni podaci su upoređeni u odnosu na normalne podatke sa bilo kog praga vrednosti ili druge tehnike, kao što je veštačka inteligencija. Ako je prekoračen normalni nivo ili druge neprirodne pojave se dešavaju, kao što su iznenadna povećanja ili smanjenja u nivou (ali još uvek ne prelaze normalne nivoe), podaci treba da se dijagnostikuju. Granice upozorenja se koriste da se utvrde da li su ili statične ili dinamičke. Statična upozorenja se koriste za unapred određen prag vrednosti. Primer takvih ograničenja je ISO, koja je proizvela karte vibracije za određene tipove aplikacija. Lakše se upravlja statičkim upozorenjenim granicama nego onim dinamičnim. Ipak, oni nemaju dijagnostičke snage za predviđanje kada će alarm biti postignut.



Slika 5.4 Moduli stanja na osnovu održavanja sistema [76]²⁵

²⁵ [76]. Paunjorić, P., Adamović, Ž., Implementacija održavanja prema stanju tehničkih sistema na površinskim kopovima, Časopis Tehnička dijagnostika, br. 3, 2016, Beograd, ISSN 1451-1975

Prateći dijagnozu, sistem sada ima saznanje kao neko stanje koje je neprirodno, gde je to neprirodno, i šta izaziva neprirodno merenje, i šta je potrebno da se to predvidi. Koliko dugo može mašina da radi pre nego što je potrebno da se obavi održavanje u cilju sprečavanja otkaza? Prognoze mogu biti izvedene kao modul dijagnostike, kroz različite tehnike veštačke inteligencije, kao što su rekurentna neuronska mreža i dinamičke mreže neutralnih talasića.

Naravno, uslov na osnovu održavanja i uslov na osnovu održavanja sistema može imati različite nivoe automatizacije, koja se proteže od ljudi za obavljanje svih zadataka, do kako je objašnjeno, hardvera i softvera koji obavljaju te zadatke.

5.8. Implementacija metoda održavanja

5.8.1. Opšta implementacija i upravljanje promenama

Uspešno sprovođenje promena u preduzećima mora da sledi dva važna modela: prvo, promene da prate multi-korak, proces koji stvara snagu i motivaciju da nadvladaju reacionare, a drugi proces mora da bude vođen od strane snažnog rukovodstva.

Da bi bili uspešni, organizaciona implementaciona strategija treba da bude organizovana. Uspeh primene inovacija odnosi se na vreme koje je proteklo između generacije inovacija i njene implementacije. Uspeh se postiže ako se ovog puta sve svede na minimum. Takva implementacija je uspešna samo u preduzećima koja prate stroge uslove primene strategije. Jedanaest praktičnih saveta u vezi sa implementacijom su: dobra komunikacija i informacija, obuka, proces učenja, gore-dole i bottom-up komunikacija, pristup projektu, moćni lideri, podrška od lidera mišljenja, da spreče „grupna mišljenja“, naprave podršku, sprovođenje nije odvojeno od procesa projektovanja, spreče otpore (ako je to moguće), i upravljanje mora da podržava promene.

5.8.2. Primena uslova za uvođenje metoda održavanja

Uslov održavanja zasnovan uz korišćenje praćenja stanja može podrazumevati različite parametre, tehnike i tehnologije. Kao takav, mnoge odluke treba da budu preduzete. Tehnologija, iako pravilno izabrana, nije garancija za uspešan rezultat. Ova tehnologija treba da bude uvedena i integrisana u društvo i u obični svakodnevni rad.

Zadatak donošenja odluke uključuje tri koraka: (1) spisak svih alternativnih strategija, (2) procenu svih posledica koje slede svaku strategiju i (3) procenu posledice. Očigledno, nemoguće je znati sve alternative.

Mnogo toga je objavljeno u različitim strategijama o tome kako izabrati strategije održavanja. Pokazalo se da 31% koristi neku drugu vrstu modelovanja na vreme neuspeha ili optimizaciju prilikom izbora strategije održavanja, 10% koristi neuspeli režim efekta i analizu kritičnosti, FMECA ili odluka i 2% se koristi kao kriterijum donošenja odluka MCDM. Konačno, 6% se koristi u druge metode kao što su: mesečna lista, dokumentacija i iskustva, veliki remont dva puta godišnje, troškovi održavanja, proizvođač preporuke, analiza rizika, kao sopstvene baze podataka. Nekoliko kompanija, oko 30%, je pomenulo da su koristili više od jedne metode. Mnoge odluke su, dakle, uzete na osnovu iskustva.

Uslov na osnovu programa održavanja trebao bi biti dizajnirani i implementarni kroz: „Dobro definisanim ciljevima i isplativim investicionim strategijama...“. Ljudski aspekt ne može biti zaboravljen u stanju održavanja: „Tačna analiza i dijagnoza na osnovu prikupljenih

informacija je od suštinskog značaja za pravo održavanje akcije, koje treba sprovesti za određeni deo opreme. Očigledno, učešće i intervencija ljudskih stručnjaka su neophodni za sve ove aktivnosti“.

I teorijska i studija slučaja mogu se naći u odnosu na implementaciju uslova na osnovu održavanja. Prediktivno održavanja (PDM) programa može biti uspostavljeno sa fokusom na: (1) ciljeve, koristi, (2) funkcionalni zahtevi, (3) praćenja intuitivnog načina za održavanje programa, (4) izbor predviđanja održavanja sistema, (5) baza podataka, (6) početak.

Prediktivno održavanje (PDM) implementirano je u Sjedinjenim Državama Ministarstva za energetiku strateških naftnih rezervi. Program je sastavljen od pet glavnih elemenata: testiranje i vežba, praćenje stanja, skladištenje podataka i pretraživanje, obuka i programski ciljevi i izveštaji. PDM program se sastojao od osam logičkih koraka: (1) razvoj politike i programa PDM plana, (2) zadaci odgovornosti, (3) definisanje i specifikacija potrebne opreme, (4) nabavka opreme, (5) razvoj primene procedure, (6) obuke zapošljavanja, (7) sprovođenje programa, i (8) izveštavanje o rezultatima i procena programa efikasnosti. Anketa koja je sprovedena dovodi do četiri tačke implementacije, koja ima za cilj da pomogne lakše uvođenje stanja na osnovu održavanja u preduzeću:

- podrška top menadžmentu,
- preispitati ceo pristup organizacije održavanja u svakom odeljenju,
- da se izabere odgovarajući sistem uzimajući u obzir sredstva i organizacije na nivou ekspertize zaposlenog, i
- trenirati i edukovati zaposlene da cene ideju stanja na osnovu održavanja.

Ova metodologija održavanja modela je i RTB Bor, na površinskim kopovima. Stanje na osnovu održavanja, kao i druge filozofije i održavanje tehnike, zaista mogu da povećaju efikasnost održavanja. Pre unovčenja, prvi pristup mora da bude realizovan. To nije uvek lako. Zaključak koji se može izvući je da tehnologija jednostavno nije dovoljna da se obezbedi uspešno sprovođenje. Umesto da jednostavno usvajamo najnoviju tehnologiju, važno je da se izabere najbolja tehnologija za održavanje posebne situacije. Ostali faktori očigledno treba da budu uzeti u obzir.

Pod tehničkom dijagnostikom treba podrazumevati sve aktivnosti koje se sprovode u cilju ocene trenutnog tehničkog stanja sistema (sa rastavljanjem i bez rastavljanja sistema) radi preduzimanja planiranih aktivnosti održavanja ili davanja prognoze tehničkog stanja sistema u budućnosti. To je ključni postupak proaktivnog održavanja.

Pouzdanost i dijagnostika – to su uzajamno povezani parametri, koji određuju tehničko stanje sistema u celosti. Dijagnostika, koja se bazira na dovoljno razrađenoj naučnoj osnovi, na matematičkim i fizičkim metodama, koje omogućuju postizanje optimalnih rezultata, predstavlja novi ogranak Tehničke kibernetike, koji se ubrzano razvija. Osim toga, dijagnostika predstavlja važni sastavni deo tehnologije održavanja, jer omogućuje da se i bez demontaže odredi tehničko stanje sistema i predvidi resurs njihovog sigurnog rada. Ona jedina može u celosti da odredi stanje sistema.

Tehnička dijagnostika kao sastavni deo održavanja prema stanju, kako je ranije rečeno, treba da utvrdi tehničko stanje sastavnog dela sistema sa određenom tačnošću u određenom trenutku vremena. To je, zapravo, nauka koja se bavi prepoznavanjem tehničkog stanja sistema. Može se koristiti za većinu postrojenja u industriji (uvek i na svakom mestu).

Teorija raspoznavanja se koristi algoritmima, pravilima i modulima radi određivanja tehničkog stanja sastavnih delova sistema, dok se kod teorije praćenja stanja na osnovu dijagnostičkih informacija i automatskog praćenja stanja vrši sprečavanje stanja „u otkazu“, ili se pak ono locira kada se pojavi.

Dijagnostikom se:

- proverava ispravnost.
- proverava radna sposobnost,
- proverava funkcionalnost, i
- istražuje otkaz (mesto, oblik i uzrok otkaza).

Utvrđivanje radnog stanja sastavnog dela sistema, može se ostvariti kako primenom odgovarajuće instrumentacije, tako i na osnovu čulnih opažanja izvršilaca (specijalista za dijagnostiku). Utvrđivanje radnog stanja podrazumeva prethodno definisane kriterijume dozvoljenog i nedozvoljenog stanja.

RADNA SPOSOBNOST je stanje tehničkog sistema pri kome je on sposoban da izvrši svoju funkciju sa parametrima utvrđenim zahtevima tehničke dokumentacije. Odnosno, sposobnost sistema da vrši funkciju kriterijuma u određenim uslovima u toku određenog vremena realnog procesa eksploatacije.

ISPRAVNOST SISTEMA je tehničko stanje sistema pri kome on odgovara svim zahtevima ispravnosti, propisanim normativno-tehničkom dokumentacijom.

Simptom je opservacija kojom se dodatno opisuje moguće stanje tehničkog sistema, koje se javlja u toku rada. Simptom ili skup simptoma mogu da prouzrokuju otkaz.

Dijagnoza je, znači, procedura ili skup procedura kojom se određuju otkaz ili otkazi koji odgovaraju simptomu ili skupu simptoma.

U toku procesa eksploatacije mogu nastati izražene posledice zbog ispada tehničkog sistema iz rada. Tehnički sistem se podvrgava spoljnim i unutrašnjim dejstvima, što se odražava na njegovu radnu sposobnost. Pri radu tehničkih sistema na njih dejstvuju različite energije, što dovodi do izmene parametara pojedinih sastavnih delova sistema. Postoje tri osnovna izvora dejstva:

- energija okolne sredine, uključujući rukovaoce i održavaoce,
- unutrašnji izvori energije, povezani kako sa radnim procesima, tako i sa radom pojedinih sastavnih delova sistema, i
- potencijalna energija, koja je sakupljena u obrađivanim materijalima i u procesu njihovog korišćenja (montažni naponi, unutrašnji naponi u odlivcima i sl.).

Pri eksploataciji tehničkog sistema, na izmenu njihove radne sposobnosti utiču sledeći oblici energija: mehanička, toplotna, hemijska, elektromagnetna i dr.

Nabrojani oblici energije, dejstvujući na tehničke sisteme, izazivaju u njima niz neželjenih procesa, stvaraju uslove za pogoršavanje njihovih tehničkih karakteristika, što menja početne parametre sistema. Ti procesi su povezani, po pravilu, sa složenim fizičko - hemijskim pojavama i dovode do deformacije, habanja, loma, korozije i drugih vidova oštećenja, što doprinosi izmeni izlaznih parametara sistema i može dovesti do otkaza.

Deo procesa koji se dešavaju u tehničkom sistemu, utiče na njegove tehničke karakteristike. Ti procesi privremeno menjaju parametre sastavnih delova sistema u nekim

granicama bez progresivnog pogoršavanja. Najkarakterističniji primeri takvih procesa su elastična deformacija sastavnih delova sistema, temperaturne deformacije i dr.

Druga grupa su procesi koji vremenom dovode do progresivnog pogoršavanja tehničkih karakteristika sistema. Kao najkarakterističniji primeri javljaju se habanje, korozija, zamor, unutrašnji naponi i dr.

5.9. Dijagnoza stanja tehničkih sistema

5.9.1. Opšte

Tehnička dijagnostika je pomoćno sredstvo za obezbeđenje neophodne pouzdanosti sistema sa što manjim troškovima održavanja mašina.

Ona podrazumeva poznavanje teorija i metoda organizacije procesa dijagnoze tehničkih sistema a takođe i principe funkcionisanja i izgradnju sredstava za dijagnozu. Ispunjenjem prethodnih uslova, tehnička dijagnostika može da se primeni u više slučajeva određivanja stanja tehničkih sistema – objekata:

- određivanje stanja u kome se objekat nalazi u trenutku posmatranja, a to je zadatak dijagnoze,
- oceniti kvalitet dobijenog algoritma za sve mogućnosti i potrebe korišćenja,
- izabrati od postojećih ili razrađivati nova sredstva za dijagnozu kojima treba realizovati algoritam dijagnoze,
- oceniti kvalitet izabranih novoizabranih sredstava za dijagnozu sa stanovišta njihove pouzdanosti i tačnosti,
- istraživati eksperimentalni sistem dijagnosticiranja celog tehničkog sistema i dr.

5.9.2. Sistemi dijagnoze za određivanje stanja tehničkih sistema

Sisteme dijagnoze za određivanje stanja tehničkih sistema (mašina) možemo svrstavati u dve grupe [17]²⁶:

- sistem test dijagnoze, i
- sistem funkcionalne dijagnoze.

U sistemu test dijagnoze uticaj na objekat dijagnoze je postupan i dolazi od sredstava za dijagnozu. Vrstu i redosled prenosa uticaja možemo birati u početku uz uslov efektivne organizacije procesa dijagnoze.

Naredne uticaje određujemo zavisno od odziva na prethodni uticaj. Test uticaji mogu se upotrebljavati u periodu kada se objekat ne koristi po pravoj nameni, tako i u procesu izvršavanja prave namene funkcionisanja. U drugom slučaju test uticaji mogu biti samo sa takvim signalima koji ne utiču na normalan rad objekta. Test –uticaji koriste se kako za osnovne ulaze u objekat, tako i za dopunske ulaze koji se uvode specijalno za potrebe dijagnoze.

Uticaji na osnovne ulaze objekta u sistemu funkcionalne dijagnoze zadati su njegovim radnim algoritmom funkcionalnog osposobljavanja tehničkog sistema, posle otkaza, za namenu za koju je projektovan.

Kod oba vida sistema dijagnoze odzivi objekata ostvaruju se preko sredstava za dijagnozu. Odzivi se mogu uzimati kao osnovni izlazi sistema koji su neophodni za upotrebu objekata po nameni, kao i dopunski izlazi uspostavljeni samo za potrebe dijagnoze. Osnovne i dopunske izlaze nazivamo kontrolnim tačkama.

Elementarna provera obuhvata predaju ulaznih signala objektu i prijem i merenje odgovarajućih izlaznih signala (odziva). Sredstva dijagnoze realizuju neki algoritmi kao i način rezultata elementarnih provera objekata.

²⁶ [17] Adamović, Ž., „Tehnička dijagnostika“, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1998.

Za realizaciju tih operacija, sredstva dijagnoze treba da sadrže:

- izvor uticaja (za test – dijagnoze),
- merne uređaje (ugrađene ili prenosne), i
- uređaje veze.

Rezultate dijagnoze treba predstaviti u obliku koji je pogodan za praktično korišćenje. Rezultat dijagnoze treba da bude jedan od odziva:

- „sistem je ispravan“, ili
- „sistem je neispravan“.

Rezultate elementarnih provera prikupljenih u procesu realizacije algoritma treba dešifrovati. Dešifrovanje je poređenje fizičkih veličina signala u kontrolnim tačkama sa zadatim veličinama signala. Dešifrovanje rezultata elementarnih provera u procesu dijagnoze može vršiti i čovek u slučaju nedovoljne automatizacije.

Sredstva dijagnoze raspolažu određenom informacijom o ponašanju ispravnog sistema kao i o ponašanju u neispravnom stanju. Ove informacije su im neophodne za operaciju analize rezultata elementarnih provera. Fizički modeli sistema dijagnoze čine: sredstva za dijagnozu, aparatura za čuvanje informacija o ponašanju tehničkog sistema ili neki drugi nosilac tih informacija.

5.9.3. Vrste primene tehničke dijagnostike

Tehnička dijagnostika se primenjuje pri određivanju [17]²⁷:

- a) radnog stanja,
- b) stepena oštećenja,
- c) pouzdanosti, i
- d) kvaliteta (eksploatacije) i održavanja.

a) Određivanje ili utvrđivanje radnog stanja

Pri utvrđivanju stanja mere se važni radni parametri tehničkog sistema, koje su utvrdili proizvođači i koji se radi ekonomičnog funkcionisanja mašine moraju održavati u određenim tolerancijama. Ove mere dijagnostike su vrlo raznovrsne i zauzimaju znatan obim pri praktičnoj primeni tehničke dijagnostike. Tu spada, na primer, periodično ispitivanje pritiska ubrizgavanja kod dizel motora. Smanjivanje pritiska ubrizgavanja dovodi do lošeg rasprskavanja goriva (stvaranje čađi, povećanje habanja motora i dolazi do smanjenja njegove snage).

Slični primeri mogu se nabrojati za mnoge druge sklopove, po pravilu oni se odnose na merenje pritiska, temperature, protoka i zazora.

Kao posledica ovih mera dijagnostike često se vrše podešavanja i regulisanja mašina. U određenim slučajevima može biti potrebna i zamena nekih delova mašine.

b) Utvrđivanje stepena oštećenosti

Predstavlja onu vrstu primene tehničke dijagnostike koja je dovela do naročitog značaja dijagnostike. Pri tome se pomoću određenih postupaka dijagnostike utvrđuje koliko je oštećenje prouzrokovano radom mašine. Iz rezultata dijagnoze izvode se zaključci u odnosu na dalje korišćenje mašina ili o merama održavanja. Isti postupci dijagnoze primenjuju se iz traženja grešaka na mašinama na kojima je nastala neka smetnja. Ova vrsta primene tehničke

²⁷ [17] Adamović, Ž., „Tehnička dijagnostika“, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1998.

dijagnostike ima veliki značaj za utvrđivanje obima održavanja mašina koje se kampanjski koriste i koje se posle svake kampanje ili turnusa podvrgavaju merama održavanja.

Za utvrđivanje stepena oštećenja primenjuju se najčešće takvi postupci dijagnostike koji se odnose na merenje parametara koji se menjaju u zavisnosti od oštećenja. Pošto se, kada je reč o mašinama za utvrđivanje stepena oštećenja mašina, ne sme rastaviti direktno utvrđivanje oštećenja i nije moguće. Zato se stepen oštećenja mašina utvrđuje indirektno preko parametara ili spoljnih pojava koje su u zavisnosti sa oštećenjem. Pri tome se pretpostavlja da su stepeni oštećenja i merni parametri u direktnoj i nama poznatoj zavisnosti.

c) Utvrđivanje pouzdanosti

Pri utvrđivanju pouzdanosti pomoću tehničke dijagnostike utvrđuje se, između ostalog, da li je zadovoljena potrebna radna sposobnost i sigurnost od havarije. Za ovu vrstu primene, tehničke dijagnostike primenjuju se razni postupci dijagnostike. Na osnovu veće zastupljenosti automatizacije i mehanizacije i značaj tehničke dijagnostike za radnu sposobnost je veći. Taj značaj će u budućnosti sve više rasti [17]²⁸.

d) Ispitivanje kvaliteta proizvoda

Zbog povećanih zahteva za sigurnost i raspoloživost mašina, kontrola kvaliteta dobija na kraju nekog proizvodnog procesa ili procesa održavanja sve veći značaj. Pošto se kontrola kvaliteta vrši skoro na svim mašinama, za kvalitetno procenjivanje stanja mašina moraju se naći odgovarajući postupci tehničke dijagnostike. Iako se u tehničkoj kontroli kvaliteta u ovom trenutku samo u malom broju proizvodnih pogona i pogona za održavanje primenjuju postupci tehničke dijagnostike, očekuje se da će se u budućnosti otvoriti jedna velika oblast primene tehničke dijagnostike.

Postupci dijagnostike pri tehničkoj kontroli trebalo bi da bude isti kao i za vreme korišćenja u okviru preventivnog održavanja. Pri tome se dobija prednost kroz kontrolu kvaliteta, pomoću postupaka dijagnoza se izvrši merenje nultog stanja, i treba odrediti i polazne parametre za kasnije ocenjivanje stepena oštećenosti.

e) Oblici primene tehničke dijagnostike

Za primenu mera tehničke dijagnostike na raspolaganju su načelno dva oblika:

- stalna ili permanentna dijagnoza, i
- periodična dijagnoza.

Kod permanentne dijagnoze uređaji za dijagnostiku su ugrađeni u samu mašinu, oni na osnovu izabranih dijagnostičkih parametara kontrolišu sklopove sistema za vreme njegovog rada. Nastupajuće nedozvoljene promene stanja se pri tome trenutno analiziraju. Prekidi rada sistema u svrhu dijagnoze u tom slučaju nisu potrebni. Ovim prednostima kao nedostatak pojavljuje se potreba za povećanim ulaganjem u uređaje za dijagnostiku, pošto svaka mašina mora da raspolaze uređajima koji, sa druge strane, zahtevaju dodatna ulaganja u svoje održavanje. Suprotno tome, kod periodičnih dijagnoza mere dijagnostike se primenjuju posle određenog vremena rada mašina ili posle propisanih izvršenih radova. Mašina se pri tome, može i isključiti iz procesa proizvodnje. Nasuprot nedostatku isključenja mašine iz procesa proizvodnje stoji prednost manje potrebe za uređajima za dijagnostiku (ugrađenih) i mogućnost primene boljih dijagnostičkih uređaja. Periodična dijagnoza predstavlja trenutno a

²⁸ [17] Adamović, Ž., „Tehnička dijagnostika“, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1998.

najverovatnije i u budućnosti glavni oblik primene dijagnostike. Permanentna dijagnoza će se ograničiti na funkcionalnu kontrolu, kontrolu stanja vrlo važnih sklopova mašine.

Permanentna dijagnoza se trenutno primenjuje u brojnim slučajevima. Njome se, npr., kontroliše stepen zaprljanosti filtera kod mašina, pomoću jednog elektronskog kontrolnog uređaja. Kod kompresora postoje uređaji za kontrolisanje nivoa ulja sa automatskim dopunjavanjem i za kontrolu stepena istrošenosti.

Treba računati da će se oblici primene tehničke dijagnostike sa porastom komplikovanosti mašina i rastućim zahtevima za pouzdanost mašina, u budućnosti još u većoj meri primenjivati.

5.10. Osnovni postupci tehničke dijagnostike

Metode dijagnostike (ili postupke dijagnostike) moguće je klasifikovati prema sledećim obeležjima [17]²⁹:

1. Prema nameni:
 - tekuće,
 - sa karakterom prognoze.
2. Prema karakteru i obimu iskorišćene informacije:
 - determinisane,
 - statističke.
3. Prema metodološkom postupku i kontroli tehničkog stanja objekta:
 - u prostoru parametra,
 - u prostoru signala.
4. Prema primeni sredstava tehničke dijagnostike:
 - subjektivne,
 - objektivne.
5. Prema temeljnosti dijagnostike:
 - opšti,
 - veoma temeljne.
6. Prema načinu dobijanja dijagnostičke informacije:
 - testirajuće,
 - funkcionalne,
 - kombinovane.
7. Prema tipu upoređene informacije:
 - korelacione metode,
 - spektralne i spektralno-korelacione metode,
 - metoda kalibracionih (normiranih) zavisnosti,
 - metoda kalibracionih (normiranih) modula,
 - metoda kalibracionih (tipiziranih) oscilograma,
 - metode upoređivanja i superpozicije oscilograma,
 - metode vremenskih intervala,
 - metode utvrđivanja graničnih stanja.
8. Prema tipu kontrolisanih parametara:
 - parametarske,
 - prema kvalitativnim obeležjima.
9. Prema tipu dijagnostičkog modela objekta:
 - fenomenološke,
 - fizičke,

²⁹ [17] Adamović, Ž., „Tehnička dijagnostika“, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1998.

- matematičke.
10. Prema tipu promene parametra objekta:
 - metode dijagnostike diskretnih objekata,
 - metode dijagnostike neprekidnih objekata.
 11. Prema načinu podele objekta:
 - bez rastavljanja,
 - po agregatima (agregatne celine),
 - po delovima,
 - sa zamenom kontrolisanih delova – delovima sa poznatim tehničkim stanjem.
 12. Prema korišćenju prikupljenih informacija za postavljanje dijagnoze:
 - sa korišćenjem prikupljenih informacija,
 - bez korišćenja prikupljenih informacija,
 - sa korišćenjem adaptivnih metoda.
 13. Prema metodama podele dijagnostičkih osobina [12]³⁰:
 - linearne metode podele,
 - metode podele u dijagnostičkom prostoru,
 - metode orjentisanih funkcija,
 - metode potencijala,
 - metode stohastičke aproksimacije,
 - metričke metode,
 - logičke metode.
 14. Prema količini informacija;
 - mestu i uzorku otkaza,
 - trenutku, mestu i uzroku otkaza.

Pored ove postoje i mnoge druge podele postupaka tehničke dijagnostike u literaturi.

5.10.1. Objektivni postupci tehničke dijagnostike

U narednim poglavljima biće objašnjeni sledeći objektivni postupci tehničke dijagnostike [11]³¹:

- postupci kontrole radnih parametara (energetski, toplotni i drugi postupci),
- vibroakustični postupak,
- postupci kontrole produkata habanja i sagorevanja (kontrola hemijskih sastava),
- postupci geometrijske kontrole (utvrđivanje dimenzija),
- postupci ispitivanja (kontrole) bez razaranja (ultrazvuk, radiografija i dr.),
- postupci ispitivanja (kontrole) korozije,
- postupci kontrole električnih parametara,
- ostali postupci (opšti, lokalni, specijalni, laboratorijski i dr.).

5.10.1.1. Postupci kontrole (merjenja) radnih parametara

a. Osnovne karakteristike. – Tehničko stanje nekog tehničkog sistema uslovljeno je tehničko-tehnološkim rešenjima, koja određuju pogonske uslove, konstruktivna izvođenja i karakteristike materijala. Pri analizi tehničkog stanja sistema, da bi se sagledali njegovi uticaji,

³⁰ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

³¹ [11]. Adamović Ž., Paunjorić P., Metode optimizacije tehničke dijagnostike, Akademija inženjerstva održavanja Srbije, Beograd, 2008.

mora se poći od uzroka nastajanja toplotne energije, koja može poticati od tehnološkog procesa ili od samog sistema (trenje u ležištima i sl.).

Praćenjem tehničkog stanja može se izvesti zaključak o intenzitetu razmene toplote i eventualnim odstupanjima od veličina definisanih pravila za rukovanje i održavanje sistema.

Daljom analizom uzoraka nastalih promena u termičkom stanju može se doći do saznanja o vrsti i veličini neispravnosti u sistemu.

Kontinualno se mogu pratiti termička stanja složenih i za proces proizvodnje vitalnih tehničkih sistema, čiji otkaz može izazvati veliki zastoje u proizvodnji. Na ovim tehničkim sistemima ugrađuju se temperaturni davači, koji električni signal o termičkom stanju prenose do dijagnostičkog centra (Služba dijagnostike u okviru Pripreme održavanja).

Prisustvo ili odsustvo temperature, njena visina, raspodela ili odstupanje od normalne vrednosti daju dosta preciznu procenu tehničkog stanja sistema.

Praćenjem temperature omogućeno je:

- da se manuelno kontroliše temperatura ili da se vrši nadzor nad pravilnim kontrolisanjem temperature,
- da se otkrije promena temperature usled neispravnog rada dela sistema,
- da se otkrije promena u provođenju toplote kroz ili van njega izazvana neispravnim radom sistema ili stvaranjem naslaga u suprovodnim delovima.

Praćenjem temperature dobijamo termičko stanje koje nam omogućava ne samo blagovremeno pronalaženje neispravnih delova u sistemu, i u sprečavanju težih otkaza, već i dobijanje niza važnih podataka za statističku analizu, analizu kvaliteta, trajnost sistema, kao i periodičnost aktivnosti održavanja.

Za praćenje termičkog stanja mogu se primeniti sledeće metode:

- kontaktne (termoelementi, termistorski termometri, električni otporni termometri i merni elementi na principu termičke ekspanzije)
- beskontaktne (optički pirometar, pirometar za zračenje i termovizijska kamera), i
- indikatorske (osetljivost pojedinih boja, kreda, papira i kuglica na promenu temperatura).

Kod kontaktnih metoda merni element je u neposrednom kontaktu sa sredinom čija se temperatura meri. Tačnost merenja uslovljena je nizom faktora koji određuju mogućnost toplotnog kontakta mernog elementa i merne sredine. S gledišta održavanja, posebno je važna mogućnost praćenja termičkog stanja čvrstih delova sistema na osnovu čega se može doneti ocena o termonaponskom stanju sistema. Merenjem temperature fluida, pored ocene stanja procesa, može se indirektno sagledati temperaturno stanje sistema.

Beskontaktne metode zasnivaju se na principu merenja elektromagnetne energije zračenja. Ove metode su vrlo pogodne za primenu u održavanju, jer omogućavaju brzo utvrđivanje radne sposobnosti odnosno tehničkog stanja celog sistema pri periodičnim kontrolama. Za ovo su naročito pogodne termovizijske kamere koje mogu dati sliku (i na fotografiji) temperaturnog polja sistema.

Indikatorske metode se zasnivaju na osetljivosti pojedinih materijala (boje, krede, papira, kuglice) na promenu, odnosno porast temperature. Primenom ovih materijala može se samo ustanoviti približno postignuta maksimalna temperatura neke površine, što u praćenju stanja nema većeg značaja, ali ima za razne radove održavanja.

Prema navedenim mernim metodama, očigledno je da se praćenje termičkog stanja može organizovati kao:

- Kontinualno praćenje stanja, i
- Periodično praćenje stanja

b. Uticaj termičkog stanja na delove tehničkog sistema. – Termičko stanje jednog tehničkog sistema uslovljeno je nizom faktora, koji se mogu grupisati u tri osnovne celine:

- pogonski uslovi,
- konstruktivno – tehnološko izvođenje,
- karakteristike i svojstva materijala.

Tehnološkim procesom definisani pogonski uslovi određuju intenzitet razmene toplote u pojedinim sistemima, a konstruktivno izvođenje i primenjeni materijali svojim karakteristikama određuju stvarno i predstavljaju ograničenja za dopušteno termičko stanje. Prema tome, praćenje termičkog stanja mora omogućiti sagledavanje termičkog stanja s obzirom na sve tri navedene grupe faktora.

U delovima tehničkih sistema termičko stanje manifestuje se kao:

- termičko naprezanje,
- termičke deformacije i
- termičke dilatacije.

Pri promeni režima rada, odnosno promeni opterećenja tehničkog sistema, dolazi do znatnih termičkih naprezanja usled promene intenziteta i pravca toplotnog fluksa koji s radnog medijuma prelazi na čvrste delove sistema. Promene su naročito intenzivne u masivnim delovima, kao što su rotori i kućišta parnih turbina.

Da bi se ostvarila odgovarajuća pouzdanost i gotovost tehničkih sistema, neophodno je definisati kriterijume dozvoljenog termičkog stanja. Ovi kriterijumi se mogu realizovati:

- pogonskim propisima za rukovanje sistemom,
- praćenjem stanja kritičnih delova,
- ostavljanjem sigurnosnih uređaja.

Na taj način se može postići ograničavanje i praćenje veličina koje mogu dovesti do oštećenja delova sistema. S obzorom na termičko stanje neminovno dovodi do umanjena karakteristika čvrstoće delova, praćenjem termičkog stanja možemo to umanjeno kvalitativno izraziti.

Kada se razmatra termičko stanje tehničkih sistema da bi se sagledali njegovi efekti, mora se poći od izvora toplotne energije u sistemu. Prema tome, u jednom sistemu izvor toplotne energije može biti od procesa (sagorevanje goriva u kotlu, para u turbini) ili od samog sistema (trenje u ležištima). Praćenjem termičkog stanja, poznavajući izvore toplote u sistemu može se doneti zaključak o intenzitetu razmene toplote u pojedinim delovima i na osnovu toga zaključiti:

- umanjenu mehaničkih karakteristika pojedinih delova,

- oštećenju površina za razmeru toplote,
- zaprljanju površina za razmeru toplote,
- oštećenju izolacionih materijala,
- oštećenju ležaja,
- oštećenju električnih komponenata i instalacija itd.

c. Metode merenja temperature. – Merenje temperatura može se izvesti: kontaktnim termometrom, termoparovima, termistorima, temperaturnim kredama i bojama, i infracrvenim detektorima. Metode merenja određuju se na osnovu mernog mesta merenja temperature.

Nijedna metoda merenja nije univerzalno primenjiva već je ograničena svojim karakteristikama, bilo da je reč o površinskim merenjima temperature, ili o unutrašnjosti nekog uređaja.

Termovizija se nezamenjivo potvrdila i našla svoju primenu u svakodnevnoj praksi: u industriji čelika, cementa i sličnim industrijama, postoje brojni postupci koji su vezani za stvaranje, očuvanje i distribuciju toplote energije, a mnogi procesi delovanja rada i kontrole su vezani za temperaturu.

Zahvaljujući termoviziji, u ovim industrijskim sistemima načinjen je veliki korak u dijagnosticanju stanja ozida u visokim pećima, livnim loncima, konvertorskim posudama za tečni metal, rotacionim pećima i sl. Stanje ozida, npr. kod vagona (lonca koji služi za transport od visoke peći do konvertora), ranije je određivano na osnovu prenete količine tečnog metala. Sada pomoću termovizije kontinualnim praćenjem temperatura na omotaču, koje su u direktnoj zavisnosti od stanja ozida, određujemo granicu bezbednog rada i vremena početka remonta lonca. Posle izvršenog ponovnog ozida, termovizijom se vrši kontrola izvedenih radova (primer iz industrije čelika).

Primenom termovizije omogućena je kontrola ozida na svim procesnim pećima i dimnjacima, zatim sa pronalaženjem zacepljenja i prskanja cevovoda, kontrola izolacija cevi utvrđivanje nivoa tečnosti u rezervoarima, ne prekidajući proces rada sistema i dr.

5.10.1.2 Merenje ugaone brzine i broja obrtaja

a. Opšte karakteristike. – Merenje ugaone brzine i broja obrtaja koristi se za proveru rada motora, turbogeneratorskih, vretena alatnih mašina i dr. Sem toga, merenje brzine vozila svodi se na merenje ugaone brzine. Pribore za merenje ugaone brzine obrtanja vratila mašina nazivamo tahometri. Po principu rada oni mogu biti: mehanički (centrifugalni, frikcioni, vibracioni i sl.), magnetno – indukcioni, električni, elektro – impulsni, fotoelektrični i stroboskopski [12]³².

b. Indukcioni tahometar s vihornim strujama. – princip ovog tahometra zasniva se na elektromagnetskoj indukciji. Permanentni magnet obrće se zajedno sa osovinom koja je u vezi

³² [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

s mernim objektom čije se n meri. U polju magneta NS nalazi se cilindar u obliku čaše od dijamagnetnog materijala (Cu, Al, bronza).

c. Indukcioni tahogeneratori. – Postoji više varijanti indukcionih tahogeneratorsa za merenje broja obrta odnosno obrta ugaone brzine:

- sa obrtnim kalemom na rotoru i nepokretnim permanentnim magnetima u statoru
- sa obrtnim višepolnim permanentnim magnetom – rotorom i nepokretnim namotajima u statoru.

d. Merni princip stroboskopskog efekta. – Stroboskopski efekat omogućuje ispitivanja i merenja periodičnih odnosa repetitivnih pojava na pokretnim objektima, koristeći bljeskajuću svetlost koja se emituje na merni objekat i čiji se učestalost bleskanja može podešavati. Sinhronizacijom učestalosti bljeskajuće svetlosti sa učestalošću pojave, tj. merne veličine, dobija se utisak da objekat miruje. Ta pojava nastaje zbog inercije čovečjeg oka koje brze redoslede kratkih blesaka prima kao neprekidnu svetlost.

Stroboskop ima elektronsku „bljeskalicu“ (elektronsku cev) punjenu neonom ili ksenonom. Na rešetku cevi dovode se periodični impulsi čija se učestalost može podešavati npr. pomoću multivibratora. Na mernom objektu obeleži se jasna kontrastna oznaka, npr. bela crta ili slično.

5.10.1.3 Merenje pritiska

a. Opšte. – Često dolazi do otkaza delova mašine zbog maksimalnog pritiska i oscilacija pritiska u delovima sistema. U praksi se ne može uvek jednostavnim sredstvima pomoći, a da pri tome ne dođe do ograničenja produktivnosti koja se zahteva od mašine. Da bi se odstranio ili bar smanjio maksimalni pritisak najpre treba objasniti kako da se izmere maksimalni pritisci i kolebanja pritiska u kružnom kretanju (ciklusu). Potrebna je pogodna metoda o kojoj će ovde biti reči.

b. Uobičajene primenljive metode merenja. – Za merenje pritiska obično se koristi manometar. Manometri mogu da se priključe pomoću cevnog zavoja na svako mesto ciklusa tako da se registruje pritisak koji vlada na određenom mestu.

Pritisak koji traje duže vreme može besprekorno da se meri na ovaj način.

Manometri imaju određenu inerciju i ne mogu reagovati na kratko trajanje pritiska.

Za ispitivanje pojave i merenja toka pritiska u cevima i komandnim organima preporučuju se opsluživanje „boljim“ mernim uređajima ili njihovo razdvajanje od slučaja do slučaja.

5.10.1.4. Merenje obrtnog momenta

a. Opšte. – U zavisnosti od režima rada mašine, obrtni moment može da bude statički i dinamički, dok dinamički moment može da bude stacionaran ($dM/dt = 0$) i nestacionaran $M(t) \neq 0$.

Merenjem dinamičkog obrtnog momenta saznajemo o karakteru opterećenja (ravnomerno, periodično, impulsivno itd.), čime se otkrivaju (dijagnosticiraju) uzroci i postupci za njihovo odstranjivanje.

b. Merenje obrtnog momenta (momenta torzije) tenzometarski mernim trakama. – Kod vratila opterećenih na torziju na površini se javljaju tangencijalni naponi pri čemu merne trake treba zalepiti pod uglom α u odnosu na izvodnicu vratila pri kome se javljaju maksimalne dilatacije.

c. Mehanički torziometar sa stroboskopskom indikacijom obrtnog momenta. – Ovaj torziometar služi za merenje obrtnog momenta koji primaju radne površine kao što su: centrifugalne pumpe, ventilatori, turbokompresori i generatori. Koristi se i za merenje obrtnog momenta elektromotora, motora s unutrašnjim sagorevanje i dr. Torziometar se pri merenju stavlja između pogonske i radne mašine. Ovaj torziometar se primenjuje za merenje konstantnih (stacionarnih) obrtnih momenata.

5.10.1.5. Merenje mehaničke snage

Za merenje snage, rada i stepena iskorišćenja, koji su po prirodi proizvod ili količnik dveju mehaničkih veličina, koriste se složene računarske operacije. Mehanička snaga je proizvod obrtnog momenta i broja obrtaja, npr. kod motora s unutrašnjim sagorevanje pritiska i protoka fluida, kod hidrauličkih motora ili sile i brzine kod motornih vozila. U svakom slučaju moraju se izmeriti dve međusobne nezavisne veličine i združiti u proizvod. Multiplikacija se vrši računskim ili električnim putem. Osim toga, za određivanje stepena iskorišćenja potrebno je najpre izmeriti ulaznu i izlaznu snagu, pre nego što se obrazuje količnik.

Posebno mesto zauzima merenje indicirane snage motora sa unutrašnjim sagorevanje. Pri tome se pritisak u cilindru, u zavisnosti od puta klipa ili ugla kolenastog vratila, najčešće meri pijezelektričnim davačima s katodnim osciloskopom[12]³³.

5.10.1.6. Merenje vremena

Većina mernih parametara sistema zavisi od vremena, odnosno vremenske su funkcije. Zbog toga je potrebno meriti vreme. Za te svrhe koristi se konvencionalni i specijalni merači vremena. Pored uobičajenog merenja vremena, potrebno je meriti i trenutke vremena, odnosno kratke intervale, kao npr. tačku paljenja smeše kod motora SUS i sl.

5.10.1.7. Merenje tvrdoće

Osnovni postupci za merenje tvrdoće su nemehaničke i mehaničke prirode. Pri tome se koriste statističke (Rokvel, Vikers i dr.) i dinamičke (udarni otisak po mineraloškoj skali i dr.) metode određivanja tvrdoće.

5.10.1.8. Primena termografije

Tokom eksploatacije putničkih vučenih voznih sredstava, primećeni su tehnički problemi na ležajevima osovinskih sklopova. Tehnički problemi su se ogledali u isticanju masti iz kućišta ležajeva i tamnom obojenju masti. Postojala je sumnja u pojavu nehomogenih raspodela temperatura u zoni podmazivanja osovinskih ležišta u eksploataciji predviđeno je eksploataciono ispitivanje, sa ciljem utvrđivanja raspodele temperatura i zona zagrevanja

³³ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

osovinskih ležišta, koje bi mogle da izazovu visoku penetraciju, termičku degradaciju i isticanje masti. Ispitivanja su vršena pomoću termovizije[12]³⁴.

Merenja termovizijskom kamerom spadaju u grupu nedestruktivnih ispitivanja i omogućuju kontinualno, precizno i brzo određivanje raspodela temperatura sklopa, koji se analizira u realnim uslovima. Analizom dobijenih termovizijskih informacija omogućava se višeznačna uporedna komparacija termograma i ostalih izmerenih veličina. Time se dobija sveobuhvatna analiza problema (Tabela 5.1).

UGAO						
Oznaka ležaja	Srednja vrednost	Standard. devijac.	Standard. greška merenja	Minimalna vrednost	Maksimalna vrednost	Raspon
FB529689	101.84	1.680	0.751	99.48	104	4.52
7020B	82.75	4.178	1.868	77.94	86.06	8.12
7020B	59.79	3.100	1.386	56.94	64.38	7.44

Tabela 5.1 Statistička analiza izmerenih segmenata zagrevanja ležaja

Iz prikazanih rezultata može se izvući, pre svega, zaključak da kod ležajeva u eksploataciji dolazi do formiranja asimetričnih temperaturnih polja. Iako prema teoriji treba da postoje četiri oblasti na ležaju u kojima dolazi do različitih termičkih opterećenja, u izvršenim eksperimentima takva pretpostavka nije dokazana, ako se radi o snimanjima termovizijskom kamerom iz aksijalnog pravca. Eksperimenti su pokazali da do stvaranja zona sa povišenom temperaturom dolazi posredstvom fluida za podmazivanje ležaja. Ta činjenica je interesantna, jer pokazuje da se zagrevanje fluida za podmazivanje ležaja vrši na jednom uskom delu površine ležaja i da se generisana toplota prenosi na ostale delove ležaja upravo fluidom za podmazivanje.

Kompleksniji slučaj zagrevanja samog ležaja je onaj kada se ležaj optereti iz bilo kog pravca. U tom slučaju nastaje vrlo kompleksna slika raspodela temperatura na samom ležaju, kako je to konstantovano termovizijskim snimcima. Eksperimenti su pokazali da se svojevrsan temperaturni otisak ležaja formira jako brzo i ne menja tokom vremena.

Snimanje temperaturne projekcije na oplatu (kućište) ležišta imalo je dvojaku ulogu. Prva je da se analizira mogućnost dobijanja korisnih informacija za snimanje u eksploataciji, kako bi se izvršile sve potrebne korekcije (emisivnost ekstincija na realnom ležištu vagona). Drugi razlog ispitivanja je bio utvrđenje rezolucije same termovizijske kamere, odnosno utvrđivanje nivoa temperaturnih fluktuacija, koje se mogu detektovati na realnom ležištu. Dobijeni rezultati su pokazali da je dizajniran termovizijski akvizicioni sistem potpuno adekvatan za namenu snimanja temperaturnih promena na realnom ležištu u toku eksploatacije.

Što se tiče same masti koja je korišćena za podmazivanje, u sistemu nije došlo do pregrevanja, a izvršena analiza uzorka masti posle tretmana, nije pokazala nikakve značajne promene.

³⁴ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

Temperature na ležištu nisu značajno različite, ali postoji jedan mali deo na spoju poklopca ležišta, gde dolazi do značajnijeg zagrevanja.

Postojali su uslovi za stvaranje površine na kojima bi moglo doći do lokalnog pregrevanja masti, a samim tim i do promena fizičkih svojstva (viskoziteta) same masti.

Kamera za termovizijsko snimanje ležišta bila je postavljena u položaju koji je omogućavao snimanje celokupnog ležišta. Na snimcima se uočava asimetrično grejanje ležišta. Topliji deo ležišta je bliže točku odnosno otvoreni deo ležišta se više zagreva.

Termovizijskim snimanjima ležišta, uočeno je i lokalno pregrevanje na sredini kućišta.

5.10.2. Postupci kontrole produkata habanja i sagorevanja

5.10.2.1. Metode kontrole kvaliteta ulja i maziva

- a) **Opšte karakteristike.** – Danas je u svetu razvijeno više metoda kontrole i ispitivanja ulja u eksploataciji na osnovu kojih se može pratiti tehničko stanje sistema. Prema vrsti parametara, odnosno veličina do kojih se želi doći merenjem, postoje metode zasnovane na kontroli i merenju fizičkih veličina u sistemu za podmazivanje, odnosno hidrauličkom sistemu (pritisak, zapremina, protok, vreme izvršenja ciklusa i dr.), metode zasnovane na kontroli, merenju i analizi sadržaja produkata habanja u ulju (količine, oblika, sastava, veličine, trenda porasta) i metode zasnovane na merenju promena određenih karakteristika ulja (izgled, viskozitet, temperatura paljenja, temperatura sitnjavanja, sadržaj vode, ukupni bazni broj, dielektrična čvrstoća, oksidaciona stabilnost i dr.) [12]³⁵.

Redovnom kontrolnom zapreminom ulja u koritu motora može se doći do podataka o veličini potrošnje ulja za podmazivanje (prekomerna potrošnja znači istrošenje klipnih prstenova).

Odstupanje od normalnog trenda porasta količine produkata habanja u ulju je znak da su moguća znatnija oštećenja, što ukazuje na potrebu potpune dijagnostike kako bi se ustanovio uzrok habanja.

Veći deliци produkata habanja nošeni uljem sakupljaju se u filteru kao i ostale nečistoće, ili na magnetnom sakupljaču. Ispitivanjem ovih nečistoća pod mikroskopom može se dobiti osnovna informacija o veličini i obliku delića, a spektrometrijskim metodama određuje se sastav.

Manji deliци koji prolaze kroz uloške filtera nalaze se u suspenziji u ulju.

Utvrđivanje prisustva delića metala u suspenziji daje najranije upozorenje da se delovi sistema oštećuju. Određivanjem sastava produkata habanja može da se utvrdi njihov izvor nastajanja. Poznavanjem vrste konstruktivnih materijala od kojih su izrađeni delovi sistema i poređenjem sa produktima habanja dolazi se do zaključaka koji su delovi izloženi habanju.

- b) **Metode ispitivanja promene svojstava maziva.** – Uobičajeno je da se u praksi vrlo često govori, s jedne strane o konvencionalnoj ili klasičnoj laboratorijskoj tehnici i metodologiji kontrole kvaliteta maziva, i sa druge strane o modernoj instrumentalnoj

³⁵ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

tehnici, koja je poslednjih godina toliko usavršena da u potpunosti pruža željene podatke. S obzirom na kompleksnost ove problematike, u praksi se, naravno u zavisnosti od opremljenosti pojedinih laboratorija, koristi kombinovano sve poznate metode ispitivanja promene svojstava maziva u toku eksploatacije. Dugi niz godina laboratorije, koje su bile angažovane na analitici maziva iz eksploatacije, proveravala određenje fizičko – hemijske promene kao što su :

- viskoznost na različitim temperaturama ,
- temperatura paljenja,
- neutralizacioni broj (kiselinski broj),
- sadržaj nerastvorenih materijala u organskim rastvaračima,
- dijalektrična konstanta ulja,
- sadržaj goriva,
- sadržaj vode,
- boja i dr.

Daljim usavršavanjem metode ispitivanja ista su se proširila i na određivanje kontaminacije maziva se česticama metala kao i određivanje same hemijske promene ulja i to ne samo kvalitativno već i kvantitativno. Dosta je bilo rasprostranjena i tehnika tzv. Papirne hromatografije ili „uljna mrlja“ radi kvalitativne procene naročito kod upotrebljivih motornih ulja po principu „ ide-ne ide“ .

Najznačajnije su danas sledeće metode :

- gasna hromatografija,
- atomska apsorpcija i emisiona spektroskopija,
- infracrvena spektroskopija,
- ultraljubičasta spektroskopija,
- masena spektroskopija i
- nuklearna magnetna rezonansa i dr.

Sve ove metode primenjene izolovano daju određenje informacije o ispitivanom organskom jedinjenju. Međutim, njihova puna snaga, i u mnogo čemu komplementarnost, sagledava se tek kombinovanjem podataka dobijenih pomoću više njih; tek tada fragmentarne informacije i pojedini delovi strukture počinju da se uklapaju u jednu logičku celinu. Kombinovana spektroskopska analiza, zajedno sa gasnom hromatografijom kao separacionom metodom predstavlja najmoćnije sredstvo sa kojim savremena analitika organskih jedinjenja raspolaže. U kombinaciji sa ovim tehnikama koriste se i neke druge, kao što je npr. membranska filtracija, pa iako sve one nisu standardizovane, veoma su široko primenjene.

Najznačajnije među ovim metodama su pre svega atomska spektroskopija i diferencijalna infracrvena spektrofotometrija, koje u kombinaciji sa membranskom filtracijom pružaju najveći broj najpouzdanijih podataka.

- c) **Atomska spektroskopija.** – I atomska apsorpciona i atomska emisiona spektrofotometrija su metode preko kojih se određuje sadržaj metala u uljima. S obzirom na mogućnosti koje pruža, ovom metodologijom se određuju metali u ulju bez

obzira na njihovo poreklo te se tako dolazi do podataka o intenzitetu habanja pojedinih delova, o kontaminaciji ulja u toku eksploatacije, naravno uzimajući u obzir koncentraciju određenih elemenata koji potiču iz aditiva.

S obzirom na različito poreklo pojedinih elemenata, pri ispitivanju ulja metali se posebno određuju iz uljnog dela, a posebno iz nerastvorenog dela radi analize procesa habanja, ređe, kontaminacije. Primera radi, olovo se pojavljuje u ulju i kao proizvod habanja ležajeva kod motora sa unutrašnjim sagorevanjem, a takođe i kao čisti kontaminant iz etiliziranog benzina. Sličan primer važi i za aluminijum čije je prisustvo u motornom ulju u principu vezano za habanje aluminijumskih klipova ali isto tako da bude prisutan i iz prašine ili drugih nečistoća iz okolne atmosfere. Bor je u principu kontaminant iz razhladnih fluida motora sa unutrašnjim sagorevanjem koji sadrže bor, a takođe je i aktivni ingredijent aditiva upotrebljenih u formulacijama motornih ulja. Slično je sa kalcijumom koji je u formi detergentnog disperzanta deo aditiva ili spoljne kontaminacije sa vodom ili, čak, iz prašine kod nekih lokaliteta.

Atomskom apsorpcionom spektrofotometrijom fosfor se ne može direktno analizirati, a ova metoda takođe ima i lošu senzibilnost za određivanje bora, dok je korelacija između dobijenih rezultata za kalcijum kod različitih laboratorija ponekad loša, pre svega zbog teškoća da se održi konstantna viskoznost rastvora ulja o organskom rastvaraču [12]³⁶.

Za istraživanje u ovoj oblasti, a isto tako i za praksu, važna je činjenica da se atomskom apsorpcionom spektroskopijom u pogledu sadržaja gvožđa, u principu dobijaju nešto niže vrednosti u odnosu na one dobijene emisionom spektroskopijom. Za proučavanje stepena hemijskih primesa maziva u toku eksploatacije, kao i za, identifikaciju kontaminacije nekim drugim, pre svega spektroskopske metode. Najširu primenu našle su masena spektrometrija, nuklearna magnetna rezonanca, ultraljubičasta i infracrvena spektrofotometrija. Sve ove metode zasnivaju se na određenim fizičkim osobinama materije.

- d) Infracrvena spektrofotometrija.** – Značaj infracrvene spektrofotometrije, primenjene za analizu hemijskih promena kao i kontaminacije kod maziva, je i u činjenici da se veoma veliki broj značajnih podataka može dobiti a da se na uzorku ne vrši separacija, tj. razdvajanje komponenata. U onoj oblasti najviše se koristi diferencijalna infracrvena analiza. Kod ove analize u spektrofotometru sa dvostrukim talasom upoređuju se dva uzorka, i to uzorak ulja iz eksploatacije sa uzorkom svežeg ulja. Opet u zavisnosti od intenziteta apsorpcije kvantitativno, u jedinicama apsorpcije ili zapreminskim procentima, dobija se istovremeno više vrednih podataka. Intenzitet apsorpcije dobija se merenjem apsorpcije različitih talasnih dužina od osnovne linije i podelom iste debljinom ćelije u centimetrima.
- e) Membranska filtracija.** – Ova analiza se obavlja na vrlo jednostavnoj aparaturi i zasniva se na filtriranju u vakumu prethodno odmerene količine uzoraka ulja rastvorenog u N-pentanu, kroz odabrane kalibrisane membrane. Ove membrane su

³⁶ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

izgrađene na bazi celuloznih estara i imaju pore jednakih dimenzija koje su ravnomerno raspoređene po njihovoj površini.

Pod uslovom da se analiza obavlja pedantno, dobijeni rezultati se veoma dobro podudaraju sa određivanjem veličine čestica putem elektronskog mikroskopa. Suštinski značaj membranske filtracije je dvojak. Pre svega dolazi se do podataka o trenutku pojave rasta veličine čestica nastalih procesom starenja ulja, odnosno do njihove aglomeracije.

f) Postupak uzimanja uzoraka. – Uzimanje uzoraka je osnovni preduslov za dobijanje pouzdanih rezultata u analitici istrošenih čestica.

Uzorci ulja treba da omogućavaju dobijanje prosečnog sastava ukupnog ulja; osim toga, svi se uzorci moraju uzimati po istom postupku. Vremenski razmak uzimanja uzoraka zavisi od mašine o kojoj je reč i načina njenog korišćenja.

Za određivanje veličine i oblika istrošenih čestica se primenjuje polarizacioni, svetlosni mikroskop sa svetlosnim izvorima iznad i ispod uzoraka i jednim grejnim telom. Elektronski mikroskop je, nasuprot tome, podešen za uveličavanje malih čestica, kao i za kvalitativnu i kvantitativnu hemijsku analizu.

Podela čestica habanja po veličini može se odrediti optičkom procenom raspoređenosti po staklenoj ploči. Udeo malih i velikih čestica se može meriti registrovanjem intenziteta svetlosti duž jedne određene linije.

Razlika između metalnih i nemetalnih čestica može se utvrditi svetlosnim mikroskopom. Razne metalne čestice određuju se prema boji. Uvođenjem gasova, isparenja ili drugih reagensa izaziva se promena boje. Osim toga, gvozdene čestice, koje se nalaze na staklenoj ploči, razvijaju boje otpuštanja tipične za čelik, putem zagrevanja specijalnim postupkom.

Na osnovu oblika i veličine istrošenih čestica dobijaju se podaci o stanju istrošenosti. Osnovni tipovi vrsta habanja su adhezivno habanje (tačkasto hladno zavarivanje), abrazivno habanje (brusno trošenje), tribohemijsko habanje, kao i pojave zamora i oštećenja površine.

Osnovno ograničenje za primenu dijagnostike preko produkata habanja je zatvoren sistem u kome se nalazi ulje.

Na to koliko je bitno pratiti priraštaj produkata habanja u ulju najbolje ukazuju istraživanja obavljena na hidrauličnim instalacijama. Utvrđeno je, na primer, da oko 70% problema u radu dolazi od visokog sadržaja produkata habanja u hidrauličnom ulju. U navedenom slučaju se produkti habanja registruju kao uzročnik potencijalnog otkaza i kao posledica triboloških procesa.

Dijagnostička oprema mora prvenstveno da identifikuje koncentraciju i raspored dimenzija produkata habanja. Prema preovlađujućim dimenzijama može se utvrditi dijagnoza o stanju podmazanosti kontaktnih elemenata i uslovima ostvarenja kontakta.

5.10.2.2.Uvođenje sistema proaktivne kontrole hidrauličnih sistema

Uvođenje u praksu koncepta proaktivnog održavanja hidrauličnih sistema podrazumeva sprovođenje niza aktivnosti, koje se mogu svrstati u tri grupe [12]³⁷:

³⁷ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

- a) **Utvrđivanje ciljnog nivoa čistoće.** – Opšte prihvaćena i najčešće korišćena metoda za određivanje nivoa kontaminacije hidrauličnog fluida čvrstim česticama, definisana je standardom ISO 4406. Paralelno se, u ove svrhe, koristi i standard NAS 1638. ISO 4406 je oznaka nivoa čistoće radnog fluida, koja se sastoji od tri broja međusobno odvojenih sa „/“.

Kada se definiše ciljni nivo kontaminacije radnog fluida za neki hidraulični sistem treba se uzeti u obzir: pojedinačne zahteve ugrađenih komponenti, zahtevi sistema kao celine, uslove rada hidrauličnog sistema.

Sistemi sa komponentama proporcionalne, a naročito servo hidraulike su sa tog aspekta najzahtevniji.

Povećanje pritiska u hidrauličnom sistemu podstiče razorno dejstvo čvrstih čestica na radne površine komponenti, pa su u skladu s tim i zahtevi za čistoćom fluida veći u sistemima sa visokim pritiskom.

- b) **Redovna kontrola čistoće fluida.** – Pre nekih 30 godina na svetskom tržištu su se pojavili prvi prenosni uređaji za on-line kontrolu kontaminacije radnog fluida. Ovi instrumenti se sastoje od senzora, koji se na posebno određenom mestu priključuje na hidrauličnu instalaciju i delu za kondicioniranje signala i prikazivanje rezultata. Senzorski deo se sastoji od izvora laserskog zraka i foto detektora između kojih prolazi struja radnog fluida. Čestice u fluidu zaklanjaju foto detektor što za posledicu ima stvaranje signala koji je proporcionalan veličini, odnosno broju čestica. Izlaznu vrednost predstavlja ISO 4406 kod čistoće fluida u ispitivanoj instalaciji, s tim što je moguće odrediti i broj čestica u opsezima do 25 mikrometra i 50 mik. M. i 100 mik. M. Poznato je da su poremećaji u radu i otkazi hidrauličnih sistema građevinskih, rudarskih i poljoprivrednih mašina, transportnih sredstava, brodova, aviona i mašina u industriji, posledice kontaminacije i degradacije hidrauličnih fluida. Brzina i stepen kontaminacije i degradacionih promena hidrauličnih fluida zavise od ispravnosti sistema, okruženja i uslova rada, kao i od kvaliteta samog fluida.

Postoje dve grupe kontaminanata. Prvi čine #autokontaminanti# - smole i kisele materije što postaju termooksidativnom degradacijom ulja i aditiva. Drugu grupu čine vlaga/voda, čestice metala i rđe, prašina dospela iz atmosfere kroz oštećene filtere i sve nečistoće zaostale u sistemu iz ranijeg perioda, negde još od montaže ili remonta.

Svaki od kontaminanata na svoj način negativno utiče na radni vek ulja i sistema. *Smole nižih molekulskih masa* rastvaraju se u ulju i povećavaju mu viskoznost. *Viši polimeri* nerastvorivi su u ulju i izdvajaju se u vidu čvrstih taloga po svim površinama sistema. Kisele materije, postale oksidacijom ugljovodonika ili razlaganjem aditiva, rastvaraju se u ulju i mogu izazvati veća korozivna oštećenja sistema. Porast njihove koncentracije kontroliše se određivanjem kiselinskog broja. Voda spada u grupu najštetnijih kontaminanta.

Sistematičnim praćenjem promena viskoznosti, kiselinskog broja, sadržaja vlage/vode, sadržaja i vrste nerastvorenih taloga u *n*-pentanu i bemzenu, korozije, deemulzivnosti i sposobnosti za brzo izdvajanje rastvorenog vazduha, odnosno, sklonosti građenju stabilne pene, mogu se preduprediti velike štete.

Porast viskoznosti može biti posledica rastvaranja smola što postaju oksidacijom ulja. Međutim, i porast i sniženje mogu biti posledica dolivanja ulja više ili niže viskozne gradacije od propisane. Toleriše se promena $\pm 10\%$.

Penušanje – sklonost građenju stabilne pene takođe se mora kontrolisati. Penu sa fluidom gradi rastvoreni vazduh prilikom promena radnih pritisaka i temperatura. Savremeni hidraulični fluidi sadrže aditive za brzo oslobađanje vazduha, ali kada se oni istroše, ta sposobnost se gubi, stvara se stabilna pena, ubrzava se oksidacija ulja, povećava se korozivnost. To može imati za posledicu velike poremećaje u radu sistema i ubrzano habanje delova, pa i otkaz.

Nerastvorni talozi u *n*-pentanu potiču od smolastih oksidacionih proizvoda i neorganskih abrazivnih čestica. Toleriše se sadržaj do 0,2% m/. Nerastvorni u benzenu su sve neorganske abrazivne čestice. Toleriše se sadržaj do 0,1% m/m, a u finijoj hidraulici i ispod toga.

Sve spomenute promene hidrauličnih fluida mogu se odrađivati samo u specijalizovanim laboratorijama. Međutim, mali je broj takvih laboratorija, nisu svima ni dostupne, analize dugo traju, nisu ni jeftine, a dobijeni rezultati traže stručnu interpretaciju. Korisnike hidrauličnih fluida često zanima samo da li je ulje za dalju upotrebu ili nije, te kako da ga kontrolišu sami na licu mesta.

U novije vreme to se može raditi pomoću **Hidroil Sensor**-a, prenosnog, elektronskog aparat koji je specijalno prilagođen za pouzdano merenje promene dielektrične konstante hidrauličnih ulja u toku njihove upotrebe.

Dielektrična konstanta je merilo sposobnosti ulja da provodi električnu struju. Čista ulja su izolatori, ali prisutni aditivi menjaju tu osobinu, tako da svako hidrauličko ulje karakteriše određena provodljivost, odnosno, dielektrična konstanta.

5.10.3. Vibroakustički postupak (vibracije i buka)

5.10.3.1. Vibracije kao parametar stanja

U poslednje vreme razvijena je potpuno nova tehnologija merenja vibracija i zvuka koji zbog svog generisanog sadržaja predstavljaju jedan od najznačajnijih indikativnih pokazatelja sveukupnog dinamičkog stanja mašine, ili pojedinih njenih sastavnih delova. Ova tehnologija može rešiti veliki broj problema na mašinama i postrojenjima.

Mehaničkim vibracijama, u opštem slučaju, podrazumevamo oscilatorno kretanje krutog tela u odnosu na svoj ravnotežni položaj. Uzročnik kretanja je poremećajna prinudna sila (prinudne vibracije) koja po svojoj prirodi može biti determinisana ili slučajna. Slobodnim vibracijama nazivamo kretanje koje telo izvodi po prestanku delovanja poremećajne sile.

U svim ovim slučajevima se opšti karakter kretanja može izraziti harmonijskom vremenskom funkcijom, a kao osnovni parametri za njenu identifikaciju, pored frekvencije oscilovanja (broj ciklusa u jedinici vremena), alternativno se može izabrati i jedna veličina kao što su amplituda pomeranja, njegova brzina, odnosno ubrzanje. Pored analitičkog istraživanja, vibracije se mogu prikazati i grafički. U praksi su zapisi vibracija daleko složeniji. U najvećem broju slučajeva sreće se složeno oscilovanje, dobijeno superpozicijom dveju ili više elementarnih vibracija sa različitim intenzitetima i različitim frekvencijama.

Ono što je dijagnostika danas u medicini za kontrolu zdravlja ljudi, to je isto tehnička dijagnostika u kontroli stanja mašina.

5.10.3.2. Uzročnici nastanka vibracije i buke

S obzirom na karakter i prirodu nastanka, mehaničke vibracije su, u opštem slučaju, podeljene u dve grupe: prinudne i sopstvene.

Svaki pojedinačni izvor generiše vibracije. Lista potencijalnih poremećenih uzročnika nastanka vibracija, može biti [12]³⁸ [5]³⁹:

- neuravnoteženost masa rotacionih delova sistema,
- nedovoljna dinamička krutost kućišta i temelja sistema,
- poremećaj centričnosti spojnice i ležaja,
- ugib vratila (mehanička „popustljivost),
- pohabani, ekscentrični ili oštećeni zupčanici,
- loši pogonski kaiševi i lanci,
- neispravni kotrljajući ležaji i klizna ležišta,
- odstupanja obrtnog momenta,
- elektromagnetne sile,
- aerodinamičke sile,
- hidraulične sile,
- nejednak zazor između rotora i statora elektromotora (ili generatora),
- olabavljenost spojeva,
- „prolazak“ kroz rezonancu,
- zaribavanje (mehaničko dodirivanje),
- zatupljeni rezni alat i dr.

Uzrok vibracija mora da bude sila koja se menja ili prema svom pravcu ili prema svojoj veličini. Svaki uzorak vibracija ima svoje karakteristike.

Sopstvene vibracije su funkcija fizičkih konstanti mehaničkog sistema (masa, krutost, prigušenje). Za razliku od prinudnih vibracija koje prestaju sa uklanjanjem poremećajne sile, na sopstvene vibracije je moguće delovati samo preko izmene konstrukcionih parametara sistema.

5.10.3.3. Karakteristike vibracija

Osnovne karakteristike koje identifikuju vibracije, kako je ranije rečeno su:

- Frekvencija vibracija,
- Amplituda vibracija,
- Brzina vibracija i
- Ubrzanje vibracija.

Stvarni sadržaj karakteristika je u činjenici što se one koriste za dijagnostiku štete i opisivanje neželjenog kretanja sastavnih delova sistema.

³⁸ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

³⁹ [5]. Adamović, Ž., Ilić, B., „Nauka o održavanju tehničkih sistema“, Srpski akademski centar, Novi Sad, 2013

Frekvencija vibracija (ako je poznata) pomaže nam da identifikujemo koji je deo sistema neispravan i da ukaže na vrstu problema. Dobijene vibracije će imati frekvenciju koja zavisi od brzine rotiranja dela sistema koji je neispravan ili ima smetnje.

To omogućava da identifikujemo prirodu problema. Na primer, debalans (neuravnoteženost) nekog rotirajućeg dela proizvešće frekvencije vibracije koja će biti jednaka brzini obrtanja dela. S druge strane, mehanička labavost proizvešće vibracije pri frekvenciji dvostruko većoj od brzine obrtanja. Neispravni kotrljajući ležaji prouzrokovace visoku frekvenciju vibracija zavisno od broja obrtaja, broja kuglica u ležaju, i to nekoliko puta veću od brzine obrtanja vratila. Neispravni zupčanici će takođe, prouzrokovati vibracije visoke frekvencije, i to obično pri frekvenciji koja je jednaka broju zubaca pomnožene sa brojem obrtaja zupčanika.

Prednosti pomeranja i ubrzanja se ponekad koriste za merenje nivoa vibracija. Međutim, i tada je neophodno znati frekvenciju vibracija. Često se za povezivanje odnosa pomeranja ili ubrzanja sa frekvencijom, radi utvrđivanja nivoa vibracija, koriste posebno napravljeni dijagrami od strane proizvođača uređaja za vibracije.

5.10.3.4. Nivo kompleksnih (složenih) vibracija

Vibracije sastavnih delova sistema su kompleksne i sastoje se od više frekvencija. Uglavnom, ukupno ili totalno pomeranje biće zbir svih pojedinačnih vibracija. Tamo gde je vibracija kompleksna, da bi smo primenili pomeranje na dijagram nivoa vibracija, treba najpre utvrditi pojedinačna pomeranja i njihove frekvencije. To se vrši uz pomoć analizera vibracija sa podesivim filterom.

Signal vibracija snimljen na nekom karakterističnom mernom mestu mašine je suma velikog broja manje ili više izraženih individualnih izvora, i po pravilu sadrži u sebi dosta kompleksnog sadržaja.

Merenja ubrzanja vibracija su tesno povezana sa inercionim silama koje deluju na sistem, pri čemu se mogu javiti relativno velike sile pri visokim frekvencijama, mada pomeranje i brzina vibracija mogu da budu mali. Prekomerna sila može rezultirati u prekidu podmazivanja, a zatim može doći do oštećenja površine ležaja. Uglavnom, merenja ubrzanja vibracija se preporučuju za frekvencije vibracija iznad 60.000 ciklusa u minuti, mada se mogu koristiti i merenja brzine.

Osim toga, pri ocenjivanju nivoa vibracija treba meriti i fazu, koja omogućuje primenu pogodnijeg načina za upoređivanje jednog kretanja sa drugim. Upoređivanje relativnog kretanja dva ili više dela sistema, često je bitno kod dijagnosticiranja specifičnih neispravnosti na sastavnim delovima sistema. Na primer, ako se analizom otkrije da se vibracije nekog dela sistema nalaze izvan faze sa postoljem ili fundamentom, odnosno njihovim apsolutnim vibracijama, moraju se proveriti labavost vijaka, zalivanje betona i dr.

Merenje faze je važno i za balansiranje (uravnotežavanje masa). Ako je problem dela sistema debalans, pri čemu se može meriti faza, onda možemo u tom slučaju izvršiti balansiranje dela (primer balansiranje točkova automobila).

Nije cilj da se odredi koliko nivoa vibracija neki deo sistema može da izdrži pre nego što otkáže, već da se postigne odgovarajuća opomena u pogledu smetnji, tako da se one mogu eliminisati pre otkazivanja sistema. Apsolutne tolerancije vibracija ili granice za bilo koji deo sistema nisu moguće. Analiza neispravnosti i otkazivanja je prilično kompleksna da bi takve granice mogle da postoje. Iskustvo specijalista za vibracije može pomoći za dobijanje izvesnih realnih smernica. Prilikom utvrđivanja prihvatljivih nivoa vibracija sistema, treba razmotriti iskustvo i činioce kao što su: bezbednost, troškovi otklanjanja neispravnosti, troškovi usled zastoja u proizvodnji, važnost sistema u tehnološkom lancu proizvodnje i dr.

5.10.3.5. Karakteristike buke

Tehnički posmatrano, zvuk (ili buka) je oscilacija pritiska u vazduhu koja se javlja iz pravca izvora. Buka može da se generiše na tri načina:

- vibriranje čvrstih konstrukcija,
- kretanje vazduha duž čvrstih konstrukcija (protok vazduha preko lopatice ventilatora),
- turbulentno mešanje vazduha koji se brzo kreće sa vazduhom koji se relativno sporo kreće, pri čemu nije angažovana nikakva čvrsta konstrukcija (let mlaznog aviona).

Slično vibracijama, buka ima čitav niz karakteristika neophodnih za njeno definisanje ili opisivanje.

5.10.3.6. Merenje vibracija

Vibracije se registruju analognim putem – pretvaranje mehaničkih pomeranja u analogne električne signale (strujne ili naponske). Instrumentalni set, prilagođen upotrebi u pogonskim uslovima, se sastoji od pretvarača, mernog instrumenta sa pojačivačem i filtera. Konfiguracija omogućava merenje sva tri karakteristična oblika vibracija (sekcija pretrojačivača objedinjuje i sekciju integratora).

Pretvarači vibracija mogu da budu kontaktni i bezkontaktni, pri čemu prvi mere apsolutne, a drugi relativne vibracije. Osim toga, na njihov izbor utiče i odnos snage izvornog signala i provodljivost veza do mernog mesta. Kontaktne pretvarači mogu meriti ubrzanje vibracija (piezoelektrični), brzinu (induktivni) i pomeranje (seizmički). Bezkontaktne pretvarači se uglavnom izvode na induktivnom ili kapacitativnom principu.

5.10.3.7. Analiza vibracija

U signalu vibracija snimljenom na površini mašinskog dela (sklopa) prisutni su tragovi mnogih individualnih signala generisanih na mestima neželjenog transformisanja dela korisne energije u energiju vibriranja. Radi identifikovanja takvih izvora nedovoljno je izvoditi samo upoređivanje ukupnog nivoa vibracije, već treba izvesti pažljivo raščlanjavanje na sastavne delove i proceniti parcijalan deo svakog dela.

Postupak frekventnog razlučivanja naziva se frekventna analiza, a kao njen krajnji rezultat dobija se pomenutu frekventni spektar. To se postiže filtriranjem signala vremenskog zapisa vibracija u instrumentu zvanom analizer.

Analiza vibracije vrši se kada periodične kontrole ukupnih vibracija ili buke na tehničkim sistemima otkriju njihovo značajno povećanje. Ova analiza treba takođe, da se izvrši na početku izvođenja programa održavanja, kako bi se utvrdilo tehničko stanje sistema.

Postupak analize može se podeliti u dve faze:

- Prikupljanje podataka i
- Interpretacija i obrada podataka (upoređivanje registrovanih podataka sa baznim podacima o stanju sastavnih delova sistema).

5.10.3.8. Prikupljanje podataka

Nivo upotrebljivosti izmerenih rezultata u mnogome zavisi od obima preduzetih pripremnih aktivnosti i sprovedene metodologije merenja. Izbor reprezentne veličine stanja, izbor broja i rasporeda mernih mesta, izbor konfiguracije merne opreme zadovoljavajućeg frekventnog i dinamičkog dijapazona, izbor filtera optimalnih karakteristika – samo su neki od najznačajnijih elemenata vrlo značajnog procesa pripreme.

Danas skoro svaki merni instrument ima mogućnost izražavanja amplitude, preko neke od fizičkih veličina stanja: pomeraj, brzina, ubrzanje. Ove veličine ne mogu biti generalno preporučene, već izbor svake veličine zavisi od slučaja do slučaja. Ipak najviše je u upotrebi brzina vibracija, s obzirom da u sebi istovremeno sadrži linearnu meru amplitude i frekvencije.

Za uprošćavanje registrovanih i analitičkih podataka može se koristiti „karta merenja vibracija i buke“ (ili „karta trenda“)

Pored informacija koje su potrebne za označavanje (skica) sistema i položaj davača i mikrofona, treba obuhvatiti i dodatne informacije kao što su: podaci o ozubljenju, broj lopatica ventilatora, broj krilaca na radnom kolu pumpe i dr. Ponekad je potrebno prikazati i položaj cevovoda, kanala, zidova zgrada i sl. Kod uslova ispitivanja treba obuhvatiti: brzinu, opterećenje, temperaturu, protok itd.

Merenje i registrovanje ukupne amplitude ili amplitude „bez filtera“ i merenje preovladajuće frekvencije treba obaviti u svakoj mernoj tački. Amplitude merene bez filtera i vrednosti frekvencije korisne su iz više razloga. Prvo, vrednosti amplitude ukazuju koliki je problem. Drugo, vrednosti dominantne frekvencije mogu da usmere našu pažnju na sam izvor problema i veoma često omogućavaju otkrivanje frekvencije vibracije i buke, koje nismo ni očekivali da ćemo naći. Međutim, zaključci o prirodi problema ne mogu se doneti na bazi samo vrednosti dobijenih bez filtera. Mora se izvršiti detaljna analiza vibracije ili buke sa podesivim filterom pre donošenja konačne odluke.

5.10.3.9. Interpretacija podataka

Posle korišćenja metoda za dobijanje potrebnih podataka za analizu vibracija i buke, sledi ispitivanje registrovanih podataka i utvrđivanje značajnih vrednosti za frekvenciju vibracija

koja je utvrđena. Obično se letimično pogleda svaka kolona sa podacima o frekvenciji i zaokruži jedna, dve ili tri najznačajnije vrednosti amplitude [12]⁴⁰.

Frekvencije se upoređuju na osnovu brzine obrtaja u sistemu. Ako je frekvencija vibracija ili buke direktno povezana sa brojem obrtaja mašine, onda treba upotrebiti stroboskopsku lampu.

Postoji čitavo mnoštvo kriterijuma pomoću kojih se jedno utvrđeno dinamičko stanje mašinskog sistema može deklarirati kao stabilno ili nestabilno, odnosno, kao dobro ili loše. Zajednička osobina svih ovih prilaza, zasnovanih najčešće na upoređivanju odnosa fizičkih veličina (npr. buke ili vibracija) i ulaza (npr. sila i momenata) jednog mašinskog sistema – u funkciji frekvencije, svakako je zavisnost od usvojenih teorijskih modela.

Razumljivo da im otuda, i praktična primenjenost ostaje ograničena, bilo da pretpostavljaju komplikovan metodološki postupak, bilo da postavljeni modeli ne mogu dovoljno verno interpretirati osobine realnog mašinskog sistema.

Analiza vibracija pokazuje, međutim, da se uočljive promene kod snimljenih signala manifestuju isključivo na karakterističnim delovima frekventnog spektra, tj. u očekivanim frekventnim područjima koja odgovaraju sopstvenim i/ili prinudnim vibracijama. Odatle se izvodi zaključak da za uspešno praćenje i ocenu stanja i nije potrebna stalna obrada signala u kompletnom frekventnom opsegu, već da je sasvim dovoljno, obratiti pažnju na ograničen broj izabраниh frekventnih područja i pratiti nivo signala po njima.

Složeni rotacioni sistemi zahtevaju svakako, daleko veći broj vitalnih tačaka čije ponašanje stalno, ili povremeno treba pratiti. Monitorski sistem koji bi bio postavljen na klasičan način, nesumnjivo, bio bi glomazan i nedovoljno pregledan. Stoga se rešenje zadatka traži u pravcu angažovanja složenije opreme za akviziciju i obradu podataka. Inteligentni „data loggeri“, predstavljaju samo početnu etapu ka stvaranju snažnih centralizovanih računarskih sistema, čiji bi brzi procesor ne samo pratio, već isto tako automatski identifikovali stanje, prognozirali njegovu dalju promenu i donosili merodavne odluke od značaja za održavanje.

5.10.3.10. Pristup dijagnostici pomoću vibracija

Celokupan dijagnostički pristup polazi od činjenice da svaki poremećajni utročnik generiše vibracije tačno određenog karaktera, prepoznatljive, pre svega, po frekvenciji kao ključnom parametru. Pri tome, identifikacija dominantnih parcijalnih komponenti, registrovanih u području vremenskog ili frekventnog domena, postavljena je na korišćenju asimiliranog znanja i iskustva o specifičnim karakteristikama potencijalne slike oscilovanja pokretnih, najčešće rotirajućih, mašinskih delova. Za mnoštvo vitalnih rotirajućih mašinskih delova i pored osnovne frekvence i njenih viših harmonika, egtaktnim matematičkim putem definisan je niz prinudnih i sopstvenih frekvenci kojima mogu odgovarati i dominantne komponente u snimljenim spektrima [12].

⁴⁰ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

5.10.3.11. Utvrđivanje uzoraka neispravnosti tehničkih sistema

a) **Vibracije nastale usled neuravnoteženosti masa rotora obrtnih mašina.** - Neuravnoteženost masa rotora obrtnih mašina je najuobičajeniji i dominantan uzrok vibracija koje se javljaju pri frekvenciji koja je jednaka $1x$ [o/min] neuravnoteženog dela, a amplituda je direktno proporcijalna veličini prisutne neuravnoteženosti (debalansa) odnosno inercionim silama.

b) **Vibracije nastale usled poremećaja centričnosti (nesaosnosti).** - Poremećaj centričnosti je isto toliko uobičajen kao i neuravnoteženost, a razlog je sasvim jednostavan, nepoklapanje osa vratila rotora sa geometrijskom osom obrtanja i osom ležišta. Tri su moguća tipa poremećaja centričnosti (ugaone pomerivosti) spojnice:

- -pomeranje osa obrtanja koje su paralelne,
- -ugaono pomeranje osa obrtanja,
- -kombinacija ugaonog i paralelnog pomeranja osa obrtanja.

Značajna karakteristika vibracija nastalih usled odstupanja centričnosti je ta što se javljaju kako u radijalnom tako i u aksialnom pravcu. Kada je poremećaj centričnosti ozbiljan, mogu se javiti frekvencije vibracija drugog reda ($2x$ [o/min]) ili, ponekad i trećeg reda ($3x$ [o/min], harmonici drugog i višeg reda).

Bez obzira o kojoj je pojavi reč, uvek su izražene vibracije u aksialnom pravcu. Generalno posmatrano čim komponenta vibracija u aksialnom pravcu iznosi više od polovine najveće komponente u radijalnom pravcu, nesaosnost ili iskrivljenost vratila, mogu biti najverovatniji, ali ne i jedini uzročnici vibracija.

U slučaju kliznog ležišta sa poremećenim centriranjem klizne ležajne čaure neće doći do pojave vibracija sve dok ne dođe do pojave neuravnoteženosti. Pojavice se samo aksialne vibracije. Balansiranjem (uravnotežavanjem obrtnih masa) dela doći će do smanjenja kako aksialnih tako i radijalnih vibracija.

Kad dođe do poremećaja centričnosti kotrljajućeg ležaja, javice se aksialne vibracije i posle balansiranja dela. Neophodna je pravilna montaža kotrljajućeg ležaja kako bi se eliminisale vibracije.

c) **Vibracije nastale usled ekscentričnosti** - Ekscentričnost (pomeranje ose obrtanja u odnosu na geometrijsku središnju osu rotora predstavlja uobičajeni izvor neuravnoteženosti masa koja rezultira u povećanoj težini sa jedne strane ose obrtanja. Radi otklanjanja neuravnoteženosti, može se preporučiti balansiranje rotora na licu mesta (u sopstvenim ležajima). Pored toga, mora se obratiti pažnja da se položaj unutrašnjeg prstena ležaja na vratilu ne menja, pošto se ekscentričnost prstena ležaja kompenzira korekcijom neuravnoteženosti na rotoru.

Ekscentričnost može, takođe, da rezultira i nastajanjem reakcionih sila u nekim slučajevima koji se mogu korigovati jednostavnim balansiranjem. Na primer, najveće vibracije kod spregnutog zupčanika, pri frekvenciji jednakoj $1x$ [o/min] ekscentričnog zupčanika. To može da izgleda kao neuravnoteženost, ali nije.

Ekscentričnost kaišnika sa klinastim kaišem, rezultiraće nastajanje reakcionih sila na sličan način kao i ekscentrični zupčanik. U tom slučaju najveće vibracije će se pojaviti pri frekvenciji koja je jednaka frekvenciji $1x$ [o/min] ekscentričnog kaišnika u pravcu

zatezanja kaiša. I ovde će ekscentričnost izgledati kao neuravnoteženost, ali se ne može korigovati uravnotežavanjem masa [12]⁴¹.

U slučaju ekscentričnog rotora motora, generiše se sila $1x$ [o/min] između rotora i statora zbog variranja magnetnog privlačenja između ekscentričnog rotora i polova motora. Pojačanjem sile magnetnog polja, povećanjem opterećenja motora, nastaju povećane vibracije. Jedan način kontrole ovog stanja je merenje vibracija, bez filtera, kod motora koji radi.

Zatim se isključi električna energija i posmatra šta će se desiti sa amplitudom vibracija. Ako se amplituda smanjuje postepeno kako motor počinje da se zaustavlja, onda je najverovatniji problem neuravnoteženost. S druge strane, ukoliko se amplituda vibracija izgubi u momentu kada se energija isključi, onda je problem električne prirode i verovatno je nastao usled ekscentričnosti rotora motora. Postoje i drugi električni problemi kod motora i generatora koji izazivaju nastajanje vibracija. Na primer, kratko spojeni namotaji, prekinute lamele rotora, ili nepropisno centrirani rotor u statoru (neujednačen "vazdušni zazor" između rotora i statora), prouzrokujuće takođe vibracije. Kontrola uz pomoć standardnih postupaka za ispitivanje motora, otkriće prirodu električnog problema.

- d) Vibracije nastale usled neispravnih kotrljajućih ležaja.** - Ležaji koji imaju površinske defekte na svojim prstenovima, kuglicama ili valjcima, obično će prouzrokovati vibracije visoke frekvencije. Ta frekvencija je obično nekoliko puta veća od brzina obrtanja dela. Za kontrolu rada kotrljajućih ležajeva koriste se specijalni uređaji (SKF instrumenti i dr.).
- e) Vibracije nastale usled neispravnih kliznih ležišta.** - Problemi koji se javljaju kod kliznih ležišta dovode do visokih nivoa vibracije ili buke, i uglavnom nastaju zbog prekomernog zazora ležišta ("uljni zazor"), labavosti ili nepravilnog podmazivanja. Klizno ležište sa prekomernim zazorom može da "dozvoli" pojavu relativno male neuravnoteženosti, poremećaj centričnosti, ili pojavu neke druge vibrirajuće sile koja će prouzrokovati mehaničku labavost.

U tom slučaju, ležište neće biti pravi uzrok. On će dozvoliti samo da se pojavi viši nivo vibracija nego što bi bio da je zazor u ležištu u dozvoljenim granicama.

Mašine koje su pravilno montirane na krutom fundamentu imaju veću amplitudu vibracija u horizontalnom pravcu. U nekim slučajevima kod kojih se javljaju neuobičajeno visoke amplitude vibracija u vertikalnom pravcu, u poređenju sa horizontalnim pravcem, utvrđeno je da je uzrok neispravno klizno ležište.

Turbulencija ulja predstavlja drugi problem koji se dovodi u vezu sa kliznim ležištem, naročito pri podmazivanju pod pritiskom i pri relativno velikim brzinama iznad druge kritične brzine rotora. Vibracije usled turbulencije ulja su često velike, od polovine broja obrtaja vratila u minuti [12].

Problem vrtložnog kretanja ulja pripisuje se nepravilnoj konstrukciji ležišta. Međutim, i ostali uzroci mogu biti problem: prekomerno habanje ležišta, porast pritiska ulja za podmazivanje ili promena viskoziteta ulja. Svuda gde se javi turbulencija ulja može se izvršiti korekcija promenom temperature (viskoziteta) maziva. Ponekad se postižu

⁴¹ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

dobri rezultati i izradom posebnih žljebova na unutrašnjoj površini ležišta da bi se eliminisao "klin" maziva. Tako se može izvesti nekoliko primera za smanjenje mogućnosti stvaranja turbulencije ulja: ležište sa aksijalnim žljebom koristi se u gasnim i gasno-turbinskim kompresorima; ležište sa tri žljeba pruža poboljšanu stabilnost ležaja na pojavu turbulencije ulja. Samopodesivo ležište (Michelov ležaj) sa aksijalnim segmentima predstavlja uobičajeni izbor na većim mašinama (turbogeneratorima, turboduvaljkama i sl.) velike brzine. Karakteristika samopodešavanja omogućava svakom segmentu da prati vratilo, poboljšavajući pri tome amortizovanje sistema i njegovu ukupnu stabilnost.

Ponekad će mašina koja je potpuno stabilna pokazivati vibracije nastale usled turbulencije ulja. To se može javiti kada neki spoljašnji izvor prenosi vibracije na mašinu preko fundamenata ili cevovoda. Ovo stanje se smatra "spolja pobuđenom turbulencijom". Rezonantna vibracija cevovoda ili fundamenata može da bude rezultat pulsiranja ili turbulencije protoka. Turbulencija ulja koja nastaje iz tog stanja naziva se rezonantna turbulencija.

Čim se utvrdi karakteristika vibracije zbog turbulencije ulja, treba sačiniti kompletan pregled (analizu) vibracija uključujući osnovne izvore vibracija, fundament i okolni cevovod kako bi se utvrdio pravi uzrok pojave vibracija.

Jedan drugi problem koji se javlja na mašinama opremljenim kliznim ležištima naziva se "frikciona turbulencija" ili histerezna turbulencija. Ove vibracije su slične u mnogo čemu sa turbulencijom ulja, osim u tome što se vibracije javljaju na rotorima koji rade iznad prve kritične brzine, i frekvencija vibracija će uvek biti frekvencija kritične brzine rotora. Za mašine koje rade iznad ili blizu druge kritične brzine, frekvencija "histerezne turbulencije" može se poklapati sa frekvencijom turbulencije ulja koja može da rezultira u veoma ozbiljan problem vibracije. U slučaju "histerezne turbulencije" doći će do delovanja inertnog frikcionog rotora iz faze i to prigušenje će delovati na dalje ugibanje rotora.

Ovo stanje se kontroliše prigušenjem, koje pružaju ležišta. To se može učiniti promenom ležišta i postavljanjem samopodesivih ležišta sa segmentom ležišnom posteljicom ili ležištem neke druge specijalne konstrukcije. U izvesnim slučajevima, problem se može rešiti redukcijom amortizovanja rotora. To može da bude jednostavna stvar zamenjivanja zupčaste spojnice, spojnice bez frikcije i dr.

Nepropisno podmazivanje, takođe može biti uzrok nastajanja vibracija kod kliznog ležišta. Ukoliko se prekine podmazivanje ležišta ili ako se upotrebi pogrešno mazivo, rezultat toga može biti prekomerno trenje između rukavca vratila i ležaja. To trenje pobuđuje vibracije ležišta i drugih delova mašina. Ove vibracije su uglavnom visoke frekvencije i slične su vibracijama koje izazivaju kotrljajući ležaji.

- f) **Vibracije nastale usled mehaničke labavosti (zazor između delova).** - Mehanička labavost (olabavljenost mehaničkih veza) izaziva nastajanje vibracija pri frekvenciji koja je dva puta veća od brzine obrtanja ($2x$ [o/min]) i višeg reda veličina kod labavih delova mašina.

Karakteristike vibracija nastalih usled mehaničke labavosti neće se javiti sve dok ne budu prisutne neke druge sile pobuđivanja, kao što su neuravnoteženost ili poremećaj centričnosti, koje će ih izazivati.

g) Vibracije nastale usled dejstva pogonskih kaiševa (zbog oscilatorne energije kaiševa).

Trapezni kaiševi mogu biti izvor visokih nivoa vibracija, posebno na alatnim mašinama kod kojih se moraju održavati niski nivoi vibracija.

Problemi vibracija koji su u vezi sa trapeznim kaiševima uglavnom su podeljeni na:

- reakcije kaiša na druge ometajuće sile, i
- vibracije nastale usled problema na kaiševima.

Često, prekomerna neuravnoteženost, ekscentrični kaišnici, poremećena centričnost ili mehanička labavost mogu da izazovu nastajanje vibracije kaiševa.

Zbog toga, pre zamenjivanja kaiševa treba da se izvrši analiza kako bi se odredila priroda problema.

Frekvencija vibracija predstavlja ključni činilac za utvrđivanje prirode vibracija kaiša. ukoliko kaiš reaguje na druge ometajuće sile u mašini, kao što su neuravnoteženost ili ekscentričnost kaišnika, frekvencija vibracija kaiša će biti ista kao i frekvencija smetnji. Kaiš jednostavno pojačava ove ometajuće sile.

Ukoliko je to slučaj, onda deo mašine koji generiše ometajuće sile izgleda kao da stoji mirno pod svetlom stroboskopske lampe. Labavi kaiševi mogu da prouzrokuju nastajanje prekomernih nivoa vibracija čak i pod dejstvom veoma malih sila ometanja.

h) Vibracije nastale usled problema na zupčanicima. - Vibracije nastale usled problema na zupčanicima lako se identifikuju zbog toga što se one normalno javljaju pri frekvenciji koja je jednaka učestalosti "ozubljenja" zupčanika, tj. broj zubaca na zupčaniku x [o/min] neispravnog zupčanika.

Vibracije na zupčanicima nastaju usled prekomernog habanja, nepravilnog podmazivanja, nepravilnog uzubljenja, poremećaja centričnosti ili savijanja vratila i dr. Problemi u vezi sa zupčastim prenosnicima mogu da prouzrokuju nastajanje vibracija pri frekvenciji koja nije jednaka učestalosti ozubljenja zupčanika.

Ako zupčanik ima samo jedan polomljen ili deformisan zubac, mogu da nastanu vibracije pri frekvenciji od $1x$ [o/min] zupčanika. Taj problem može se razlikovati od problema neuravnoteženosti zbog signala zupčastog oblika, koji je nastao zbog neispravnog zupca zupčanika. Ako je deformisano više zubaca, može da nastane frekvencija vibracija jednaka broju deformisanih zubaca, puta o/min zupčanika [12]⁴². Zupčanik koji je ekscentrično montiran na svom vratilu, takođe će izazvati vibracije pri frekvenciji od $1x$ [o/min] zupčanika, slično neuravnoteženosti.

i) Vibracije električnog porekla.- Vibracije električnih mašina mogu da budu mehaničkog ili električnog porekla. Električni problemi nastaju kao rezultat nejednakih magnetnih sila. Ove sile mogu da nastanu iz sledećih razloga:

- rotor nije dovoljno okrugao - nesimetričnog je oblika,
- ekscentrični rukavci rotora,
- prekomeran "vazdušni zazor" između statora i rotora motora,
- elipsasti unutrašnji otvor statora,
- oštećene lamele,
- prekinuti ili kratko spojeni namotaji,
- nejednako hlađenje i dr.

⁴² [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

Uglavnom frekvencija vibracija koje nastaju usled ovih električnih problema iznosiće $1x$ [o/min], a izgledaće kao i kod neuravnoteženosti. Jednostavan način kontrole vibracija usled električnih problema predstavlja posmatranje promene amplitude vibracija u momentu kada se isključi električna energija, onda su električni problemi uzrok ovim vibracijama. Ako se amplitude vibracija smanjuju samo postepeno posle isključenja električne energije, onda je problem verovatno mehaničke prirode.

Električni problemi kod asinhronih motora često će izazvati podrhtavanje merača amplitude. Ovo izaziva "frekvencija klizanja" koja predstavlja karakteristiku ovog tipa motora. "Frekvencija klizanja" predstavlja razliku između broja obrtaja rotora u minuti i električne ili sinhronne frekvencije obrtnog magnetnog polja.

- j) Vibracije nastale u rezonantnom području.** - Svaki deo sistema (mašine) ima sopstvenu frekvenciju pri kojoj on "želi" da vibrira. Ove vibracije mogu se smanjiti prigušivanjem.

Osim sopstvenih vibracija postoje prinudne vibracije tamo gde frekvencija zavisi od frekvencije pobudne sile koja se dovodi na mašinu. Na primer, prinudne vibracije može da izazove pobudna sila neuravnoteženosti rotora. U tom slučaju, frekvenciju ovih prinudnih vibracija određuje brzina obrtanja motora.

Stanje rezonancije postoji ukoliko su sopstvene frekvencije iste kao i frekvencije pobuđivanja izmerene u toku rada mašine. Ukoliko postoje rezonantna stanja, onda će se jasno identifikovati karakteristične vršne vibracije koje javljaju pri velikim faznim pomeranjima (približno 180°)[12]⁴³.

Ako se javi problem rezonancije postoji više načina za njegova otklanjanje. Jedan način je da se promeni frekvencija sile pobuđivanja tako da se više ne poklapa sa sopstvenom frekvencijom mašine. To se može izvesti povećanjem ili smanjenjem broja obrtaja mašine. Ukoliko se frekvencija pobuđivanja ne može izmeniti, problem se može otkloniti promenom sopstvene frekvencije (povećanjem ili smanjenjem krutosti ili mase objekta).

Naravno, rezonancija se može izbeći eliminisanjem sila pobuđivanja. Najbolje rešenje problema rezonancije je odvajanje frekvencija pobuđivanja. Najbolje rešenje problema rezonancije je odvajanje frekvencija pobuđivanja.

- k) Vibracije nastale usled delovanja aerodinamičkih i hidrauličnih sila.** – Vibracije ovog tipa su uobičajene na ventilatorima, pumpama i dr. i mogu se odmah identifikovati jer će frekvencija biti jednaka: broj loptica ili krilca na radnom kolu puta broj obrtanja mašine u minuti.

Aerodinamičke i hidraulične vibracije“ retko mogu biti štetne ukoliko ne pobuđuju neki deo mašine. Tamo gde se javljaju prekomerne vibracije ovog tipa mogu se izvesti ispitivanja rezonancije radi utvrđivanja koji deo mašine izaziva problem. Ukoliko su aerodinamičke ili hidraulične vibracije nedozvoljene i ako nema rezonantnog stanja, problem može poticati od nepropisnog projektovanja mašine ili susednih cevovoda. Dodatni problemi vibracije i buke koji se javljaju pri kretanju tečnosti ili gasova obuhvataju kavijaciju, turbulenciju proticanja i sl. Njihove karakteristike vibracija su slične vibracijama koje nastaju usled aerodinamičkih i hidrauličnih sila.

- l) Vibracije nastale usled delovanja naizmeničnih sila.** – Tehnički sistemi kao što su klipni kompresori, klipne pumpe, oto-motori, dizel-motori i dr., pokazivaće nivoe vibracija koje nastaju usled naizmeničnog kretanja koje je svojstveno konstrukciji i radu mašine. Ove vibracije nastaju usled inercijalnih sila delova koji se kreću (klipova i dr.) i promene pritiska na klipovima koji izazivaju promenu obrtnog momenta.

⁴³ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

Analiza vibracije i buke, nastalih na mašini sa naizmeničnim kretanjem, može da bude kompleksna zbog više frekvencija koje nastaju. Frekvencije su obično jednake 1 i 2x [o/min], međutim, mogu se sresti i frekvencije višeg reda u zavisnosti od broja klipova i međusobne veze.

Problemi sa mašinama sa naizmeničnim kretanjem koji uzrokuju nastajanje prekomernih vibracija i buke mogu da budu i mehanički problemi, kao što su neuravnoteženost, poremećaj centričnosti, savijana vratila, labavost, neispravni ležaji i dr. Eksploatacioni problemi koji izazivaju vibracije obuhvataju: „popuštanje“ (npr. popuštanje klipnih prstenova) ili zaribavanje ventila, problemi ubrizgavanja ili paljenja i dr.

U nekim slučajevima karakteristike vibracija koje nastaju usled mehaničkih i eksploatacionih problema biće skoro iste. Stoga je teško tačno utvrditi problem bez posebne analize podataka.

m) Vibracije nastale usled trenja. – Trenje između delova sistema može da izazove vibracije. Ukoliko je trenje kontinualno, neizvesno je da će se primeniti posebne karakteristike vibracija. Međutim, mogu se javiti veoma visoke frekvencije vibracija i buke usled frikcije koja pobuđuje sopstvenu frekvenciju sistema.

Trenje u zaptivačima parne turbine (zadiranje „lavirinskih zaptivača“) ili neke slične mašine, može izazvati promenu u amplitudi i fazi. Ti trenje mora da se otkloni pre nego što se preduzme uravnotežavanje rotora. Trenje je obično rezultat savijenog vratila, oštećenih zaptivača turbine itd., i obično se otkriva na osnovu karakteristika vibracija.

n) Vibracije nastale usled „pulzacija“. – Udari ili pulzacije mogu biti rezultat sile pobuđivanja koja se kontinualno menja po svojoj amplitudi i frekvenciji. Često se pulsirajuće vibracije i buka javljaju zbog interakcije dva ili više stabilna izvora nejednakih frekvencija.

5.10.4. Postupci ispitivanja strukture materijala

5.10.4.1. Uvod

Kontrola bez razaranja ili defektoskopija (ispitivanje strukture materijala) uključuje razradu tehnologije detekcije grešaka i procene uticaja grešaka na kvalitet materijala sastavnih delova sistema. Metode kontrole bez razaranja se temelje na fizičkim svojstvima materijala koji se ispituje.

Svaka metoda namenjena je detekciji određene grupe grešaka vezane nekom zajedničkom karakteristikom ili pak sprovođenju određenog merenja. Metode su pogodne za prognozu nivoa pouzdanosti sistema, a koriste se i prilikom kontrole gotovih proizvoda iz procesa proizvodnje.

5.10.4.2. Klasifikacija postupaka bez razaranja

S obzirom da se metode kontrole bez razaranja temelje prvenstveno na fizičkim svojstvima materijala to je logična podela metoda prema fizičkim svojstvima koja primenjuju. Ovom podelom razlikuje se 10 osnovnih grupa metoda (postupaka): zvučne metode, metode kapilarnosti, magnetske metode, optičke metode, radijacijske metode, radiotlasne metode, toplotne metode, proticajne metode, električne metode, elektromagnetske metode i dr.

5.10.4.3. Postupak magnetske kontrole – magnetna ispitivanja

a) Opšte karakteristike. – Magnetska metoda ispitivanja materijala je jedna od prvih metoda kontrole bez razaranja feromagnetnih materijala s ciljem otkrivanja površinskih grešaka, kao i grešaka blizu površine materijala. Metoda otkrivanja grešaka magnetskim česticama u feromagnetnim materijalima zasniva se na magnetiziranju

stalnim magnetom ili puštanjem struje koja stvara magnetno polje. Ovom se metodom mogu otkriti i vrlo sitne površinske greške kao i greške blizu površine. Ove greške, kao što su: površinske pukotine, gasni mehurići i uključci ispod površine itd., prekidaju tok magnetnih silnica. Usled toga na mestu greške ili iznad nje, ukoliko se radi o unutrašnjoj grešci, dolazi do nagomilavanja magnetnih linija. Kad se komad u području ispitivanja pospe magnetskim česticama, usled nagomilavanja magnetskih silnica na mestu greške zgusnuće se i magnetske čestice, a taj način je i označiti. Naročito jako skretanje je kod grešaka koje imaju pravac prostiranja uspravan na pravac polja, zbog čega se ovakve greške najlakše otkrivaju. Gustoća otklona polja na mestu greške međutim, ne zavisi samo od položaja greške (uzdužno ili poprečno) nego i od magnetske indukcije (treba da je dovoljno velika), a i od magnetske propustljivosti komada (ne sme biti jako visoka).

Magnetizacija ispitivanog komada može se izvesti stalnim ili elektromagnetom:

- Magnetizacija stalnim magnetom vrši se tako što se oba magnetska polja priključuju na ceo komad ili deo komada koji se ispituje, a pri tome se stvara magnetno polje u kome se greške otkrivaju pomoću magnetskih čestica,
- Magnetizacija elektromagnetom može biti kružna ili uzdužna. Kružna magnetizacija je ona, u kojoj su silnice formirane u unutrašnjosti samog komada prolaskom struje, a obrazuju zatvorene krugove bez formiranja polova. Uzdužna magnetizacija sastoji se iz toga da kroz ispitivani deo prolazi magnetsko polje stvoreno spolja.

Kružna magnetizacija može da se izvede na dva načina: u obliku šipki preko kojih prolazi električna struja kroz njima ograničenu površinu ispitivanog komada, ili direktnim prolazom struje kroz čitavi ispitivani komad preko priključaka struje na krajevima komada.

Greške koje se nalaze pod pravim uglom u odnosu na smer silnica najjasnije se vide. Takođe će se videti, iako manje jasno, i greške koje su pod nekim uglom prema smeru magnetnih silnica, dok se neće moći otkriti one greške koje su u smeru magnetnih silnica.

Uzdužna magnetizacija izvodi se tako što se ispitivani deo ako je manjih dimenzija, uvodi u namotaj (solenoid) kroz koji prolazi struja ili ako je većih dimenzija, oko njega se obavijaju namotaji kabla.

- b) Metode magnetisanja.** – Posebnu pažnju zaslužuje metoda koja se upotrebljava za magnetisanje mašinskih delova složenog oblika i kod koje se koristi trofazna struja. U ovom slučaju magnetisanje vršimo pomoću jednakih polja, koja dobijamo ispravljenom naizmeničnom strujom, pri čemu pozitivni polutalas stvara vrtložno polje, a polutalas naizmenične struje sa faznim pomeranjem od 180° i 270° , stvara uzdužno polje. Magnetska ispitivanja pomoću praška zahtevaju da se i te kako vodi računa o karakteristikama samog ispitivanog dela i njegovih defekata. Zbog toga se često javljaju teškoće u određivanju optimalne tehnologije ispitivanja.
- c) magnetske suspenzije.** – U većini slučajeva upotrebljavamo magnetske suspenzije pripremljene u mineralnim uljima ili kerozinu, kao i u smeši ulja sa kerozinom.
- d) Metoda fero-sonde.** – Fizička suština ove metode sastoji se, kao i kod magnetske-defektoskopije pomoću praška, u stvaranju i otkrivanju magnetskog polja u oblasti postojećeg defekta. Razlika se svodi na to što se kod magnetske defektoskopije pomoću praška koriste feromagnetske čestice za otkrivanje polja rasipanja iznad defekta, dok se kod metode fero-sonde ovo polje otkriva pomoću para diferencijalno povezanih minijaturnih fero-sondi [12]⁴⁴.

⁴⁴ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

U suštini, fero-sonda predstavlja jedan elektromagnetski sistem, koji se sastoji od dva kalema sa jezgrima od mekog magnetskog materijala (legura niki-gvožđe). Primarni namotaji kalemova vezani su paralelno tako da su naponi magnetskih polja, koja deluju na jezgra, u svakom trenutku jednaki po veličini i suprotnog smera.

Treba imati u vidu da su značajne perspektive primene metode fero-sonde u oblasti otkrivanja defekata u feromagnetskim materijalima. Preimućstvo ove metode, u odnosu na metodu pomoću praška, leži u mogućnosti da se otkriju defekti, a da se sonda ne dovede u kontakt sa površinom dela, što otkriva nove mogućnosti primene ove metode za kontrolu u uslovima automatskih proizvodnih linija. Defektoskopija pomoću fero-sonde može uspešno da se primeni za kontrolu štapova, cilindričnih proizvoda, cevi, vratila i drugih delova sistema.

- e) **Magnetska metalografija.** – Magnetska metalografija zasniva se na korišćenju neposrednog međusobnog dejstva između sitnih feromagnetskih čestica i „magnetskih naboja“ spontane namagnetisanosti feromagnetskih faza. Prvo se metalografski polirani uzorak premaže tankim slojem magnetske paste, koja sadrži vrlo sitne čestice bliskog dejstva, a zatim pere u sapunskoj peni dok se ne pojave magnetske silnice i, konačno, posmatra pod odgovarajućim povećanjem na mikroskopu.

5.10.4.4. Penetranti

Penetrirajuće tečnosti su najstariji postupak ispitivanja bez razaranja. Zahvaljujući svojoj jednostavnosti i pouzdanosti i danas se široko primenjuje, usavršava i razvija.

Osobina nekih tečnosti da, zbog izrazito malog površinskog napona, prodiru u uske pukotine i procepe, (kapilarni efekt) iskorišćena je za otkrivanje ovakvih defekata. Navedenu osobinu imaju tečnosti koje su u principu organske prirode : alkoholi, biljna i mineralna ulja i, u novije vreme, čitav niz sintetičkih materijala i njihovih mešavina.

Najčešće, ispitivani deo nije čist, a eventualne naprsline su popunjene ili prekrivene naslagama različite prirode. Očigledno, neophodno je temeljito očistiti deo, bilo mehanički, bilo pogodnim organskim rastvaračem. Može se smatrati da je ovo najvažnija faza ispitivanja, jer je mogućnost greške u ostalim fazama zanemarljiva. Posle čišćenja i sušenja, nanosi se penetrirajuća tečnost, koja prodire u sve naprsline i pukotine. Trajanje procesa penetriranja zavisi od vrste penetranta, materijala koji se ispituje i oblika i dimenzija defekta.

5.10.4.5. Metoda ultrazvuka – ultrazvučna ispitivanja

- a) **Osnovne karakteristike.** – Jedna od metoda, koja se u poslednje vreme naročito može koristiti za ispitivanje materijala (delova sistema) je metoda pomoću ultrazvuka. Ultrazvučna defektoskopija je zasnovana na sposobnosti ultrazvučnih talasa da u vidu usmerenog snopa prodiru kroz materijal, a odbijaju se od raznih nehomogenosti. To omogućava otkrivanje raznih grešaka, čak i kada su one u dubini materijala tj. kada je primena magnetne metode nemoguća, a primena rendgenskih i gama zraka ograničena debljinom materijala. Pod ultrazvukom se podrazumevaju mehanički talasi učestalosti preko 20 [kHz], što se smatra granicom čujnosti čovečijeg uha. Mehanički talasi predstavljaju elastična treperenja delića u čvrstim, tečnim telima. Učestalost treperenja se izražava u broju treptaja u jedinici vremena, a jedinica za učestalost je herc [Hz] što predstavlja jednu punu oscilaciju u jedinici vremena. Danas se proizvode ultrazvučni

talasi do 1000 [MHz], a za ispitivanje materijala (delova sistema) uglavnom se koriste učestalosti do 10 [MHz] [12]⁴⁵

Metoda (postupci) prodirućih tečnosti ima jedan važan nedostatak – budući da može otkriti samo one nedostatke koji su otvoreni na površini i koji dozvoljavaju prodiranje obojene tečnosti. O onome što se nalazi ispod površine – ta nam metoda ne može ništa reći.

Magnetska metoda (postupci) nadoknađuje delimično taj nedostatak, jer smo videli da ona otkriva i “pune” nedostatke, kao što su začepljenje ili podpovršinski mehuri vazduha, samo ako se ne nalaze SUVIŠE ispod površine. i ta metoda, međutim, ima svoje ograničenje u tome što može ispitivati samo materijale (delove sistema) koji se mogu magnetisati.

U ovom slučaju, materijalima koji se ne magnetizuju treba smatrati ne samo sve materijale koji nisu feromagnetni, već i one delove koji, iako su feromagnetni, ne mogu biti podvrgnuti ispitivanju magnetskom metodom – jer bi ih i čak i eventualni, lagani tragovi preostalog magnetizma učinili neupotrebljivim.

Ultrazvučna metoda (postupci), se može prilagoditi i materijalima (delovima sistema) koji nisu feromagnetni, i može otkriti nedostatke (metalne pločice, pukotine) koji su prilično duboko u unutrašnjosti komada.

Ova metoda postavlja kao uslov – da materijal (deo sistema) bude provodnih zvučnih talasa i u praksi se može primenjivati na skoro svim materijalima, od metala savršene metalurške strukture pa sve do betona za mostove, brane itd. Područje u kojem je ultrazvučna metoda pronašla primenu je u ispitivanju kod zavarivanja, uopšte, a posebno kod specijalnih tipova zavarivanja.

b) Metode ultrazvučnog ispitivanja. – Metode ultrazvučnih ispitivanja mogu se podeliti na:

- metode prozvučavanja,
- impulsne – eho metode,
- rezonantne metode (sa rezonansom) i dr.

Metode prozvučavanja služe za konstantovanje grešaka u materijalu na osnovu slabljena intenziteta ultrazvučnih talasa propuštenih kroz materijal (deo sistema). Kod ove metode koriste se dva ultrazvučna vibratora, jedan kao odašiljač, a drugi kao prijemnik. Ako se intenzitet propuštenih ultrazvučnih talasa menja, znači da je u materijalu nastupila refleksija usled prisustva grešaka različitog akustičnog otpora.

Impulsna – eho metoda može da bude takođe sa dva vibratora ali može da bude i sa jednim koji naizmenično radi kao odašiljač i prijemnik.

Ova metoda koristi eho odaslanog impulse za utvrđivanje homogenosti materijala (dela sistema). Ultrazvučni talas prolazi kroz ispitivani materijal, a reflektuje se onda kada naiđe na graničnu površinu između dve sredine različitih akustičnih otpora. Ako u materijalu (delu sistema) nema grešaka onda će se ultrazvučni talasi reflektovati od suprotne površine komada tj. Neće moći da pređu u vazдушnu sredinu.

⁴⁵ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

5.10.4.6. Postupak ispitivanja vrtložnim strujama

Ovaj postupak vrtložne struje u praksi prikazuje dve karakteristike :

- merenje je indirektno i zato zahteva (po potrebi) baždarenje instrumenta za svaku seriju predmeta (delova) u ispitivanju;
- kontrola je bez stvarnog dodira s predmetom. Radi se o metodi koja se izvodi jednostavno, brzo, može se automatizovati i nije preskupa.

Strogo razmatranje teorijskih principa, koji su temelj ove metode, zahtevalo bi izlaganje mnoštva pojmova iz fizike i proširenje razmatranja koje prevazilazi ciljeve ove disertacije.

5.10.4.7. Metoda radiografije i gamagrafije

a) **Uvod** – Pod terminom radiografija podrazumevamo proces fotografisanja izveden upotrebom rendgenskih zraka (nazvanih još i x-zracima).

Gamagrafija je oblik radiografije koji, međutim, koristi gama zrake (γ) ali se temelji na istim teorijskim principima.

Radiografskom metodom mogu se ispitivati predmeti od čelika, debljine do 250 [mikrometra], za veće debljine - sa betatronom. Osim toga, u ovom slučaju nedostatak nije signaliziran indirektnim putem – električnim signalom, već se fotografiše direktno u svojoj poziciji, obliku i stvarnim dimenzijama.

Ako se nakon toga pribegne radioskopiji, koja je jedan oblik primene radiografije, nedostatak se može “videti” ako se komad primiče, ali ne može uvek biti tako dobro evidentiran.

b) **Radiografija** – ispitivanje rendgenskim zracima. – Ispitivanje rendgenskim zracima (ili X-zracima) naišlo je na veliku primenu kod utvrđivanja unutrašnjih defekata i uopšte nehomogenost materijala (dela sistema). Ovo ispitivanje zasnovano je na sposobnosti rendgenskih zraka da prolaze kroz razne materijale. Prilikom prodiranja zraka kroz metale dolazi do njihove apsorpcije tj. zraci slabe. Ovo slabljenje je manje ako zraci nailaze na greške i nehomogenosti, tj. tada je manja apsorpcija. Druga važna osobina rendgenskih zraka je da deluju na fotografsku ploču ostavljajući zatamnjenja različitog stepena (fotoefekat), kao i da na fluorescentnim ekranima izazivaju fluorescenciju.

c) **Gamagrafija – ispitivanje gama zracima.** – Gama zraci nastaju prilikom prirodnih ili veštačkih radioaktivnih materijala, a imaju iste osobine kao i rendgenski zraci. Oni takođe prodiru kroz materijal (deo sistema) u kome se apsorbuje u većoj ili manjoj meri, već u zavisnosti od toga da li prolaze kroz homogeni materijal ili nailaze na neke greške, a prilikom dejstva na fotografsku ploču dovode do razlaganja emulzije [12]⁴⁶. Međutim, njihova talasna dužina je manja od talasne dužine rendgenskih zraka i iznosi 10^{-10} do 10^{-11} [cm], pa usled toga gama zraci imaju veću moć prodiranja.

U odnosu na primenu rendgenskih zraka, prozračavanje gama zracima (gamagrafija) ima sledeće prednosti:

⁴⁶ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

- radioizotopi i uređaji koji služe za prozračivanje materijala (defektoskopi) lakši su i manje osetljivi na način rukovanja i transport, tako da mogu odlično da služe pri terenskoj kontroli,
- dimenzije gama radioaktivnih izvora mogu da budu vrlo male, tako da je moguće prozračavanje uskih i rendgenskih cevi nepristupačnih delova,
- gama zracima moguće je prozračiti predmete većih debljina nego pomoću rendgenskih zraka.

Pri izboru gama izvora treba voditi računa o vrsti i debljini ispitivanog materijala. Za prozračivanje debljih uzoraka, težih delova (npr. Čelični liv) biraju se radioizotopi sa tvrdim gama zračenjem (većom energijom gama zračenja), dok se za prozračivanje tanjih uzoraka lakših delova (npr. aluminijum) koriste izotopi sa mekim gama zračenjem (nižom energijom gama zračenja).

Kod izbora izvora zračenja treba se uvek odlučiti za izvor sa što manjom zračnom površinom.

5.10.4.8. Primena inženjerske holografije

Pionirski rad Abea i Gabora u oblasti holografije i paralelno, razvoj ideja Webera, Townesa, Schawlova u konceptima kvantne elektronike, zajedno sa tehničkim razvojem materijala i preciznošću obrade, doneli su danas novu, robustnu visokoprimerljivu praktičnu tehniku za ispitivanje mnogih svojstava i karakteristika materijala, u vidu holografskih tehnika (uključujući i danas sve poznatije tehnike speckles sa laserima). Glavni pravci razvoja holografije (koja je i sama postala vrlo široka teorijska i praktična oblast, zahvaljujući velikoj prostornoj i vremenskoj koherenciji kvantnih generator) će biti razmotreni u nekoliko kraćih primera i teorijskih i praktično ostvarenih šema, koje ilustruju tu mnogostrukost.

Za polje pruga, koje vibriraju, vremensko usrednjavanje se vrši okom posmatrača ili procesom zapisa i daljeg transfera i obrade podataka. Kontrast pruga za realno vreme interferencije nije dobar, kao što je kod tehnika dvojne ekspozicije.

5.10.4.9. Primena holografske interferometrije

Da se podsetimo, holografska interferometrija se koristi kao bezkontaktna tehnika za proučavanje napona i vibracija, mapiranje po dubini konture, za analizu prelaznih i dinamičkih fenomena uopšta. U nedestruktivnom ispitivanju se koristi za detekciju i lokaciju prekida jezgra po preseku sandwich struktura, ispitivanje pneumatskih problema (zaptivenost guma i drugih prslina u hidrauličnim ležištima). Koristi se za kvalitativnu ocenu loptica turbina, za nalaženje i ocenu korozionih prslina u metalnim konstrukcijama.

5.10.4.10. Aerobalistički eksperimenti i primena holografije

Ispitivanja trodimenzionalnih tokova fluida klasičnim metodama zahtevane nekoliko optičkih uređaja, čime se eksperiment poskupljuje i gini glomaznim. Holografske tehnike pojednostavljaju, ali i unose mnogo novih detalja zapisa u eksperimente ove vrste.

Od bitnog značaja su kretanje udarnog talasa i graničnog sloja, što je u vezi sa promenom gustine fluida. Holografske interferencione metode mogu da daju sliku vizualizacije strujanja oko nekog objekta i pri nižim brzinama kretanja fluida pod uslovom da se vazduh u aerotunelu

zagreva, čime se postižu veće promene gustine. U cilju takvih eksperimenata mora se obezbediti:

- zapis holograma
- uspostavljanje talasnog fronta i
- merenje potrebnih parametara talasnog fronta, pomoću drugih klasičnih metoda.

5.10.5. Postupci ispitivanja korozije

Pod „praćenjem stanja“ korozije ovde se podrazumeva skup svih mera koje se primenjuju u normalnim proizvodnim uslovima jednog tehničkog sistema, odnosno pojedinačnog dela. Tu spadaju, na primer, posebne analize, merenja elektro-hemijskih potencijala i merenja brzine korozije pomoću uzoraka ili elektro-hemijskih senzora, primena gasne analize, termoelemenata, uređaja za praćenje stanja, kontrolnih otvora, pirometara, televizijskih kamera i dr. kao i postupci ispitivanja bez razaranja.

Uopšte uzevši, praćenjem stanja treba da se ostvare dva cilja:

- dobijanje informacija o postojanosti korozije i njenom napredovanju; one doprinose poboljšanju koncepcije održavanja i omogućuju ograničenje broja pregleda stanja pri zaustavljanju naročito osetljivih delova,
- sa stanovišta radnih uslova čitavog tehničkog sistema na stepen sa minimalnim napredovanjem korozije. To se izvodi pomoću korelacije rezultata praćenja stanja i radnih parametara i primenom dobijenih podataka u vođenju procesa.

Sa stanovišta rada sistema postupci praćenja stanja sistema mogu se svrstavati u dve zasebne grupe. U prvoj grupi se nalaze postupci praćenja stanja koji se primenjuju dok sistem radi, dok se u drugoj grupi nalaze pregledi stanja koji zahtevaju zaustavljanje sistema. Druga grupa se primenjuje u većini slučajeva, mada se, kao što je poznato, i za vreme rada sistema mogu uopšteno primeniti postupci ispitivanja bez razaranja (npr. analiza pomoću odašiljanja zvuka, ultrazvučna ispitivanja itd.).

Prva grupa se dalje može podeliti na tri podgrupe: u jednoj su tečni procesni medijumi (odnosno medijumi koji su se kondenzovali). U drugoj su gasoviti procesni medijumi, a u trećoj su medijumi koji su nastali od kondenzovanih para ili smeša dveju faza. Tako je, na primer, samo pri praćenju pojava korozije u vlažnoj sredini ispravno meriti potencijal, provodljivost i srodne veličine. Nasuprot tome, za praćenje korozije u suvoj sredini karakteristična su merenja magnetskog permeabiliteta, temperature zida ili tačke rose, a takođe i u slučajevima prisustva rastvorenih soli, koje koroziju mogu da izazovu procesom mešanja. Konačno, postoji još nekoliko drugih pouzdanih postupaka koji se mogu primeniti. Ovde spadaju postupci analize, primena sonde za određivanje brzine korozije ili korišćenje senzora – osetljivih na vodonik i kiseonik.

Sa stanovišta podataka i informacija postoje „aktivni“ i „pasivni“ postupci praćenja. Oni se odlikuju sledećim osobinama:

- „aktivni“ postupci označeni su tako jer dozvoljavaju korigujuće, „terapeutske“ radnje (akcije), i to kao dopunu preventivnim merama;
- „pasivni“ postupci nose naziv zbog toga što pružaju samo informacije o mogućoj pojavi kritične korozije, od koje može da zavisi bezbednost ili otpornost sistema, odnosno dela.

Uopšte uzevši, „aktivnim“ postupcima se smatraju svi oni postupci koji su pogodni za praćenje korozije u vlažnoj sredini (npr. postupci analize, kao što su „pH vrednost“ i merenje povodljivosti). Oni pružaju neposredne informacije o onim parametrima koji su karakteristični za agresivnost procesnog medijuma, odnosno o elektrohemijским odnosima (stabilnost, aktivnost itd.), i na taj način omogućuju primenu kratkoročnih protivmera radi izbegavanja štetnih posledica. Što se tiče mogućih zahvata kod parametara proizvodnje, kao sredstvo za korišćenje „aktivnog“ postupka moglo bi da se predvide uređaji kao što su, na primer, uređaji za analizu gasa ili uređaji za analizu gasova sagorevanja, termoelementi i senzori tačke rose.

Danas su na tržištu savremena sredstva za praćenje stanja pomoću kojih se za vreme rada sistema otkrivaju ozbiljni i skriveni uzroci smetnji i korozije u različitim tehničkim sistemima.

Na taj način mogu da se odrede vrste korozije kod ugljeničnih, niskolegiranih i visokolegiranih čelika, nerđajućih čelika, bakra i legura bakra, kao i aluminijuma i legura aluminijuma.

5.10.6. Postupci ispitivanja geometrijske tačnosti

5.10.6.1. Opšte

Za sva ispitivanja geometrijske tačnosti mašina (recimo mašina-alatki) koja se odnose na oblik, položaj, pomeranje linija ili površine mašina:

- pravost (pravost linija u dve ravni, pravost delova mašine, pravost pomeranja),
- ravnost,
- paralelnost i podudarnost (paralelnost linija i ravni, paralelnost pomeranja),
- uspravnost (uspravnost prave i ravni, uspravnost pomeranja),
- obrtanje (rotacija) i „aksijalno bacanje“ (recimo centriranje rotacionih mašina).

Za svako ispitivanje treba da je dat najmanje jedan postupak merenja, kao i princip merenja i instrumenti koji se tom prilikom koriste.

Sa ciljem uprošćavanja, merne metode se sistematski zamenjuju metodama koje koriste osnovne merne instrumente, najčešće korišćene u radionicama kao što su merni lenjir, merni trn, merni sat itd.

Druge metode, naročito one sa optičkim uređajima, danas se često koriste kako u radionicama tako i u laboratorijama. Za ispitivanje određenih delova većih dimenzija često se koriste posebni merni uređaji, kao pogodniji oni koji rezultate daju odmah.

5.10.6.2. Geometrijska i radna tačnost mašina

Karakteristike koje se proveravaju kod mašina su sledeće:

- geometrijska i radna tačnost,
- statička i dinamička krutost,
- dinamičko – energetska bilans,
- buka i vibracije,
- startnost i zaustavljanje i
- prilagođavanje mašine čoveku.

Od svih ovih karakteristika najbitnija je geometrijska i radna tačnost, kao i krutost mašine.

5.10.7. Postupci kontrole električnih parametara

Postupci električne kontrole (kontrole električnih parametara) koriste se za određivanje veličina i promena napona, struje ili drugih električnih veličina, kao što su, na primer:

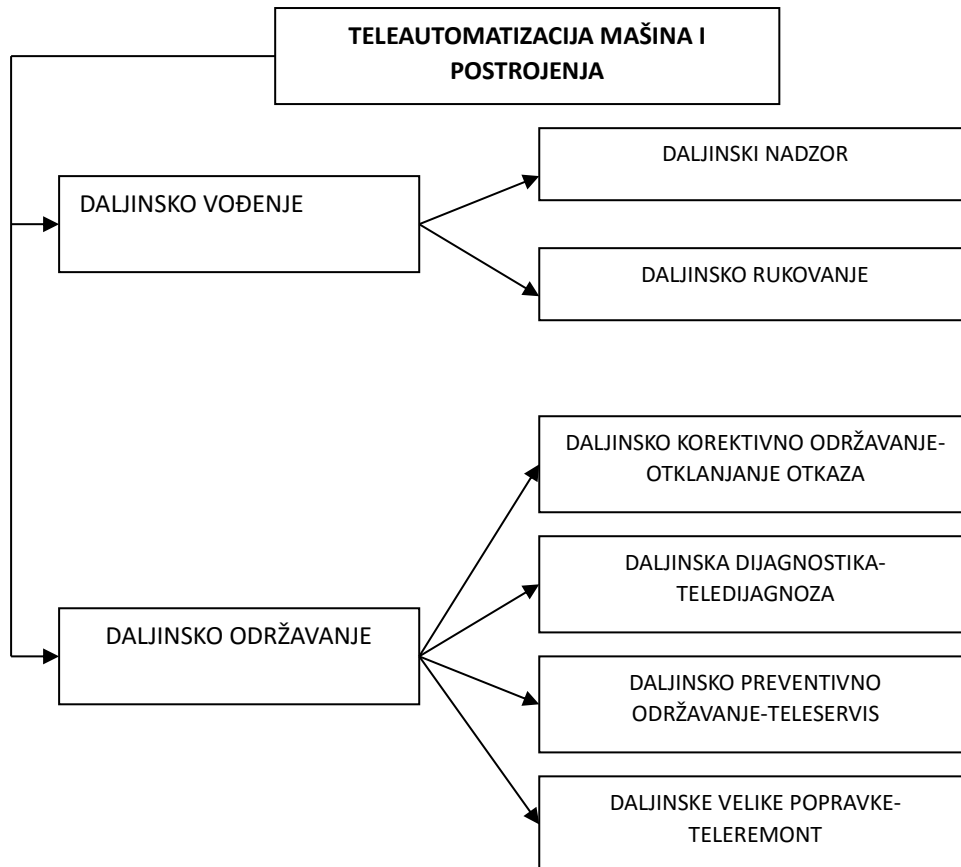
- slabljenje kontakta,
- slabljenje izolacije,
- slabljenje dijaelektričnosti,
- slabljenje emisione moći,
- varničenje,
- razdešenost elektronskog kola,
- otkaz lemljenog spoja,
- slabljenje električnih karakteristika,
- oslabljeno napajanje električnom energijom i dr.

5.11. Teleautomatizacija tehničkih sistema na površinskim kopovima

5.11.1. Teleautomatizacija

Pod teleautomatizacijom se podrazumevaju metode i tehnike, koje omogućavaju daljinski pristup automatizovanim uređajima, mašinama i postrojenjima. Teleautomatizacija mašina i postrojenja čini metode za daljinsko vođenje i daljinsko održavanje. Metoda daljinskog vođenja sadrži tehnike daljinskog nadzora i daljinskog rukovanja, dok metodu daljinskog održavanja čine daljinsko korektivno održavanje (otklanjanje otkaza), daljinska dijagnostika (teledijagnostika), daljinsko preventivno održavanje (teleservis) i daljinske velike popravke (teleremont), slika 5.5. [12]⁴⁷

⁴⁷ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010



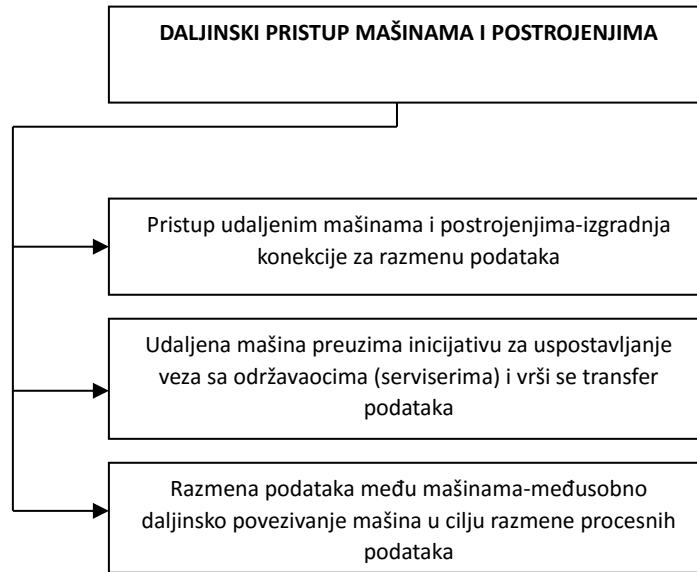
Slika 5.5. Oblasti teleautomatizacije mašina i postrojenja [12]⁴⁸

Pod daljinskim pristupom podrazumeva se pristup korisnika udaljenom računarskom sistemu pomoću podataka za daljinski prenos podataka. Najviši cilj daljinskog održavanja u tom slučaju jeste rukovođenje vremenski dugotrajnim, troškovno skupim angažovanjem velikog broja ljudstva na lokaciji gde je nastao zastoj.

Daljinski pristup se može podeliti u tri grupe:

- pristup udaljenim tehničkim sistemima (izgradnja konekcije za razmenu podataka sa ciljnim sistemom) slika 5.6. [12]
- pristup udaljenim tehničkim sistemima (udaljeni tehnički sistem preuzima inicijativu sa korisnikom odnosno sa servisom, u zavisnosti od prethodno definisanih procesnih događaja) i
- razmena podataka među tehničkim sistemima (međusobno daljinsko komuniciranje između tehničkih sistema u cilju razmene procesnih podataka).

⁴⁸ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010



Slika 5.6 Daljinski pristup mašinama i postrojenjima [12]⁴⁹

Razvoj informacionih tehnologija doveo je do revolucije u tehnologiji automatizacije. Korišćenje novih telekomunikacionih tehnologija omogućava daljinsko praćenje dijagnostičkih parametara mašine i preduzimanja aktivnosti održavanja na osnovu rezultata praćenja. Na taj način se mogu otkloniti i preduprediti mnogi zastoji što doprinosi povećanju raspoloživosti i pouzdanosti rada mašina.

Praćenje dijagnostičkih parametara na daljinu dozvoljava serviseru proizvođača opreme i/ili korisniku pristup visoko tehničko – tehnološkim komponentama i sistemu. Kao rezultat korisničkog pristupa visoko tehničko – tehnološkim komponentama i sistemu dobija se dijagnoza grešaka i njihovo brzo daljinsko otklanjanje, što umanjuje troškove zastoja na tehničkom sistemu, kao i troškove angažovanja servisera specijaliste na licu mesta.

Korišćenje telekomunikacione infrastrukture i eksploatacija telekomunikacione tehnologije nesumnjivo dovodi do povećanja efikasnosti i kvaliteta procesa održavanja tehničkih sistema. U procesnoj automatizaciji je „znanje“ o postrojenju, uređajima i stanju procesa sve važnije. Potrebno je obezbediti jednostavan pristup informacijama, kao i njihovu raspoloživost. Funkcije kao što su parametriranje i monitoring uređaja, kao i integracija *fieldbus-a* u intra i internet strukture imaju sve veću ulogu.

Skoro svi savremeni tehnički uređaji (merni uređaji, regulatori i PLC-ovi) koriste mikroprocesore, koji omogućavaju visoku korisničku funkcionalnost. Mnogi od njih poseduju Ethernet (najčešće korišćena tehnologija za lokalne mreže) interfejs veb konfiguraciju. Ova funkcionalnost je postala standard i neophodan preduslov za opstanak na tržištu. Nažalost, kompleksnost uređaja stvara probleme ukoliko sistem ne funkcioniše korektno i najčešće zahteva angažovanje servisera.

Pod daljinskim vođenjem podrazumeva se vođenje udaljene opreme. Tu spadaju daljinski nadzor ciljnih sistema na samo sa mesta odvijanja procesa, već takođe i preko mreže, npr. vizualizacijom procesa pomoću „*Human Machine interface*“. Na ovaj način se aktivno učestvuje u procesu, na primer, postavljanja novih zadatih vrednosti ili promenom parametara sistema.

Oblast daljinskog održavanja može se podeliti u tri dela: daljinska dijagnostika, daljinsko sprovođenje aktivnosti održavanja i daljinske popravke.

⁴⁹ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

Daljinsko sprovođenja mera preventivnog održavanja ima za cilj da se zadato stanje postrojenja što je moguće duže i opsežnije održi u tom stanju. U slučaju zastoja, pomoću metoda daljinske popravke proces se vraća u željeno stanje tj. uspostavlja se normalan režim rada tehničkog sistema bez potrebe za intervencijom sa lica mesta.

Cilj korišćenja novih telekomunikacionih tehnologija u održavanju mašina jeste i povećanje raspoloživosti i pouzdanosti rada mašina. Praćenjem parametara stanja mašine i preduzimanjem aktivnosti preventivnog održavanja na osnovu rezultata praćenja, mogu se preduprediti mnogi zastoji. Isto tako, promenom neke granične vrednosti (koja je značajna za rad sistema) može se direktno sa mašine npr. putem e-mail-a obavestiti korisnik o mestu, datumu, vremenu i uzroku promene stanja.

Prednosti ovih rešenja daljinskog praćenja parametara baziranih na primeni informacionih tehnologija su [12]⁵⁰:

- davanje dijagnoze na daljinu,
- brza podrška u slučaju zastoja na dislociranom sistemu,
- pristup servisera specijaliste sa bilo kog mesta,
- mogućnost daljinske konfiguracije,
- pozivanje željenih podataka,
- racionalnije raspolaganje resursima,
- redukovanje troškova,
- smanjenje vremenskog zastoja sistema,
- u slučaju ozbiljnog otkaza moguća su obaveštavanja putem govorne pošte, e-mail-a, ili faksa-a i
- pristupačnost tehničke dokumentacije FAQ (spisku najčešće postavljenih pitanja) bazi podataka.
- Nedostaci ovih sistema daljinskog praćenja su:
 - primena ove usluge uglavnom se odnosi na sofisticirane mašine i postrojenja,
 - početna ulaganja u mašine su znatna,
 - nesigurnost podataka na internetu i
 - potreba za moćnim hardverskim rešenjima za „real time monitoring“ je još uvek skupa opcija.

Prilikom izbora adekvatnog komunikacionog medija mora se voditi računa i o različitim vrstama pristupa s obzirom na zahtevane intervale pristupa.

U realizaciji merenja i praćenja dijagnostičkih parametara treba razlikovati „online“ i „offline“ sistem za praćenje. Offline sistemi se postavljaju u onim slučajevima gde je potrebno brzo prepoznati promene na sistemu i povremeno reagovati. Za održavanje tehničkih sistema najčešće nije neophodno konstantno praćenje mernih vrednosti, pošto se oštećenja razvijaju tokom vremena. U ovim slučajevima je dovoljno povremeno nadgledanje parametara stanja. Fiksno instalirani sistemi za praćenje dijagnostičkih parametara koji se permanentno ili povremeno koriste označavaju se kao online sistemi.

Tehnički sistemi sastoje se i u podsistema koji imaju različite uticaje na vrednovanje funkcionalnosti celokupnog sistema. Prilikom odabira parametara koji će se daljinski pratiti na udaljenim lokacijama treba uzeti u obzir sledeće prioritete:

- parametri tehničkih sistema ili njihovih podsistema čiji otkaz može uticati na bezbednost ljudi i postrojenja,
- parametri tehničkih sistema ili njihovih podsistema čiji otkaz može dovesti do totalnog ispada proizvodnog pogona,
- parametri tehničkih sistema ili njihovih podsistema čiji otkaz smanjuje stepen funkcionalnosti sistema i

⁵⁰ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

- parametri tehničkih sistema ili njihovih podsistema čiji otkaz ne utiče na proizvodni proces.

Rizici uvođenja daljinskog praćenja dijagnostičkih parametara su sledeći:

- netačna procena stanja zbog nedostataka informacija i
- loše interpretacije merenja, odnosno greške u proračunima.

Veoma je bitno naglasiti da se razmena informacija kod daljinskog održavanja ostvaruje žičanim (putem provodnika) ili bežičnim putem, a naravno nije isključen i kombinovani način prenosa informacija.

5.11.2. Teleservis i teledijagnoza

Postupak teledijagnostike u sebi objedinjuje dve moguće tehnike daljinskog održavanja teleservis i teledijagnozu. Pod teledijagnostikom se podrazumeva oblast teleautomatskog održavanja tehničkih sistema koja se bavi dijagnozom stanja postrojenja ili procesa na daljinu. Gotovo svi složeniji tehnički sistemi današnjice su opremljeni komunikacionim sistemima koji služe teledijagnostici. Mnogi složeniji tehnički sistemi su opremljeni komunikacionim mikroprocesima, interfejsima i adapterima koji omogućavaju nesmetano izvođenje procesa teledijagnostike.

Teleservis i teledijagnoza predstavljaju implementiranje novih tehnologija u daljinskom prikupljanju informacija sa mašina uz računarsku podršku. Prenos podataka se može obaviti preko javne telefonske mreže, zakupljenih telefonskih parica, ostalih dodeljenih žičnih veza, dvosmernih radio sistema, satelitskih veza, fiber – optičkih veza, dostupnih LAN mreža (mreže visoke brzine koje pokrivaju relativno malu površinu) ili bilo kojeg medija koji omogućava prenos digitalnih podataka. Klasični servis prerastao je u sveobuhvatnu servisnu podršku korisnika (u smislu daljinskog davanja dijagnoze i dr. održavanja).

Ovakve vrste prenosa podataka omogućuju održavaocu (serviseru) da prikupi odgovarajuće procesne parametre sa mašina u najkraćem mogućem roku, stekne uvid u stanje tehničkog sistema i izvrši eventualnu dijagnostiku grešaka sistema. Sam proces teledijagnostike se sastoji od:

- ranog upozoravanja o mogućem nastanku problema,
- identifikacije problema i
- kontinuiranog monitoringa.

Kao elementi procesa teledijagnostike izdvajaju se [12]⁵¹:

- daljinski monitoring selektovanih vitalnih parametara sistema,
- analiza podataka radi detektovanja trenda (trendovanje),
- upoređivanja dobijenih parametara sa poznatim ili očekivanim parametrima,
- nakon detektovanja opadanja performansi, predikcija momenta otkaza putem ekstrapolacije i
- plan održavanja kada je to stvarno neophodno, vremenski određeno da se spreči otkaz ili zastoj.

Kao razlozi uvođenja teledijagnostike izdvajaju se sledeći zahtevi:

- limitiranje lokalnog ljudstva ili svođenje na minimum lokalnog ljudstva,
- smanjenje rizika u opasnim radnim sredinama,
- centralna ekspertiza (lokalno se rešavaju mali problemi, a daljinski centralizovano kompleksni problemi od strane serviseru),
- efikasno i brzo reagovanje od strane serviseru i
- unapređenje postupaka preventivnog održavanja zahvaljujući stalnom praćenju performansi mašina.

⁵¹ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

5.11.3. Teledijagnostika složenih tehničkih sistema na površinskim kopovima

Dijagnostika kompleksnih tehničkih sistema je postala finansijski i vremenski veoma zahtevan posao, i oslanja se na teledijagnostiku kao standard budućnosti. Izdvajanje procesa kreiranja dijagnostike od procesa dizajna i analize pouzdanosti (što je slučaj u mnogim kompanijama) znači da analiza pouzdanosti funkcioniše često ignorisano ili bespotrebno ponovljeno od strane inženjera koji kreiraju dijagnostiku.

Potrebno je dakle razmotriti kako da se automatska produkcija analize pouzdanosti (pa i trendovanje) inkorporira u proces kreiranja dijagnostike sistema. S obzirom na to da je analiza pouzdanosti kompleksnih tehničkih sistema stvar servisera ili servisnih službi, a da su ovakvi sistemi dislocirani, teledijagnostika se čini kao jedino rešenje koje može odgovoriti na sve izazove koji se mogu nametnuti [12]⁵².

Prilikom izbora adekvatnog komunikacionog medija u svrhu teledijagnostike, mora se voditi računa o tome koja frekvencija daljinskog pristupa tehničkom sistemu je potrebna.

Interval pristupa je veoma važan faktor i prilikom donošenja odluka o investiranju u teledijagnostička sredstva.

Kada se govori o tehničkim sistemima, prihvatljiva definicija teledijagnostike bi mogla da glasi: „Teledijagnostika je proces unapređivanja pouzdanosti vitalnih ili najvažnijih instalacija i redukovanje troškova održavanja izbegavanjem neplaniranih akcija ili putem monitoringa stanja sistema daljinskim putem“. Ovako definisana, teledijagnostika je usko povezana sa pojmom pouzdanosti te su ove kategorije neodvojive u tom smislu. Za razliku od klasičnog definisanja pouzdanosti kao kvantitativne vrednosti date u zavisnosti od operativnog rada mašine, sa aspekta primene tehničke dijagnostike, a time i teledijagnostike, pouzdanost možemo definisati kao kvantitativnu vrednost ne samo u zavisnosti od operativnog vremena rada, već takođe i na bazi tehničkog stanja dela sistema, koji se dijagnostički određuje.

Pouzdanost je, dakle, sposobnost da se očuvaju parametri koji karakterišu sposobnost ispunjavanja zadate funkcije, odnosno očuva kvalitet u predviđenim uslovima eksploatacije za predviđeno vreme. U tom pravcu je neophodno izvršiti procenu procesnih parametara koji će se pratiti kao i njihovih graničnih vrednosti. U svrhu praćenja procesnih parametara služi razna hardverska oprema danas dostupna na tržištu od koje se mogu izdvojiti:

- pozicioni senzori,
- fotoelektrični senzori,
- senzori nivoa tečnosti,
- senzori protoka tečnosti,
- senzori pritiska,
- senzori vakuma,
- senzori temperature,
- senzori vibracija,
- mehanički senzori,
- električni senzori,
- IC senzori,
- senzori zvuka,
- senzori voltaže,
- senzori brzine rotacije,
- pojačivači signala itd.

Uprkos najpreciznijim merenjima i sveukupnom iskustvu, procena o preostalom životnom veku tehničkog sistema može biti nepredvidiva. Proces dijagnostike je u velikoj meri zavisna od ljudi koji poznaju sistem i bave se monitoringom i vrednovanjem mernih podataka. Softverski modeli pouzdanosti integrisani sa teledijagnostičkim mogućnostima i savremenim

⁵² [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

tehnološkim rešenjima mogu igrati jako značajnu ulogu u smislu estimacije pouzdanosti i preostalog radnog veka (na osnovu procesnih parametara), naročito kada je u pitanju veliki broj preventivnih akcija održavanja koje se uzastopno primenjuju na datom tehničkom sistemu. Zbog toga što je nekada potrebno imati brz odziv i proračun zadatih parametara sistema koji se prati, potrebno je razvijanje softvera za estimaciju pouzdanosti. Konflikt leži u tome što praćenje većeg broja parametara ili/i složenog modela za procenu pouzdanosti složenih mašina znače i sporiji proračun i daleko zahtevniji softver koji je usko specijalizovan pa je njegov razvoj zahtevan finansijski, po pitanju metodologije i kadrova. Ipak teledijagnostika predstavlja ogroman iskorak napred u smislu mogućnosti kreiranja obimnih baza podataka koje su još uvek nedostupne mnogim održavaocima i preduslov stvaranja ozbiljnijih ekspertskih sistema.

Monitoring stanja u realnom vremenu ili kontinuirani monitoring se može definisati ako proces stalnih inspekcija ili nadgledanja rada opreme u cilju osiguravanja ispravnog funkcionisanja i otkrivanja nenormalnosti koje najavljuju nastupajući otkaz. Pogodan je za opremu kod koje nije moguće predvideti trend trošenja, odnosno propadanja periodičnim pregledima, gde offline pregledi nisu poželjni i gde kritičnost otkaza zahteva stalnu pažnju nad procesom ili opremom. Upravo to ga svrstava u veoma skupu mogućnost u okviru koncepcije održavanja prema stanju [12]⁵³.

Ako se tehnički omogući direktan i stalan pristup mernim tačkama, odnosno stalno ili veoma često merenje, nakon toga unos i obrada tih podataka odgovarajućim softverskim paketom, onda se govori o kontinuiranom monitoringu, monitoringu u realnom vremenu ili online monitoringu. Neki od razloga da se pređe na monitoring u realnom vremenu su:

- postrojenje je ekstremno kritično,
- pristup opremi je veoma težak ili opasan,
- nedostatak ljudstva za prediktivne inspekcije,
- veliki broj opreme na kojoj treba sprovesti dijagnostiku,
- karakteristike otkaza ne mogu se identifikovati rutinskom inspekcijom,
- vreme nastupanja otkaza je kraće od periodike inspekcija i
- karakteristike otkaza nisu uopšte predvidive.

Pored osnovnog cilja da se izbegnu neplanirani otkazi, može se reći da se kontinuiranim monitoringom postiže iskorišćenje opreme u svim pa i abnormalnim situacijama.

Tako se na primer mogu pratiti razni parametri pri maksimalnim opterećenjima, a koji nisu predviđeni za regulaciju sistemom automatskog upravljanja. Takođe se postiže sposobnost da se dostigne maksimalni vek opreme pažljivim praćenjem i dokumentovanjem stanja opreme. Te korišćenje tih informacija za balansiranje opterećenja u realnom vremenu. Takođe, skupljeni podaci mogu se koristiti za podešavanje radnih procedura. I na kraju, online monitoring generiše detaljnije podatke koji se mogu koristiti za dijagnozu najverovatnijih uzroka otkaza ili defekta. Neki otkazi se mogu desiti samo pod posebnim stresnim i teško ponovljivim okolnostima.

Zbog toga tekuće procedure održavanja teško mogu da se dijagnostikuju. Ugrađeni monitoring sistemi imaju sposobnost da detektuju i izoluju otkaz kada se desi u takvoj situaciji.

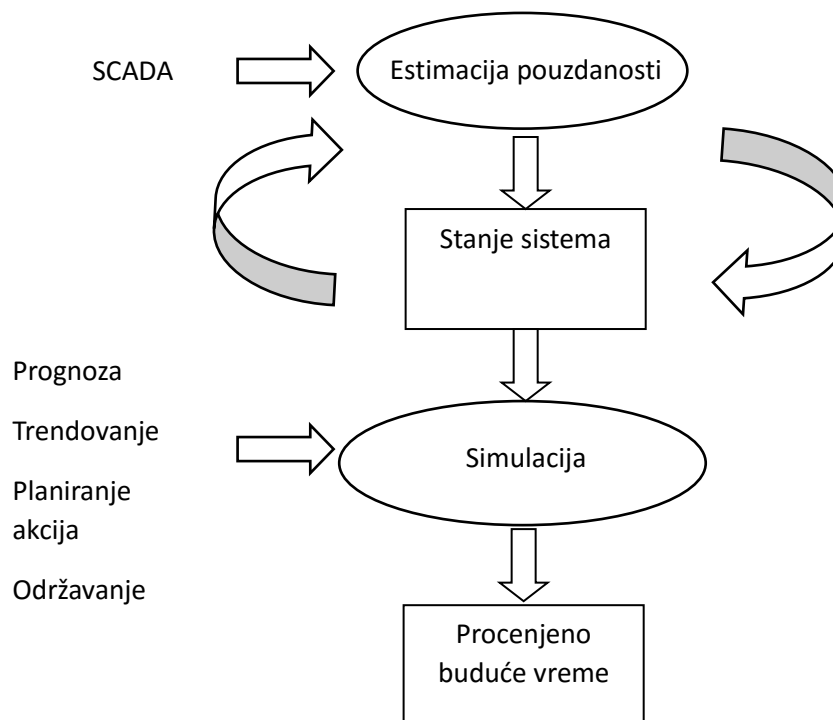
Kada govorimo o monitoringu u kontekstu pouzdanosti tehničkog sistema, neki od bitnih zadataka monitoringa u realnom vremenu su:

- detekcija starta evolucije otkaza,
- klasifikacija evolucije otkaza,
- modelovanje i praćenje degradacije putem modelovanja pouzdanosti,
- predikcija preostalog korisnog životnog veka postrojenja sa velikim stepenom sigurnosti,

⁵³ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

- predviđanje otkaza itd.

Primer monitoringa u realnom vremenu radi praćenja pouzdanosti tehničkog sistema koji se može implementirati korišćenjem teledijagnostike je dat na slici 5.7. koji je podržan od strane SCADA sistema, (sistema za merenje, praćenje i kontrolu tehničkih sistema). Ovakav sistem na osnovu estimacije pouzdanosti tehničkog sistema stvara sliku o stanju tehničkog sistema i to čini u cikličnom, permanentnom toku kruženja informacija. Dalje na osnovu softverskih rešenja, simulira se rad tehničkog sistema i vrši procena budućeg stanja tehničkog sistema. Na osnovu trendovanja procesnih parametara vrše se prognoziranje i planovi aktivnosti budućih akcija održavanja.



Slika 5.7 Dijagram toka primene teledijagnostike radi estimacije pouzdanosti tehničkog sistema u realnom vremenu

5.11.4. Decentralizovani sistemi automatizacije

Poslednjih 10-15 godina, fieldbus-ovi su prodrli u sve oblasti tehnike automatizacije. Oni omogućavaju prelaz sa centralizovane na distribuiranu arhitekturu automatizacije. Jednostavni ulazno-izlazni uređaji, aktuatori i senzori sa analognim naponskim ili strujnim kanalima, koji su bili priključeni na centralno upravljanje, zamenjeni su inteligentnim uređajima, koji pomoću jednog digitalnog komunikacionog sistema (fieldbus-a) međusobno komuniciraju.

Fieldbus predstavlja „kičmu“ distribuiranog sistema automatizacije i samim tim idealnu tačku pristupa za dijagnostifikovanje stanja sistema. U proteklih desetak godina razvijen je i standardizovan broj magistrala i odgovarajućih komunikacionih protokola za primenu u industriji. Protokol je skup pravila i standarda koji određuju način razmene podataka između hardverskih i softverskih komponenti u mreži.

Ovi standardi su razvijani u različita vremena, od strane različitih proizvođača, za različite namene. Ne postoji standard koji se može smatrati najboljim rešenjem, već svaka od mnoštva industrijskih magistrala, poseduje neke specifičnosti koje određuju njenu oblast primene. U kontrolnim sistemima koji upravljaju procesom na tržištu dominiraju

FOUNDATION Fieldbus i PROFIBUS. U aplikacijama koje su kontrolisane PLC-om najčešće se primenjuje PROFIBUS, dok u aplikacijama koje su kontrolisane DCS-om (distribuiranim kontrolnim sistemom) prevladava FOUNDATION Fieldbus.

Pristup procesnim podacima na fieldbus-u preko Ethernet struktura ostvaruje se pomoću Gateway uređaja, a samim tim i jednostavan pristup na daljinu (kako korisničkog interneta, tako i sa interneta). Ovaj uređaj se koristi za prenos podataka između dve mreže koje koriste različite veze podataka i standardne mreže. On prima podatke sa jedne mreže, obrađuje ih da bi ih prilagodio formatu druge mreže i šalje ih preko te druge mreže. Koncepti koji postoje vezano za povezivanje fieldbus-a na internet su razni. Proizvođači nude svoje Gateway-eve koji povezuju njihove fieldbus-ove sa udaljenim internetom ili internetom. Na ovaj način se pomoću odgovarajućeg softverskog alata može daljinski pristupiti informacijama u unutrašnjosti fieldbus-a. i dalje postoji nekompatibilnost među proizvođačima, što predstavlja problem za korisnike.

Dakle, zahvaljujući globalnoj raspoloživosti interneta, moguće je sa bilo kog mesta u svetu pristupiti fieldbus sistemu. Monitoring i dijagnostika fieldbus varijabli: upravljanje, aktualiziranje softvera, setovanje parametara i pokretanje rutina mogu se daljinski realizovati. U slučaju zastoja, moguće je brže i efikasnije reagovati uvidom stanja sistema i preduzeti odgovarajuće mere za njegovo otklanjanje.

Na ovaj način, značajno se može pomoću teleservisa podići nivo održavanja i smanjiti troškovi dijagnostifikovanja u oblasti fieldbus sistema. Povezivanje na fieldbus sisteme putem interneta nosi sa sobom i neka ograničenja i rizike:

- ograničena brzina prenosa (u zavisnosti od pristupa internetu postoje ograničenja propusnog opsega, što predstavlja problem u realizaciji rada u realnom vremenu koji zahtevaju fieldbus mreže i
- zaštita pristupa (zahteva se primena postojećih koncepata zaštite, o kojima je već bilo reči, npr. autorizacija pristupa, Firewall itd.).

Pri realizaciji povezivanja fieldbus sistema na internet, kao i ostalih sistema automatizacije uopšte, mogu se koristiti isti koncepti. Pristup fieldbus sistemu putem interneta ostvaruje se korišćenjem standardnih internet servisa. Na prelaznoj tački između interneta i fieldbus-a nalazi se Gateway, koji s jedne strane podržava primenjene internet servise, a sa druge strane raspolaže potrebnim interfejsom za fieldbus. Mogu se koristiti ili računarska bazirana serverska rešenja kao što su Microsoft Internet Information Server, Apache HTTP Server ili tkz. inteligentni veb serveri, koji su dovoljno mali da se integrišu u mikrokontrolerski upravljane fieldbus sisteme.

Od internet servisa najčešće se primenjuju WWW i njemu pripadajući HTTP protokol. U najjednostavnijem slučaju fieldbus alat sadrži nekoliko WEB stranica u HTML ili HML formatu, koji se mogu pozvati preko WWW i u browser-y na platformi alata se mogu posmatrati. Jedna od alternativa povezivanja preko interneta je pomoću HML poruka. Komunikacija sa fieldbus-om se ostvaruje razmenom HML poruka preko WWW-a. Treća mogućnost je u primeni fieldbus. Ostali internet servisi kao što su FTP, e-mail i telnet mogu se postaviti uz pomoć odgovarajućih korisničkih alatki kao što su FTP-Clients, telnet terminali itd.

5.11.5. Teleservis

Pod teleservisom podrazumevamo metodu koja korišćenjem modernih tehnologija omogućava virtuelno prisustvo proizvođača opreme na mašini korisnika uz računarsku podršku. Postoji više termina koji se koriste za opisivanje ove funkcije:

- daljinsko održavanje,
- daljinski pristup (prilaz spolja),

- upravljanje daljinskim servisima (nešto sveobuhvatnije) i
- dijagnoza na daljinu, daljinska konfiguracija itd.

Teleservis se može još definisati kao metod za razmenu podataka na bazi daljinskog pristupa mestu održavanja odnosno, tehničkoj opremi (mašini, proizvodnoj liniji, kompjuterima i sl.) u cilju detekcije kvara, dijagnoze, održavanja, analize podataka i optimizacije. Veza između korisnika i sistema može da se uspostavi korišćenjem sledećih komunikacionih medija:

- analogne telefonske mreže,
- ISDN-a (oznaka za digitalnu telefonsku tehnologiju),
- ADSL-a (asimetrična digitalna pretplatnička linija),
- Mobilne mreže,
- GSM mreže (globalni sistem za mobilnu komunikaciju) i
- Interneta.

Univerzalno prihvaćena definicija teleservisa je ustanovljena kako bi se izbegli nesporazumi. Sledeći kriterijumi koji treba da budu ispunjeni su formulisani kako bi pojednostavili definiciju teleservisa:

- **Geografska udaljenost.** Servis treba da bude obezbeđen sa prostorne udaljenosti. Ovo znači da servis mora da obavi serviser koji je prostorno udaljen od korisnika;

- **Upotreba informatičke tehnologije.** Upotreba informatičke i komunikacione tehnologije je neophodna pri izvođenju servisa (tj. Upotreba ISDN-a ili modema za transfer procesnih ili kontrolnih podataka);

- **Industrijski servis.** Izvedeni servisi treba da budu na polju industrijskih servisa.

Industrijski servisi su na primer održavanje, dijagnostika i popravke.

Primena informacionih tehnologija dovela je do značajnih promena i u servisnoj organizaciji proizvođača opreme. Klasična tehnička podrška u toku eksploatacije (prodaja rezervnih delova, organizovanje poseta servisera) prerasla je u sveobuhvatnu servisnu podršku korisnika (daljinsko davanje dijagnoze, ažuriranje softvera mašina, online monitoring i dr.). Naime, u svetu, kod proizvođača mašina, kao vid elektronske podrške korisnicima, prisutan je trend stvaranja timova servisera za mašine i procesne tehnologije - „teleservis“. Oni mogu da funkcionišu jedino ukoliko imaju direktan pristup aktuelnim informacijama o stanju postrojenja. To znači, da meri podaci moraju biti preneti sa mašine do servisera. Na ovaj način, raste kvalitet raspoloživih informacija, odnosno smanjuje se zavisnost od verbalnog opisa situacije od strane korisnika mašine.

Zbog ovih pomenutih razloga, mnogo je bolje rešenje ako serviseri specijalisti za održavanje mogu ostati u svojoj kancelariji. Iz ovog razloga kompjuteri i PLC-ovi na daljini spajaju servisere preko telekomunikacionih veza. Serviseri za rešavanje problema mogu manipulirati PLC-ovima i posmatrati njihovu funkciju, posao održavanja se može obavljati i sa znatno velike udaljenosti, ali pristup PLC-ovima još uvek ostaje nekompletan i svi alati imaju svoje nedostatke:

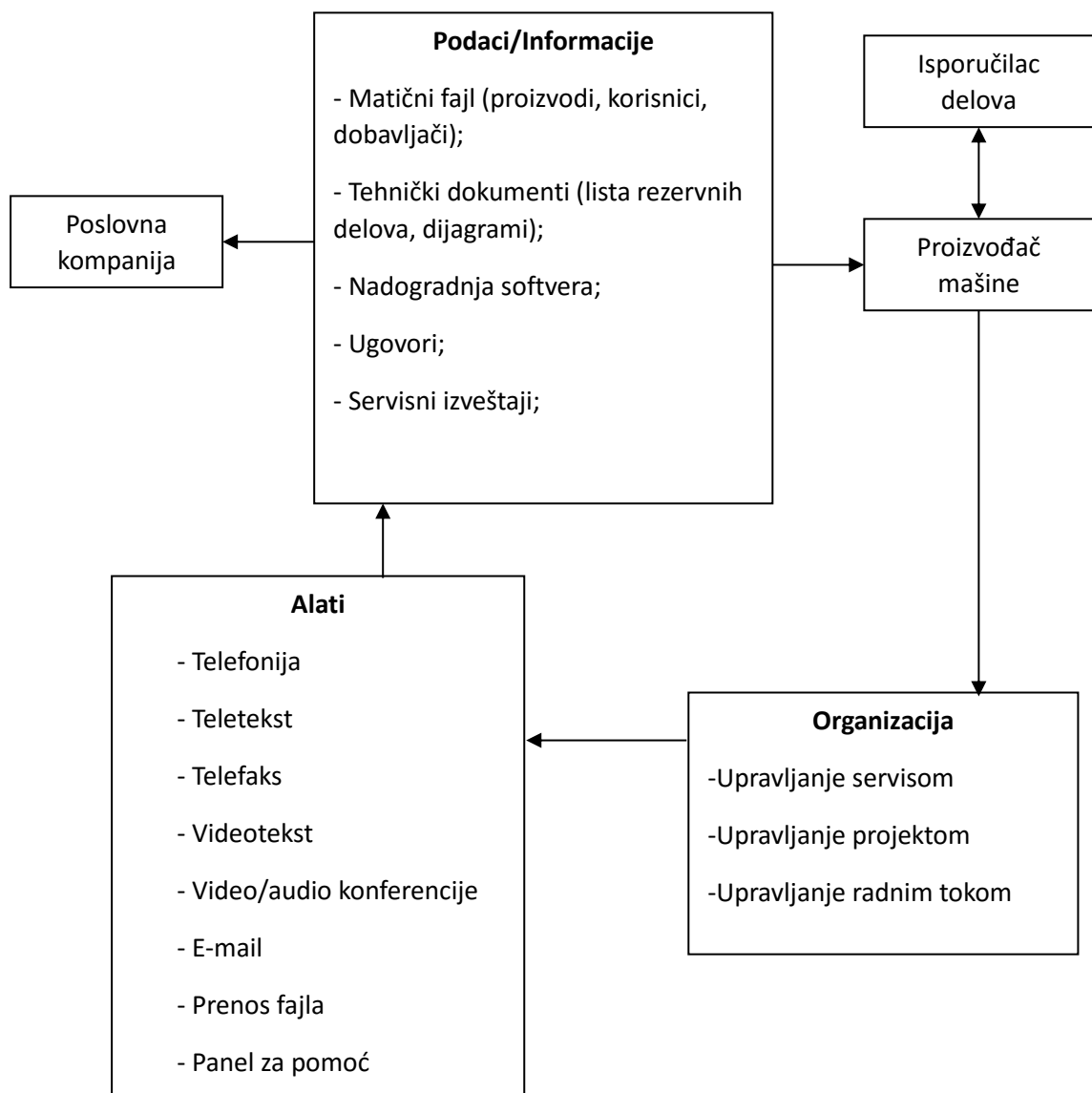
- serviseri za rešavanje problema ne mogu videti unutrašnjost PLC-ova,
- ne mogu videti kvarove jednostavno gledajući jer se sve odvija prebrzo,
- ako se greška retko pojavljuje, teško se može pogoditi pravi trenutak kada treba gledati i
- ako uzrok greške traje dugo, gubi se pregled.

Uopšteno posmatrano pod teleservisom se može misliti na podršku potrošačkog servisa obezbeđenu pomoću informatičkog i komunikacionog servisa i komponenti koje omogućavaju

dijagnostiku mašina na daljinu i eliminaciju kvarova. Teleservis se razmešta pri instalaciji i puštanju u rad postrojenja i mašina, za otklanjanje poremećaja i unapređenje novog softvera. Nova polja primene teleservisa u budućnosti će uključiti podršku procesu i obezbeđenju savetničkog servisa korisnicima.

Teleservis, kao servis, treba da omogući svim korisnicima kontakt u vezi sa planiranjem, instalacijom i radom postrojenja i mašina. Uz pomoć moderne komunikacije i informacionih tehnologija kombinovanih sa multimedijalnim alatima, teleservis se izvodi jednostavnije, brže i sa bilo kog mesta. Preduslov je da proizvođači, korisnici i postrojenje ili mašine budu široko umreženi pomoću računara.

Interakcija na bazi umreženosti između proizvođača i korisnika se vidi kao ključni, centralni element u lancu obezbeđenja servisa. Tehnološka baza je obezbeđena pomoću teledijski datog alata za distribuisanu saradnju, tj. u obliku zajedničkog pristupa od strane kompanije koja je konstruisala postrojenje i operatora postrojenja za kontrolu mašina, vizualizaciju procesa ili tehničke dokumentacije, slika 5.8.



Slika 5.8 Komponente teleservisa mašina na površinskim kopovima

5.11.5.1. Uopšteno o načinu funkcionisanja teleservisa

Obično je priroda funkcionisanja tehničkih sistema takva da se često dešava da mašine otkazu u njima baš kada su najpotrebnije. Najbrži i najjeftiniji način da se mašine dovedu u radno stanje je svakako korišćenje usluga teleservisa.

Sam proces izvođenja teleservisa se može pokrenuti operativnim signalom sa mašine koja treba da se popravi. Osoblje teleservisa će se tada prijaviti na sistem koji se dijagnostikuje tj. kada servisni centar dobije odgovarajući zahtev da je negde potrebna intervencija za servisom, nikada obrnuto. Operateri mašine koja se popravljaju mogu tako tačno tokom čitavog perioda servisa, ako je u pitanju dvosmerna veza, pratiti proces servisiranja na svom računaru ili na računaru mašine. Veoma karakteristično je da se servis može na zahtev korisnika usluge otkazati u bilo koje vreme[12]⁵⁴.

Potrebno vreme čekanja na ovlašćenog servisera da stigne i otkloni kvar na lokaciji gde je mašina u otkazu je od nekoliko sati ukoliko serviser postoji u toj zemlji pa čak i do nekoliko dana ukoliko su u pitanju veće udaljenosti od servisnog centra do mašine koja je u otkazu. Kao alternativa svemu ovome izborom usluge teleservisa eliminišu se nepotrebna vremena za putovanja servisera. Vrlo jednostavno se uspostavlja kontakt, pozove se podrška u centru za daljinski servis. Inženjer koji je na dužnosti će pristupiti dijagnostifikovanju mašine, a radnik na održavanju koji nadzire proces, ili neko drugo lice zaduženo za popravak mašine može pratiti iz svoje kancelarije postupak i tok servisiranja. Isti postupak nadziranja može se pratiti i na računaru mašine koja se popravljaju. Za otkaze kompleksnije prirode, karakteristično je da uslugu teleservisa (servisiranja) mogu da vrše nekoliko servisera u isto vreme, a da se sa druge strane nalaze na različitim lokacijama.

Navedena prikazana online podrška na tehničkim sistemima štedi vreme i novac, jer činjenica je da se do 90% svih elektronskih kvarova na mašinama i postrojenjima može otkloniti korišćenjem usluge teleservisa. Koristeći mrežnu vezu može se pratiti stanje na računaru ili direktno na posmatranoj mašini. Online podrška uključuje elektronske usluge u vidu konfiguracije sistema, konsultantskih usluga u veti podrške, pitanja za podršku, slanja i primanja podataka itd. Putem online podrške moguće je ažuriranje softvera, ukoliko se ukaže potreba za time. Online teleservis trening takođe štedi dragoceno vreme kada su u pitanju kursevi obuke za nove softverske programe ili posebne zahteve koji oni pružaju.

Primeru radi slobodan pristup daljinskom servisu može da se zasniva na korišćenju pripejd telekomunikacionih usluga. Uz saglasnost naručioca usluge teleservisa, primeru radi, može da se odobri kredit od pet sati. Tokom procesa teleservisa, može se u svakom trenutku proveriti koliko je kredita odnosno vremena preostalo. Dakle, naručilac usluge uvek zna koliki mu je trenutni kredit i po potrebi ga može uvek dopuniti. Prilikom skapanja prvog ugovora o daljinskom održavanju obično veće poznate kompanije daju pet ili više sati kredita besplatno.

5.11.5.2. Bezbednost funkcionisanja usluge teleservisa

Sve usluge daljinskog servisa predstavljaju bezbedonosni rizik za njihovu upotrebu. Pored čisto tehničkih parametara veoma bitno je usmeriti pažnju na neka od organizacionih pravila za korišćenje daljinskog upravljanog softvera. Osmišljene su ugovorne obaveze koje regulišu proces daljinskog održavanja. Sledeće bezbedonosne funkcije su moguće kao neke od primera koji bi trebalo da se sprovode u zavisnosti od nivoa bezbednosti ili zahteva da kompjuter bude pod kontrolom:

- u okviru sadržaja prikazuju se informacije vezane za kontinuirano daljinsko održavanje,

⁵⁴ [12]. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010

- podešavanja ili konfigurisanja koja se odnose na daljinski upravljani softver su neizvodljiva jer je on zaključan i može se promeniti samo od strane operatera koji imaju veze sa procesom,
- za vezu sa udaljenim tehničkim objektom serviser specijalista mora imati autentičnost,
- daljinska sesija je prijavljena (tekst protokol) i
- daljinske sesije se mogu snimati (video protokoli).

Sofisticirana strategija o bezbednosti mašine koja se popravlja u prvom je planu kada su u pitanju usluge teleservisa. Iz tog razloga neophodno je primeniti više sigurnosnih mehanizama za sam proces obavljanja usluge teleservisa. Svaka sesija usluge teleservisa radiće određen vremenski period i automatski će se isključiti kada se proces završi. Dakle, ovakvi centri treba da obezbede da nijedno neovlašćeno lice ne može pristupiti podacima sa mašine koja se servisira. Dinamički generisane lozinke nude dodatne mere bezbednosti.

Podaci se u svakom slučaju moraju zaštititi na odgovarajući način, jer činjenica je da sajberkriminal i neovlašćeno rukovanje podacima može izazvati ogromnu štetu za kompaniju naručioca usluge. Usluge daljinskog održavanja i njena bezbednost ne smeju da dođu u koliziju. Jednostavni postupci zaštite, podešavanje sigurnosnog zaštitnog zida (Firewall) i tajnost ugovorenih obaveza, mogu da obezbede visok nivo bezbednosti usluge daljinskog održavanja.

Za proizvođače mašina veliki problem predstavlja definisanje sigurnosnih standarda za daljinski pristup od strane korisnika opreme. Formulisu se različite varijante - počev od vrste izbora(modem/ISDN/internet/GMS/UMTS), preko različitih VPN standarda (virtualnih privatnih mreža) za povezivanje podataka do raznih virus skenera i Firewall-ova. Serviser specijalista mora da zadovolji sigurnosne zahteve mnogobrojnih korisnika.

Direktna veza dva modema preko analogne telefonske mreže se ne preporučuje, s obzirom da je ova konfiguracija ekstremno nesigurna, i ne dozvoljava potreban komfor za svakodnevnu primenu. Ovako priključeni modemi najčešće nisu dozvoljeni od strane odgovornih za IT bezbednost, jer predstavljaju nepouzdan sistem /hakeri mogu prodreti u oba sistema, a javljaju se i česti problemi sa konfigurisanjem modema) što može prouzrokovati troškove koji su posledica ovih opasnosti.

Korišćenjem jednog jeftinog Firewall rutera može se obezbediti potrebna bezbednost, bez obzira da li se pristupa preko ISDN-a, modema ili interneta (VPN tunel). Dalje mere predostrožnosti u Firewall-u, kao što je provera broja sa koga se poziva (Dialer identification kod ISDN) i filtera kao što je CHAP Authentication pružaju veliku sigurnost uz minimalne troškove. Firewall je specijalno programiran ruter koji se obično nalazi između zaštićenog dela mreže i interneta. To je ruter u smislu da fizički povezuje dve ili više mreža i prosleđuje pakete od jedne mreže do druge. Firewall dozvoljava administratoru sistema da implementira sigurnosne polise na jednom centralizovanom mestu. Firewall-ovi bazirani na filterima su jednostavni i veoma široko zastupljeni.

5.12. Preventivne periodične popravke – remontu tehničkih sistema na površinskim kopovima

5.12.1. Vrste periodičnih opravki mašina na površinskim kopovima

5.12.1.1. Osnovne definicije

Sistem preventivnih periodičnih opravki (remonta), pouzdanost i raspoloživost sistema (mašine) zavisi, pored ostalog, od pravilne organizacije održavanja, nadzora sistema u periodu eksploatacije, blagovremene zamene pohabanih delova i kvaliteta materijala sastavnih delova

sistema. Efikasnost sistema opravki zavisi, takođe, od trajanja preventivnih periodičnih opravki.

Preventivnom periodičnom opravkom (remontom) naziva se kompleks tehničkih operacija za popravku i zamenu pohabanih delova, a takođe i za opštu proveru (dijagnostiku) i podešavanje mašine u cilju obezbeđenja normalnog rada u periodu između dve preventivne opravke (u međunarodnom ciklusu).

U praksi postoje sledeće preventivne opravke:

- preventivne periodične opravke (profilakse: mala i srednja opravka),
- preventivne generalne opravke (remont sa modernizacijom).

Sistemom preventivne opravke naziva se celokupnost organizacionih i tehničkih mera za održavanje i nadzor koje se sprovode preventivno i obezbeđuju pouzdanu eksploataciju sistema. Ove mere sprečavaju porast nastajanja otkaza, habanja i havarija, a takođe ostvaruju obnovu tačnosti rada opreme, koja se gubi u procesu eksploatacije.

Osim toga, sistem preventivne periodične opravke daje mogućnost rešavanja sledećih pitanja: određivanje složenosti opravke, razrada tehnologije i nomenklature remontnih radova po vrstama opravke, razrada normi za teže opravke, sastavljanje godišnjih i mesečnih grafikona opravki, određivanje potrošnje materijala za opravku, određivanje cene koštanja opravke, ravnomerno opterećenje „pogona na remont“, izrada crteža za rezervne delove, analiza otkaza sistema, proučavanje habanja osnovnih delova i način za njihovo smanjivanje, kontrola kvaliteta opravke i održavanja sistema i način mehanizacije remontnih radova. Suština sistema preventivne opravke je regularno sprovođenje preventivnih periodičnih pregleda, revizije opreme, tehničke dijagnostike, podmazivanja, a na osnovu njih određivanje obima opravke. Rezultati pregleda, odnosno dijagnostike moraju da se upišu u posebnu knjigu, a takođe i u smensku knjigu prilikom prijema i predaje smene od strane rukovaoca tehničkih sistema (ili se rezultati pregleda registruju na neki drugi način).

5.12.1.2. Vrste preventivnih periodičnih opravki (remonta)

Sistem preventivnih opravki predviđa sledeće postupke (kako je već rečeno) [18]⁵⁵:

- preventivne periodične opravke (profilakse: mala i srednja opravka),
- preventivne generalne opravke (remont sa modernizacijom).

Glavni oblik opravke je tekući remont – profilaksa, koji pri pravilnom korišćenju obezbeđuje pouzdan rad sistema i dozvoljava za duži period odlaganje skupe preventivne generalne opravke.

Svi sistemi preventivnih opravki uključuju obavezne preventivne mere, koje se sastoje od tekućeg održavanja i dijagnostike mašina, što obezbeđuje potreban nivo radne sposobnosti mašina i blagovremeno otkrivanje neispravnosti.

⁵⁵ [18]. Adamović, Ž., Tehnologija održavanja, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 1996.

Vrsta, forma organizacije, metoda sprovođenja, periodičnost i trajanje preventivnih opravki moraju se definisati posebnim „Pravilnikom o preventivnim opravkama (remontima) u preduzeću“.

5.12.1.3. Male preventivne periodične opravke (profilakse)

Mala preventivna periodična opravka vrši se obično, na mestu ugradnje tehničkog sistema (opreme).

To su: delimično rasklapanje mehanizma, tehnička dijagnostika, markiranje, čišćenje revizija delova, određivanje stepena habanja delova, zamena delova, podešavanje sklopova, zamena ulja, zamena zaptivača, provera učvršćenja i zazora, čišćenje radnih površina, a takođe i radovi, koji se izvršavaju prilikom preventivnog periodičnog pregleda, kontrolnih pregleda, podmazivanja i tehničke dijagnostike.

U zavisnosti od obima radova razlikuju se 1,2 i 3 tekući remont, čiji odnos je 1:2:3 ili 8, 16 i 24 sati. Po obimu i težini male preventivne periodične opravke (tekući remont) može trajati i duže od tri radne smene.

Ove opravke vrše se u danima, kada je po planu zaustavljanje mašine prema godišnjem grafikonu ili se usklađuju sa pauzama u radu mašine (za neradne smene i neradne dane). Može se, recimo, jedan dan u nedelji planirati za izvođenje opravke.

Za izvršenje ovih preventivnih opravki koriste se kao osnova istorijat periodičnih pregleda i revizija, kontrolnih pregleda, podmazivanja, dijagnostike, te se sastavljaju spiskovi neispravnosti opreme, gde se ukazuje na planirani datum zaustavljanja opreme, popis radova, naziv potrebnih delova, obim rada, broj radnika i rokova izvršenja opravke. Ove opravke izvršavaju pogonske remontne brigade iz Jedinice održavanja pogona, a može se uzeti i ispomoć iz Centralnog pogona za remonte.

5.12.1.4. Srednje preventivne periodične opravke (profilakse)

Srednja preventivna periodična opravka obuhvata zamenu ili opravku sastavnih delova sistema sa dužim radnim vekom. To je širi zahvat u odnosu na male opravke. Tehnički sistem se obično pomera sa temelja (ukoliko nisu u pitanju posebno veliki i teški sistemi) i u Radionici investicionog održavanja (remonta radionica) obavljaju sledeće radnje (nekada je racionalnije opravku izvesti na licu mesta) [18]⁵⁶:

- dijagnostika stanja delova pre demontaže,
- demontaža sastavnih delova sistema (posle demontaže),
- pranje i čišćenje rastavljenih delova,
- dijagnostika stanja rastavljenih delova,
- regeneracija sastavnih delova sistema (popravka i obnavljanje istrošenih delova),
- obezbeđenje novih sastavnih delova neophodnih za zamenu dotrajalih rezervnih delova,
- montaža sastavnih delova sistema,

⁵⁶ [18]. Adamović, Ž., Tehnologija održavanja, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 1996.

- funkcionalna regulacija i provera funkcionisanja sastavnih celina višeg reda,
- montaža i regulacija celina višeg reda u okviru tehničkog sistema,
- dijagnostika stanja delova posle montaže,
- instaliranje u proizvodnji,
- dokazivanje radne sposobnosti u toku probnog rada,
- primopredaja tehničkog sistema na normalnu upotrebu u proizvodnji,
- izveštaj o izvršenoj preventivnoj opravci i davanje garancije o radu tehničkog sistema u budućnosti i dr.

Ako su u pitanju veliki i teški tehnički sistemi, onda se demontaža vrši na mestu gde je sistem instaliran. Sve manje i srednje preventivne opravke na teškim sistemima vrše se na licu mesta, a sistemi koji se mogu transportovati dopremaju se u Radionicu investicionog održavanja gde se obavljaju potrebne operacije opravke.

Srednje preventivne periodične opravke, dakle, obuhvataju sve radove male opravke i još dodatne, koji spadaju u srednje opravke. Vreme kada treba izvesti srednju opravku predviđeno je planom preventivnog (investicionog) održavanja tehničkog sistema, recimo, jednog istog dana svake nedelje.

5.12.1.5 Generalne preventivne periodične opravke

Generalna preventivna periodična opravka tehničkih sistema je najviši nivo obnove – regeneracije sistema u celini. Ona obuhvata opravku ili zamenu sastavnih delova sistema koji imaju najduži radni vek. Ovom se preventivnom intervencijom obnavlja (vraća) izgubljena radna sposobnost sistema na nominalni nivo, koji je sistem imao kada je bio nov (na nivo bazne pouzdanosti).

Kod generalne (velike) preventivne opravke vrši se totalna demontaža tehničkog sistema do nivoa elementarnih celina – delova. Ostale radnje su analogne kao i kod srednje preventivne opravke, s tim što su ovde obimnije i detaljnije. Zbog toga se i ova opravka u praksi, najčešće zove generalni remont sa modernizacijom.

Velike investicione opravke obavljaju se u Radionicama preventivnog (investicionog) održavanja ili na licu mesta, i to najčešće u vreme godišnjih odmora ili dužih zastoja. Ove opravke planiraju se blagovremeno planovima investicionog održavanja (godišnjim planovima).

U celini posmatrano, ova preventivna opravka, tj. Investiciono održavanje tehničkih sistema je najskuplja radnja održavanja, pa treba voditi računa da se one ne obavljaju češće nego što je potrebno. Obim generalne preventivne opravke se definiše na bazi prethodne dijagnostike stanja tehničkog sistema, izvedenih preventivnih pregleda, kontrole sistema, podmazivanja i dr.

Generalna preventivna periodična opravka uključuje:

- tehnička dijagnostika pre demontaže,
- potpuno rasklapanje mašine i markiranje delova,
- čišćenje i ispiranje svih delova i njihova klasifikacija,

- zamena ili opravka osnovnih (baznih) delova (postolja, ramova , kućišta, kartera itd.),
- potpuna zamena ili obnova pohabanih delova,
- tehnička dijagnostika za vreme demontaže,
- remont fundamenta i zamena delova za pričvršćivanje,
- otklanjanje slabih mesta na mašinama,
- sklapanje i podešavanje mašine prema osama (osi) i u odnosu na druge mašine,
- po potrebi uraditi rekonstrukciju osnovnih delova ili modernizaciju cele mašine koja menja tehnološke ili mehaničke karakteristike mašine,
- podešavanje i regulisanje mašine,
- antikorozivna zaštita mašine i obnova svih vrsta zaštitnih pokrivača,
- tehnička dijagnostika posle montaže,
- tehnička dijagnostika u toku probnog rada i dr.

Generalna opravka se radi na osnovu podataka ispitivanja, revizija i tekućih opravki opreme i spiskova neispravnosti opreme, koji se sastavljaju, odnosno prave šest meseci pre zaustavljanja mašine.

Ispitivanja osnovnih delova mašine vrši komisija na čelu sa glavnim inženjerom održavanja (tehnički direktor) dva meseca pre početka opravke.

Inženjer opravke sastavlja operativni grafikon, gde se određuju vrste radova, rokovi i potreban broj radnika.

Cena preventivnih pregleda, revizije, dijagnostike, kontrolnih pregleda, podmazivanja i tekućih preventivnih opravki ide na račun eksploatacionih troškova pogona.

Cena generalne preventivne periodične opravke pokriva se iz amortizacije, koju izdvaja svako preduzeće godišnje u određenom % od cene koštanja opreme. Norme amortizacije izdvajanja zavise od intenziteta istrošenosti i režima rada opreme (broj smena i broj radnih dana) i ukupno se sastoje od izdvajanja za generalne opravke i modernizaciju.

Stopa amortizacionog izdvajanja za metaluršku i transportnu opremu u % prema ceni, pri roku trajanja opreme 20 – 30 godina, iznosi 8-10%, među kojima za generalnu preventivnu opravku 4-5,5% i na modernizaciju 0,5%. Za alatne mašine u neserijskoj proizvodnji ove norme čine 9-11%, gde se 5,5-7% planira za generalne opravke i modernizaciju. Ova izdvajanja mogu biti veća.

5.12.2. Određivanje složenosti preventivne periodične opravke

5.12.2.1. Proračun složenosti

Proračun složenosti preventivne periodične opravke (remonta) opreme ostvaruje se po redosledu:

- određivanje strukture i dužine perioda između preventivnih opravki (međuremontnog ciklusa),
- određivanje obima i složenosti svake vrste preventivne opravke,
- određivanje dužine svake vrste preventivne opravke,

- određivanje potrebnih materijala, rezervnih delova, radne snage i cene koštanja svake vrste preventivne opravke,
- sastavljanje obračuna za sprovedenu preventivnu opravku (zaključne kalkulacije).

Zbog boljeg upoznavanja metode određivanja složenosti preventivne opravke treba poznavati norme date od strane proizvođača opreme.

Međuremontni period (ciklus) je vreme između dve redovne preventivne opravke bilo koje vrste.

Dužina zaustavljanja u opravci je vreme neophodno za izvršavanje radova, počevši od momenta zaustavljanja opreme za opravku do momenta puštanja u eksploataciju.

5.12.2.2. Planiranje preventivnih opravki

Planiranje opravki sadrži izbor takvog vremenskog perioda i utvrđivanja takvog obima opravki koji omogućuju eksploataciju sistema sa maksimalnom efektivnošću. Pri planiranju održavanja uzimaju se u obzir dve protivrečne okolnosti. S jedne strane, međuremontni period mora biti što duži da ne bi došlo do prekida u eksploataciji tehničkog sistema, a sa druge strane, pri njegovom uveravanju raste opasnost od pojave otkaza i narušavanje zahteva za bezotkaznošću.

Za opravke se predviđaju periodična zaustavljanja uređaja, po pravilu posle jednakih vremenskih perioda. Za to vreme obim opravki i odgovarajuće trajanje prekida rada sistema u toku opravki nisu isti jer mora biti uspostavljena radna sposobnost prilikom pojava raznih otkaza i neispravnosti.

Kod pogona, kao i kod bilo kojeg tehničkog sistema, postoje delovi i elementi sa širokim dijapazonom potencijalnog veka trajanja pre nastupa otkaza.

Savremene tehničke mogućnosti dozvoljavaju izvršenje opravki i uspostavljanje izgubljene radne sposobnosti posle bilo kojih otkaza sistema osim katastrofalnih havarija). Postavlja se pitanje samo u vezi ekonomičnosti i efektivnosti opravki. Sistemu opravki podležu sistemi u celini, i zato verovatnoća otkaza pogona i njihov radni vek određuju se u zavisnosti od periodičnosti opravki sistema. Pri oceni radne sposobnosti uređaja podela delova i sklopova na one koji podležu opravkama i na one koje ne podležu opravkama, što se često čini, nije obavezna, jer za uspostavljanje radne sposobnosti uređaja nije važno zameniti ili reparirati deo, važno je da zamenjeni ili reparirani deo odgovara tehničkim uslovima.

U intervalu između periodičnih opravki obavljaju se aktivnosti koje imaju svrhu predupređenja pojave otkaza i eliminisanje njihovih posledica. U ove aktivnosti spadaju planirani periodični pregledi kada se izvode profilaktične aktivnosti i dijagnostika stanja vitalnih sklopova kao i neznatne opravke.

Osim toga, ukoliko postoji verovatnoća otkaza pojedinih delova i sklopova uređaja, vrše se opravke u međuremontnom intervalu po potrebi. Takav oblik međuremontnih aktivnosti neophodan je pri unapred predviđenim oblicima eksploatacije do prvog otkaza, pri pojavama nedopustivih otkaza, koji su nastupili ranije, pre tekuće periodične opravke.

Na taj način, sistemom planiranih opravki predviđa se takav kompleks mera koji će obezbediti održavanja i uspostavljanje radne sposobnosti uređaja. Zadatak se sastoji u racionalnom raspoređivanju obima opravki i predviđanja njihove periodičnosti, kako bi se obezbedilo postojanje pouzdanosti uz minimalne utroške vremena i sredstava za opravke uređaja.

Periodičnost T_p opravki određuje se u zavisnosti od obima opravki i od veka trajanja sklopa ili dela. Odluka o uvođenju datih delova ili sklopova u opravku usložnjava se time što imaju različit vek trajanja koji dovodi do neiskorišćenja ukupnog veka trajanja delova ili do porasta verovatnoće otkaza u međuremontnom periodu.

Faktički vek trajanja T_F mora biti srazmeran međuremontnom periodu T_p tj. $T_F = kT_p$, gde je k – broj periodičnosti opravki, pošto se planiranje delova obavlja pri tekućim opravkama.

5.12.2.3. Struktura i dužina perioda između preventivnih periodičnih opravki

Zbog različitih tehničkih sistema i uslova njihove eksploatacije strukture međuremontnog ciklusa su različite.

Međuremontni period mora da odgovara rokovima trajanja sastavnih delova koji se brzo habaju. Obično prilikom prve (posle generalnog remonta) profilakse menjaju se delovi i sklopovi, čiji je rok jednak ili nešto veći od međuremontnog perioda, prilikom duge profilakse menjaju se isti delovi i sklopovi, plus novi čiji rok se određuje između dva međuremontna perioda itd.

5.12.2.4. Obim i složenost radova preventivnih periodičnih opravki

Postoje nekoliko načina (metoda) proračuna obima i složenost radova preventivnih opravki (remontnih radova).

Obim i složenost remontnih radova opreme određuje se uz pomoć proračuna ili iz tabele kategorije složenosti, koje su sastavljene za opremu koja se nalazi u eksploataciji.

Procena obima i složenosti preventivnih periodičnih opravki (remonta) opreme ostvaruje se putem upoređenja sa etalom.

Etalon prve kategorije složenost remonta, na primer elektrotehničke opreme služi asinhroni elektromotor sa kratko spojenim rotorom snage 0,6 KW. Kategorija složenosti se određuje za svaku mašinu ili agregat nezavisno od vrste remonta.

Složenost remonta opravke se izračunava:

$$S = R * r$$

gde je:

R – kategorija remonta opravke, koja se određuje proračunom ili uz pomoć tabela,

r – složenost remontnih radova na jedinicu remontne složenosti (čov/h).

Obim i složenost remonta opreme u industriji čelika određuje se prema normama potrošnje remontnog materijala (metala).

Za određivanje potrebne količine rezervnih delova za jednu godinu uzimajući u obzir sve vrste preventivnih opravki (remonta), razrađuju se sledeće norme:

- agregatne (blokofske), koje određuju potrebu u remontnom materijalu za izradu rezervnih delova za svaki tip opreme (visoke peći određenog obima, konvertori određenog kapaciteta i dr. – primer industrije čelika),
- pogonske, koje određuju količinu remontnog materijala za izradu rezervnih delova, koji se rashoduju u održavanju opreme (koksare, aglomeracije, visoke peći i dr.),
- fabričke, koje prikazuju ukupnu potrošnju rezervnih delova u celom preduzeću i dr.
- Agregatne norme zbog velike raznovrsnosti opreme nisu dobile široku primenu.

Nasuprot tome, zbog jednostavnosti u korišćenju, pogonske norme su dobile široku primenu. Ove norme zasnovane su na podacima ispitivanja i sastavljene su recimo, na 1000 t metalurškog proizvoda. Norme pokazuju potrošnju materijala u masi (konceptu), potrebnog za izradu rezervnih delova, koje obezbeđuje remont opreme.

Količinu remontnog materijala (metala) za pomoćne pogone (vatrostalni pogon, saobraćajni, remontni, energetika i dr.) određuje se u procentno odnosu od ukupne potrebe glavnih pogona.

Polazeći od količine materijala potrebnog za sprovođenje remonta, određuje se obim mehaničke obrade ovog materijala, potreba za radnom snagom i cena koštanja remonta.

5.12.2.5. Potreba za materijalima, rezervnim delovima i radnom snagom

Godišnja potreba za materijalima i delovima koji se izrađuju, izračunava se za svaku mašinu prema razrađenim normama za jedinicu remontne složenosti i sumira se prema vrstama preventivnih opravki (remonta) i prema broju opreme u pogonu. Pod materijalima se smatra i uže, cevi, sitna armatura, podloške, zaptivači, filteri, trake, koža, lepak, tekstili i dr.

U toku rada potreba za rezervnim delovima za preventivnu opravku (remont) opreme u industriji izračunava se na osnovu nomenklturnih spiskova delova, koji se habaju i koji su sastavljeni za svaku mašinu prema statističkim podacima o stvarnom roku trajanja pojedinih rezervnih delova.

U nomenklturne spiskove uključuju se svi delovi, koji se habaju i koji su za zamenu. Kompletiraju se prema sklopovima mašina, sa izuzetkom delova koji se izrađuju prema JUS-u. Daje se materijal, težina, rok trajanja, broj (količina) delova u mašini i po pogonu, godišnja potreba za delovima u komadima i prema težini i isporučiocima delova.

Potreba za rezervnim delovima rešava se:

- izradom novih i obnavljanjem pohabanih delova u radionicama preduzeća,

- nabavkom novih delova, koji se izrađuju u specijalizovanim preduzećima (ležišta, zaptivači, uređaji za podmazivanje i sl.),
- naručivanjem specijalnih agregata (pumpe i sl.) i složenih delova i dr.

5.12.3. Metode sprovođenja preventivne opravke mašina na površinskim kopovima

U praksi postoje sledeće metode sprovođenja preventivne generalne opravke (remonta) opreme: (pojedinačne, sklopne, agregatne i alocirane) [18]⁵⁷:

- Prema metodi „pojedinačne opravke“ mašinu remontuje jedna brigada, na licu mesta, prema sledećem redosledu: demontaža na sklopove i delove, remont i zamena delova i sklopova, montaža, regulisanje, podešavanje. Ispitivanje i farbanje. Ova metoda zahteva duže zaustavljanje opreme i visoke kvalifikacije održavaoca posebno za izvođenje postupaka tehničke dijagnostike;
- Prema metodi „sklopne opravke“ mašinu treba rasklopiti na sklopove koji treba da se remontuju, zamenjuju prethodno pripremljenim rezervnim, posle čega se vrši montaža, regulisanje i ispitivanje mašine. Pri ovoj metodi dužina remonta je i dva puta kraća od „pojedinačne opravke“, a kvalifikacije održavaoca mogu da budu niže zbog manjeg obima složenih operacija. Pri ovoj metodi se povećava opterećenje remontnih pogona za proizvodnju rezervnih delova jer treba izraditi ne samo pohabane delove, već i delove koji ulaze u sastav zamenjenih sklopova, obično postoje dva načina remonta sklopova:
 - o delovi u svakom sklopu se remontuju pojedinačnom metodom,
 - o delovi u sklopu se menjaju sa delovima koji su već promenjeni.
- Metodom „agregatnih zamena“ mašinu treba skinuti sa postolja ili raditi na fundamentu mašine. Ovde se ugrađuju agregatne celine (ili blokovi), izvršava se neophodno podešavanje prema koordinatama. Skinuta mašina sa postolja, ako treba, šalje se u Remontni pogon. Ova metoda se koristi recimo za remont radnih valjaoničkih stanova, reduktora kružnih testera, makaza, motačica i dr. mehanizama u industriji čelika. Zastoj opreme za vreme remonta pri agregatnoj metodi iznosi 0,2 – 0,1 od vremena „pojedinačne opravke“;
- Metoda „alociranih opravki“ primenjuje se za pun obim remontnih radova većih i složenih postrojenja, a izvršavaju se po mestu ugradnje postrojenja, delimično i u dane planskog zaustavljanja opreme za preventivne opravke. Time se znatno skraćuje vreme zaustavljanja postrojenja za generalnu preventivnu opravku.

Ove preventivne opravke svrsishodne su u slučaju kada je za svako zaustavljanje postrojenja za malu preventivnu opravku tehnički moguće i izvršiti kompleksnu generalnu opravku zasebne (paralelne) mašine ili samostalnog sklopa (na primer reduktora) mašine.

Alokacija generalnih preventivnih opravki dozvoljava:

- skraćenje ili potpuno anuliranje zastoja opreme za vreme posebno planiranih preventivnih opravki,

⁵⁷ [18]. Adamović, Ž., Tehnologija održavanja, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 1996.

- smanjenje obima radova i broj remontnog osoblja u periodu sprovođenja remonta u odnosu na obimne metode remonta,
- obezbeđenje remonta kvalifikovanom radnom snagom i povećanje kvaliteta remonta radova,
- izvršavanje remonta ravnomerno u toku godine i znatno olakšanje snabdevanja pogona – rezervnim delovima.

Za veća postrojenja koja se sastoje od velikog broja tehnološki povezanih mašina, i ukupno vreme remonta zavisi od vremena remonta mašine najvećeg radnog kapaciteta. Zato treba maksimalno alocirati remont najsloženijih mašina.

Sprovođenje remonta prema alociranom grafikonu zahteva maksimalno uvođenje „sklopne metode“ remonta i raščlanjivanje radova prema remontu zasebnih sklopova mašina. Tako na primer, treba izbegavati povezivanje novih delova starim i predviđati podešavanje i regulisanje svakog opravljenog sklopa mehanizma sa ostalim sklopovima.

Prelaz na generalne remonte opreme prema „alociranoj metodi“ zahteva dobru tehničku i organizacionu pripremu, koja se sprovodi prema sledećim merama:

a. Tehničke mere

15. sastavljanje nomenklaturnih popisa delova, potrebnih za remont svake mašine, određivanje veka njihovog rada i dr,
16. priprema remonta prema programu izrade i montaže delova,
17. unifikacija proizvodne opreme i njenih sklopova, a takođe i zamena učvršćenja baznih delova, koji se ugrađuju direktno na fundament sa dodatkom (zalivanjem) betona, za pričvršćivanje za fundamentalne ploče,
18. razna uputstva za zamenu i reviziju delova opreme sa ukazivanjem preporučene tehnologije za sprovođenje remonta, sastava remontnih brigada, potrebnog alata i pribora,
19. priprema tehničke dokumentacije u vidu albuma crteža za svaku mašinu, uključujući i opšti presek mašine, specifikaciju delova, sklopne crteže mehanizma i sklopova, i crteže delova koji se habaju,
20. sastavljanje popisa defekata za generalnu preventivnu opravku opreme, posebno za svaku mašinu, na osnovu rezultata periodičnih pregleda tehničke dijagnostike i tekućih preventivnih opravki,
21. obezbeđenje potrebne mehanizacije remontnih radova, ugrađivanje u pogonu radnih platformi (površina) i dr.

a. Organizacione mere:

- obavezno je pridržavanje grafikona preventivnih periodičnih pregleda, preventivnih zamena tehničke dijagnostike i tekućeg remonta opreme (uključujući i podmazivanje),
- blagovremena izdavanja narudžbine za izradu rezervnih delova, za preventivne generalne remonte – za šest meseci pre početka remonta, a prilikom naručivanja sa strane – za 12-18 meseci,
- priprema radnika za izvršenje remonta,
- sprovođenje remonta prema utvrđenom mrežnom grafikonu ili drugoj dokumentaciji,

- obezbeđenje evidencije rezervnih delova u Centralnom magacinu i izdavanje u pogonske magacine samo delove koji se brzo habaju.

Danas se uglavnom primenjuju sledeće forme preventivnih opravki . remonta: decentralizovana, kombinovana i centralizovana.

Decentralizovana forma se karakteriše uključivanjem održavalaca iz Tekućeg održavanja (pogona) zajedno sa izvršiocima Remontnih radionica (pogon izrađuje u svojim radionicama 25.20% potrebnih rezervnih delova). Oko 75-80% rezervnih delova izrađuju Remontni pogoni ili se naručuju sa strane. Ovaj vid remonta se danas primenjuje malo.

Kombinovana forma predviđa delimično izvršavanje preventivne opravke (tekućeg remonta) izvršiocima iz Pogonskih remontnih radionica, delimično izvršavanje svih generalnih remonta izvršiocima Centralnih remontnih pogona sa učešćem u remontu i drugih preduzeća. Ova forma sprovođenja remonta danas je dobila široku primenu, naročito u industriji čelika.

Centralizovana forma se razlikuje po tome što se sve preventivne opravke (remonti) sprovode sa učešćem specijalizovanih preduzeća. Proizvodni pogoni raspolažu malim remontnim odeljenjima, koja obezbeđuju dežurno održavanje, periodične preglede, tehničku dijagnostiku i reviziju opreme. Prilikom sprovođenja remonta učestvuju i izvršiocima iz dežurstva proizvodnih pogona (rukovaoci postrojenja).

5.12.4. Tehnologija izvođenja preventivnih periodičnih opravki mašina na površinskim kopovima

Proces izvođenja preventivnih periodičnih opravki sastavnih delova sistema se mora razložiti na:

- preuzimanje na relaciji korisnik – održavaoc. Ovo je značajno zbog eventualnih naknadnih zahteva od strane naručioca;
- ustanovljavanje stanja oštećenosti (snimanje i utvrđivanje stanja u otkazu). Ovo treba vršiti pri preuzimanju uz izradu protokola (zapisnika);
- demontaža (obrnuti proces montaže). Za ovo su neophodni specijalni alati, pribori i instrumenti kako bi se umanjila mogućnost oštećenja delova sistema. Opremljenja idu u dva pravca: gruba demontaža (skidanje sklopova) i fina demontaža (rastavljanje sklopova na najmanje sastavne delove). Demontaža može biti znatno olakšana, ako se demontirani delovi odlažu u zato prilagođenim kutijama (sanducima). Ovi sanduci se izvode tako da se svaki sastavni deo predviđaju odgovarajuća mesta;
- čišćenje (odstranjivanje prljavština , boja, taloga i sl.). Ovaj postupak ne sme razorno delovati na sastavne delove, pri čemu sve šupljine moraju biti dobro očišćene. Kod izbora postupaka i sredstava za čišćenje treba poći od vrste delova, vrste nečistoće i stepena neočišćenosti;
- dijagnostika (snimanje) oštećenosti (analiza stanja). Obuhvata skoro sve sastavne delove sistema, posebno oštećene. Pri dijagnostici potrebno je po mogućnosti izbegavati subjektivne metode dijagnostike (npr. vizuelne preglede), odnosno treba primenjivati objektivne metode dijagnostike (ultrazvuk i dr.). Za ovo dijagnosticiranje se obično angažuju specijalne grupe radnika (specijalisti za tehničku dijagnostiku);

- razrada postupka vraćanja sistema u stanje rada;
- kompletiranje (posle snimanja oštećenosti i posle izdvajanja rashodovanih delova i delova za popravke, preostali deo sastavnih delova se kompletira sa delovima za popravljanje i novim rezervnim delovima, pa se ovako pripremljeni predaju na dalji postupak). Kompletiranje treba vršiti od prvog do poslednjeg sastavnog dela sistema. Treba oceniti da li je kompletiranje sa standardnim delovima neophodno. Isto treba uraditi i sa kompletiranjem alata i neophodne tehničke dokumentacije;
- popravljanje sastavnih delova sistema (biće posebno opisano u sledećim poglavljima), ima sledeći raspored: plansko popravljanje pojedinih delova, korišćenje specijalista i uređaja za popravljanje, poštovanje tehničko – ekonomskih granica kod popravljanja pojedinih delova;
- zamena sastavnih delova i sklopova na kojima su sprovedene inovacije;
- pred-montaža. Ovde se montiraju sklopovi koji se kao takvi u završnoj montaži ugrađuju u sistem. Kod složenih sistema može se vršiti pred-montaža paralelno na većem broju sklopova. Ova faza obuhvata i poslove podešavanja, uravnoteženja i sl. Obično se ovo definiše uputstvom o montaži sistema. U pred-montaži se svaki sklop funkcionalno podesi, ispita i pripremi za završnu montažu;
- montaža, čiji je zadatak da poveže sve sastavne delove sistema. Merenje i ispitivanje zazora ima posebnu ulogu kao kod izrade delova. U uputstvima za montažu posebna pažnja se poklanja parametrima podešavanja, napravama i mernim alatima neophodnim za montažu;
- ispitivanje, čime se završava proces popravljanja sastavnih delova sistema i ustanovljava da je popravkom delova postignuta neophodna radna sposobnost sistema. Ovaj deo procesa izvođenja opravki (popravljanja) moguće je spojiti sa uhadavanjem. Često treba proces eksploatacije simulirati, ako je to moguće. Obim ispitivanja u većini slučajeva iziskuje specijalne ispitne naprave (stolove). Nedostaci uočeni u fazi ispitivanja se odmah ili na kraju ispitivanja moraju otkloniti. O svemu tome treba sačiniti protokol o ispitivanju (protokol se predaje korisniku i održavaocu);
- kontrola izvedenih radova koja obuhvata: kvalitet popravljanja, s obzirom na dimenzije, kvalitet površina, tvrdoću i dr., sposobnost funkcionisanja, kontrolu obrtnog momenta, pogonsku sigurnost i dr.;
- priključenje sistema na energetske izvor;
- probni rad i otklanjanje neispravnosti u toku probnog rada (ispitivanje funkcije i tačnosti);
- preuzimanje tehničkog sistema od održavaoca i njegovo uključivanje u normalno korišćenje (period podešavanja) i dr.

6. METODA ISTRAŽIVANJA

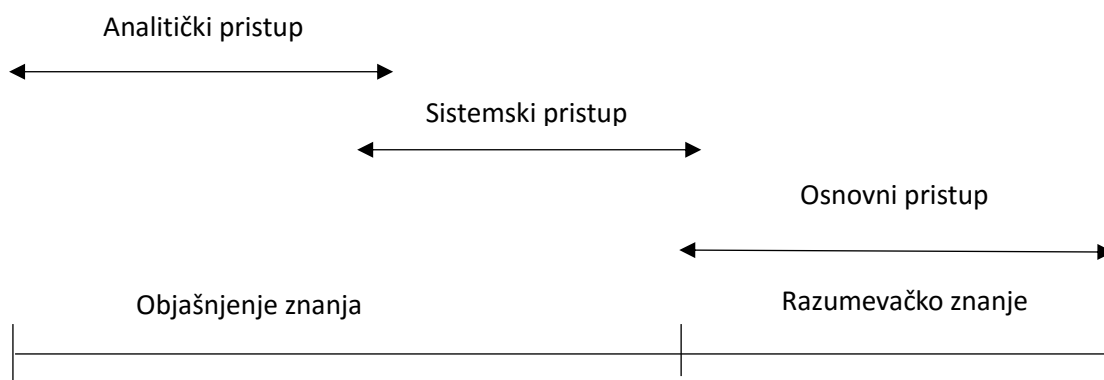
6.1. Istraživanje o konceptu održavanja

Tradicionalno istraživanje o održavanju je posmatrano iz perspektive operacionih istraživanja i teorije pouzdanosti, koristeći uglavnom kvantitativne metode. Obnova teorija, pouzdanost testova, procena stope neuspeha, zamor materijala itd. su izračunati, istraženi i analizirani. Životni ciklus za održavanje i logističku podršku se često zanemaruje sve dok proizvod i dizajn nije završen. Ovo može da posluži kao pokazatelj istraživanjima u drugim oblastima. Dakle, druge metode i pristupi se koriste i oni će biti razrađeni u nastavku.

6.1.1. Metodološki pristup

Postoje tri metodološka pristupa: analitički, sistemski i osnovni (slika 6.1). Analitički pristup postoji da objasni realnosti objektivno ako je moguće. Istraživanje traži objašnjenja uticaja pojedinih uzroka. Pristup nastoji da pronađe uzroke koji su nezavisni, klasične zakone fizike, koji mogu da se smatraju modelom. Sistem pristupa takođe smatra stvarnost da bude objektivna, ali nešto drugačije konstruisano, kao komponente koje su međusobno zavisne. Sistemski pristup teži ka objašnjenju i razumevanju situacije primenjujući sveobuhvatnu perspektivu. U sistemskom pristupu mogu biti otvoreni i zatvoreni sistemi. Otvoreni sistem je u interakciji sa okolinom i uglavnom se rezimira kao holistički pristup. Osnovni pristup je sasvim drugačiji od ostala dva pristupa. Osnovni pristup sugerise da je teško da se ne utiče na pojave koje se proučavaju.

Istraživanje sprovedeno u okviru ove doktorske disertacije leži u umetnosti tehnike. Istraživač je primenio sistem pristupa prilikom obavljanja istraživanja. To je zbog toga što sistem pristupa sa realnošću konstruisan kao komponenta međusobne zavisnosti kako je stanje zasnovano sistemom za održavanje, koje se tretira u ovom istraživanju. Takođe, istraživanje je izvršeno u cilju da se postavi određeni pristup, stanje na osnovu održavanja, i sveobuhvatna perspektiva, to jest, da to i sprovede u preduzećima naše zemlje.



Slika 6.1 Metodološki pristup istraživanja leži u sistemskom pristupu

Sistem u ovom istraživanju je zasnovan na održavanju. Ovo treba smatrati kao otvoreni sistem, jer će biti pod uticajem ulaza iz okruženja. Takođe, implementacija ili promena u preduzeću je složen fenomen, i uvek će biti pod uticajem spoljašnje sile.

6.1.2. Sistemi perspektive za održavanje

U sistemskom pristupu postoje neke krajnje pretpostavke koje se mogu posmatrati kao predušlov za znanjem stvaralaca napora:

- Stvarnost se pretpostavlja da je napravljen od „jedinice“ koje se zovu „sistemi“.
- Jedinica se sastoji od reda komponenti koje su prilično blisko povezane jedna sa drugom.
- Svaka jedinica obično ima veze sa drugim jedinicama, a zatim su dobile ime „otvoren“ sistem. Otvoren sistem nema prirodnih granica.
- To ne pravi razliku od pragmatičnog metodološkog stanovišta sistemskog pristupa, o tome da li je stvarnost zaista konstituisana na ovaj način ili kreator znanja studija kao da je to slučaj.

Sistem se definiše kao: „...grupa objekata koji su spojeni u nekim redovnim interakcijama ili međuzavisnost pravcu ostvarivanja neke svrhe.“ Svrha tehničkog sistema da: „...transformiše dobro definisane ulaze, naročito sirovinu, energiju i informacije u željeni efekat u prostoru i vremenu.“

Projektovani sistem ispoljava se sledećim karakteristikama:

- 1) Oni imaju funkcionalnu svrhu kao odgovor na utvrđene potrebe i imaju sposobnost da ostvare neki operativni cilj.
- 2) Oni su doneli u postojanje rad tokom životnog ciklusa, počevši od potreba i završava se sa postepenim odlaganjem.
- 3) Oni su sastavljeni kombinacijom resursa, kao što su ljudi, informacije, softver, materijali, opreme, objekata i novca.
- 4) Sastoje se iz podsistema i srodnih komponenti koje komuniciraju jedni sa drugima da proizvede reakciju sistema ili ponašanje.
- 5) Oni su deo hijerarhije i pod uticajem su eksternih faktora.

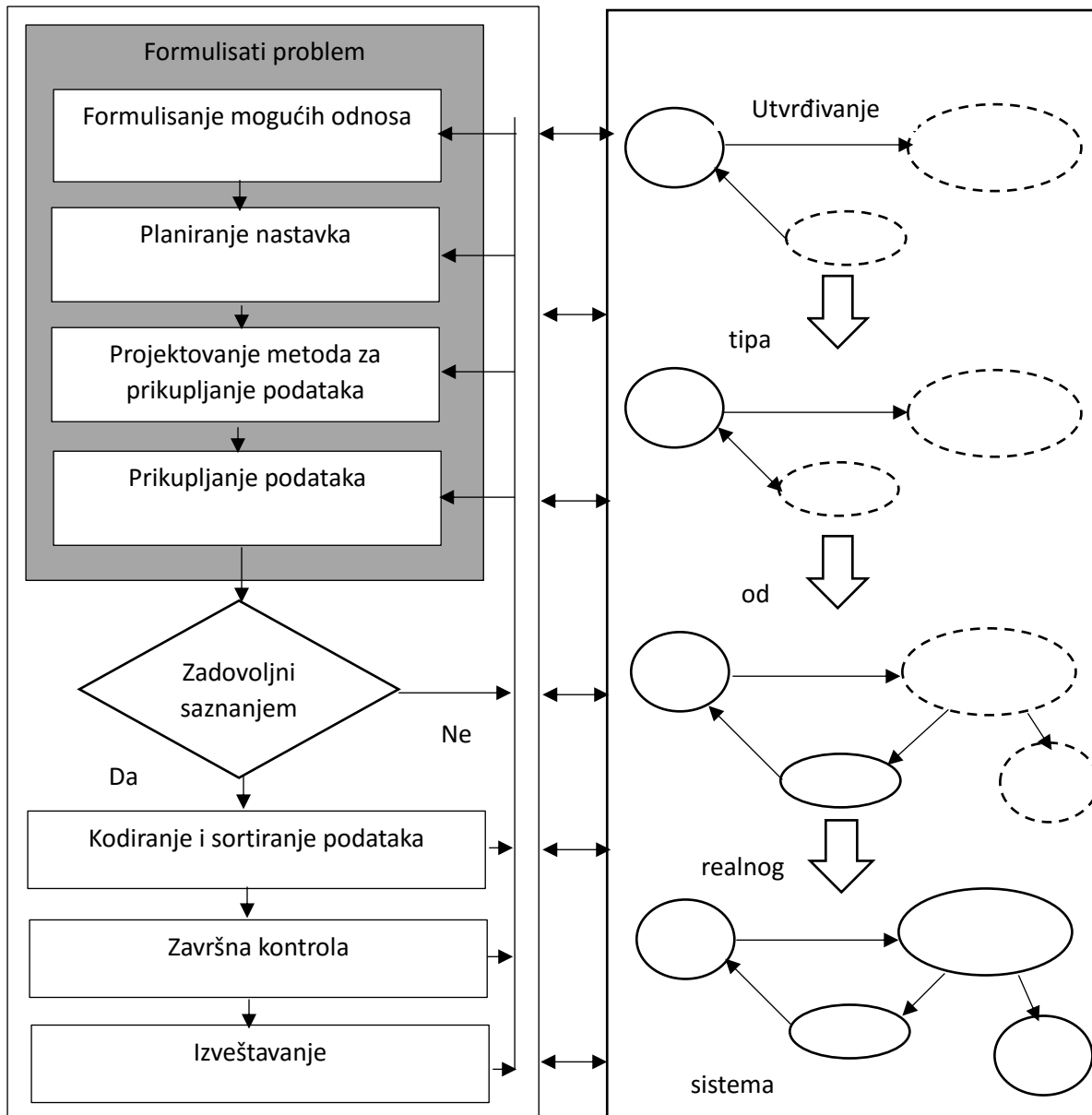
Složen sistem se sastoji od tri atributa: (1) projektovanje proizvoda, (2) da sadrži različite komponente, (3) da se koristi unapređena tehnologija. Stanje zasnovano sistemom za održavanje može se u mnogim slučajevima smatrati kao složen sistem. Ovo, jer je projektovano, može da sadrži različite komponente (na primer: senzori, kablovi, softver i grafički korisnički interfejs), on može da koristi i napredne tehnologije (na primer obradu signala), a može da sadrži i različite analize softvera (kao što su neutralna mreža, slučaj rasuđivanja i fazilogika). Stanje zasnovano sistemom za održavanje kao: „Sistem koji koristi uslov na osnovu održavanja može odrediti i raspored aktivnosti održavanja samostalno ili u interakciji sa drugim sistemima ili čovekom“.

6.1.3. Kreiranje novih znanja koristeći sistemski pristup

Cilj stvaranja novih znanja sistemskog pristupa ne počinje sa formulisanjem hipoteza.

Umesto toga, kreće se još opreznijim određivanjem tipa sistema u okviru studije (to jest kategorizacije sistema). U analitičkom pristupu stvaraoci traže uzročne veze (uzrok i efekat). U međuvremenu, u sistemskom pristupu, konačnost odnosa (indikator efekat) se traži. Takođe prihvaćeno je da je pokazatelj jedan od mnogih mogućnosti da se postigne određeni efekat i da indikator može imati alternativne efekte. Svrha korišćenja sistema pristup je da se reprodukuje stvarnost kao što je objektivno moguće. Jedan deo ove svrhe može da reprodukuje pojedincima subjektivne ideje, ambicije, koncepte i tretirati ih kao da su objektivni. Slika 6.2 vizualizuje istraživačke procese pomoću sistemskog pristupa u stvaranju novih znanja. Istraživač može da uhvati problem, ali mora biti oprezan i ostaviti ga za reviziju na duži vremenski period.

Određivanje tipa sistema vrši se paralelno. Ovo istraživanje je izvršeno kroz nekoliko studija slučaja. To znači da interaktivni kontakt sa objektima studije je izveden dobro. To znanje ponekad uz pomoć drugih lica koji učestvuju u procesu stvaranja znanja, ko odlučuje kada ima dovoljno znanja da se ispuni cilj.



Slika 6.2 Istraživački proces modeliranja sistema

U sistemskoj analizi pravi sistem je prikazan u modelu sistema bez promene realnog sistema. Njegova svrha je da se razjasne interni i eksterni faktori koji utiču na sistem. Drugim rečima, analiza sistema je i opisno objašnjena. U sistemu gradnje, potencijalni novi sistem je prikazan u modelu sistema. Teorija sistema sadrži sistem modela sa indikatorom-efekat odnosa koji važe u više od jednom sistemu. U modernizaciju sistema primenjenu u ovom istraživanju, može se primeniti na različitim klasama sistema. Model sistema opisan u ovom istraživanju se vrši na različitim nivoima apstrakcije. Holistički ili sveobuhvatni model procesa implementacije ima visok nivo apstrakcije, dok detaljni modeli koji se mogu naći u njemu su prikazani na više nivoa analize.

6.2. Naučno istraživačka strategija

Različite istraživačke strategije su pogodne za različita istraživačka pitanja (tabela 6.1)

Strategija	Forma istraživačkog pitanja	Da li potrebna kontrola nad događajima u ponašanju?	Da li se fokusira na savremena pitanja?
Eksperiment	Kako, zašto	Da	Da
Pregled	Ko, šta, gde, koliko	Ne	Da
Arhivska analiza	Ko, šta, gde, koliko	Ne	Da/ne
Istorija	Kako, zašto	Ne	Ne
Studija slučaja	Kako, zašto	Ne	Da

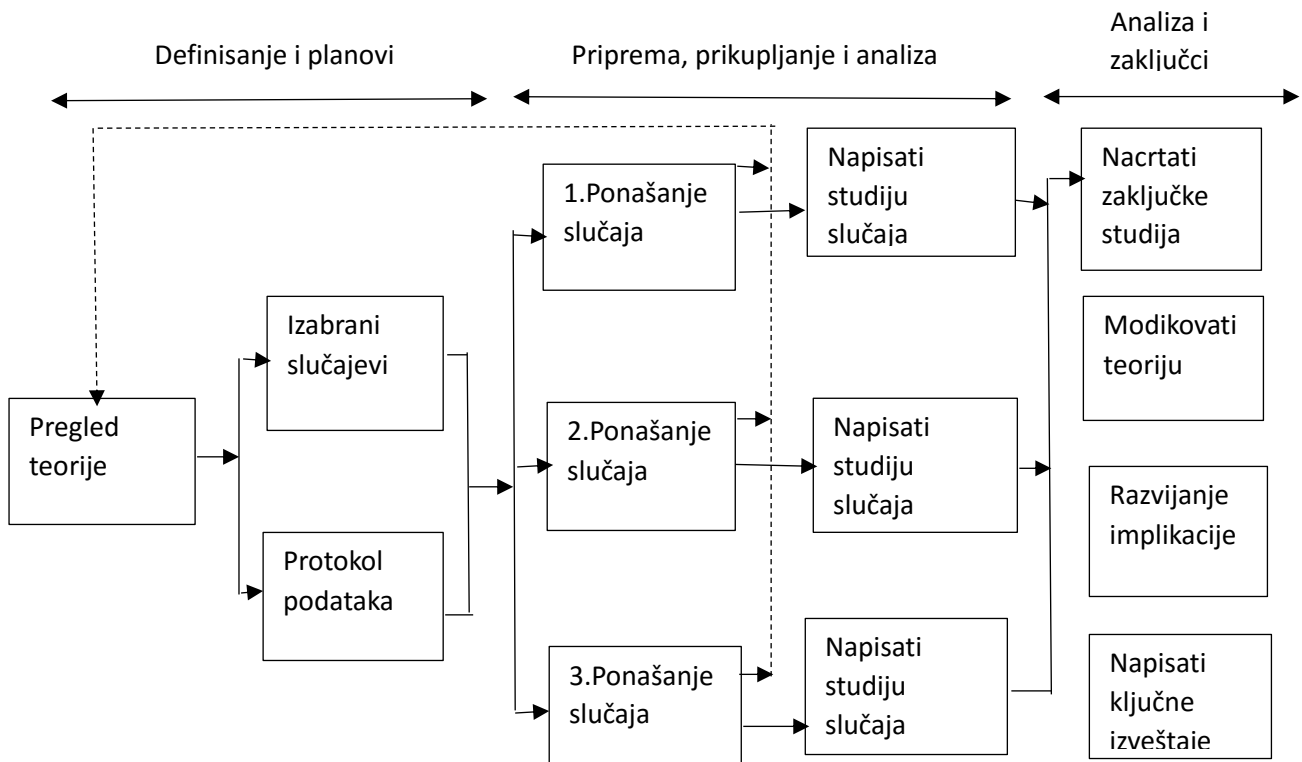
Tabela 6.1 Različite istraživačke strategije

Ovo istraživanje se zasniva na studijama slučaja. Studija slučaja može biti objašnjena kao: „...empirijsko istraživanje, koje istražuje fenomen savremenog stvarnog života, posebno kada granica između pojave i konteksta nije jasno vidljiva“. U ovom istraživanju, na osnovu uslovnog održavanja, pristup se može posmatrati kao fenomen, a proces implementacije u preduzeću se može posmatrati kao kontekst. Takođe, studija slučaja je odgovarajuća strategija kada je u pitanju organizaciona i rukovodeća studija, kao i sprovođenje uslova za održavanje pristupa. U studijama slučaja strategija može se usredsrediti na uvid, otkrivanje i tumačenje, nego na hipotezu testiranja.

Dalje, fokusirajući se na jedan događaj ili situaciju koncentracija može biti usmerena na proučavanje odnosa između važnih faktora koji karakterišu događaje ili situacije koje se proučavaju.

6.3. Proces istraživanja

Studija slučaja istraživanja se sastoji iz tri koraka: (1) definicije i planovi, (2) pripreme, prikupljanja i analize, (3) Analiza i zaključci. U fazi definicije i planova teorija se proučava, predmeti se biraju, sprovode se metode kako će se voditi i analizirati istraživanje. U fazi pripreme, prikupljanja i analize, slučajevi se sprovode i analiziraju. U poslednjoj fazi analiziranja i zaključaka, zaključci o slučaju mogu biti urađeni i teorije se mogu menjati.



Slika 6.3 Metod studija slučaja

Kao što je prikazano na slici 6.3 slučaj u ovom istraživanju se redom vrši i obavlja. Svaki slučaj je dao doprinos dolazećem slučaju. Isprekidane strelice pokazuju povratne informacije. Dakle, proces selekcije je postignut o osnovnom, gde je razvijeno novo znanje (sistem analize i konstrukcije).

6.4. Kvalitet istraživanja

Postoji mnogo različitih definicija kvaliteta, od kojih mnoge proizilaze iz zadovoljstva kupaca. Sveobuhvatna oznaka kvaliteta: „Kvalitet je pogodnost za korišćenje“. „Kvalitet proizvoda je njegova sposobnost da zadovolji potrebe i očekivanja kupaca“. „Kvalitet treba da bude usmeren na sadašnje i buduće potrebe potrošača“. Ko je onda kupac ovog istraživanja? Dve stranke postaju vidljive iz praktičnog i akademskog okruženja. Baš kao što postoje mnoge definicije kvaliteta tako postoji mnogo različitih načina procene kvaliteta istraživanja. Najčešći kriterijumi su procene da razgovaraju, pouzdanost i validnost istraživanja. Pouzdanost se može posmatrati kao mera rezultata studija koja se može ponoviti u neko drugo vreme. Validnost se može posmatrati kao stepen u kojem merenje zapravo meri ono što je trebalo da se meri.

Pregled n pouzdanosti i validnost donekle se razlikuje u zavisnosti od izabranog metodološkog pristupa (analitički, sistemski) i podaci treba da se prikupljaju (kvantitativni ili kvalitativni). U okviru sistema pristupa (ne samo kao kvantitativno orjentisani nego i analitički) rezultati merenja nisu toliko precizni. Kao i u drugim kontekstima, sistemski pristup dobija pragmatičan stav. Fokus je na onom merenju koje se može koristiti, a ne kako su merenja sprovedena ili kako su bila precizna. Dakle, pouzdanost nije toliko važna u sistemskom pristupu nego u analitičkom pristupu.

Kao najbolji pokazatelj pouzdanosti ovde se daje istraživanje intenziteta otkaza na mehanizaciji površinskog kopa u Boru (tabela 6.2)

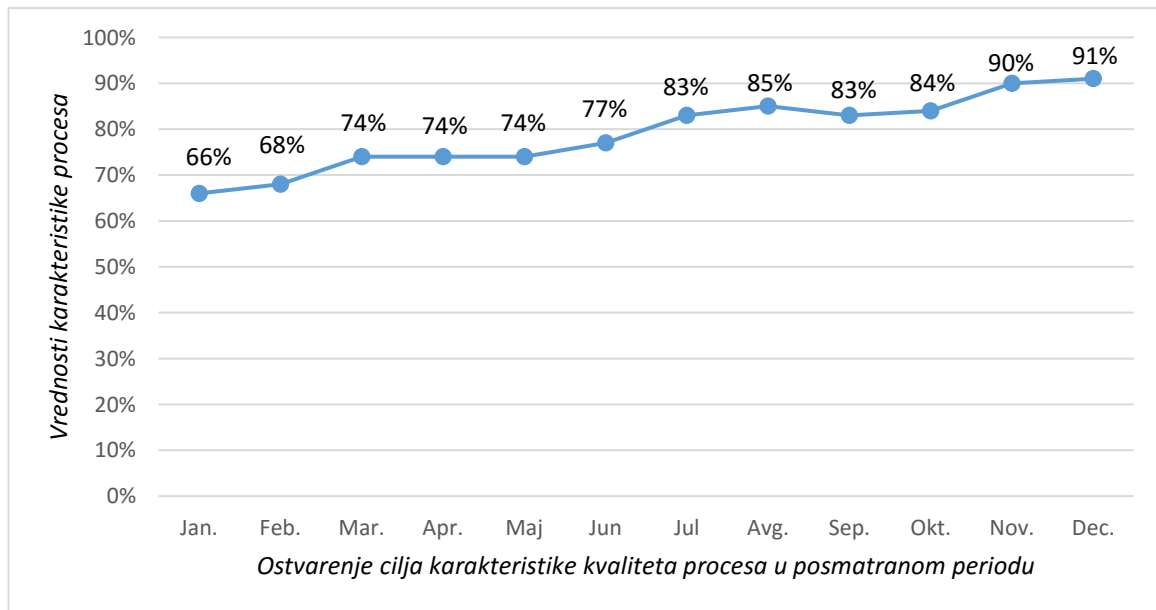
Trend promene ostvarenja cilja karakteristike kvaliteta procesa održavanja prema stanju dat je na slici 6.4.

Redni broj	Sastavni deo sistema	Intenzitet otkaza $\lambda_{sr} \cdot (10^{-5}$ otkaza/sat)
1.	Uzdužni klinovi	7,15
2.	Zavrtan M10, JUS M.B0.012	0,934
3.	Torzione zavojne opruge	0,165
4.	Fleksione opruge	0,226
5.	Loptasti rukavci	0,770
6.	Ožljebljena vratila srednjeg tipa	0,46
7.	Zglavkasta vratila	0,570
8.	Vratila reduktora	0,410
9.	Elastične spojnice	0,606
10.	Zupčaste spojnice	0,370
11.	Elektromagnetne – frikzione spojnice	0,296
12.	Klizna ležišta (radi-aksijalna) od \varnothing 100 mm	0,065
13.	Klizna ležišta (radi-aksijalna) od \varnothing 100 do \varnothing 250	0,051
14.	Klizna ležišta (aksijalna)	0,030
15.	Kotrljajni ležaji (radijalni) Tip: BS	0,482
16.	Kotrljajni ležaji (radi-aksijalni) Tip: KB	0,881
17.	Kotrljajni ležaji (aksijalni) Tip: TA	0,782
18.	Hidraulični cilindri	0,0096
19.	Pneumatički cilindri	0,0040
20.	Hidraulički klipovi	0,322
21.	Hidraulički motori	0,965
22.	Hidrauličke pumpe	3,852
23.	Gumene zaptivke	0,0371
24.	Kontrolni ventili	6,302
25.	Perifleks spojnice	0,4043
26.	Zupčasti prenosnici sa kosim zubima	0,224
27.	Zupčasti prenosnici sa pravim zubima	0,273
28.	Hidraulička creva	0,0251

29.	Elektromotori (snage do 200 kW)	0,205
30.	Elektromotori (snage do 2000 kW)	0,405
31.	Centrifugalne pumpe	0,051
32.	Potapajuće pumpe	0,031
33.	Vakuumske pumpe	0,042
34.	Ventil do NO 100	6,202
35.	Zasuni do NO 250	5,403
36.	Tiristori (»SIMENS«)	4,403
37.	Ventilatori (opšte namene)	1,596
38.	Fotoćelije (odstupanje od karakteristika)	3,755
39.	Oscilatori (odstupanje od karakteristika)	0,433
40.	Osigurači (odstupanje od karakteristika)	0,383
41.	Stanej maziva i ulja	0,0672
42.	Omotači transformatora (smanjenje otpora)	0,0352
43.	Diode (Si)	$2,1 \cdot 10^{-9}$
44.	Ugljeni otpornici	$3,3 \cdot 10^{-9}$
45.	Keramički kondenzatori	$2,6 \cdot 10^{-9}$
46.	Tranzistori (germanijum)	$3,2 \cdot 10^{-8}$
47.	Mesta ručnog lemljenja	$1,9 \cdot 10^{-10}$
48.	Mesta automatskog lemljenja	$2,4 \cdot 10^{-9}$
49.	Konektori	$5 \cdot 10^{-9}$
50.	Umnoživač frekvencije	$82 \cdot 10^{-8}$

Tabela 6.2 – Srednje vrednosti intenziteta otkaza [82]⁵⁸

⁵⁸ [82]. Paunjorić, P., Tul, R., Cukić, D., Ispitivanje geometrijskih parametara mašina i uređaja, Majski skup održavalaca Srbije – „Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja“, Vrnjačka Banja, 2016.



Slika 6.4 Trend promene ostvarenja cilja karakteristike kvaliteta procesa – održavanje prema stanju [76]⁵⁹

⁵⁹ [76]. Paunjorić, P., Adamović, Ž., Implementacija održavanja prema stanju tehničkih sistema na površinskim kopovima, Časopis Tehnička dijagnostika, br. 3, 2016, Beograd, ISSN 1451-1975

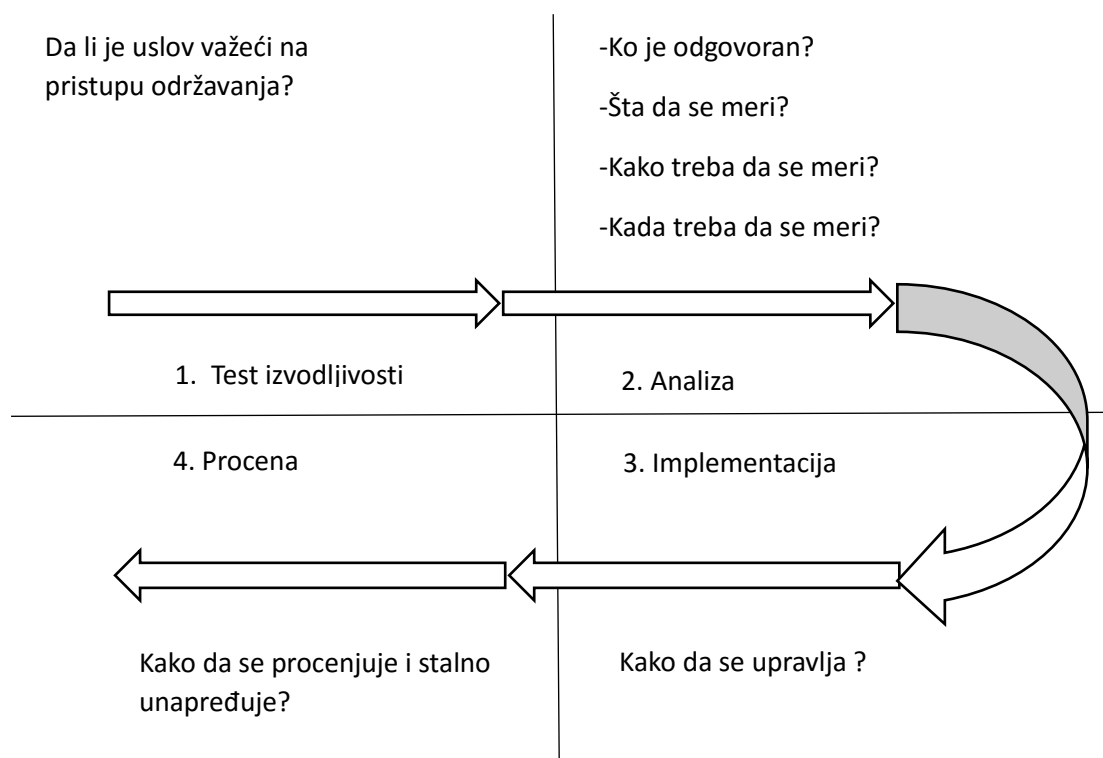
7. IMPLEMENTACIJA ODRŽAVANJA PREMA STANJU

7.1. Metod implementacije

Samu metodu treba posmatrati kao opštu metodologiju i vodič za proces implementacije. Metod sadrži sveobuhvatnu smernicu sprovođenja implementacije, sa predloženim alatima i merenjima, modelom i spiskom sa faktorima i aktivnostima.

7.1.1. Pregled

Metod implementacije je podeljen u četiri faze, kao što je i predstavljeno na slici 7.1 [8]⁶⁰. Proces počinje testom izvodljivosti. Test treba da ispita da li se uslov za održavanje primenjuje ili ne. Ako je tako proces se nastavlja fazom analize, koja treba da odgovori na pitanja koja se odnose na praćenje, kako treba izvršiti praćenje, kada treba da se izvrši nadzor. Nakon odgovora na ova pitanja proces se nastavlja realizacijom tehničkih rešenja u organizacionom okruženju. Dakle, nastavlja se sa uvođenjem menadžmenta. Proces u ovom kontekstu je kontinuiran. Ako se smatra važećim, kontinuirano poboljšanje se može pokrenuti u ovoj fazi.



Slika 7.1 Implementacija metoda podeljena u četiri faze: test izvodljivosti, analiza, implementacija i procena [8]

⁶⁰ [8]. Adamović, Ž., Josimović, Lj., Veljković, D., Paunjorić, P., Metodologija i tehnologija naučnog istraživanja, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2007.

7.1.2. Test izvodljivosti

Test izvodljivosti treba da odgovori na pitanje da li je uslov za održavanje zasnovan na pristupu zrelosti. Kao što je istaknuto održavanje može biti vrlo efikasno gde je to potrebno i duboko razočarenje gde nije potrebno. Stanje na bazi održavanja, uz potrebnu tehnologiju praćenja stanja ili drugih uslova na zadatke, trebalo bi da bude donešen i sproveden od strane dešavanja. Umesto toga, evaluaciju treba uraditi pre prve investicije. Kao što je objašnjeno odluku o tome da li se sprovodi uslov održavanja mora da se sprovodi i na tehničkom i finansijskom nivou. Dodatni faktor koji treba uzeti u obzir kada se istražuje primena uslova održavanja je organizacija i njene zrelosti. Obe teorije i predstavljeni slučajevi podržavaju ovaj dodatni faktor. Ispitanici navode da je neophodno da se prava tehnologija sprovodi na pravom mestu, da bi dobici i gubici bili istraženi i da se zrelost u organizaciji oceni pre svega i u procesu odlučivanja na osnovu stanja održavanja tehnologije.

U ovoj fazi preporučuje se da se ne pokušava zaključiti primenljivost na previše dubokom nivou. Pomoću alata i merenja, možda u svetlu – pristupa, primenljivost bi trebalo da bude prilično lako određena. Preporučuje se u ovoj fazi da kompanije koriste alate i merenja poznate organizaciji. Primeri uključuju manju verziju FMEA, neke od sedam kvalitetnih alata, i odluke stabla. Za tehnička pitanja, pitanja na koja treba odgovoriti u cilju procene primenljivosti su sledeća:

- Da li je mehanizam i kritičnost komponente neuspeha poznat i ako jeste da li je merljiv?
- Da li postoje odgovarajući indikatori statusa neuspeha i degradacije, i ako je tako da li postoje pogodni dijagnostički alati za merenje indikatora?
- Da li je otkaz ili degradacija reverzibilna?
- Da li je razlika između maksimalne i minimalne štete visoka?
- Da li je moguće da se smanji verovatnoća velike štete?

Teško je proceniti finansijski problem sa velikom tačnošću u tako ranoj fazi, a možda to neće ni biti od velike važnosti. Međutim, procene finansijskih problema, čak i u najjednostavnijem obliku, je neophodna, kako bi se vizuelno predstavio predmet poslovanja. Diskusije i razmišljanja o mogućim dobicima, u odnosu na to koliki će troškovi ulaganja biti, troškovi za izgubljene proizvodnje, izgubiti kupce i tako dalje, može da posluži kao ulaz u proceni poslovnih slučajeva. Procena zrelosti u organizaciji je važno pitanje. Na taj način se pomaže da se vidi da li će stanje na osnovu održavanja biti prihvaćeno u kompaniji. Različiti autori su razvili različite zrelosti održavanja mreže koja se može koristiti za ovu fazu (tabela 7.1).

	3.Izvrsnost	2.Razumevanje	1. Naivnost
1. Održavanje efikasnosti	Preko 80% OEE. Održavanje veoma zadovoljno performansama	20-80% OEE. Održavanje je ocenjeno kao zadovoljno performansama	Manje od 20% OEE. Održavanje odeljenja je ocenjeno kao nezadovoljno performansama
2. Politika primene i organizacije	Ima pisanu politiku održavanja koja se pokreće iz poslovnih ili proizvodnih strategija. Direktori koji su uključeni u postavljanje smernice i politike redovno revidiraju	Pisana politika je u mestu održavanja. Srednji ili mladi menadžeri su zaduženi za održavanje. Održavanje je pod proizvodnjom.	Bez formalnog održavanja politike.
3. Pristup održavanju	Zaposliti proaktivno održavanje, strategiju za održivo poboljšanje. Svi problemi su analizirani i trajno rešeni. Autonomna održavanja se primenjuju.	Preventivno održavanje bude glavni pristup. Neka operativna učešća u održavanju.	Oslanjanje na reaktivne strategije održavanja (>50% napora). Nema rada u održavanju.

4. Planiranje	Više od 90% rada koje je planirano se ostvari. Nizak prekovremeni rad (>15%).	Više od 50% rada koje je planirano se ostvari. Relativno visoki prekovremeni rad(>15%).	Manje od 50% rada koje je planirano se ostvari. Visok prekovremeni rad (>30%).
5. Upravljanje informacijom i CMMS	Integrirani CMMS se koristi. Najbolje korišćenje CMMS karakteristika i koristi od CMMS se realizuju.	CMMS ili barem PS se koristi. Mere se performanse. CMMS nije dobro iskorišćen i nije u potpunosti realizovan.	Ne koristi se CMMS. Manuelni rad. Grupni protok informacija na papiru. Ne mere se performansi sistem koji se koristi.
6. Ugovaranje održavanja	Ostvaruju se visoke prednosti od ugovaranja održavanja.	Ostvaruju se neke koristi od ugovaranja održavanja.	Male ili nikakve koristi se ne ostvaruju od ugovaranja održavanja.
7. Stalno poboljšavanje	Proaktivno održavanje. TPM ili RCM se primenjuje, performanse menjanja su na mestu i efikasno se koriste.	Ima PM u mestu, sa rukovodstvom učešće u politici podešavanje i kritike.	Nema PM ili TPM-a ili RCM. Nisko uključivanje menadžmenta. Korektivno održavanje je vrlo često.
8. Finansijski aspekt	Lako održavanje je sprovedeno na efektan nastup. Odlična kontrola budžeta. Gubitak proizvodnje se meri i istražuje.	Relativno visoko održavanje se troši zbog nedostatka efikasne kontrole troškova. Gubitak proizvodnje se meri, ali ne istražuje.	Bez održavanja troši zapisa. Bez održavanja budžeta. Loše razumevanje proizvodnih gubitaka i pratećih troškova.
9. Upravljanje ljudskim resursima	Akcentat je na upravljanju obuke usmerene na buduće potrebe. Ljudi koji obavljaju održavanje su dobro motivisani.	Na osnovu tehničke obuke, imaju neki timski rad i rešavanje problema. Dobre performanse, ali upravljanje ljudskim resursima nije efikasno.	Bez buke. Nedostatak održavanja veštine. Nedostatak motivacije. Relativno veliki broj zaposlenih, ali je održavanje slabog kvaliteta.
10. Rezervni deo	Niska vrednost akcija - zamena vrednosti. Paretova analiza se uspešno koristi za kontrolu.	Vrednost akcija - zamena vrednosti je relativno visoka u poređenju sa najboljim u klasi.	Nema rezervnih zaliha. Nema akcija koji kontroliše sistem koji se koristi.

Tabela 7.1 Primer za održavanje organizacione zrelosti koja se može koristiti kao jednostavan alat kada kompanije procene svoju zrelost

7.1.3. Analiza

Faza analize treba da da odgovor na gde, šta, kako, kada i ko treba da prati. Donošenje odluka je razvijena korišćenjem teorije i podataka prikupljenih u slučaju. Smernica se sastoji od pet glavnih odluka koja je putem testa izvodljivosti već objašnjena. Dodatni koraci su zadaci, odgovornosti i ovlašćenja, izbor sredstava za praćenje, izbor parametara za praćenje povezanih sa tehnikom, kao i izbor tehnologije.

Izbor odgovarajućih komponenti, podsistema i/ili sistema da se uključe u stanju na osnovu održavanja pristup je aktivnost koja čini proces upravljanja. Kao što je istaknuto, na osnovu uslova održavanja ne treba da se primenjuje opšta politika, već treba iskoristiti sistematski gde je efikasan. Opet alati, metoda merenja, ili metode koje se koriste u obavljanju kritičnosti analize, bilo da je to FMEA, FTA, kompletan RCM-pristup, kalkulacije RAM-a ili drugih, treba da odražavaju za šta određena kompanija koristi u radu.

Kada se zna gde treba da se izvrši merenje, pitanje koje se postavlja je , naravno, šta da se kontroliše (tj. koji parametar i sa kojom tehnikom). Kao što je rečeno, početni neuspesi u

većini slučajeva pokazuju različite simptome u različitim fazama i ove informacije mogu da se koriste u donošenju odluka koristeći potencijalne neuspehe kao neuspeh, P – F interval analizu,

Potencijalne tehnologije	Lakoća implementacije(5)	Potencijalni uticaj (5)	Trošak (5)	Preporuka od strane dobavljača (3)
Vibracija	4x5=20	1x5=5	3x5=15	1x3=3
Analiza ulja	4x5=20	3x5=15	4x5=20	2x3=6
Nivo buke	2x5=10	4x5=20	2x5=10	3x3=9
Temperatura	2x5=10	1x5=5	1x5=5	3x3=9

Tabela 7.2 Primer odluke matrice, gde su različiti kriterijumi ponderisani i različite potencijalne tehnike

Znajući gde i šta treba da se prati, treba odgovoriti na pitanja kako i kada treba da se izvrši praćenje (tabela 7.2). Kao što je prikazano praćenje stanja može se izvršiti na različitim nivoima tehnologije. Ako je izabrano subjektivno praćenje treba da se napravi odluka o tome ko treba da obavlja nadzor, koliko često, kako treba predati izveštaje sa rezultatima i kome, kako da podesite trend ANS. Korišćenje skupljih objektivnih praćenja sistema može u nekim slučajevima biti preterano. Ako je cilj monitoringa izabran, odluka o off-line ili on-line praćenju, periodičnom ili kontinuiranom praćenju, statička ili dinamička upozorenja granica i manuelna ili autonomna analiza, itd. treba da budu preduzeti.

Iako su mnogi programi danas on-line, još uvek su mnogi na off-line bazi, na primer, ručne opreme za monitoring. Bilo kako bilo, odlučujući adekvatan monitoring može biti problematičan zadatak. Kao što je rečeno, obično je dovoljno da izaberete frekvenciju praćenja jednaku polovini P-F intervala. Kao što je razmatrano, određivanje P-F intervala može da se obavlja na više različitih načina. Putem racionalnog pristupa tražeći prava pitanja putem pravih ljudi i koncentrišući se na jedan neuspeli režim u isto vreme je iznenađujuće precizan pristup.

Različite tehnologije će imati razlike u troškovima i oni će zahtevati različita znanja i obuku tehničara za obavljanje monitoringa.

7.1.4. Implementacija

Pošto je odlučeno da je odgovarajući pristup praćenja, bilo da je to visoko tehnološko stanje praćenja tehnologije ili subjektivni pristup, faze implementacije moraju da se prate. Kao što je navedeno ranije, na osnovu primene uslova održavanja nije samo stvar primene tehnologije nego implementacija nove kulture. Postoji onoliko ljudskih i organizacionih faktora koje treba uzeti u obzir kao tehnološke. Naveden je i drugi način, interakcija između tri vrste faktora, koji treba da se fokusira u cilju postizanja uspeha.

Faza implementacije je podeljena u dve faze: upravljanje i uvođenje. U fazi upravljanja važno je da menadžment daje podršku za sprovođenje i komuniciranje. Neophodno je da se postave ciljevi implementacije u ranoj fazi. Ciljevi treba da budu postavljeni u fazni pristup sa više kratkoročnih i nekoliko dugoročnih ciljeva. Neophodno je da neka organizacija, bar za održavanje odeljenja, bude uključena u postavljanje ciljeva da bi mogli da ispune ciljeve u kasnijoj fazi. To je, naravno, od suštinskog značaja za upravljanje da se obezbede potrebna sredstva da sprovođenje sistema bude uspešno. Takođe, u fazi upravljanja, može biti pametno da se uključi i šampion. Zaposleni koji snažno podržavaju nove tehnologije i metode mogu da komuniciraju između različitih odeljenja i između top menadžmenta, srednjeg menadžmenta kao i zaposlenih. Odgovornosti i ovlašćenja treba da budu dodeljena u ranijoj fazi. Ipak, možda će biti potrebno da se revidira i sprovede zadatak. Takođe, odgovornosti i ovlašćenja za ceo proces implementacije (čak i kasnije) su neophodni da ne bi došlo do zastoja u implementaciji ne znajući ko će da odgovara za naredne aktivnosti.

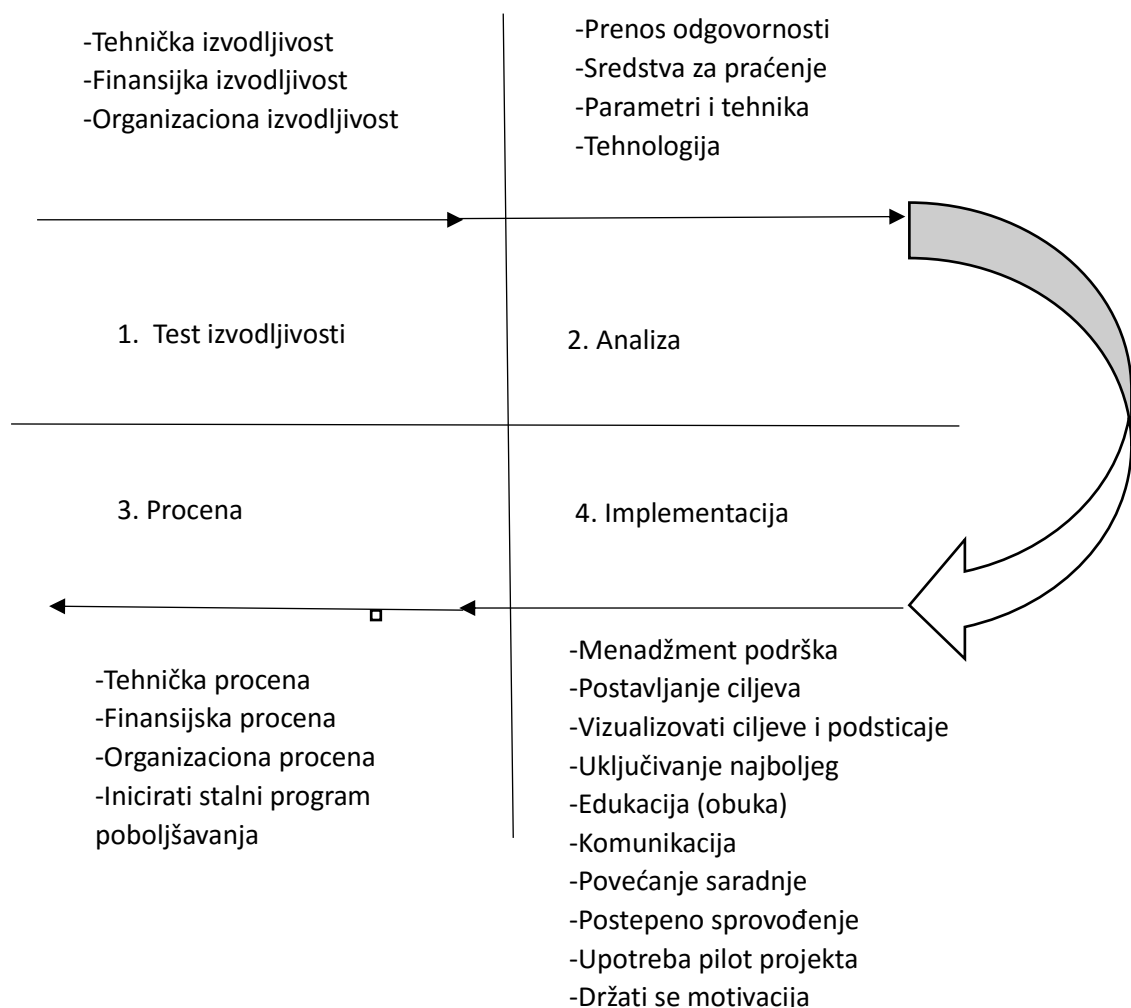
U fazi uvođenja sve odluke i svi naponi bi trebalo da budu usmereni na stvarne promene (tj. implementaciju). Mnoge aktivnosti se moraju odvijati u cilju da se ne izgubi zamah. Stanje

na osnovu održavanja treba da bude integrisano i u ostalim sektorima preduzeća. Radnici odeljenja moraju biti upoznati sa novom metodom, tako da se razumevanje novih tehnologija apsorbuje u kompaniji. Operatori su najčešće zaposleni najbliži mašini ili procesu, tako da imaju najviše znanje o tome kako dobra oprema funkcioniše. Primena jake saradnje između održavanja i proizvodnje će povećati kvalitet uslova za održavanje zasnovano pristupom. Implementacija može veoma dobro početi sa pilot projektima, to je dobar pristup da se verifikuje ispravnost ranijih odluka.

7.2. Rezime

Metod sadrži četiri faze. Prva ima za cilj utvrđivanje da li vredno da se ide na dalju realizaciju održavanja prema stanju. Ova faza analize izvodljivosti na osnovu uslova održavanja za specifične aplikacije uzima polazne tačke kao što je tehnička, finansijska i organizaciona izvodljivost.

Ako se smatra izvodljivo faza analize je drugi korak. Faza analize treba da odredi koji tip stanja se primenjuje i šta se procenjuje. Takođe se preporučuje da se dodele odgovornosti i ovlašćenja u ovoj fazi. Znajući šta treba da se sprovede stvarni proces promena leži u ruci. Ova faza uključuje nekoliko faktora koji se mogu uzeti u obzir (slika 7.2). Završna faza podrazumeva procenu implementacije kao i moguće pokretanje kontinuiranog poboljšanja programa.



Slika 7.2 Metoda implementacije sa četiri faze: test izvodljivosti, analiza, implementacija i procena, sa faktorima koji omogućavaju da se fokusiraju u procesu implementacije

7.3. Upravljanje kadrovima za dijagnostiku

Menadžment funkcija vođenja kadrova predstavlja naročito značajnu aktivnost kojom se mobilišu sve ostale funkcije i svi ostali resursi preduzeća. Uspostavljavajući time sklad u obuhvatanju svih tokova procesa rada i poslovanja, poslova i zadataka, te postizanju jasno definisanih ciljeva poslovnih funkcija, a time i ciljeva preduzeća. Posredstvom odvijanja adekvatnih tokova menadžment procesa vođenja kadrova, njihovom motivacijom za rad, usmeravanjem, koordinacijom i rukovođenjem njihovim aktivnostima u izvršenju konkretnih poslova i zadataka, te postizanju planskih ciljeva. Poslovne funkcije su važni segmenti sistema preduzeća, bez kojih ono nema celinu i sadržaj, nužan za obezbeđivanje realnog funkcionisanja. Među njima, posebno mesto, ulogu i značaj ima poslovna funkcija vođenja kadrova. Pravilnim koncipiranjem ovih a naročito kadrovske funkcije, njihovog sadržaja rada i organizacije, obezbeđuje se efikasno poslovanje preduzeća i ostvarivanje njegovih poslovnih ciljeva. Preduzeće je sistem u kome se prikupljaju i obrađuju informacije, donose menadžment odluke, realizuju akcije i na taj način menja ponašanje preduzeća, kao sistema. Ponašanje sistema preduzeća u odnosu na sistem okoline, kao izvora njegovog delovanja, egzistencije i razvoja. Sistemi se često shvataju kao celine, koje su više nego suma njihovih delova, ali ipak on ima širi sadržaj, smisao i svrhu, koja se može iskazati i sagledavati u dinamičkom odnosu sa drugim sistemima.

U tome vodeću ulogu ima kadrovska funkcija, znanje, sposobnost i radno kreativna moć svakog pojedinca u doprinosu realnoj egzistenciji, unapređenjima i razvoju delatnosti svake funkcije zasebno i preduzeća kao celine. Pretpostavka celine, sastavljena od elemenata (delova) je samo pokušaj da se odgovori na pitanje o sastavu bića preduzeća ili da se najpre to pitanje izbegne. Sistemi se, dakle, moraju razumeti kao identiteti u veoma složenoj i promenljivoj okolini, koji teže izvesnoj ravnoteži svoje unutrašnjosti i spoljašnjosti delovanja, na osnovama moći, pre svega kadrova. Stvaranje sistema, prema tome, sastoji se u stabilizaciji ili ravnoteži individualnih i ka okolini upravljanih struktura, koje menjaju složenost ili pak promenama olakšavaju složenost konkretnim ponašanjem.

Upravljanje kadrovima obuhvata formulisanje, predlaganje i usvajanje kadrovske politike i strategije, vođenje menadžera u sprovođenju te politike i strategije, stvaranje kadrovske službe sposobne da motiviše i razvija sposobnost zaposlenih, te unapređenje svesti menadžera o važnosti razvoja zaposlenih. Međutim, pravilna i efikasna kadrovska politika, obuhvata osnovna područja koja se bave pribavljanjem i selekcijom kadrova, finansiranjem i davanjem beneficija kadrovima, povezivanjem sa udruženjima zaposlenih, razvojem karijera, obukom i osposobljavanjem kadrova., zdravstvenom zaštitom, sigurnošću i pravima zaposlenih. Kadrovska funkcija obuhvata realizaciju brojnih i raznovrsnih zadataka, koji se odnose na planiranje potreba za kadrovima, selekciju, izbor i njihovo zapošljavanje, vršenje neposredne obuke kadrova, vrednovanje njihovih učinaka ili rezultata rada, napredovanja, zaštite itd.

U tržišno orijentisanim preduzećima, koja su permanentno izložena slobodnim uticajima konkurencije, kadrovskim procesima, poslovima i zadacima se treba poklanjati posebna pažnja. Iz razloga uspešnije aktivnosti u okolnostima, upravo snažnog uticaja konkurencije tržišnog i opšteg okruženja. Menadžment pribavljanjem potrebnih kadrova, njihovim radom i razvojem, nije više briga samo kadrovske funkcije, već i samog menadžmenta preduzeća. Menadžment ljudskim resursima, postaje centralno područje bavljenja kadrovima i njihovim sposobnostima za uspešan rad i postizanje ciljnih rezultata rada. Novi uslovi privređivanja utiču na promenu poslovne aktivnosti preduzeća, pa samim tim i na promene u oblasti kadrova, čiji rad, stvaralaštvo i njihovi rezultati rada postaju osnovno merilo njihove vrednosti. Njihove razvojne radne i menadžerske mogućnosti postaju sve aktuelnije za angažovanje na ozbiljnije rangiranim poslovima. Potrebe za efektivnijim radom, zavise od odvijanja niza tokova kadrovskih procesa,

kreacija i usavršavanja tih procesa, zasnovanih na sticanju tehničkih, tehnoloških, organizacionih, ekonomskih, informatičkih i drugih znanja zaposlenih.

Menadžment kadrovskom funkcijom se bavi procesima planiranja kadrova, njihovog pribavljanja, uvođenja u radne aktivnosti, usmeravanja, motivisanja, zaštite na radu i praćenja razvoja. Zatim organizovanjem realizacije radnih aktivnosti, rukovođenjem neposrednim izvršenjem i kontrolom načina i kvaliteta izvršenja tih aktivnosti, poslova ili zadataka. Prema tome, ključna uloga kadrovske funkcije je veoma velika i sastoji se u:

- Pronalaženju i izboru adekvatnih kadrova za vršenje konkretnih poslova i zadataka,
- Njihovoj obuci i usavršavanju da te poslove i zadatke obavljaju uspešno,
- Oceniti njihovog rada, nagrađivanju rezultata rada, zaštitu na radu i zdravstvenoj zaštiti i
- Razvoju adekvatnih odnosa između zaposlenih i menadžera u kadrovskoj funkciji i preduzeća u celini.

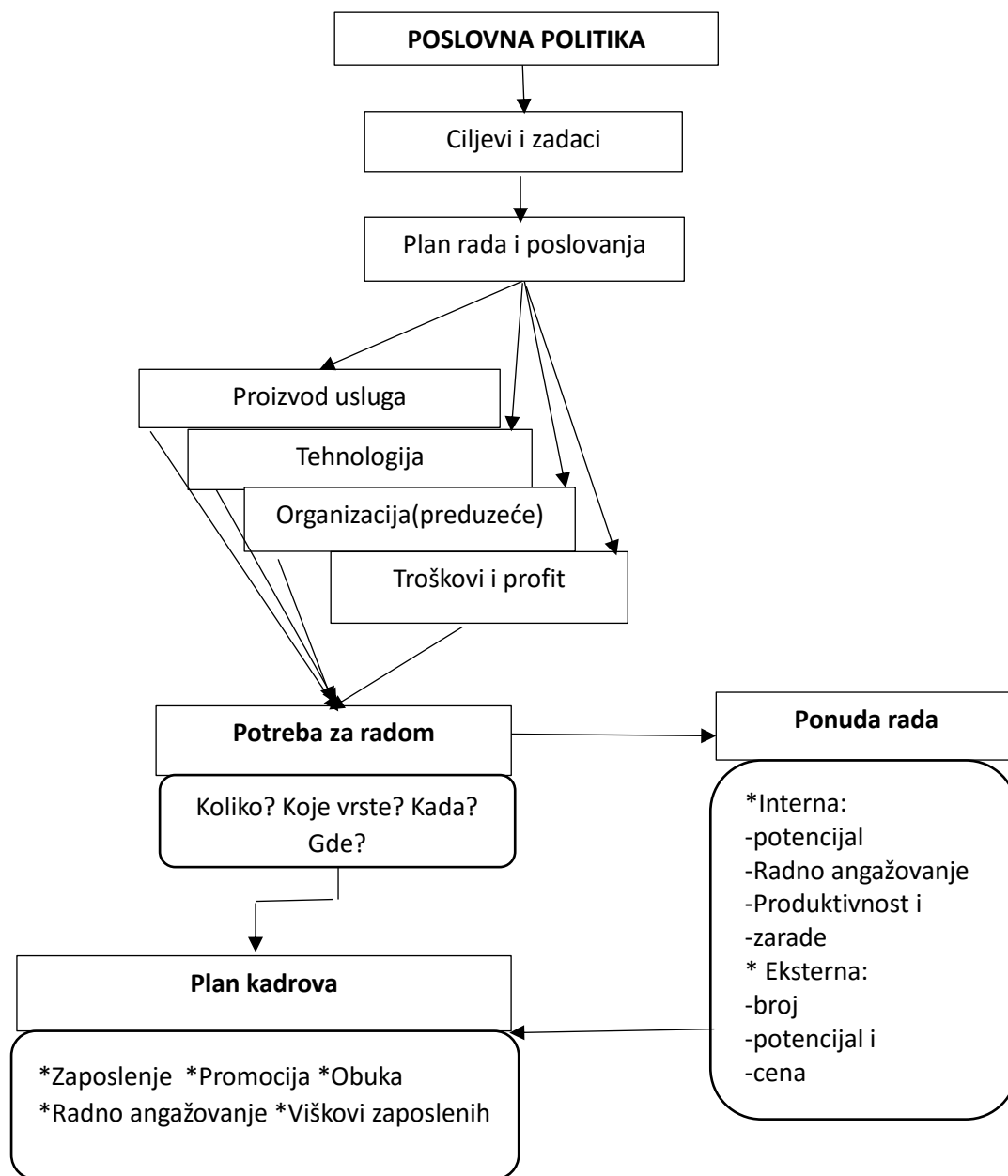
Kadrovska funkcija koja se stara o obezbeđenju, razvoju, nagrađivanju, oceni i zameni kadrova preduzeća ima ključnu ulogu u odvijanju menadžerskih poslova, naročito onih koji su nužni za odvijanje menadžerske saradnje sa kadrovskom poslovnom funkcijom u procesima sagledavanja kadrovskih potreba, pronalaženja i izbora adekvatnih kadrova za obavljanje konkretnih poslova i zadataka. Menadžeri poslovnih funkcija preduzeća imaju značajnu ulogu u adekvatnom utvrđivanju postojećih poslova i zadataka, koji se moraju obavljati i potrebne veštine i sposobnosti koje ti poslovi zahtevaju. Zatim, vršenje analize datih poslova i zadataka, njihovo koncipiranje u vidu iskazanog opisa i specifikacije po vrstama, obimu i slično. Takođe se mora voditi računa o izvorima potrebnih kadrova u perspektivi (budućnosti), koji moraju biti utvrđeni i koji se mogu angažovati prema njihovim sposobnostima za obavljanje konkretnih poslova i zadataka, uz poštovanje propisa i davanjem jednakih šansi za rad svim kadrovima.

Vođenje poslovne politike preduzeća (slika 7.3) u zavisnosti je, najpre, od uredno ostvarivanih poslova i zadataka iz oblasti kadrologije, ali i od brojnih drugih internih i eksternih činioca. Procesom planiranja kadrova se ostvaruje proučavanje i sagledavanje potreba za kadrovima, prognoziranje i projektovanje potreba za buduće vreme. Osim toga, utvrđuju se organizacioni, ekonomski, socijalni i ostali uslovi za realizaciju planova kadrova, kao i oni koji se odnose na unapređenje, obrazovanje, zaštitu, prekvalifikaciju i slične aktivnosti u vezi sa kadrovima. Kadrovi u preduzeću su najznačajnija komponenta njegovog funkcionisanja i razvoja, naročito u savremenim, veoma složenim uslovima tržišnog privređivanja, kada se interesi preduzeća moraju vešto usaglašavati sa interesima eksternih činioca od kojih zavisi njegova egzistencija i dalji razvoj delatnosti.

Prethodna osnova iz skupa elemenata sa slike 6.1 nam može poslužiti za dalju aktivnost usmerenu na pribavljanju kadrova za rad na sistematizacijom definisana radna mesta, poslova i zadataka svakog preduzeća i njegovih poslovnih funkcija. U tom smislu se i realizuje ceo postupak zasnivanja radnog odnosa i dalji tretman novoprimitljenih kadrova do njihove adekvatne osposobljenosti za samostalan rad. Proces utvrđivanja potreba za privremenom ili stalnom popunom radnih mesta podrazumeva određivanje i korišćenje internih i eksternih izvora kadrova, korišćenje baze podataka o kadrovima, oglašavanje slobodnih radnih mesta i poslova, prijavljivanje kandidata, ostvarivanje komunikacije sa potencijalnim kandidatima, vršenje selekcije, predlaganje i donošenje odluke o zasnivanju radnog odnosa, te i obaveštavanje kandidata o takvoj odluci. Zatim sledi uvođenje kandidata u preduzeće,

upoznavanje sa poslovima i pružanje dalje pomoći na savladavanju radnih veština za samostalan rad i postizanje uspeha u radu.

Menadžment svakog preduzeća može sa sigurnošću da računa na sopstveni radni i poslovni uspeh i prosperitet, samo ako ima istačan i ispravan odnos prema kadrovima u svim fazama njihove pojave, ulaska, prisustva i delovanja u preduzeću. Dakle, u periodu od momenta prvih interesovanja za kadrove kao pojedince do njihovog odlaska iz preduzeća. Briga o ljudima, o ljudskim resursima uopšte rečeno je najvažnija i najdelotvornija u svakom pogledu, zato se ista nikada ne sme smetnuti s uma menadžmentu i menadžerima pojedinačno na svim nivoima i po funkcijama delovanja u preduzeću. Ljudi su najvažniji resursi svakog preduzeća, organizacije, institucije i sl. Zato kada se jednom ljudi odaberu, menadžeri su odgovorni za unapređenje i razvoj njihovih veština i sposobnosti, za realno ocenjivanje njihove radne uspešnosti, za obezbeđivanje adekvatne nadoknade za rad, te za održavanje bezbednih i zdravih uslova za rad. Zatim, da se obezbedi povoljna klima za boravak, rad i radno i profesionalno unapređenje i razvoj ličnosti zaposlenih, odnosno da se u celini osećaju prihvaćenim i poštovanim kao u svojoj kući. Da mogu u sasvim urednim radnim, organizacionim i ekonomski okolnostima da dočekaju i završetak radne i profesionalne karijere, kada će i otići u penziju iz preduzeća u kome su je zasluženo stekli. Vrednost ljudi se ne može izraziti u novcu, ali je njihova vrednost za uspeh i prosperitet preduzeća ogromna. Najzad, sa kadrovima, sa ljudima se počinje sve i završava sve. Tako da sve ima smisla uz češće ljudi, a bez njih je ipak sve ništavno. Oni iniciraju, osmišljaju, kreiraju, pokreću, razvijaju i sve čine postojećim, živim ili suprotno od toga (slika 7.3).



Slika 7.3 Uticajni činioci na planiranje kadrova

Konkurencija u trgovini i industriji posla je globalna, pa više nema mesta prečicama, što znači moći će da prežive samo oni, koji su sposobni da uspešno i rentabilno proizvode i isporučuju kvalitet najvišeg ranga. To takođe znači da ako mi ne uspemo, uspeće naša konkurencija, kvalitetnim sopstvenih proizvoda i usluga. Dakle, kvalitet i to u totalnom smislu je aktuelan i moguće ostvarljiv kvalitetom znanja ljudi. U središtu pažnje se zato, nalaze ljudi, koji daju kvalitet onoga što stvaraju, te je u tom smislu, menadžment ljudskim resursima i kvalitetom njihovih dela kroz proizvode i usluge, orijentisan na menadžment privrednih aktivnosti preduzeća, mora se računati na izuzetne i snažne uticaje konkurencije iz bližeg i daljeg tržišnog i opšteg okruženja. Zato će opstanak i razvoj svakog preduzeća zavisiti u velikoj meri od uspešnog privrednog komuniciranja i učešća na svetskom tržištu, te do plasmana proizvoda i usluga vrhunskog kvaliteta, postignutog na rentabilan, racionalan način, odnosno:

- Prihvatanjem kvaliteta, kao sveobuhvatnog kruga delovanja, za čije rešenje imaju ključ ljudi bez izuzetka u njihovim međusobnim odnosima,
- Kvalitetom ljudskog delovanja koji je u ulozi neprekidnog funkcionisanja i razvoja preduzeća i
- Totalnim kvalitetom zahteva se da svi zaposleni u preduzeću budu motivisani za zajednički cilj, tj. da to postane njihovo suštinsko ponašanje i kultura delovanja.

7.3.1. Potrebna znanja specijaliste za održavanje

Održavanje tehničkih sistema (postupci koji treba da što duže zadrže tehnički sistem u radnom stanju), kao sistem promišljenih aktivnosti svodi se na donošenje različitih odluka sa različitim ciljevima i na različitim nivoima. Odluke treba da se donose na nivou definisanja konceptijskih i strateških opredeljenja ili projektnih rešenja, neposredno vezano za osnovne ciljeve i zadatke sistema održavanja, a zatim na svim nivoima na kojima utvrđene koncepcije i projektna rešenja treba da se realizuju, sve do krajnjih izvršilaca postupaka održavanja. Razumljivo je da je za efikasno održavanje nužno da se mnogo toga zna, da se poseduju odgovarajuća osnovna i posebna znanja, i to na svim nivoima odlučivanja, da postoji upravljanje znanjem.

Osnovna znanja se u suštini odnose na bitne naučne i stručne podloge na kojima počiva sistem održavanja, bez obzira o kom tehničkom sistemu se radi. Tome u prilog govori i činjenica da današnje tehničke sisteme, pored ostalog, karakteriše integrisanje različitih grana tehnike, mašinstva, elektrotehnike, procesne i hemijske tehnologije. To omogućava da se osnovna ili opšta znanja potrebna za održavanje mogu u velikom stepenu generalizovati, nezavisno od toga koja vrsta tehničkog sistema se posmatra, tj. koja treba da se održava.

Logično je međutim da znanja potrebna za održavanje treba da budu usmerena i na vrstu tehničkog sistema koji se održava. Ova posebna znanja se odnose na pojedine vrste tehničkih sistema, odnosno na pojedina uža ili šira područja tehnike, i treba da obuhvate sve teorijske i inženjerske podloge na kojima počiva sistem koji se održava, njegov projekat, konstrukcija i način funkcionisanja, uključujući i specifična dejstva uslova rada i okoline.

Ne manji značaj imaju i posebna znanja koja se direktno odnose na sistem koji treba da se održava. Nužno je najme, da se dobro poznaju zadaci sistema koji treba da se održava, sve bitne karakteristike i svojstva, kao što su koncepcija i algoritam funkcije, konstrukcijska rešenja, primenjeni materijali, uslovi rada i zahtevi okoline i slično. Posebno mesto u svemu ovome ima primena postupaka tehničke dijagnostike.

7.3.2. Obrazovanje održavalaca tehničkih sistema na površinskim kopovima

Danas je neophodno da se sistem obrazovanja i inženjera suštinski menja, on mora da inženjerima i tokom inženjerske prakse pruža potrebne nove informacije i nova znanja. Drugim rečima sistem obrazovanja inženjera mora da bude *neprekidan*. To znači da se završetkom bilo koje škole ili univerziteta obrazovanje inženjera ne završava ono samo tokom vremena prima druge oblike. Ovo se, naravno, ne odnosi samo na obrazovanje za održavanje već i na obrazovni sistem u celini, bar kada je reč o tehničkim naukama i inženjersko-tehnički poslovima. Drugim rečima potrebno je da postoji razvijen sistem „permanentnog obrazovanja“ ili sistem obrazovanja „uz rad“, koji će stalno inovirati znanja svih inženjera, posebno u neposrednoj vezi sa poslovima koje obavljaju. Dok obrazovanje u školama ima u načelu opšti karakter,

„permanentnog obrazovanje“ je više usmereno na pojedina uža područja, na posebne oblasti ili vrste tehničko-inženjerskih poslova, ili na pojedine vrste tehničkih sistema. Obrazovanje inženjera za oblast održavanja spada u grupu najskloženijih i najskupljih aktivnosti u preduzeću.

Sistem permanentnog obrazovanja ima poseban značaj za sisteme održavanja kako u pogledu razvoja novih tehnologija u ovim procesima, tako i u pogledu posebnih znanja, vezanih za pojedina uža područja tehnike. Ovo nije samo rezultat činjenice da se do sada kod nas, u najvećem broju slučajeva, ne poklanja potrebna i dovoljna pažnja teorijskim i inženjerskim osnovama procesa održavanja, već i neosporne činjenice da se intenzivan razvoj tehnologije poslednjih godina vrlo snažno reflektuje baš na sisteme održavanja. Inženjerima koji upravljaju održavanjem, dakle, treba obezbediti permanentni transfer savremenih znanja, kako teorijskih, tako i inženjersko-praktičnih, i to u domenu osnovnih, i u domenu posebnih znanja.

Ako je reč o osnovnim znanjima, seminari ili kursevi za inovaciju znanja iz oblasti održavanja mogu, na primer, da budu posvećeni sledećim programima:

- osnove inženjerstva (sigurnost funkcionisanja),
- metode analize otkaza (FMEA – analiza oblika, uzroka, posledica i efekata otkaza, FTA – analiza i dr),
- metodologije održavanja (RCM- prema pouzdanosti, TM- totalno održavanje, PBI, RIMAP, MACRO- održavanje prema riziku, i dr.),
- preventivno i korektivno održavanje,
- inženjerstvo dijagnostike (dijagnostika kao stub totalnog održavanja),
- tribologija i podmazivanje,
- preventivne opravke (remonti),
- popravljanje i obnavljanje istrošenih delova sistema,
- informacioni sistem održavanja (interpretacija svih delova funkcije održavanja),
- organizacija održavanja (centralizovano i decentralizovano),
- rezervni delovi za održavanje,
- obuka kadrova,
- reinženjering održavanja,
- benčmarking održavanje,
- upotrebnost kvalitet tehničkih sistema,
- upravljanje znanjem u oblasti održavanja i dr.

7.3.3. Kvalifikacija „Stručnjak za održavanje“

Koliko je važno posedovati sva potrebna znanja za upravljanje sistemom održavanja, svedoči i činjenica da je u Evropi pre više godina uvedeno zvanje stručnjaka za održavanje, odnosno institucija polaganja ispita za sticanje zvanja „Evropski stručnjak za održavanje“. Ovaj sistem funkcioniše u okviru Evropskog saveza nacionalnih udruženja održavalaca – *The European Federation of Nacional Maintenance Societes*, koja je poznata pod skraćenicom EFNMS.

Federacija EFNMS je detaljno propisala sve uslove za sticanje ovog znanja, sa ciljem „obezbeđenja stručnosti u obavljanju poslova održavanja u Evropi“, odnosno za moderno i ekonomično upravljanje i organizaciju održavanja.

Pravila utvrđuju zahteve u pogledu potrebnih znanja iz svih važnih oblasti koje mora imati stručnjak za održavanje, kao i uslove (teorijsko znanje i radno iskustvo) za dobijanje zvanja „ovlašćenog“ evropskog stručnjaka, ili menadžera za održavanje, uključujući i

proceduru izdavanja odgovarajućeg svedočanstva, odnosno sertifikata. Programi provere znanja u sistemu EFNMS iskazani su sa tri nivoa znanja, koji odgovaraju odgovarajućim rangovima zvanja „stručnjaka za održavanje“: (1) vrlo dobro poznavanje, (2) dobro poznavanje, (3) razumevanje. Prvi nivo omogućava stručnjaku rad na rukovodećim poslovima (menadžmentu), drugi nivo daje znanja za upravljanje održavanjem u smislu organizovanja i sprovođenja definisanih postupaka održavanja, a treći nivo pruža znanja dovoljna za donošenje odluka o realizaciji pojedinih postupaka održavanja, unutar ili van preduzeća.

Program ispita, odnosno znanja koja se zahtevaju, obuhvataju sledeća osnovna područja:

- Upravljanje i organizaciju sistema održavanja,
- Pouzdanost i gotovost proizvodnih postrojenja,
- Informacioni sistem održavanja,
- Metode i tehnike održavanja,
- Tehnološku dijagnostiku i
- Terminologiju u održavanju.

Svako od ovih područja je detaljno specificirano, navođenjem svih detalja odnosno pojedinačnih pitanja. Ako se radi o pouzdanosti i gotovosti postrojenja, na primer, programom ispita utvrđuju se sledeći zahtevi:

Vrlo dobro poznavanje

- Pouzdanost: definicije i izračunavanje pouzdanosti, vremenska slika stanja (vremena „u radu“, mere pouzdanosti (npr. MTBF, MTTF, itd.), mehanizmi koji izazivaju pojavu otkaza, rezerve/redundance, pouzdanost sistema sa rednim i paralelnim vezama i drugim vrstama aktivne i pasivne rezerve/redundance, zakoni raspodele tokom vremena (eksponencijalna, log-normalna, Weibulova, i dr.);
- Pogodnost održavanja: definicije i izračunavanje pogodnosti održavanja, veze sa pojavom otkaza i stanjima onesposobljenosti zbog sprovođenja održavanja, mere pogodnosti održavanja (npr. MTTR, M, i dr.);
- Podrška održavanju: definicije i ocene podrške, uticaj na vreme „u otkazu“, mere podrške održavanju (npr. MLDT, MWT, itd.);
- Gotovost: definicije i izračunavanje gotovosti, odnosi vremena „u radu“ i „u otkazu“, veze gotovosti, pouzdanosti i pogodnosti održavanja i podrške održavanju, uticaj gotovosti na proizvodnju i učinke sistema, mogućnosti povećanja gotovosti (zalihe rezervnih delova, preventivno održavanje, dokumentacija, obuka, ljudski faktor i dr.).

Dobro poznavanje

- Verovatnoća i statistika: izraz i osnovne formule koje se koriste u izračunavanjima i proverama pouzdanosti i pogodnosti održavanja;
- Upravljanje održavanjem: kako da se obezbedi zahtevana pouzdanost i zahtevana gotovost;
- Pouzdanost čoveka: greške čoveka, njihovi uzroci i posledice, mogućnosti povećanja pouzdanosti čoveka;
- Sigurnost: nepredviđeni štetni događaji i mogućnosti smanjenja njihovog dejstva i posledica (na život, zdravlje, bezbednost, okolinu i dr.) primenom odgovarajućih metodologija i postupaka održavanja;

- Rizik i opasnost: definicije i vrste rizika i opasnosti (rizik kao proizvod verovatnoće pojave neželjenog događaja i posledica), mogućnosti ocene i izračunavanja, primena metoda teorije pouzdanosti u analizi i oceni rizika (npr. FMEA i FTA).

Razumevanje

- Osiguranje kvaliteta; mere kvaliteta, standardi i metode osiguranja kvaliteta u odnosu na održavanje, uticaj održavanja na kvalitet;
- Zakoni i propisi (tehnički aspekt): zakoni i propisi koji direktno utiču na održavanje, organizacije odgovorne za utvrđivanje pravila i donošenje zakona vezanih za održavanje, organizacije odgovorne za proveru ovih propisa i zakona;
- Dokumenti EFNMS-a detaljno regulišu i proceduru prijave i polaganje ispita za zvanje „Evropskog stručnjaka za održavanje“. Od osnovne je važnosti da sve ispite organizuju nacionalna udruženja članice ove međunarodne federacije.

Na sličan način su definisana i sva ostala područja, odnosno sva pojedinačna pitanja na koja pretendent za sticanje zvanja „Evropskog stručnjaka za održavanje“ treba da odgovori. Interesantno je da se, uz sve to, traži i dobro poznavanje termina iz oblasti održavanja.

Program ispita je detaljno obrađen u pomenutim dokumentima, a obuhvata dva dela: (1) proveru znanja iz sadržaja koji su navedeni u odgovarajućoj specifikaciji i (2) prikaz jednog članka iz područja održavanja na engleskom jeziku, koji treba u izvodu dati na svom maternjem jeziku. Ispit može da traje najviše osam sati i može da se podeli u dva dela. Na primer, jedan deo sa pitanjima koja obuhvataju „upravljanje i organizaciju“ i „informacione sisteme za održavanje“, a drugi deo područja „obezbeđivanje pouzdanosti proizvodnih postrojenja“, „metode i tehnike održavanja“ i „tehnička dijagnostika“.

Pripremu i sprovođenje ispita vrši Komisija od tri člana:

1. državni ispitivač, iz grupe ovlašćenih ispitivača nacionalnog Udruženja održavalaca,
2. posmatrač međunarodne federacije EFNMS i
3. član odbora nacionalnog Udruženja održavalaca.

U tom cilju svako nacionalno Udruženje održavalaca treba da ustanovi grupu ovlašćenih stručnjaka u području upravljanja održavanjem, u čijem sastavu treba da se nalaze profesori i/ili predavači sa univerziteta, rukovodioci iz neke srednje velike ili velike kompanije i predstavnik odbora nacionalnog udruženja održavalaca. Iz ove grupe se za svaki ispit određuje „državni ispitivač“. Program ispita, odnosno konačni sadržaj test (ispitnih) pitanja, kojim treba da su na posebnim listovima, dostavlja se na odobrenje posmatraču EFNMS-a, koji treba svaki list sa pitanjima da potpiše. Ova pitanja su tajna i ne mogu se staviti na uvid bilo kom licu van Ispitne komisije.

Po uspešno položenom ispitu kandidat dobija diplomu EFNMS-a, odnosno zvanje „Evropski stručnjak za održavanje“. U EFNMS-u se vodi registar svih izdatih diploma, odnosno registra ovlašćenih Evropskih stručnjaka za održavanje.

Pored kvalifikacije „Evropski stručnjak za održavanje“ nacionalna Udruženja održavalaca imaju pravo da izdaju i svoje Diplome sa zvanjem „Nacionalni stručnjak za održavanje“, prema programima koji ne moraju u svemu da budu u skladu sa programima i zahtevima EFNMS-a. Jednu od ovih diploma izdaje i Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije.

7.3.4. Školovanje održavalaca u Srbiji

Posebna Škola održavanja mašina razvijena je u železari Smederevo od strane prof. Dr Živoslava Adamovića još 1980. godine. Do danas školu je završilo preko 200 inženjera i tehničara.

Od 1995. godine do danas na Tehničkom fakultetu „Mihajlo Pupin“ u Zrenjaninu pripremaju se stručnjaci za održavanje, pre svega za sledeće oblasti [17]⁶¹:

- Tehnička dijagnostika,
- Održavanje hidrauličnih i pneumatskih sistema,
- Podmazivanje tehničkih sistema,
- Informacioni sistem održavanja,
- Reinženjering održavanja,
- Upravljanje znanjem u održavanju,
- Pouzdanost mašina i postrojenja,
- Proaktivno održavanje,
- Organizacija održavanja i
- Totalno održavanje.

7.3.5. Obuka putem interneta

Obuka ljudstva je jedan od bitnih preduslova za uspešno održavanje tehničkih sistema. Pomoću novih informacijskih tehnologija kao što su multimedija, virtuelna realnost (Virtual Reality) ili simulacija nude se sadržaji za obučavanje ljudstva. Termin e-obučavanja odnosi se na prenošenje znanja putem elektronskih, informaciono-komunikacionih medija. Razlikujemo sinhronu i asinhronu primenu e-obučavanja. Sinhroni elementi kao što su video-konferencija, chat, whiteboard ne služe samo za interaktivno otklanjanje zastoja, već i za ciljni obučavanje internih i eksternih ciljnih grupa. U ovom kontekstu se podrazumeva da serviser specijalista otklanjanjem uzroka zastoja istovremeno obučava korisnika mašine.

Sledeće što se javlja jeste jedan modularni koncept obuke, i vidu tutora i kratkih didaktičkih lekcija za trening. Na ovaj način se putem interneta, osim prenošenja tehničkih sadržaja, direktno uvode i osposobljavaju korisnici za praktične vežbe na mašini (Tele-Coaching). Za razliku od trening centra (Trainings Centers) u centralama proizvođača opreme ovim modelom obučavanja se postižu i značajne uštede, npr. na troškovima putovanja.

Asinhrona primena e-obučavanja ogleda se u Self-Service sistemima, iz čiju pomoć korisnik prikuplja znanja u formi dokumentacije, u uputstvima vezanim za popravku mašine (vizuelizacija sadržaja, npr. uz povezivanje sa slikama otkaza i dodavanje multimedijalnih elemenata).

Obučavanje korisnika mašine se već neko vreme uspešno vrši putem multimedijalnih programa za učenje, koji se doduše još uvek retko nude na internetu.

Pravljenje modela i simulacija dozvoljavaju jednu nadgradnju procesa odnosno mašina i postrojenja. Uz pomoć simulacije mogu se odnosi jednog kompleksnog sistema u jednom „virtuelnom“, sigurnom okruženju testirati i optimizirati. Prilikom modeliranja koriste se različite metode i softverski alati, kako bi se dobio matematički model procesa i odnosa u njemu.

⁶¹ [17]. Adamović, Ž., „Tehnička dijagnostika“, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1998.

Osnovna oblast primene simulacije jeste u procesu obučavanja, pogotovo kompleksnih sistema. Korisnik simulira različite scenarije i ima mogućnost da analizira izvedene akcije. Dobra interpretacija rezultata jeste preduslov za uspešnu obuku i mora biti izvršena uz pratnju iskusnog trenera.

Korišćenje multimedijalne komunikacije nudi jednu realističnu sliku situacije na licu mesta, ali iziskuje dodatni hardver. Prenos velikih količina podataka često zahteva i postupke komprimovanja podataka. Da bi se obezbedila vizuelizacija u realnom vremenu potrebno je masovno korišćenje hardvera. Ovaj način elektronske podrške podržava se samo u slučajevima primene gde je direktno vizuelno nadgledanje značajnije od prenošenja korisničkih podataka.

Poslednja alternativa se najčešće nudi od proizvođača kao deo automatskog sistema ili softverskog paketa, odnosno dodatno nakon projektovanja individualno se proizvodi.

7.3.6. Obrazovne ustanove i asocijacije u svetu

Pored EFNMS-a na razvoju održavanja uspešno rade i sledeća nacionalna udruženja:

- MESA (Maintenance Engineering Society of Australia),
- AFIM (Association Francaise des Ingenieurs de Maintenance),
- BEMAS (Belgian Maintenance Association),
- SAMA (Southern Africain Maintenance Association),
- SMRP (Society of Maintenance Reliability Professionals),
- Massachusetts Institute of Technology,
- Georgia Institute of Technology,
- Inernacional Maintenance Institute,
- Cranfield University,
- University of Wollongong,
- Monash University, i
- American TPM Institute.

7.3.7. Obrazovanje u Srbiji

Mnogo toga je napisano o elektronskom obrazovanju kao jednom od nezaobilaznih pristupa napredovanja organizacija, ali ipak nedostaju još neka objašnjenja šta ono zapravo znači. Ovde se postavlja hipoteza da se elektronsko učenje razvija zajedno sa upravljanjem promenama (u ovom slučaju su to promene na nivou celokupnog društva). Ove dve, iako praktično odvojene discipline su neodvojivo povezane. Štaviše, na taj način i elektronsko učenje može biti sila koja podstiče promene, kao što upravljanje promenama podstiče potrebu za elektronskim učenjem.

Pitanje je da li ove discipline uzrokuju jedna drugu, i ako uzrokuju, na koji način to rade? Sukob koji postoji ovde jeste da elektronsko učenje samom svojom prirodom uvodi promene kako u ljudima tako i u svim dimenzijama poslovanja organizacije, u svim razmerama. Eksperti znaju da se način na koji društvo funkcioniše ne može promeniti samo uvođenjem promena. On mora uključivati analizu, merenje, razmenu informacija i planiranje. Ovaj proces mora biti upravljan i vođen.

Suštinski proces učenja uključuje pristupe, vrednosti, veštine i znanja, i ima za cilj uticaj na promenu u obliku performansi i ponašanja. Na taj način se postiže cilj dodavanjem vrednosti u organizaciji. U ovakvom okruženju stvarni potencijal elektronskog učenja bazira se na

sposobnosti da se obezbedi učenje dostupno u svim oblastima poslovanja, u kombinaciji sa oruđem koje meri rezultate tog učenja i saradnjom. Prema tome, potencijal organizacije sastoji se u tome da ona može biti u stanju permanentnog učenja – što podrazumeva permanentne promene. Na ovaj način, elektronsko učenje ima mogućnost da promeni dinamiku funkcionisanja organizacije, koja je osnovni cilj upravljanja promenama.

Postoji zajedničko shvatanje da elektronsko učenje još uvek nije dostiglo svoj puni potencijal niti očekivanja. Nekoliko poslednjih godina preplavljene su publikacijama o istraživanjima i studijama slučaja koji to dokazuju. Da li se elektronsko učenje ocenjuje kao nemoguće iz jednostavnog razloga što ishod upravljanja promenama nije razmatran i okarakterisan kao ključni deo procesa?

Ono što ovo saznanje otvara jeste definicija šta predstavlja elektronsko učenje u modelu vremena. Ono opisuje novi pristup, sa jakim argumentom da se elektronsko učenje mora razvijati ukoliko preduzeće nastoji da postigne punovažnu i bitnu ulogu u privatnom i javnom sektoru preduzeća. U suštini, organizaciji je potrebno da se razvije do faze koja je bliža izrazu „elektronska transformacija“.

Kako bi smo razumeli put kojim želimo da krenemo, potrebno je da razumemo i gde se trenutno nalazimo i od gega polazimo, kao i odakle dolazimo, što znači da moramo imati jasnije ideje o rezultatima i kretanjima.

Polazna tačka je prepoznati da elektronsko učenje mora biti često posmatrano sa aspekta suprotnih rezultata i sila, kao i promena trajanja organizacionih struktura i promena. Organizacije uvek moraju imati potrebu da, radi profita ili ne, postignu stanje permanentnog usavršavanja i inovacija, sa ciljem da postanu što konkretnije. One teže ispunjenju pomenutog kroz uvođenje novih tehnologija kao što su internet portali i menadžment informacioni sistemi. Pomalo je čudna činjenica da elektronsko učenje nije uvek tretirano kao ključno oruđe u njihovom postizanju, što je veoma istaknuto u nerazvijenim zemljama pa i u Srbiji. Međutim, stalna inovativnost na nivou cele organizacije može se postići kroz neprekidno mešanje postojećih načina razmišljanja sa novim načinima razmišljanja, novim iskustvima i idejama, drugim rečima, okruženje u kome su zastupljeni timsko učenje i saradnja, gde se vrednosti poslovnih veza povećavaju proporcionalno njihovoj veličini. Ukoliko posmatramo proces elektronskog učenja, najproblematičniji je deo koji se odnosi na obuku. On je shvaćen kao posebna aktivnost koja nije vezana za jezgro poslovanja, nemerljiva i nedeterminisana, drugim rečima, nije zapaženo da se obuka tretira kao deo poslovanja, već kao nametnuti trošak koji se pokušava odbaciti. Elektronskim učenjem se često upravlja u pozadini i ono uglavnom predstavlja finansijske uštede koje će biti ostvarene umesto skupih i vremenski zahtevnijih obučavanja. Ovaj pristup kreira obrazac u kojem, sa jedne strane, potencijalne uštede u elektronskom obučavanju izgledaju veoma privlačno, ali sa druge strane izdaci uzrokuju da se ova obuka izdvoji i posmatra kao potpuno posebna i izolovana aktivnost. Toliko dugo koliko će biti posmatrani kao dodatni izdatak i suprotstavljati se poslovnim procesima, učenje i obuka će ostati primarne aktivnosti kojima je finansiranje potrebno.

Kao dodatak ovome, postoji mnogo više značenja koja se baziraju na elektronskom učenju kao proizvodu, a koje menadžment preduzeća uglavnom, ne prepoznaje. Ovaj pristup ograničava ulogu učenja i čvrsto je zadržava u kontekstu sporedne aktivnosti u preduzećima – daleko od programa rada top menadžmenta. Uticaj na poslovanje meri se novčanim uštedama i posledicama obučavanja za svakog pojedinca. U ovom modelu, elektronsko učenje ne ostavlja

ništa više nego ad hok oruđe, dopunu aktivnostima u organizaciji, podržanu od strane top menadžmenta, ali ne i neodvojivi deo njihovog programa rada.

Drugi deo problema sa elektronskim obrazovanjem leži u njegovom definisanju. Rečnici i definicije u industrijskom poslovanju su vrlo loši i neretko bez dovoljnog razumevanja i kvalitetne interpretacije. Ako samo upitamo nekoliko različitih ljudi da definišu elektronsko učenje, vrlo je verovatno da ćemo dobiti nekoliko različitih odgovora. Ovo je rezultat nedostatka razumevanja uloge poslovanja u elektronskom učenju, kao i uticaja koji tehnička obuka može imati na preduzeće. Naravno, ovo nije potpuno neočekivani rezultat ukoliko uzmemo u obzir različitost ljudi koja prouzrokuje česte konflikte između stručnjaka koji obučavaju i trenera, tehnologa i dizajnera. Svaki od njih samo ima svoj sopstveni način i odabrane prioritete.

Moglo bi se pomisliti da neki od ovih rezultata trebaju biti upućeni i rešeni kroz praksu razvijanja i implementiranja odgovarajuće strategije i mišljenja tokom elektronskog učenja, što nije baš primenljivo. Neke organizacije koje su iskoristile ovaj pristup posrnule su, druge su to shvatile kao grešku. Zbog čega? Više je nego verovatno da su ove strategije isuviše uske i kompletno fokusirane na to da obuka traži analize, vidljive ciljeve i smanjenje troškova. Svaki pristup koji može biti razmotren tako da leži na području upravljanja promenama će biti sveden baš na „borbu shvatanja“ koja teži da se izbegne.

Ukoliko spojimo tri sporna pitanja kod elektronskog učenja: e-obuku, ulogu IKT-a (informacionih i komunikacionih tehnologija) i promenu pravila u organizacijama, videćemo da su ovi elementi međusobno povezani ukoliko jedan od njih ne funkcioniše neće ni ostali. Takođe, imamo faktore koji mogu da ubrzaju ili uspore elektronsko učenje. Ukoliko govorimo o pravilima u organizacijama, to je prilagođenost potrebama, kada je u pitanju e-obuka to je motivacija, dok je u slučaju kod IKT-a to spremnost na promene.

7.3.8. E-obrazovanje široke populacije građana

Informaciono društvo predstavlja izazov i šansu za zemlje u razvoju kao što je Srbija. Umesto prirodnih resursa ili industrijskih kapaciteta znanje postaje vitalni resurs informacionog društva a osnova za društveno blagostanje jesu inovacije i generisanje novog znanja.

Generisanje novog znanja nesumnjivo zavisi od ljudi, njihovih inovativnih i kreativnih sposobnosti, kao i njihovih veština za primenu IKT-a. Zbog toga je osposobljavanje stanovništva za ove veštine šansa Srbiji da pristupi razvijenim zemljama i aktivno učestvuje u globalnim ekonomskim aktivnostima.

E-obrazovanje ima zadatak da pruži građanima osnovne IKT veštine i da ih učini ravnopravnim članovima informacionog društva. U izvesnim slučajevima ono treba da pruži i mnogo više od obične kompjuterske pismenosti i tradicionalnih znanja. Potrebni su novi oblici obrazovanja zasnovani na kontinuiranom učenju koje traje tokom čitavog života. Istraživanje i razvoj su takođe bitni elementi za konkurentnost nacionalne ekonomije jer su oni osnovni indikatori inovacija potrebnih za stvaranje novih roba i usluga koje se nude na globalnom tržištu.

E-obrazovanje danas podrazumeva:

- pružanje potrebnih IKT veština građanima,
- pružanje potrebnih IKT usluga građanima (internet prodavnice, kiosci i slično),
- podsticanje istraživanja i razvoja,
- povećanje dostupnosti znanja i informacija svim građanima,
- povećanje motivacije za učenje kroz nove sadržaje i
- pripremu za rad u informacionom okruženju.

Prvi i najniži nivo e-obrazovanja može se nazvati e-pismenost. Ona podrazumeva pružanje kompjuterske pismenosti kako nastavnicima tako i učenicima i osnovnu obuku za korišćenje informacija. Uvodi se koncept učenja tokom čitavog života gde pristup informacijama postaje osnova za funkcionisanje.

Kada govorimo o pružanju potrebnih IKT veština građanima misli se na pružanje osnovnih, ali i ključnih IKT veština. Široka upotreba IKT i obezbeđenje javnih elektronskih usluga menjaju mnoge oblasti življenja stoga će ovakve veštine postati neophodne za obavljanje svakodnevnih aktivnosti. Ispunjavanje ovoga cilja je značajno za sprečavanje digitalnih podela u društvu.

Stvaranje novih roba i usluga putem istraživanja i razvoja je jedini način za osiguranje ekonomskog rasta su kadrovski potencijali, adekvatna infrastruktura za istraživanje i razvoj i dalja promocija saradnje između istraživanja i razvoja i privrede.

Osnovnu i prvu oblast delovanja u ostvarivanju e-obrazovanja predstavlja uključivanje široke populacije građana. Mlade generacije moguće je uključiti u ovu akciju kroz redovni obrazovni proces, dok je za starije generacije neophodno organizovanje posebno pripremljenih kurseva. Građanima se mora obezbediti kompjuterska pismenost i mora im se formirati svest o značaju informacionog društva. Kada je u pitanju osposobljavanje građana za IKT veštine učenici nisu samo studenti već svi učesnici u društvu.

Neophodno je uvesti koncept naknadnog obrazovanja i učenja tokom čitavog života jer bez učenja se preduzeća ne mogu razvijati. Naknadno obrazovanje i učenje tokom čitavog života su neophodni jer akteri trebaju da razvijaju postojeća znanja i iskorišćavaju najmodernija tehnološka dostignuća. Ovakvo obrazovanje će biti ponuđeno od strane države, ali i privatnih ustanova na svim nivoima obrazovanja, što mora biti podržano mrežom javnih i školskih elektronskih biblioteka gde će elektronske publikacije i sve druge vrste materijala biti dostupne.

Država je dužna da obezbedi širokopojasnu internet mrežu svim osnovnim i srednjim školama, univerzitetima, naučnim ustanovama, muzejima, bibliotekama i studentskim prostorijama. Potrebno je razviti odgovarajući finansijski model kako bi se obezbedio ekonomski prihvatljiv pristup internetu za obrazovne i istraživačke ustanove.

Za podsticanje istraživanja i razvoja potrebni je izgraditi mehanizme i instrumente od strane države i organizovati odgovarajuće fondove za podršku inovacijama. Velika pažnja se treba posvetiti razvoju tehnoloških transfer centara, naučnih parkova, inkubatora, kreativnih centara i sl. Veoma je značajna o kooperacija sa akademskim i naučnim ustanovama iz inostranstva i učestvovanje u istraživačkim projektima koje finansira EU. Glavne nacionalne razvojne inicijative trebaju biti poverene nacionalnim kompanijama i akademskim istraživačkim ustanovama kojima će praksa biti dobro iskustvo za kasnije globalno nadmetanje.

Obrazovanje i kultura trebaju biti podržani kroz nove tehnologije kako bi se podstaklo učenje na daljinu, kao i elektronsko učenje. Osnovne aktivnosti su digitalizacija sadržaja u papirnoj formi i javno širenje i razmena informacija kroz mrežu nacionalnih javnih biblioteka i drugih kulturnih ustanova.

Jedan od veoma važnih aspekata razvoja kako informacionog tako i društva u svakom smislu jeste odabir i razvoj stručnjaka. Mogućnosti razvoja stručnjaka rastu sa brojem ljudi uključenih u informaciono društvo.

7.3.9. E-obrazovanje u školama i drugim obrazovnim ustanovama

Obrazovanje predstavlja temelj individualnog i društvenog razvoja. Ono svakako ne može biti stvoreno niotkuda niti urođeno, već je potrebno mnogo vežbati i ulagati kako bismo podstakli pojedince da uče i uz njihovu pomoć formirali društvo znanja.

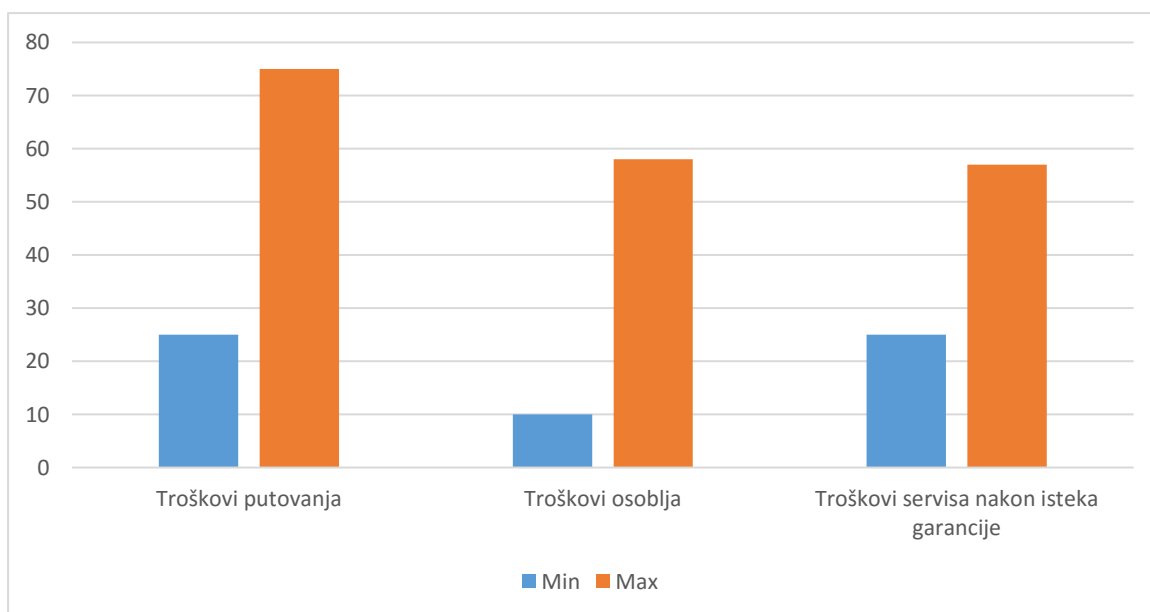
Informaciono društvo i društvo znanja zahtevaju visok stepen znanja i veština koje mogu biti obezbeđene samo odgovarajućim obrazovanjem, stoga je potrebno kreiranje nove uloge koju tradicionalni obrazovni sistemi i istraživanje i razvoj uključuju. IKT veštine utiču na konkurentnost nacionalnih ekonomija jer povećavaju mogućnosti za nove poslove i zapošljavanje. Ključno pitanje jeste postizanje optimalne primene IKT na radnom mestu na način koji postiže stepen efikasnosti i poboljšava kvalitet rada.

U ovoj oblasti je najvažnije uvesti novi koncept obrazovnog sistema koji se zasniva na kreativnom razmišljanju i učenju tokom čitavog života, a koji je bolje usklađen sa zahtevima informacionog društva. Tehnološke promene koje čine stečeno znanje brzo zastarelim, zahtevaju moderne i delotvorne informacione sisteme.

Ne sme se zanemariti novi koncept istraživanja i razvoja koji se mora tretirati kao glavni koncept ekonomije znanja i koji mora biti kreativan i delotvoran. Nacionalno istraživanje i razvoj moraju biti u sklopu evropskog i međunarodnog prostora za istraživanje. Informacione i komunikacione tehnologije predstavljaju tehnološku podlogu za moderno i efikasno istraživanje i razvoj, koje treba iskoristiti u funkciji delotvornog obrazovanja, istraživanja i razvoja.

7.4. Koristi od teleservisa

Teleservis omogućava proizvođaču da projektuje svoj servis efikasnije, u kojem obučeni lokalni radnici mogu biti podržavani od strane servisera specijalista u centralnom servisnom centru. Montaža, ispitivanje i popravke se mogu ubrzati. Putovanja servisera do korisnika koja troše vreme mogu biti redukovana. Istovremeno, komunikacija između proizvođača i korisnika postrojenja je znatno unapređena. Ovo pomaže smanjenju troškova servisa, dok raste dostupnost sistema. Gruba procena pokazuje da se od 20 do 30% postprodajnih troškova može smanjiti korišćenjem usluge teleservisa. Na bazi analize RTB-Bor kompanija na slici 7.4 prikazane su moguće uštede korišćenjem usluge teleservisa.



Slika 7.4 Ustanovljene uštede potencijalno dobijene uslugom teleservisa

Za korisnike postrojenja, vreme otkaza mašina može se skratiti korišćenjem usluge teleservisa, pri čemu se rad na održavanju, daljinska dijagnostika i eliminisanje kvara izvodi znatno brže. Nema više drugih perioda utrošenih čekajući da serviser stigne. S obzirom da usluga teleservisa omogućava jednostavniji pristup proizvođačevim uputstvima, raste i produktivnost mašine. Prednosti koje postupak korišćenja teleservisa donosi korisniku opreme i proizvođaču opreme prikazani su u tabeli 7.3.

Korisnik opreme	Proizvođač opreme
<ul style="list-style-type: none"> - Dugoročno smanjenje troškova rada - Smanjenje vremena otkaza - Minimalni troškovi servisa izvan garancije - Podrška tokom puštanja u rad - Individualna podrška sa procesom implementacije i modifikacije - Povećanje kompetentnosti unutar firmi za rešavanje problema - Povećanje zadovoljstva zaposlenih proširenjem baze znanja i proširenjem obima izvođenja zadataka - Unutrašnja obuka zaposlenih - Veći fokus na dostavne kompanije 	<ul style="list-style-type: none"> - Smanjenje troškova (ljudstva i troškova prevoza) - Povećana dostupnost stručnjaka unutar vlastite kompanije - Ako je neophodno, pravi stručnjak može biti poslat u fabrički krug - Optimiziranje strukture servisa - Unapređenje efikasnosti servisa - Povećana transparentnost procedura servisa - Intenzivirane su obaveze korisnika - Prisutnost u udaljenim ekonomskim regionima - Povećanje performansi servisa - Smanjenje vremena odgovora - Detaljnije informacije o smetnjama u postrojenju se koriste da se postigne kontinualno unapređenje

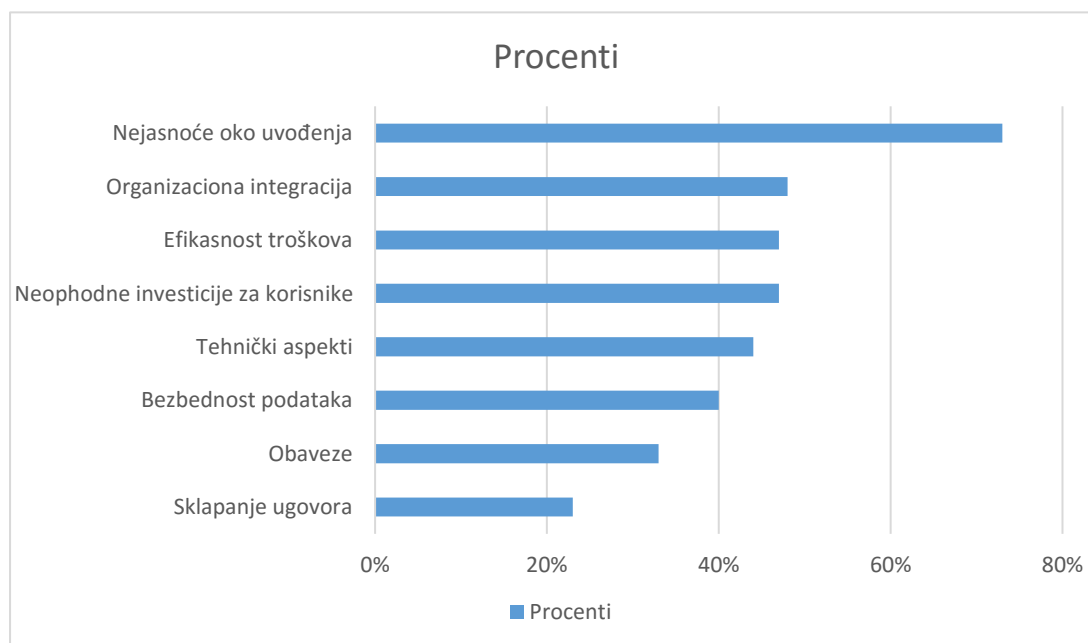
Tabela 7.3 Prednosti od korišćenja teleservisa za korisnike opreme i proizvođača opreme

Aktuelni problemi korišćenja usluge teleservisa:

Istraživanja do kojih smo došli koje se sastoje od informacionog, proizvodnog i servisnog menadžmenta sprovodeći anketiranje proizvođača mašina na površinskim kopovima dobili smo informacije o sledećim pitanjima iz oblasti teleservisa (slika 7.5):

- status rasprostiranja teleservisa,
- identifikacija najvažnijih problema kako bi se zaključilo koje korake treba preduzeti i
- svesnost primene i rasprostranjenosti različitih teleservisa.

Na slici 7.5 prikazani su aktuelni problemi u polju teleservis usluga, gde se kao najveći problem pokazalo to kako ubediti korisnike mašina u korist koju obezbeđuje teleservis. Očigledno je da korisnici nisu spremni da investiraju kapital u teleservis dok god nije korist od teleservisa očigledna i dok je teleservis suočen sa opštim skepticizmom. Veoma su povezani aspekti efikasnosti troškova i potrebnih investicija korisnika. I proizvođači i korisnici shvataju da implementacija teleservisa može rezultirati u organizacionoj adaptaciji u različitim odeljenjima kompanije. Na primer, efikasna implementacija može ne samo da utiče na servisno odeljenje, nego i na marketing, razvoj i druga odeljenja. Evidentiran problem teleservisa je njegova tehnička nezrelost, na njegovu primenu i alate se gleda na kritički način.



Slika 7.5 Aktuelni problemi na polju teleservisa [79]⁶²

7.5. Teledijagnoza

Pod teledijagnozom se podrazumeva deo teleservisa (teledijagnostike) koji se bavi mernim vrednostima, odnosno dijagnozom stanja mašine ili postrojenja na daljinu. Teledijagnoza može podrazumevati na primer i praćenje stanja pojedinih mašinskih elemenata, poput kotrljajnih ležajeva, na mašinama ili na postrojenjima. Pri tome se posebna pažnja ovde poklanja održavanju mašina u ispravnom stanju kako bi se podigla veća raspoloživost i funkcionalnost tehničkih sistema. To znači da odgovarajuća servisna organizacija ili matična služba održavanja unutar preduzeća mogu daljinskim pristupom pratiti pojedine parametre mašine, na idealan način, bez potrebe za dijagnosticiranjem pojedinih parametara na licu mesta.

⁶² [79]. Paunjorić, P., Vulović, M., Spasić, D., Pouzdanost i proaktivno održavanje, Majski skup održavalaca Srbije – „Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja“, Vrnjačka Banja, 2016

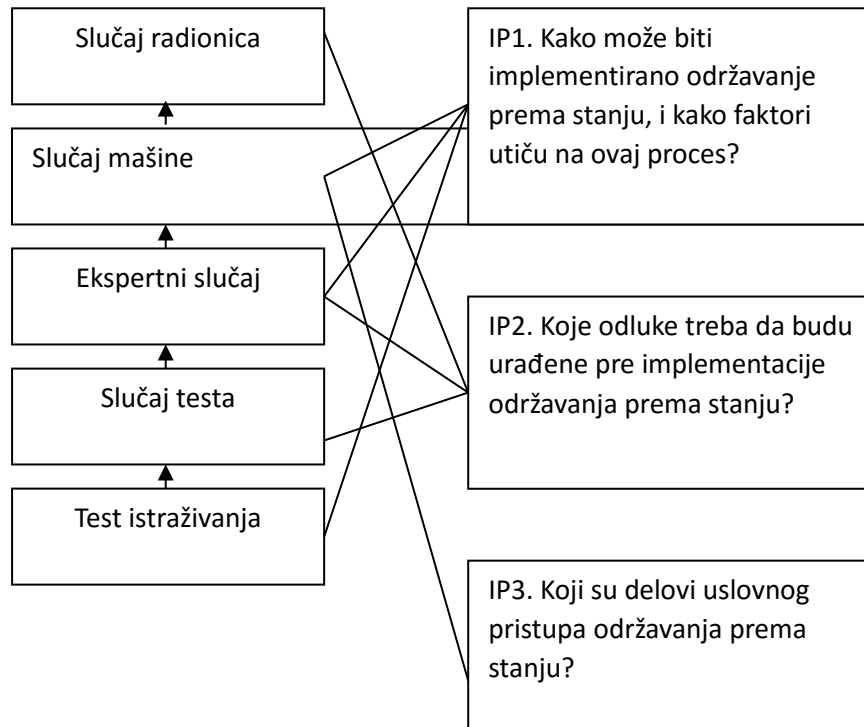
Iz ovog razloga danas su gotovo svi složeni tehnički sistemi (upravljani i kontrolisani kompjuterima, tj. mikroprocesorima) opremljeni komunikacionim procesorima (interfejsima i adapterima) koji omogućavaju održavanje na daljinu. Ovi komunikacioni priključci omogućavaju osoblju koje prati proces teledijagnoze, da prikupe i analiziraju aktuelne podatke i parametre sa mašine, kako bi stvorili sliku o stanju mašina, na osnovu kojih mogu preduzeti dalje mere korektivnog održavanja. Praćenje dijagnostičkih parametara na daljinu, odnosno uvid u stanje tehničkog sistema, omogućava efikasnu dijagnozu grešaka i ponekad čak njihovo brzo otklanjanje što svakako može umanjiti eventualne troškove zastoja. Sam proces daljinskog praćenja parametara sastoji se iz sledećih faza:

- rano upozoravanje
- identifikacija problema i
- kontinuirani monitoring.

8. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

8.1. Korelacija između radova

Istraživanje je sprovedeno kroz studije slučaja (slika 8.1).



Slika 8.1 Ilustracija korelacije dodatnih radova, predmeta i istraživačkih pitanja

8.2. Slučaj istraživanja – potrebe identifikacije

8.2.1. Upitnik

Istraživanje intervjuom je registrovan upitnik u kojem su ispitanici zatraženi da dostave svoje komentare na sve otvorene izjave. Ključni indeks pretrage se koristi za pregled literature: uslov zasnovan na održavanju prema stanju, praćenje stanja, intuitivno održavanje, implementacija, sprovođenje strategije, organizacioni aspekt, ukupno produktivno održavanje i pouzdanost usmerena na održavanju. Pregled literature je bila osnov za upitnik. Ukupno 60 izjave, koje su date sa strane ispitanika, da odgovore sa skalom od jedan – šest (1 jednako snažno neslaganje i 6 jednako jak ugovor). Ispitanici su takođe upitani da daju glavne razloge zašto uslov za održavanje na bazi stanja nije mogao da stupi na snagu u svojim kompanijama. Fokus procesa implementacije je na tome da proizvodi preduzeća budu na visokom nivou. Menadžer u okviru slučaja kompanije preporučuje studiju ispitanika, ukupan broj ispitanika iznosio je 20, podeljeni u dve kategorije, menadžera (10) i tehničara (10).

8.2.2. Rezultati

Analiza intervjua i upitnika prati prvih pet koraka i dvanaest koraka implementacije od korektivnog do održavanja prema stanju.

Fokus koraka na taj način treba da bude : menadžerski problem, zaposleni, informisanje, obrazovanje i problem, organizaciona pitanja; cilj - postavljanje pitanja i prvi koraci. Rezultati pokazuju da je važno u ranim fazama implementacije, između ostalog, da imaju podršku u upravljanju, odrediti podsticaje (poslovni slučaj), imaju komunikacijsku strategiju, i da se postave realni i jasni ciljevi u faznom pristupu.

Komunikacija nije implementirana na osnovu održavanja prema stanju i punom obimu na svim mašinama na površinskim kopovima. Dakle, otvoreno pitanje je, šta je glavni razlog, zašto na osnovu stanja održavanje ne bismo implementirali. Dvanaest od šesnaest je izabralo da daju komentar na ovo pitanje. Samo dva od ovih navedenih nije mislio ništa blizu tehnologije. Jedan komentar bavio se dilemom planiranja održavanja da će nametnuti problem sa implementacijom. Drugi je jednostavno izjavio da je strategija kompanije da na vreme radi sa poznatim rešenjima i dizajnom, kao i da je veliki nedostatak da se obavežu na razvoj novih tehnologija. Ostali odgovori su se uglavnom bavili problemima investicionih troškova, nedostatku top menadžmenta podrške.

" Postoji nespremnost da se radi sa uslovima za održavanje na bazi od najvišeg rukovodstva ; Takođe postoji nedostatak nadležnosti, posebno na nivou donošenja odluka, nema industrijskog standarda. "

" Postoji strah od investiranja od strane firme. Top menadžment ne razume značaj održavanja prema stanju. Unutar naše kompanije, mora da se podigne nivo zrelosti. "

" Najveća opasnost je da se pogrešnim ljudima daje da odlučuju, ljudima koji se plaše promena, ljudima koji hoće da napuste proces implementacije održavanja prema stanju."

8.3. Test istraživanja

Test je izvršen 2014. godine. Cilj testa je bio da se sazna da li bi određeni sistem bio od koristi za održavanje.

8.3.1. Intervjui

Studija test pristupa je bio intervju i posmatranje. Slučaj je počeo sa radionicom u Boru. U radionici su prezentovana rešenja održavanja prema stanju i razmišljanja o mogućim razgraničenjima za studije. Intervjui su obavljani sa tehničarima. Posmatranja su napravljena u radionici u kojoj je izvedeno održavanje i testiranje.

8.3.2. Rezultat

Odlučeno je pomoću zaključivanja da se kriterijumi za rad, dostupnost, finansijsko stanje i sigurnost može primeniti u praćenju stanja. Kriterijum dostupnosti je zaključen pomoću jednačine, koja se najčešće koristi za izračunavanje pogonske spremnosti (raspoloživosti):

$$A_0 = \frac{MTBM}{MTBM + MLDT + MTW(A) + M}$$

gde je MTBM skraćenica od Mean Time Between Održavanje - srednje vreme između održavanja, MLDT je Mean Logistics Down Time - srednje logističko vreme, MTW (A) je Mean Time Waiting Administrative - srednje vreme čekanja administracije, a M je Mean Maintenance Time - srednje vreme za održavanje, gde je uključeno i korektivno i preventivno vreme održavanja. Takođe, finansijski i bezbednosni kriterijumi treba da bude obuhvaćen jednačinom.

Razgovorom i posmatranjem otkriveno je da je konačan odgovor dat uglavnom na korektivno održavanje, ali i na program podmazivanja i neke subjektivne sporadične kontrole. Subjektivno pronalaženje curenja ulja u radionici, što može da ukazuje na predstojeće otkaze. Pokazalo se da ne možemo previše lako naći početni neuspeh. Finansijski kriterijumi su takođe napravljeni tako da se teško poboljšavaju. Finansijski kriterijum bi mogli eventualno da se poboljšavaju ako bi se troškovi popravke jedinice uradile u radionici, gde je sistem za praćenje, koji će verovatno dovesti do manjih problema tokom snimanja. Tehničari imaju dobro znanje o onome što se obično održava, ovaj kriterijum može biti zanemarljiv. Bezbednost kriterijumi je još uvek teško proceniti.

8.4. Uticaj vremena i strategije održavanja na pouzdanost i raspoloživost tehničkih sistema u rudnicima

8.4.1. Uvod

Rezultati istraživanja raspoloživosti rudničkog dampera BELAZ-75131 u rudnicima još nisu dovoljno poznati. Imajući to u vidu, a uzimajući u obzir da raspoloživost može biti prikazana u procentu vremena ispravnog funkcionisanja dampera, ili kao verovatnoća da u jednom trenutku vremena damper bude u radnom stanju, prišlo se istraživanju na jednom broju dampera na površinskim kopovima u Boru i Majdanpeku u Srbiji. Kao motiv istraživanja možemo navesti i to što je raspoloživost zavisna i od strategije preventivnog održavanja.

8.4.2. Zavisnost operativne i ukupne raspoloživosti od vremena

Raspoloživost dampera u opštem slučaju može biti prikazana odnosom vremena:

$$A = \frac{T_{or}}{T_{or} + T_z}$$

gde je: T_{or} - srednje vreme u radu,

T_z - srednje vreme u otkazu.

Može se reći da je raspoloživost u direktnoj korelaciji sa kapacitetom iskorišćenja dampera isključujući uzroke otkaza (kvara). U opštem slučaju raspoloživost obuhvata:

- vlastitu raspoloživost A_V ,
- operativnu raspoloživost A_{OP} i
- ukupnu raspoloživost A_U .

Iste možemo izračunati pomoću sledećih obrazaca:

$$A_V = \frac{T_{oz}}{T_{oz} + T_{pog}}$$

$$A_{OP} = \frac{T_{op}}{T_{op} + T_{po}}$$

$$A_U = \frac{T_{op}}{T_{op} + T_{pov}}$$

gde je: T_{oz} - srednje vreme između otkaza,

T_{po} - srednje tehničko vreme trajanje opravki,

T_{op} - srednje vreme između dve uzastopne intervencije održavanja,

T_{pog} - srednje tehničko vreme trajanja opravki nakon otkaza,

T_{pov} - srednje vreme trajanja opravki uključujući i vreme čekanja.

Vreme kada treba izvesti preventivnu intervenciju održavanja, u ovom radu, je ono vreme kada su ukupni troškovi održavanja minimalni. Pri ovome se takođe vodilo računa i o veličinama pouzdanosti $R(T)$ i intenzitetu otkaza $\lambda(T)$. Najveća operativna i ukupna raspoloživost za najmanje troškove održavanja može se izračunati:

- 1) za preventivno održavanje "po konstantnom datumu" (D) (delovi se zamenjuju u unapred planiranim momentima vremena nezavisno od „starosti" elemenata) [6]⁶³:

$$A_{OPD} = \frac{T(C_{Dmin})}{T(C_{Dmin}) + T_{pog} \cdot H_m + T_{pop}}$$

$$A_{UD} = \frac{T(C_{Dmin})}{T(C_{Dmin}) + T_{pov}(g)H_m + T_{pov}(p)}$$

gde je:

- $T(C_{Dmin})$ - period rada kada se ukupni troškovi održavanja minimalni,
- T_{pop} - srednje tehničko vreme trajanja opravki za operacije preventivnog održavanja ,
- $T_{pov}(g)$ - srednje vreme uključujući i vreme čekanja (opravka nakon otkaza),
- $T_{pov}(p)$ - srednje vreme opravki uključujući i vreme čekanja (opravka u preventivnom zahvatu),
- H_m -funkcija obnavljanja(srednji broj obnavljanja).

⁶³ [6]. Adamović, Ž., Tomić, M., Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 1987.

- 2) za preventivno održavanje “po konstantnoj trajnosti” (T) (elementi se zamenjuju kada dostignu određeni vek trajanja)[75]⁶⁴:

$$A_{OP_T} = \frac{T_{op}(C_{T_{min}})}{T_{op}(C_{T_{min}}) + T_{pog} \cdot F(T) + T_{pop} \cdot R(T)},$$

$$A_{U_T} = \frac{T_{op}(C_{T_{min}})}{T_{op}(C_{T_{min}}) + T_{pov}(g) \cdot F(T) + T_{pov}(p) \cdot R(T)},$$

gde je:

- $T_{op}(C_{T_{min}})$ - srednje vreme između dve uzastopne intervencije održavanja za period rada kada su ukupni troškovi održavanja minimalni,
- $F(T)$ - funkcija nepouzdanosti,
- $R(T)$ – funkcija pouzdanosti [$R(T) = 1 - F(T)$].

Navedeni obrasci mogu se koristiti i za računanje raspoloživosti za bilo koji vremenski period rada, a takođe za neke trenutne raspoloživosti A_{OP_D} i A_{OP_T} može se računati i srednje vreme trajanja opravke (vreme obnavljanja T_{pop}). Ako se minimiziraju izrazi:

$$\frac{T_{pog}}{T(C_D)} \cdot H_m + \frac{T_{pop}}{T(C_D)} = m_1 \quad i$$

$$\frac{T_{pog}}{T_{op}(C_T)} \cdot F(T) + \frac{T_{pop}}{T_{op}(C_T)} \cdot R(T) = m_2$$

onda se može postići maksimalna raspoloživost što je i osnovni cilj.

Korišćenjem relacija dobija se:

$$T_{pop}(D) = \left(\frac{1}{A_{op_D}^*} - 1 \right) \cdot T(C_D) - T_{pog}(D) \quad ,$$

$$T_{pop}(T) = \frac{T_{op}(C_T) \cdot \left(\frac{1}{A_{op_T}^*} - 1 \right) - T_{pog}(T) \cdot F(T)}{R(T)} .$$

⁶⁴ [75]. Paunjorić, P., Adamović, Ž., Dependence of Reliability and Availability of Dampers on Maintenance strategies od Opencast mines, Časopis Tehnička dijagnostika, br. 4, 2016, Beograd, ISSN 1451-1975

8.4.3. Obrada podataka i rezultata

Podaci o ponašanju dampera, dobijeni su iz "izveštaja o ponašanju dampera" i odnose se na vremenski period rada dampera između dva srednja remonta. Da bi se na osnovu svih snimljenih podataka omogućilo definisanje odgovarajućih zaključaka o mogućnostima da se organizovanjem akcija održavanja u stvarnim uslovima eksploatacije poveća raspoloživost, dobijeni podaci sređeni su na jedan nov način, kao što je to prikazano u tabeli 8.1 i u tabeli 8.2. Vremenski period (T) nastanka otkaza izabran je u intervalu vremena od 100 časova, s obzirom na periodičnost rada smenskih ekipa u održavanju. Naime, pokazalo se da nastajanje otkaza u pojedinim intervalima vremena i njihovo otklanjanje zavisi i od sastava radnih grupa i timova u održavanju.

Testom hi-kvadrat verifikovana je hipoteza o normalnoj (Gausovoj) raspodeli verovatnoća otkaza. Takođe je utvrđeno da srednje vreme između otkaza (vreme bezotkaznog rada) ima normalnu raspodelu što je olakšalo izračunavanje funkcije obnavljanja H_m . Proračun troškova održavanja je izvršen za jednu preventivnu intervenciju, kako za preventivno održavanje "po konstantnom datumu", tako i za preventivno održavanje "po konstantnoj trajnosti", uzimajući u obzir ukupne troškove za otklanjanje otkaza (C_g) i za preventivnu intervenciju (C_p) i to:

$$C_D = \frac{C_g \cdot H_m + C_p}{T_{op}},$$

$$C_T = \frac{C_g \cdot F(T) + C_p \cdot R(T)}{T_{op}}.$$

Rd.br	Period T(h)	Broj otkaza (N _i)	Verovatnoća nastanka otkaza (f=N _i /Σ N _i)	Nepouzdanost (F=Σf)	Pouzdanost (R=1-F)	Intenzitet otkaza λ =f/R	Srednji br. obnavljanja (H _m =ΣF)	Sr. vreme trajanja oprav (T _{po} /h)
1.	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	100	7	0,046	0,046	0,954	0,048	0,046	6,680
2.	200	4	0,026	0,072	0,928	0,028	0,118	12,210
3.	300	6	0,039	0,111	0,889	0,044	0,229	28,375
4.	400	2	0,013	0,124	0,876	0,015	0,353	28,495
5.	500	8	0,053	0,177	0,823	0,064	0,53	33,115
6.	600	5	0,033	0,21	0,79	0,823	0,74	33,755
7.	700	7	0,046	0,256	0,744	0,062	0,996	36,945
8.	800	5	0,033	0,289	0,711	0,046	1,285	41,935

9.	900	10	0,066	0,355	0,645	0,102	1,64	54,805
10.	1000	7	0,046	0,401	0,599	0,077	2,041	56,265
11.	1100	6	0,039	0,44	0,56	0,07	2,481	57,975
12.	1200	6	0,039	0,479	0,521	0,075	2,96	62,195
13.	1300	10	0,066	0,545	0,455	0,145	3,505	65,235
14.	1400	6	0,039	0,584	0,416	0,094	4,089	68,535
15.	1500	4	0,026	0,61	0,39	0,067	4,699	68,915
16.	1600	8	0,053	0,663	0,337	0,157	5,362	78,915
17.	1700	5	0,033	0,696	0,304	0,109	6,058	79,705
18.	1800	4	0,026	0,722	0,278	0,094	6,78	80,185
19.	1900	14	0,092	0,814	0,186	0,495	7,594	85,305
20.	2000	8	0,053	0,867	0,133	0,398	8,461	86,965
21.	2100	11	0,072	0,939	0,061	1,18	9,4	90,395
22.	2200	9	0,059	0,998	0	2,18	10,4	96,355

Tabela 8.1 Zavisnost pouzdanosti i raspoloživosti na damperu

Troškovi održavanja po konstantnom datumu		Troškovi održavanja po konstantnoj trajnosti			
Troškovi zbog nastanka otkaza C _g · H _m / eura/	Ukupni troš. održavanja C _D / eura/h /	Srednje vreme između dve interv.održ. Top/h/	Troškovi zbog nastanka otkaza C _g ·F/eur/	Troškovi zbog preventivnih interv. C _p ·R(T)	Ukupni troškovi održavanja / eura/h /
10	11	12	13	14	15
1485,56	10014,86	100	1485,56	954000	9554,86
45119,09	5376,13	194,4	27530,29	928000	4915,28
219840,00	4242,92	287,5	106560	889000	3462,82
3448,499	2663,08	376,8	1211,37	876000	2328,06
127200	2422,00	465,4	42480	823000	1859,65
28777,76	1874,94	548,7	8166,66	790000	1454,65
24499,508	1628,78	629,0	6297,06	744000	1192,84
384729	1964,99	704,7	86526,6	711000	1131,72

1227321,373	2865,09	777,4	265670,18	645000	1171,43
182610,76	1402,53	843,4	35877,96	599000	752,94
192757,598	1318,84	904,4	34185,14	560000	656,99
753950,421	1823,61	961,8	122007,52	521000	668,55
650590,004	1625,56	1015,4	101161,64	455000	547,73
815084,045	1712,18	1060,1	116412,10	416000	502,23
136359,106	1028,38	1105,0	17701,44	390000	368,96
3215062,868	3679,35	1145,6	397535,75	337000	641,18
325919,976	1122,80	1180,9	37444,75	301000	289,14
196715,123	986,41	1213,2	20948,13	278000	246,41
3215430,445	3391,34	1243,0	344661,63	186000	426,92
898589,929	1503	1263,2	92078,65	133000	178,18
1794618,01	2188,20	1277,13	179270,88	61000	188,13
2479291,26	2709,73	1284,0	238393,39	0	185,66

Tabela 8.2 Troškovi održavanja po konstantnom datumu i konstantnoj trajnosti

Pomoću prethodnih relacija izračunati su troškovi održavanja i prikazani u tabeli 8.2. Iz tabele 8.2 i slike 8.2 se vidi da su najmanji troškovi održavanja (178,18 evra/času) za period rada do 2000 časova i to za strategiju održavanja "po konstantnoj trajnosti". Za taj period vremena mogu se izračunati najveće operativne i ukupne raspoloživosti:

$$A_{OPD} = \frac{T(C_{Dmin})}{T(C_{Dmin}) + T_{pog} \cdot H_m + T_{pop}} = 0,76036$$

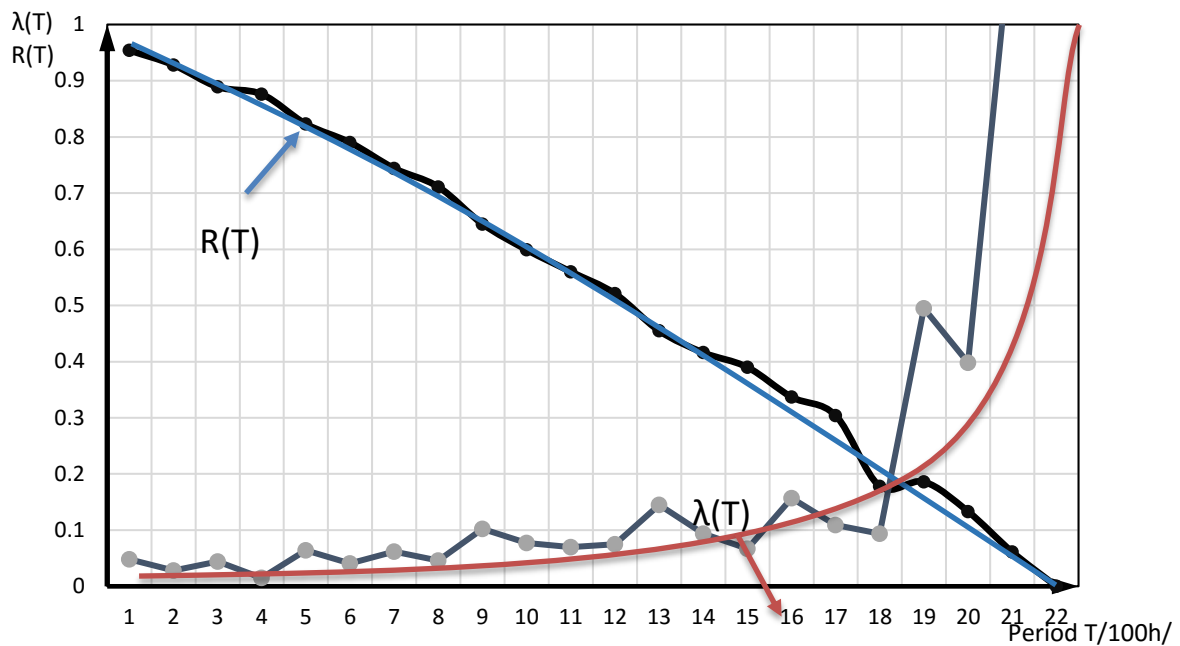
$$A_{UD} = \frac{T(C_{Dmin})}{T(C_{Dmin}) + T_{pov}(g)H_m + T_{pov}(p)} = 0,75836$$

$$A_{OPT} = \frac{T_{op}(C_{Tmin})}{T_{op}(C_{Tmin}) + T_{pog} \cdot F(T) + T_{pop} \cdot R(T)} = 0,79278$$

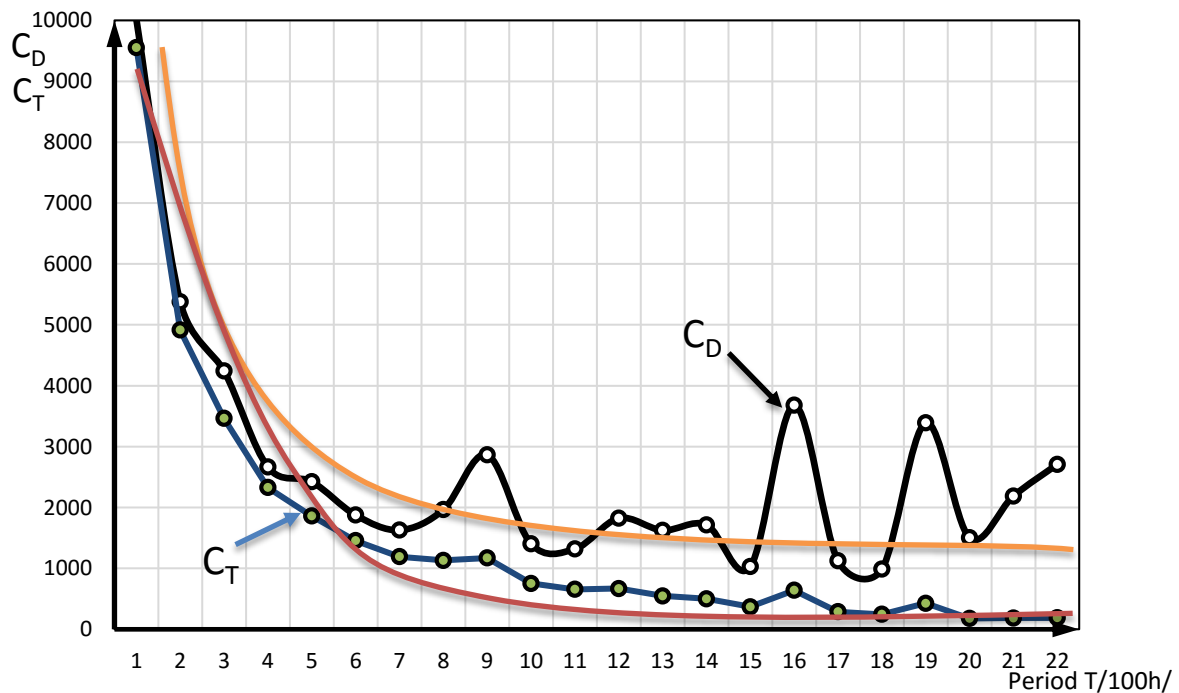
$$A_{UT} = \frac{T_{op}(C_{Tmin})}{T_{op}(C_{Tmin}) + T_{pov}(g) \cdot F(T) + T_{pov}(p) \cdot R(T)} = 0,79128$$

Očigledno da su za strategiju održavanja "po konstantnoj trajnosti" dobijene veće vrednosti raspoloživosti nego za strategiju održavanja "po konstantnom datumu", što još jednom potvrđuje činjenicu da je za posmatrani damper najprihvatljivija strategija održavanja "po konstantnoj trajnosti". Rezultati pobuđuju poseban interes jer je do sada na damperu isključivo primenjivana strategija održavanja "po konstantnom datumu". Korišćenjem tabele 8.1 i slike 8.1 zapaža se da intenzitet otkaza $\lambda(T)$ počinje naglo da raste posle 1800 časova rada, te bi zato trebalo obuhvatiti ceo damper i izvršiti preventivnu aktivnost održavanja. Međutim,

kako su za ovaj period vremena troškovi održavanja veći nego za vremenski period od 2000 časova, to je preventivna aktivnost održavanja odložena do 2000-tog časa rada.



Slika 8.2. Dijagram intenziteta otkaza $\lambda(T)$ i pouzdanosti $R(T)$ u periodu od 180 dana za damper BELAZ-75131[76]⁶⁵



Slika 8.3. Dijagram troškova preventivnog održavanja "po konstantnom datumu" (C_D) i "po konstantnoj trajnosti" (C_T) u periodu od 180 dana za damper BELAZ-75131[76]

⁶⁵ [76]. Paunjorić, P., Adamović, Ž., Implementacija održavanja prema stanju tehničkih sistema na površinskim kopovima, Časopis Tehnička dijagnostika, br. 3, 2016, Beograd, ISSN 1451-1975

8.4.4. Zaključak

Rezultati istraživanja omogućavaju sledeće zaključke:

- 1) Što je bolje preventivno održavanje dampera, veća je i raspoloživost. Razlika između operativne i ukupne raspoloživosti daje uticaj vremena pripreme za otklanjanje otkaza.
- 2) Ukupna raspoloživost je manja od operativne, međutim, ukoliko se poboljša organizacija održavanja, moguće je da se ukupna raspoloživost približi operativnoj po vrednosti. Krajnji cilj treba da bude operativna raspoloživost.
- 3) Korišćeni način uračunavanja raspoloživosti i ukupnih troškova održavanja pogodan je za planiranje održavanja. U analizi datog primera nije izvršen detaljan komentar svih rezultata, budući da je akcenat dat definisanju raspoloživosti, a namera je bila da se ukaže na jedan mogući način izračunavanja raspoloživosti složenog tehničkog sistema u rudnicima - rudnički damper BELAZ-75131.
- 4) Troškovi održavanja "po konstantnoj trajnosti" za analizirani damper su manji od troškova održavanja "po konstantnom datumu", što je veoma bitno za tehnološku službu koja vrši planiranje aktivnosti održavanja.
- 5) Na osnovu više slučajeva održavanja složenih mašina na površinskim kopovima u Boru, urađen je predlog održavanja za održavanje 6-8 sati, 50 sati, 100 sati, 200 sati, 1000 sati, 2000 sati i 5000 sati (dato u prilogu).

8.5. Ekspertni slučaj

Ekspertni slučaj je izvršen 2014 godine. Svrha ekspertnog slučaja je da postavi ideje, stavove i iskustva iz implementacije, napore uslova za održavanje zasnovano pristupom i razvoj podrške za pomoć preduzećima u procesu implementacije. Tako, ekspertni sistem je izvršen da se ispita drugo i treće pitanje istraživanja.

8.5.1. Ispitanici

Istraživanje ekspertnog slučaja je putem e-mail, intervjuisala 30 ekspertnih industrija. Ispitanici su birani tako da imaju znanje i interesovanje za predmet. Dva otvorena pitanja su postavljena putem e.mail pošte:

- 1) Kako se uslov za održavanje najbolje sprovodi, s obzirom na tehnologiju i organizaciju u kojoj će tehnologija biti korišćena?
- 2) Da li postoje neki modeli koji mogu da se koriste, i da li postoje specifični faktori na koje treba da se usredsredi prilikom sprovođenja prema stanju održavanja?
- 3) Ispitanici su zamoljeni da odgovore u pismenoj formi putem e-maila, a takođe i da se kategorizuju u jednoj od sledećih kategorija:
 - A. Oni koji imaju praktična iskustva iz primene praćenja stanja opreme (KM)/Održavanju na osnovu (CBM) proizvodnih opreme.
 - B. Oni koji imaju praktična iskustva iz procesa implementacije KM/CBCG u svojim proizvodima (koji se prodaju kupcima).
 - C. Oni koji nemaju praktična iskustva iz procesa implementacije KM/CBM, ali koji predaju ili obavljaju istraživanje u oblasti CM/CBM.
 - D. Oni koji nemaju praktična iskustva iz primene CM/CBM, ali razvijaju KM/CBM alate.

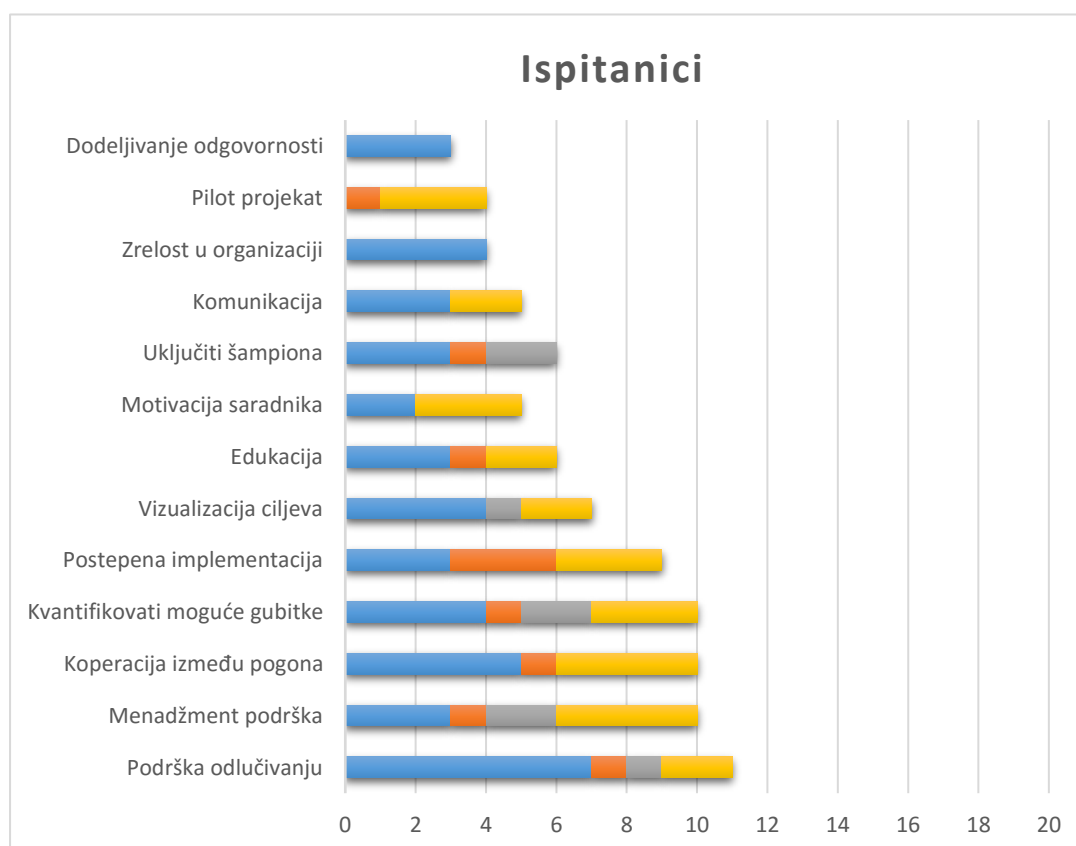
8.5.2. Rezultati

Nalazi istraživanja prikazani su u dva dela. Prvi deo obuhvata faktore koji su pronađeni u odgovorima ispitanika, kao i pokušaj da se razvija smernica za implementaciju. Drugi deo uključuje prvi pokušaj za razvoj rešenja i podrške razvoju.

8.5.2.1. Prvi deo: Prvi nacrt uputstva za implementaciju

Analizom odgovora ispitanika sugerisano je 15 bitnih faktora koje treba uzeti u obzir kao uslov za održavanje koje se sprovodi. Faktori su sledeći: upotreba metoda za podršku odlučivanju, podrška upravljanja, saradnja između službi, pogona, kvalifikacija mogućih dobitaka i gubitaka, postepeno sprovođenje, vizualizacija ciljeva i inicijativa, edukativni rad, motivacija saradnika, uključiti šampiona, komunikacija, organizacione zrelosti, pilot projekat i dodela odgovornosti (slika 8.4).

Razlika se može naći u pristupu koji obuhvata nekoliko različitih tipova ispitanika industrije daju svoje ideje, stavove i iskustva o temi da bi obezbedili kolektivno prianjanje na pitanje. Jedan aspekt interesantnog faktora leži u činjenici da sve kategorije ispitanika daju prilično slične odgovore, nema kategorija, koja se posebno izdvaja više nego druge. Podrška za različite faktore u mnogim slučajevima pred nekoliko grupa, a samo u dva slučaja nema grupne podrške faktora. To bi moglo da ukazuje na to da implementacija praćenja stanja mašina se sastoji od opštih pitanja i problema i da bi moglo biti moguće da se razvije opšti metod sprovođenja.



Slika 8.4 Faktori koji su od suštinskog značaja u pokušaju sprovođenja, koji se nalaze u ekspertnom slučaju

8.5.2.2. Drugi deo: Prvi nacrt odluke i podrška razvoju

Bilo je jasno da posle analize faktora koji koriste neku vrstu podrške u odlučivanju u procesu implementacije je veoma visoko cenjena među ispitanicima. Polovina od 30 ispitanika misli da je važno korišćenje neke vrste strukturiranog procesa donošenja odluka prilikom sprovođenja uslova za održavanje prema stanju. Ispitanici nisu jasno dali predloge za bilo koje metode, koje treba da se koriste, osim možda pristupa pouzdanosti usmerene na održavanje ili šest sigma DMAIC pristupa. Međutim, oni sugerišu da je moguće koristiti alate i merenja u procesu donošenja odluka.

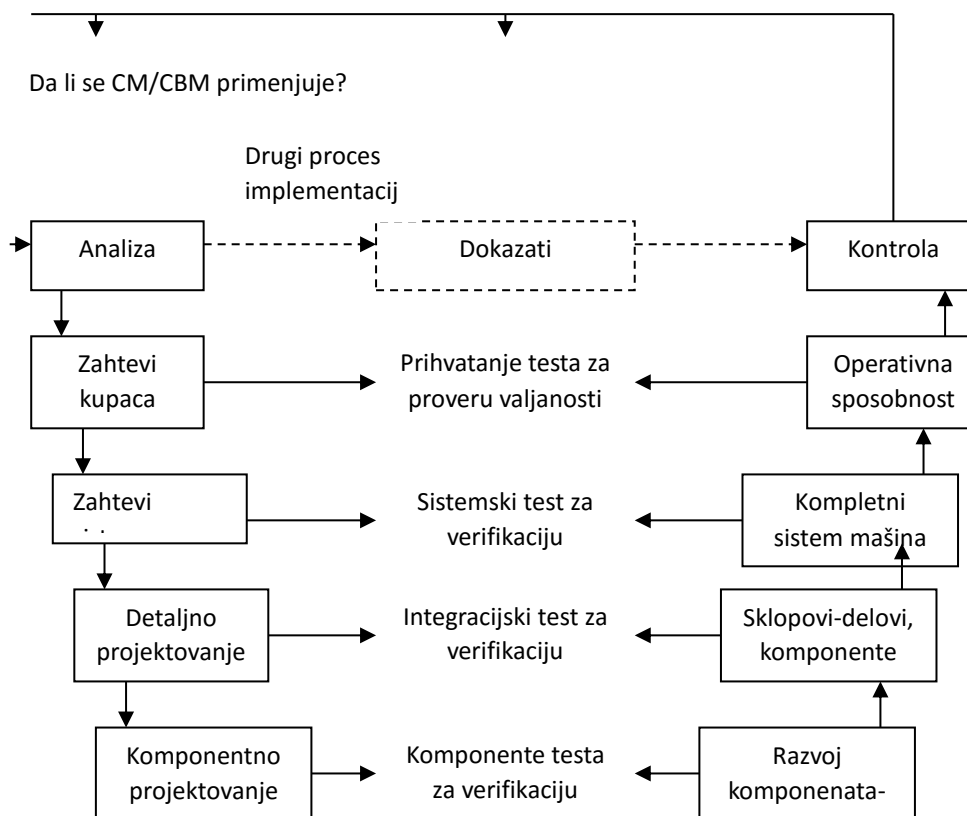
Oni su sledeći:

- DuPont proračun,
- Povratak na investicioni proračun,
- Obračun troškova,
- Proračun troškova životnog ciklusa (LCC),
- Procena organizacione zrelosti,
- Analiza kritičnosti,
- Ukupna ocena efikasnosti (OEE),
- Pouzdanost – u centru za održavanje (RCM),
- RAMS proračun (pouzdanost, dostupnost, održavanje i sigurnost).

U pokušaju da sistematizuju alate i merenja ispitanici koji su bili izvršeni u Šest Sigma metodologiju DMAIC su predložili: definisati mere, analizirati, poboljšati i kontrolisati. Jedan ispitanik je predložio DMAIC kao prilično jednostavan metod za veliko poboljšanje procesa. Integracija filozofije V-dijagrama, sa verifikatorom i validnošću procesa posebno sa DMAIC metodologijom, za odluku i podršku razvoja modela alata za praćenje stanja, će obezbediti ulaganje kako bi našli izlaz kroz održavanje bazirano na proizvodnju i praćenje stanja, DMAIC metodologija će biti iskorišćena da bi se prvo saznalo da li su uslovi na osnovu praćenja stanja jedan od najefikasnijih načina za poboljšanje procesa. Shodno tome, primena i validacija procesa verifikacije u tehničkoj realizaciji faze alata praćenja stanja bi značilo da bi pravilnu vrstu alata trebalo iskoristiti prilikom projektovanja novih uslova alata za nadgledanje. Međutim, oni se verovatno mogu iskoristiti prilikom sprovođenja praćenja stanja u procesu rada.

Osnovni problem modela leži u potrebi za nekom vrstom procesa napretka funkcije održavanja kompanije. DMAIC metodologija definiše i meri osnovni problem, analizira koren uzroka problema i sugeriše rešenja poboljšanja. Prednosti V-dijagrama leže u svojoj verifikaciji i validaciji procesa između različitih faza u razvoju/proces nabavke. Korišćenje verifikacije i validacije u razvoju ili procesu nabavke može da obezbedi da pravilno praćenje stanja bude usloženo i sprovedeno. Ovo je prvi nacrt odluke i razvoja podrške i on se i dalje razvija u radionici [38]⁶⁶.

⁶⁶ [38]. Dimitrijević, D., Paunjorić, P., Adamović, Ž., Janjić, Z., Nikolić, D., Janjić, N., Flexible Application of CAD/CAM Systems and Optimisation of the Production Process as Factors of Strengthening the Competitiveness of small and medium sized Enterprises of apparel Industry in Developing Countries, Journal of the Balkan Tribological association, Book 1, Vol 23 (2017), Sofia, Bulgaria (potvrda 09.06.2016.)



Slika 8.5 Deo prvog nacrtu odluke i razvojne pomoći, vizuelno poboljšanje faze u DMAIC koristeći V-dijagram [38]⁶⁷

8.6. Slučaj mašina na površinskim kopovima

8.6.1. Uvod

Pristup studiji slučaja je bio rađenje intervjua i posmatranja. Kontakt sa menadžerima održavanja je pokrenut preko proizvođača opreme za praćenje stanja. Menadžer održavanja, zauzvrat, je predložio za intervju tehničara koji obavlja preventivno održavanje. Menadžeri su intervjuisani da se stekne obimno znanje o procesu implementacije praćenja stanja. Tehničari, koji obavljaju preventivno održavanje su intervjuisani da se steknu znanja o tome kako se merenja sprovode i koja vrsta informacija se prikuplja i koristi u analizama.

8.6.2. Rezultati

Nalazi predmeta prikazani su u dva dela. Prvi deo podrazumeva dalji razvoj implementacije smernica, kao i model razvoja zasnovan na osnovu održavanja prema stanju. Drugi deo obuhvata razvoj modela komunikacije i informacije u kontekstu praćenja stanja. Oba modela su razvijena da vizualizuju ceo pristup stanja na osnovu održavanja prema stanju. Ovo je da se istakne da je primena uslov na osnovu održavanja prema stanju nije tako laka kao kupovina alata, već ona uključuje dodatne faktore.

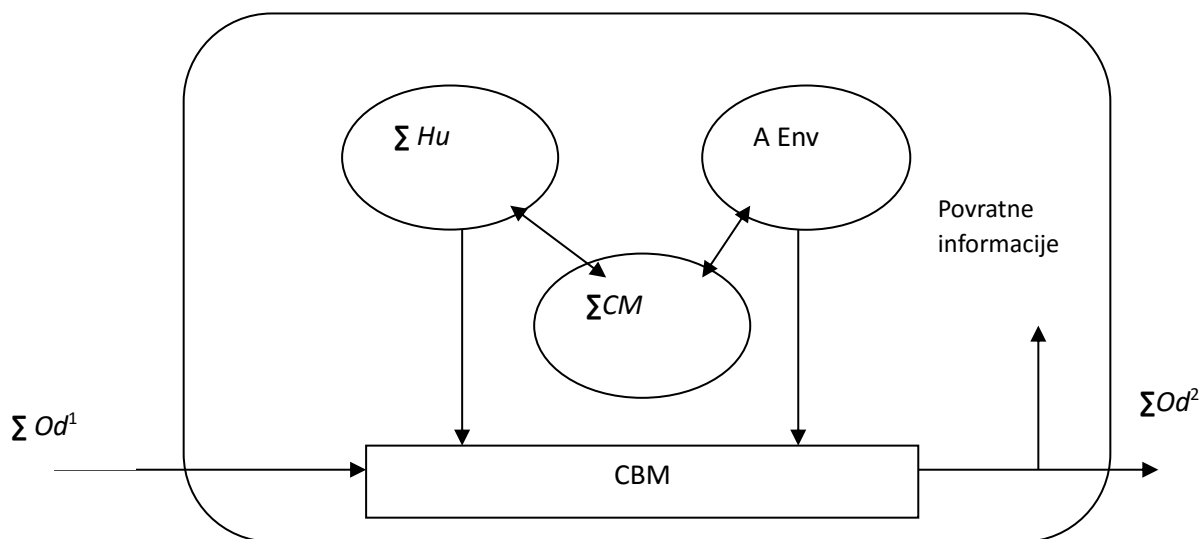
⁶⁷ [38]. Dimitrijević, D., Paunjorić, P., Adamović, Ž., Janjić, Z., Nikolić, D., Janjić, N., Flexible Application of CAD/CAM Systems and Optimisation of the Production Process as Factors of Strengthening the Competitiveness of small and medium sized Enterprises of apparel Industry in Developing Countries, Journal of the Balkan Tribological association, Book 1, Vol 23 (2017), Sofia, Bulgaria (potvrda 09.06.2016.)

1. Deo: Primena uslova na osnovu održavanja prema stanju

Nekoliko uspešnih faktora su identifikovani u analizi intervjua sa menadžerima. Ispitanici su bili prilično jednoglasni u deljenju uspešnih faktora u naporu implementacije. Svi ispitanici su izjavili važnost upravljanja, uključivanja i podrške, obrazovanja i obuke, kao i efikasne komunikacije. Dodatni faktori su: uključiti šampiona, kreativnost, postavljanje jasnih ciljeva i davanje adekvatnih resursa za ciljeve, vizualizacija podsticaja, tretiranje praćenja stanja kao jezgra kompetentnosti, stavljanje čoveka u centar, izgradnja poverenja u tehnologiji radi jačanja preventivnog održavanja prema stanju.

U odgovoru na pitanje o tome šta je glavna greška organizacije u toku sprovođenja, ispitanici su se fokusirali na nedostatak informacijskih strategija, nedostatak podrške za upravljanje, investiranje u pogrešnu tehnologiju, i imaju suviše veliki fokus na tehnologiju (i zaboravljanje ljudi i organizacije koje bi trebalo da rade sa njim). Ispitanici su se fokusirali mnogo na značaj vizualizacije i dokazivanju da će opterećenost pasti na duge staze. Ispitanici su takođe priznali da će implementacija trajati nekoliko godina, i da će rukovodstvo morati da podrži sprovođenje od početka do kraja (ako se smatra da implementacija može ikada biti završena).

Kao što su ispitanici istakli u slučaju rada mašina na površinskim kopovima to nije samo pitanje tehnologije koje treba uzeti u obzir prilikom uvođenja uslova za održavanje. Umesto toga, interakcija između tehnologije, ljudi i organizacije je važna kako bi se postigao uspeh. Adaptiranje modela transformacijom sistema tako da se uklapa u uslov za održavanje, kako bi mogli da pomognu vizuelno na šta zapravo treba da se fokusiraju za vreme implementacije (slika 8.6).

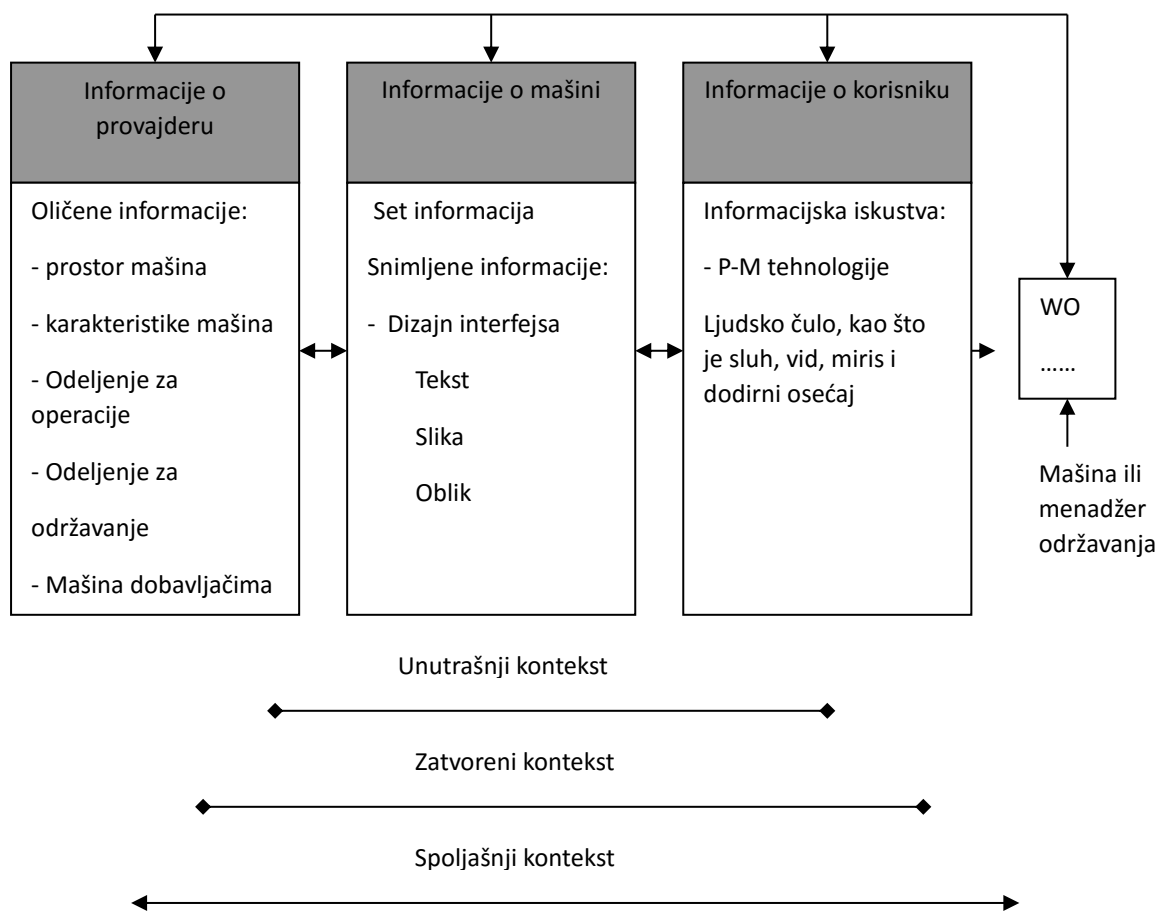


Slika 8.6 Model zasnovan na osnovu uslova za održavanje prema stanju ΣOd^1 ulazna količina energije (npr. povećana vibracija ili temperatura), ΣOd^2 je izlazna količina pod uslovom procene koje mogu biti osnov za održavanje prema stanju

Kao što je predstavljeno na slici 8.7, obe tehnologije (odnosno praćenje stanja), i interakcija između tehnologija, ljudi i organizacija su od veoma velikog značaja za uspešne rezultate. Dakle, to je uzajamno dejstvo koje treba da se sprovodi, a ne samo praćenje stanja mašina.

2. deo: Informacije o projektovanju praćenja stanja mašine

U analizi podataka iz razgovora (uključujući i upravljanje i preventivno održavanje prema stanju), uzimajući u obzir holističke perspektive prilikom primene i korišćenja programa praćenja stanja je identifikovan kao osnovni. Takođe postoje različite vrste informacija, sve što treba uzeti u obzir kao uslov da se izvrši procena. Na slici 8.7 predstavljeni su drugačiji oblici informacije kao procesa komunikacije i informacije modela. Ovaj model je podeljen u tri nivoa konteksta: (unutrašnji, zatvoreni i eksterni) kao i informacije provajdera, informacioni sistem i informacije korisnika. Unutrašnji kontekst je praćenje stanja (npr. Skup informacije), a sadrži integrisane podatke. Set informacije sadrži snimljene podatke koji mogu biti analizirani. Podaci se evidentiraju u neposrednom kontekstu od provajdera podataka, koji sadrži informacije o karakteristikama mašine (kao što su vibracije, zvuk i temperatura).



Slika 8.7 Komunikacije i informacije u kontekstu praćenja stanja

8.7. Radionica slučaja odlučivanja

Radionica slučaja je nastup kao razmišljanje/radionica. Sednici su prisustvovala dva istraživača sa industrijskim iskustvom i sve u vezi sa održavanjem i/ili proizvodnjom u vezi istraživanja. Cilj sednice je bio da se ispita i diskutuju odluke koje treba da se preduzmu pre primene održavanja prema stanju. Radionica je izvedena tako da se ispita drugo pitanje istraživanja.

8.7.1. Uvod

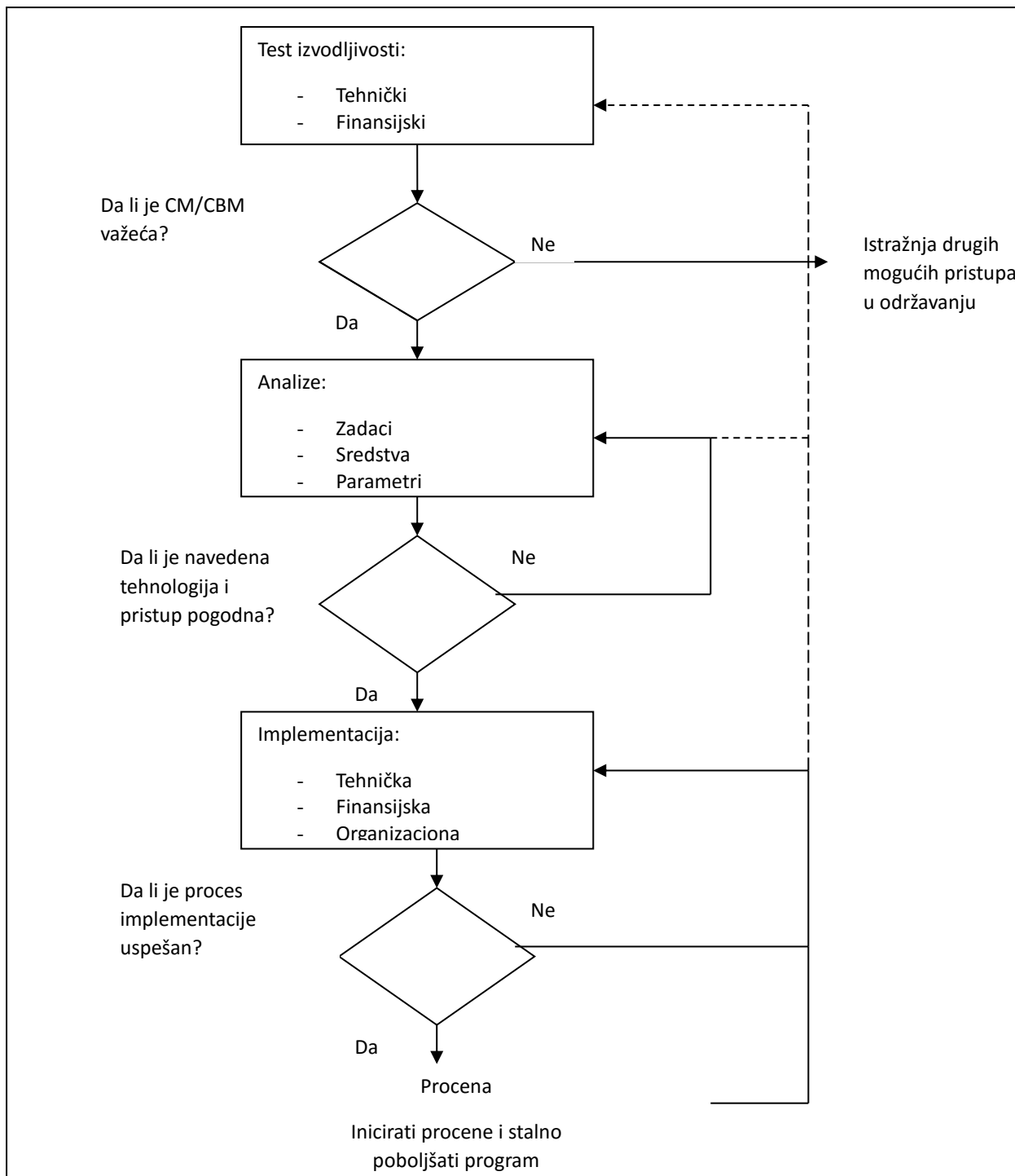
Jedan od najvažnijih faktora koje treba uzeti u obzir prilikom implementacije je uslov za održavanje prema stanju, kada je bio zasnovan upotrebom nekih vrsta podrške pri odlučivanju. Prvi nacrt takve odluke je podrška razvijena u ekspertnom slučaju. Međutim, radionica je bila obavljena u cilju unapređenja podrške odlučivanju.

Studija je zasnovana na kombinaciji teorije i razmišljanja/radionici. Kao uvod u sesiju razmišljanja učesnici su pročitali tri novine kao inspiraciju neznajući temu sednice. Radove su pokrivali: (1) alat i donošenja odluka u uslovima na osnovu održavanja stanja, (2) aspekti (uključujući i organizacione) u vezi uslova za održavanje i (3) napredne tehnike i tehnologije na osnovu održavanja prema stanju, procena stanja i sistemi za podršku u odlučivanju. Izabrani su radovi, sa namerom da svi učesnici čitaju i razmišljaju o uticaju primene održavanja prema stanju u industrijskom okruženju. Nakon radionice razmatraju se dodatne teorije na dubljem nivou. Nacrt odluke smernica je ponovljen. Ovo je urađeno da bi oni mogli da daju povratnu informaciju o materijalu i da se uvere da niko nije pogrešio u toku sesije.

8.7.2. Rezultati

Rezultatu radionice su bili predstavljeni kao smernice za donošenje odluka, koje se sastoje od pet koraka: test izvodljivosti, zadaci odgovornosti, izbor sredstava za praćenje, izbor parametara za praćenje povezana sa tehnikom i izbor tehnologija (slika 8.8). Koraci su u suštini struktuirani da se odgovori na sledeća pitanja:

- Da li stanje na osnovu održavanja prema stanju može biti implementirano?
- Ko će ga implementirati, a ko će obaviti monitoring?
- Gde će se nadzor odvijati?
- Šta će se pratiti?
- Kako će se vršiti monitoring?



Slika 8.8 Putokaz donošenja odluka putem četiri faze: testiranje izvodljivosti, analize i tehnički razvoj, implementacija i procena

Proces donošenja odluka počinje otvorenom i opštom odlukom o tome da li je uslov za održavanje prema stanju zasnovan i moguć za firmu i njene procese.

Ovaj test izvodljivosti treba da se zasniva na tehničkim, finansijskim i organizacionim predrasudama. Dakle, rezultati ovog slučaja dodaju posebne dimenzije tom procesu, organizaciji, a posebno njenoj zrelosti. Drugi korak u smernicama je dodeljivanje odgovornosti. S obzirom na suprotno, ako ne bi dodeljivali odgovornost proces će trajati

verovatno duže i kvalitet odluka će biti verovatno manja. Dodeljivanje odgovornosti je takođe jedan od faktora koji se nalazi u ekspertnom slučaju, kao u teoriji. Preostali koraci u smernicama podrazumevaju rad sa nekim od alata predstavljeni u ekspertnom slučaju. Da bi izabrali odgovarajuća sredstva da se deo programa prati potrebno je izvršiti analizu kritičnosti. To može biti izvršena koristeći režim neuspeha i analize efekata. Izbor parametara za praćenje povezana sa tehnikom se može vršiti preko potencijalnih neuspeha, P-F, interval analize, na primer. Ako je moguće naći više od jednog parametra, odluka matrice se može koristiti kao pomoć u evaluaciji. Pri izboru tehnologija mnoge odluke se moraju doneti. Korišćenje subjektivnih ili objektivnih praćenja može biti prava odluka.

8.8. Unapređenje operativnog rada mašina pomoćne mehanizacije (pm)

Upravljanje pomoćnom mehanizacijom obuhvata upravljanje održavanjem pomoćne mehanizacije (PMO) i upravljanje eksploatacijom pomoćne mehanizacije (PME). Nadalje će biti razmatrani poslovni procesi PME i sistem PME kao poslovni sistem za kontinuirano unapređenje operativnog rada PM, podržan savremenim informacionim sistemom i informacionim tehnologijama (IS/IT) za upravljanje sistemom na bazi raspoloživosti/gotovosti i proizvodno-ekonomskih pokazatelja. Pomoćni radovi (PR) obuhvataju: Prethodne radove, Prateće radove, Naknadne radove i Uslužne radove.

Prethodni radovi obuhvataju aktivnosti u sledećim potprocesima: Priprema kopa za otvaranje, Čišćenje površine terena ispred kopa, Priprema odvodnjavanja, Bušenje i miniranje. Prateći radovi obuhvataju aktivnosti u sledećim potprocesima: Putno-kolosečni radovi, Zemljani radovi, Dizalični radovi, Transportni radovi, Remontno-konzervacijski radovi, Čišćenje i osiguranje. Naknadni radovi se odnose na poslove tehničke rekultivacije. PM radi u izuzetno teškim uslovima na etažama površinskih kopova sa vrlo promenljivim režimima rada. Zbog toga njihova pouzdanost veoma brzo opada, dok troškovi eksploatacije i održavanja brzo rastu.

Zbog toga je neophodno stalno planiranje i praćenje njihove eksploatacije, održavanja i pokazatelja efektivnosti rada. Upravljanje PM, posmatrano kao proces, je poslovni proces koji primamo ima za cilj da obezbedi uslove da mašina za koju je primljen zahtev efikasno izvrši rad, uz optimalne troškove.

U skladu sa savremenim sistemskim pristupom upravljanju poslovnim procesima preduzeća, poslovni ciljevi su definisani ključnim pokazateljima (KPI) i mernim veličinama u cilju unapređenja poslovnog procesa (npr. smanjenje potrošnje goriva mašine/vozila je cilj poslovnog procesa, a KPI je potrošnja goriva iskazana u litrima po moto-času [l/mč] ili litrima po kilometru [l/km]).

Procesno orijentisan pristup upravljanju PM obuhvata: identifikaciju poslovnih procesa sa merljivim pokazateljem ostvarenja postavljenog poslovnog cilja kojeg treba da bude svestan ceo tim učesnika u realizaciji aktivnosti procesa, identifikaciju vlasnika procesa i odgovornosti pojedinih učesnika za glavne aktivnosti/potprocese, definisanje procedura rada za glavne aktivnosti/potprocese, što je u skladu sa zahtevima savremenog sistema kvaliteta. Ističemo da se planiranje i ocena efikasnosti rada PM ocenjuje na bazi pokazatelja rada mašina pomoćne mehanizacije - tehničkih i ekonomskih pokazatelja. Jedan od mogućih tehničkih pokazatelja rada (i održavanja) je efektivnost za koju se koriste sledeći pokazatelji : pouzdanost, raspoloživost i gotovost tehničkih sistema, konkretno teške i lake pomoćne mehanizacije koja se eksploatiše na površinskom kopu uglja. Za realizaciju navedenog treba uvesti merenje

tehničkih karakteristika i njihovu ocenu radi upravljanja sistemom operativnog rada i održavanja mašina. U naučnoj literaturi ne postoji jedinstvena naučno zasnovana metoda praćenja efektivnosti rada pomoćne mehanizacije (pouzdanost, raspoloživost, troškovi životnog ciklusa i sl.) za specifične uslove radne sredine na površinskim kopovima uglja. Međutim, u naučnoj i stručnoj literaturi se sreće razmatranje pojedine ciljne funkcije eksploatacije pomoćne mehanizacije i dobra praksa ove složene problematike, i razmatra se način praćenja pojedinih pokazatelja efektivnosti rada i određivanja optimalnog vremena zamene ove mehanizacije.

Ne ulazeći u razloge nedostataka primene savremenog upravljanja pomoćnom mehanizacijom na površinskim kopovima u našoj zemlji, a sledeći naprednu praksu drugih, neophodno je sistemski unapređivati korišćenje pomoćne mehanizacije, što podrazumeva:

- Uvođenje sistemske organizacije same eksploatacije pomoćne mehanizacije, u pogledu maksimalne iskorišćenosti dostupnih resursa ali i trenutne i planirane raspoloživosti, kao i stalno praćenje toka eksploatacije svake jedinice mehanizacije. Ovo je moguće ostvariti primenom savremenih metoda organizacije rada uz podršku savremenog IS i mogućnosti primene satelitskog praćenja (GPS). Poseban izazov je implementacija PM u celovit sistem PK koji podrazumeva sintezu celovitih potreba, osnovne mehanizacije, resursa i uslova okoline.
- Uvođenje savremenog sistema održavanja PM koji podrazumeva primenu savremenih metoda,
- Sistemsko planiranje obnavljanja parka PM odnosno nabavke nove mehanizacije, a na osnovu sagledavanja realnih potreba odnosno stvarnog obima posla u sistemu savremene organizacije eksploatacije i održavanja,
- Kontinualno analiziranje efektivnosti i efikasnosti PM, kao i ekonomskog aspekta životnog ciklusa njenih jedinica.

Sledeći naprednu praksu drugih, za unapređenje operativnog rada PM treba primeniti sistemski pristup u projektovanju celovitog obuhvata ključnih procesa („od-kraja-do-kraja”), podržanih savremenim IS/IT (uključujući GPS tehnologiju), što treba da obezbedi kontinuirano unapređivanje eksploatacije PM, uz optimizaciju troškova.

Uvođenjem savremenog sistema održavanja PM, koji uključuje primenu savremenog IS za upravljanje procesima održavanja, moguće je uticati na raspoloživost parka mehanizacije, ali i na resurse sistema održavanja. To podrazumeva obezbeđenje raspoloživosti kapaciteta servisnog dela održavanja u pogledu prostora, opreme i ljudstva, kao i raspoloživost rezervnih delova.

Uvođenje procesa kontinualnog analiziranja efektivnosti i efikasnosti PM, kao i ekonomskog aspekta životnog ciklusa njenih jedinica, obezbeđuje uslove za sistemsko planiranje obnavljanja voznog parka. To je bazirano na definisanim potrebama u smislu tehničkih i eksploatacionih karakteristika neophodne mehanizacije, uzimajući u obzir ciljeve proizvodnje, uslove okoline i raspoloživa ekonomska sredstva.

U okviru savremenih trendova unapređenja sistema operativnog rada PM, analiziraju se i prate posledični problemi pojave zagađenja životne sredine. U funkciji cilja maksimizacije tehničke i ekonomske efikasnosti sistema, potrebno je, paralelno sa uspostavljanjem IS/IT sistema za praćenje operativnog rada PM, uz prethodno urađenu dokumentaciju i analize,

obuhvatiti i monitoring elemenata sistema kvaliteta životne sredine, u skladu sa savremenim trendovima i kriterijumima EU i/ili IFC.

Integrirani model (IM) pristup je holistički pristup koji obuhvata tri značajne dimenzije savremenog preduzeća: procesnu orijentisanost, IT podršku operacijama i zahteve sistema kvaliteta. IM je jedan integrirani model poslovnog procesa (PP) i IS koji pokazuje da su PP i IS u interakciji da bi realizovali poslovni cilj. Realizacija poslovnog procesa predstavlja suštinsku integraciju PPI i ISi, jer bez istovremenog izvršavanja aktivnosti/događaja poslovnog procesa PPI (npr. izvršenje konkretnog pomoćnog rada - prenos cevi na kopu i informacionog sistema ISi (da postoji zahtev u IS - nalog za rad mašine/rukovaoca), ne može da se realizuje operativni poslovni cilj. Ovim pristupom i modelom se naglašava da poslovni proces (PPI) i informacioni sistem (ISi) moraju da se integrišu u smislu istovremenog „učestvovanja“ („od ulaza do izlaza“ poslovnog procesa) u realizaciji poslovnog cilja (PCi). Osim toga, ova integracija nije moguća bez stalne interakcije između PPI i ISi koja se obezbeđuje razmenom podataka. U skladu sa navedenim, struktura integracije poslovnog procesa PPI i informacionog sistema ISi obuhvata:

- Postavljen poslovni cilj poslovnog procesa,
- Izvršavanje poslovnog procesa,
- Izvršavanje operacija IS,
- Interakciju između poslovnog procesa i informacionog sistema u izvršavanju procesa,
- Realizovan (postignut) poslovni cilj,
- Povratnu spregu u funkciji poboljšanja poslovnog procesa i u skladu sa tim, usklađivanje informacionog sistema (npr. „upgrade“ aplikativnog softvera).

Na osnovu izvršenih istraživanja literature i svetske prakse i analize stanja predmetnog sistema u TE-KO, izvršeno je identifikovanje poslovnih procesa koje prioritetno treba podržati sa IS/IKT:

- Održavanje baze podataka tehničkih karakteristika mašina i vozila,
- Podrška upravljanju gorivom,
- Podrška upravljanju mazivom i rashladnom tečnošću,
- Podrška godišnjem rasporedu rada po smenama i grupama radnika,
- Dnevno raspoređivanje mašina i radnika,
- Praćenje rada mašina i radnika, sa kontrolom i nadzorom (IS, GPS/GPRS),
- Rešavanje otkaza mašine na terenu,
- Obračun troškova rada mašina i drugih pokazatelja,
- Izveštavanje o radu mašina i radnika (za operativni i top menadžment).

Projektovanje navedenih procesa (i potprocesa) na savremenim osnovama, sa odgovarajućim nosiocima odgovornosti i resursima, i njihovom implementacijom obezbeđuje se jedan savremeni pristup u upravljanju mašinama i rukovaocima PM na površinskim kopovima TE-KO Kostolac. Upravljanje podrazumeva praćenje, analizu, donošenje i kopovima TE-KO Kostolac na osnovu činjenica- pokazatelja o radu mašina, radnika i troškova eksploatacije za ostvarenu raspoloživost i gotovost. Obezbeđenjem ulaznih podataka, njihove odgovarajuće obrade i prezentacije sa podrškom savremenih IS/IT (sa GPS/GPRS i drugim tehnologijama i sistemima) stvaraju se uslovi za efektivnije upravljanje PM. U tom smislu, u realnom vremenu, svi koji učestvuju u upravljanju i izvršenju radova mašina pomoćne mehanizacije koristiće savremen IS/IT.

Pilot projekat je realizovan na mašinama PM koje pokrivaju karakteristične radne procese angažovanja mašina na PK TE-KO Kostolac: buldožer/dozer i pomerač/cevopolagač za radove njihovog opsega.

U izabrane mašine PM su montirani AVL uređaji, postavljene GPS antene izvučena žična instalacija sa instrumenta koji pokazuje moto-časove i nivo goriva sa senzora rezervoara. Na ovaj način je omogućeno da se AVL uređaj napaja tek kad je uključen motor mašine. AVL uređaj periodično, na svakih 45 - 60 sekundi, šalje serveru u dispečerskom centru poruku o trenutnoj poziciji i trenutnom tačnom vremenu (podaci dobijeni sa satelita) i vrednosti broja moto-časova i digitalizovana vrednost nivoa goriva preko senzora u rezervoaru (podaci dobijeni sa mašine). Poruka sa opisanim podacima se smešta u jedan zapis baze podataka, koji služi za prikaz trenutne pozicije mašine na mapi (georeferencirane podloge) kopa Drmno. Podaci o tačnom vremenu slanja poruke služe da se dobiju izveštaji o radu motora mašine na nivou dana. Podaci su prikupljeni i obrađivani u toku 2014. godine.

Na osnovu postavljenih ciljeva i operativnog rada postavljenog GPS/GPRS sistema u pilot projektu, dobijeni su sledeći rezultati [65]⁶⁸:

- instalirani su AVL uređaji na dve mašine (buldožer i cevopolagač),
- u dispečerskom centru se prati i arhivira pozicija mašina i prikupljaju se podaci o moto časovima rada i nivou goriva,
- iz primljenih podataka su dobijeni izveštaji o radu mašina obuhvaćenih pilot projektom,
- napravljena je tehnička specifikacija radova i opreme koja je potrebna za sve mašine i vozila PM i za formiranje dispečerskog centra. Pilot projektom su obuhvaćene sve komponente podsistema GPS/GPRS i na osnovu toga zaključeno je da je moguća primena ovih tehnologija na svim mašinama PM. Za realizaciju Sistema za praćenje mašina PM potrebno je uraditi sledeće:
- napraviti plan uvođenja GPS/GPRS uređaja za sve mašine,
- instalirati AVL uređaje na svim vozilima i mašinama pomoćne mehanizacije,
 - izraditi definisane izveštaje sa podacima prispelim na server u dispečerskom centru i integrisati sa implementiranim IS PME radi zajedničkog rada ova dva dela sistema. Sve napred navedeno će omogućiti potpuno upravljanje radom PM kao i potrošnjom goriva, tehničke tečnosti i masti. Da bi se sistem operativnog rada i održavanja kao celina i činio tehnološko jedinstvo, bilo bi potrebno razviti i implementirati i odgovarajući IKT sistem održavanja PM.

Za operativni rad i praćenje rada PM značajno je imati informacije u realnom vremenu o lokaciji konkretne mašine/vozila, njegovom statusu (npr. da li je mašina aktivna ili kolika joj je brzina kretanja), koji je stepen opterećenja u aktivnom stanju (na osnovu npr. potrošnje goriva, broja obrtaja motora). Ove informacije značajno doprinose donošenju kvalitetnih odluka za upravljanje eksploatacijom mašina PM. U TE-KO je iskazana zainteresovanost da se obezbedi praćenje parametara mašina PM u realnom vremenu, pre svega lokacije putem

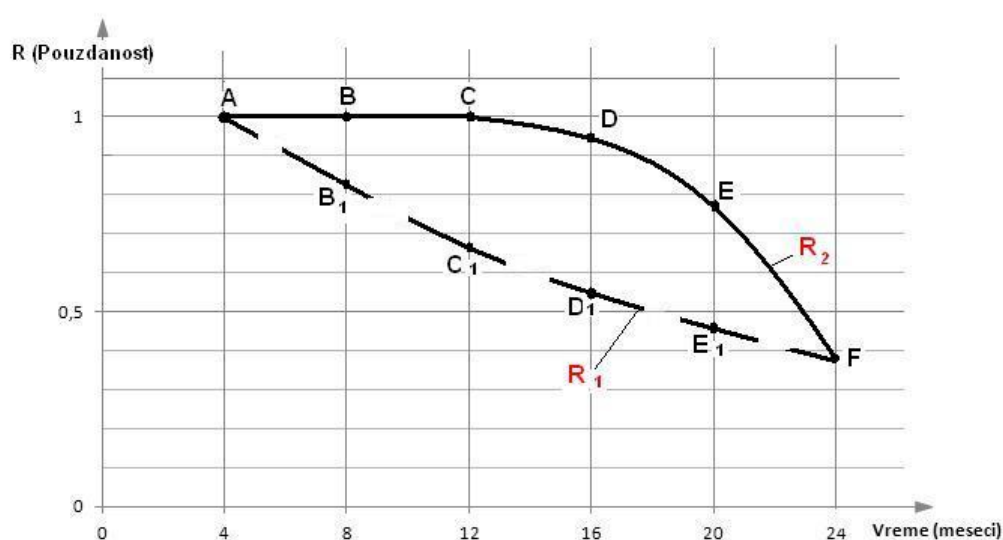
⁶⁸ [65]. Kucora, I., Paunjorić, P., Tolmač, J., Vulović, M., James, G. Streight, Radovanović, Lj., Coke formation in Pyrolysis Furnaces in the Petrochemical Industry, Petroleum Science and Technology, 2474 Overland Road, Laramie, WY 82070-4808 USA

GPS/GPRS sistema u cilju efikasnijeg operativnog upravljanja pomoćnom mehanizacijom za podršku osnovnim procesima.

Na osnovu sprovedenih istraživanja može se zaključiti da razvoj sistema upravljanja operativnim radom pomoćne mehanizacije, kao što je već rečeno, treba da bude holistički, u pravcu strategije održivog razvoja sistema upravljanja pomoćnom mehanizacijom. Istraživanje predmetne oblasti u razvijenim zemljama kao rezultat nije dalo rešenja koja su primenljiva na probleme korišćenja pomoćne mehanizacije na domaćim površinskim kopovima. Međutim, primenom savremenih naučnih i stručnih metoda kojima bi se realizovala predmetna unapređenja u poslovnim sistemima u Srbiji, omogućila bi se i značajna finansijska ušteda. Projektovanje navedenih procesa (i potprocesa) na savremenim osnovama, sa odgovarajućim nosiocima odgovornosti i resursima, i njihovom implementacijom obezbeđuje se jedan savremeni pristup u upravljanju mašinama i rukovaocima pomoćne mehanizacije na površinskom kopu uglja. Upravljanje podrazumeva praćenje, analizu, donošenje i sprovođenje odluka, na osnovu činjenica - pokazatelja o radu mašina, rukovalaca i troškova eksploatacije za ostvarenu raspoloživost i gotovost.

9. ZAKLJUČAK

Istraživanje se zasniva na problemu diskusije predstavljeno u poglavlju 2. Tri svrhe su formulisane: lična, industrijska i povezana istraživanja. Drugi deo istraživanja je da se razvije metod koji može da pomogne preduzećima u njihovim naporima implementacije. Metod je u okviru ovog istraživanja bio tretiran kao „sistemski postupak kako bi se postigli konkretni rezultati“. Metod implementacije je razvijen pomoću mešavine teorije i podataka prikupljenih kroz različite slučajeve. On evoluirao vremenom i razvojem sistema je napredovao sa dodatnim podacima. Metod implementacije je razvijen da pomogne čitavom procesu implementacije od prve faze u pronalaženju poslovnog slučaja i primene istraživanja do uvođenja i primene, a završava se procenom tog procesa. Razvojem modela održavanja prema stanju postignut je viši nivo pouzdanosti mašina na površinskim kopovima (slika 9.1)



Slika 9.1 Uzroci pada nivoa pouzdanosti za mašine na površinskim kopovima za period praćenja od 2 godine

IP 1. Koji su osnovni delovi na bazi uslova za održavanje?

Istraživačko pitanje je formulisano da bi se mogao istražiti na koji način pristup zasnovan uslov na održavanju, koji treba da čini kako bi se postigao uspešan rezultat implementacije ili tačnije, koje sastojke treba uzeti u obzir pri promeni implementacije. Tokom istraživanja postalo je sve jasnije da je uslov za održavanje zasnovano pristupom mnogo više od tehnologije. Eksperti slučaj i slučaj mlinova papira posebno predstavlja da je međusobni uticaj između tehnologije, ljudi i organizacije važna kada se primene i operativni uslovi za održavanje zasnovane pristupom.

IP 2. Koje osnovne odluke treba da budu donešene, pre uvođenja uslova za održavanje zasnovano na pristupu?

Istraživačko pitanje je formulisano da bi se istražio proces donošenja odluke da li može da se počne sa primenom na osnovu održavanja. Kao što je navedeno, stanje na osnovu održavanja ne treba koristiti kao opštu politiku, samo kada je to potrebno. Rigorozni proces donošenja odluka je stoga neophodna. Ovaj sastav je takođe ojačan u ekspertnom slučaju kada je polovina ispitanika u odgovoru na otvoreno pitanje u vezi sa sprovođenjem stanja na osnovu održavanja pominjala upotreba nekih vrsta podrške odlučivanju. Ekspertni slučaj i teorija dovela je slučaj do radionice gde su strukturirani pet osnovnih koraka: test izvodljivosti, zadaci i odgovornost, izbor sredstava za praćenje, izbor parametara za praćenje povezanih sa tehnikom i izbor tehnologija. Koraci su formulisani tako da odgovaraju na pitanja kao što su: da li postoji posao za stanje na osnovu održavanja, ko će ga sprovesti, ko će obavljati nadzor, šta parametri prate i kako treba vršiti nadzor.

Iako postoje mnogo složenih načina i kalkulacija o tome kako da se odluči u kakvu vrstu praćenja su u stanju da investiraju, mnogi ispitanici u ekspertnom slučaju su predložili sasvim uobičajene alate i merenja kada se odlučuje gde i šta treba da se sprovedi. Alati i merenja podrazumevaju DuPont proračune, LCC proračune, OEE merenja, analizu i kritičnost, kao što su FMEA, FTA i kompletan RCM pristup. Zaključci izvučeni iz slučaja radionice bili su da firma koristi alate i merenja za rad bar u početku implementacije. Jedan faktor uzet u obzir u procesu donošenja odluka koji je bio iz drugih u ekspertnom slučaju, bio je da ispita nivo zrelosti društva. Ovo je bilo da se bolje odražava koja vrsta opreme za praćenje stanja i koji nivo tehnologije je kompanije spreman u trenutku.

IP 3. Kako da uslov za održavanje zasnovan pristupom bude primenjen i koji faktori su od suštinske važnosti da se fokusiraju u ovom procesu?

Istraživačko pitanje je formulisano da se ispita kako kompanije uspešno mogu da primene uslove pristupa zasnovanog na održavanju i omogućava da se sagledaju faktori koji mogu da pomognu u pokušaju implementacije.

Različite kompanije koje pokušavaju da sprovedu stanje na osnovu održavanja će imati drugačije iskustvo i zrelost. Stoga je teško, ako ne i nemoguće, da se rangiraju faktori prema važnosti. Nivo apstrakcije faktora je prilično na visokom nivou. Neki od njih su bili prikupljeni kako bi se uklopili u ceo proces implementacije.

Takođe, ispitanici u slučaju mlinova otkrivaju zajedničke osnove o tome kako da se sprovedi na osnovu stanja održavanje. Konsenzus se može naći u mnogim oblastima. Zrelosti u održavanju odeljenja i mlinova bila na prilično visokom nivou pre pokušaja implementacije, a sve se radilo već dugo unapred pre uvođenja stanja na osnovu održavanja.

Mnoga istraživanja su bila posvećena promenama i implementaciji menadžmenta. Međutim, malo istraživanja je izvršeno u okviru oblasti održavanja i posebno u stanju na osnovu održavanja. Većina istraživanja u okviru uslova za održavanje u energetske industriji daje malo pažnju na to kako bi trebalo da moć komunalije sprovedi na osnovu stanja održavanja i šta strategija treba da primenjuje. Nekoliko sličnih izjava daju dokaz da postoji potreba za dodatnim istraživanjima u okviru oblasti.

Međutim, ako ne u izobilju, neka istraživanja su izvršena u okviru oblasti. Pitanje je ovo: Kako se ovo istraživanje razlikuje od ranijih istraživanja? Diskusija na ovu temu se može izvršiti na različitim nivoima. U dubini ovo istraživanje predstavlja nove poglede o stanju na osnovu održavanja. Tako je predstavljeno da je međusobni uticaj između tehnologije, ljudi i organizacija veoma važan u procesu implementacije i u procesu operativnih programa. Takođe, treći faktor je dodat na pitanje o donošenju odluka, a možda posebno o ranim fazama donošenja odluka.

Akademski značaj istraživanja proizilazi iz činjenice da prethodna istraživanja o promenama i implementaciji menadžmenta je ponovo radila na novim podacima i da je nova oblast – implementacija stanja na osnovu održavanja. Nekoliko faktora iz prethodnih istraživanja su verifikovani da se uklapaju u ovu novu oblast.

Razvijen je metod implementacije koji mogu da koriste kompanije prilikom sprovođenja uslova na osnovu održavanja i predstavlja industrijski značaj. Ovakav opšti metod sprovođenja je do sada predstavljen na osnovu nedostatka održavanja.

10. PREDLOG DALJIH ISTRAŽIVANJA

Naučni doprinos ovog rada se može posmatrati u užem smislu i tada predstavlja sistematizovan pregled metoda kao i izbor odgovarajućih parametara koji učestvuju u formiranju datog modela, a širi smisao se ogleda u mogućnosti primene ovih metoda na svim komponentama sklopova motornih vozila.

Postoje moguće buduće studije ovog istraživanja. Kao što je ranije dovelo do ove teze prezentovanje studija o korišćenju na osnovu stanja održavanja i praćenja stanja u industriji. U njoj se zaključuje da velike kompanije koriste praćenje stanja u većoj meri nego mala i srednja preduzeća, Bilo bi zanimljivo da se, kao prvo, sazna zašto, i drugo, pokušati da se razviju alati koji pomažu manjim preduzećima prilikom procesa implementacije. Takođe, postoji nizak nivo integracije održavanja i logistička funkcija u projektima razvoja proizvodnje. Koristeći Dizajn za održavanje i možda Dizajn za praćenje stanja u ranim fazama razvoja projekata može pomoći da uklonite neke od rasipanja sredstava.

11. LITERATURA

1. Adamović, Ž., Ašonja, A., Milošević, D., Paunjorić, P., i dr., Teledijagnostika mašina, Duga knjiga, Sremski Karlovci, 2011., ISBN 978-86-86127-30-3
2. Adamović, Ž., Bešić, C., „Održavanje tehničkih sistema“, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2008.
3. Adamović, Ž., Đurić, Ž., Josimović, Lj., Paunjorić, P., Osnovi hidraulike i pneumatike, Tehdis, Smederevo, 2002
4. Adamović, Ž., Gavrilov, O., Milanović, R., Milutinović, D., Adamović, M., Informacione tehnologije i savremeno poslovanje, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2006
5. Adamović, Ž., Ilić, B., „Nauka o održavanju tehničkih sistema“, Srpski akademski centar, Novi Sad, 2013
6. Adamović, Ž., Tomić, M., Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 1987.
7. Adamović, Ž., Joković, N., Jevtić, N., Adaptive Control of Electrohydraulic System, International Journal of Fluid Mechanic Research, Institute of Hydromechanics, Kiev, 2000.
8. Adamović, Ž., Josimović, Lj., Veljković, D., Paunjorić, P., Metodologija i tehnologija naučnog istraživanja, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2007.
9. Adamović, Ž., Milutinović, D., Vuković, V., Milovanović, R., Ašonja, A., Milenković, D., Modeli tehničke dijagnostike mašina i postrojenja, Društvo za energetske efikasnost Bosne i Hercegovine, Banjaluka, 2010.
10. Adamović, Ž., Nestorović, G., Paunjorić, P., Teorija pouzdanosti, Akademija inženjerstva održavanja, Beograd, 2008 ISBN 978-86-83701-17-9
11. Adamović, Ž., Paunjorić, P., Metode optimizacije tehničke dijagnostike, Akademija inženjerstva održavanja Srbije, Beograd, 2008.
12. Adamović, Ž., Tehnička dijagnostika, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010.
13. Adamović, Ž., Pouzdanost mašina, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2007.
14. Adamović, Ž., Savić, N., Paunjorić, P., idr., Restruktuiranje i preprojektovanje održavanja tehničkih sistema, Društvo za tehničku dijagnostiku – Adam institut, Smederevo, 2014. ISBN 978-86-83701-31-5
15. Adamović, Ž., Savić, N., Josimović, Lj., Milošević, D., Paunjorić, P., Statističke metode u naučnoistraživačkom radu, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2010, ISBN 978-86-83701-28-5
16. Adamović, Ž., Stanković, N., Savić, B., Pouzdanost mašina i postrojenja, Stylos, Novi Sad, 2011., ISBN 978-86-7473-552-7
17. Adamović, Ž., „Tehnička dijagnostika“, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1998.
18. Adamović, Ž., Tehnologija održavanja, Univezitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 1996.
19. Adamović, Ž., „Totalno održavanje“, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2005.
20. Adamović, Ž., The Research of Vibrations Levels onto the Damage of the Turbogenerator Engine Rotors, Mašinostroenie, Vol.3, pp.110-119, Moskva, 2009.
21. Alaković, L., Radić, Ž., Savanović, Ž., Značaj upotrebe teleservisa u industriji, XXXIII Majski skup održavalaca sredstava za rad Srbije, „Teleautomatizacija mašina i postrojenja u industriji-informatika i ekologija“, 28-29 maj, Vrnjačka Banja, 2010
22. Alexander Resources., Wireless M2M and Telemetric: Gaining Value in Vertical Markets, 2004. on the <http://www.alexanderResources.com>
23. Alsyouf, I.&Bjerke, B (1994). Foretageskonomisk metodara (In Swedish). Lund: Studenlitteratur.

24. Anon, Rust causes mishap at Vallvik mill, PPI This Week, 2002. 17(19-20), 4.
25. Arbner, I & Bjerke, B., (1997). *Methodology for Creating Business Knowledge* (2nd edition). Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc
26. Ašonja, A., Adamović, Ž., Dijagnostika stanja vratila primenom metode konačnih elemenata, Časopis „Menadžment znanja“, Vol.5, No.1-2, 53-59, Smederevo, 2010.
27. Ašonja, A., Adamović, Ž., Održavanje kotrljajnih ležajeva, Duga knjiga, Sremski Karlovci, 2010.
28. Ašonja, A., Ekonomska opravdanost reparacije ležišnih sklopova, Poljoprivredna tehnika, XII naučno-stručni skup DTP, Aktuelni problemi mehanizacije poljoprivrede 2008, Institut za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivredni fakultet, Vol.33, No.1, 67-73, Beograd, 2008
29. Baldini, A., i dr, „Priručnik za održavanje industrijskih postrojenja“, Održavanje mašina i opreme – OMO, Beograd, 1979.
30. Barlow, R., Proschan, F., *Mathematical theory of reliability*, New York, 1996.
31. Batalović, V., Hidraulički transport čvrstih materijala, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2007.
32. Cigolini, R &Turco. F., (1997), Total Productive Maintenance Practices: A Survey in Italy, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 3(4), pp.259-272.
33. Cooke, F., (2000) Implementing TPM in Plant Maintenance: Some Organizational Barriers. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 17(9), pp.1003-1006.
34. Cook, R., &Paulsen, J., (1997), Concepts for Measuring Maintenance Performance and Methods For Analysing Completing Failure Modes. *Reliability Engineering and Aystem Safety*, 5(2), pp. 135-141.
35. Crow, L.H., Reliability analysis for complex repairable systems, in *Reliability and Biometry*, Philadelphia, Pennsylvania: SIAM., 1974., 379-410.
36. Cox, D.R. Oakes, D., *Analysis of Survival Data*, London: Chapman & Hall. 1984., 91-113.
37. Dengton, K., (1996), Four Simple Rules For Leading Change. *Empowerment in Organizations*, 4(4), pp. 5-9.
38. Dimitrijević, D., Paunjorić, P., Adamović, Ž., Janjić, Z., Nikolić, D., Janjić, N., Flexible Application of CAD/CAM Systems and Optimisation of the Production Process as Factors of Strengthening the Competitiveness of small and medium sized Enterprises of apparel Industry in Developing Countries, *Journal of the Balkan Tribological association*, Book 1, Vol 23 (2017), Sofia, Bulgaria (potvrda 09.06.2016.)
39. Fabrycky, W. J., (2006). Embedding integrated product Development within the Systems Engineering Process. 5th International Seminar and Workshop on Engineering Design, Zielona Gor, Poland.
40. Fernandez, O., Labib, A., Walmsley, R., & Petty, D.,(2003), A Decision Support Maintenance Management System. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20(8), pp. 956-979.
41. Garvin, D. A., (2000), *Learning in Action: A Guide to Putting the Learning Organization to Work*, Boston: Harvard Business School Press.
42. Gits, C. W., (1994), Structuring Maintenance Control Systems. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(7), pp. 5-17.
43. Hansson,J., Backlund, F., & Lycke, L., (2003), Managing Commitment: Increasing the Odds for Successful Implementation of TQM, TPM or RCM. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20(9), pp. 993-1008.
44. Hess, S., Biter, W., & Hollingsworth, S., (2001). An Evaluation Method for Application of Condition-Based Maintenance Technologies. *Proceeding of Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Philadelphia, P.A., USA.
45. Higgs, P. A., Parkin, R., Jackson, M., Al-Habaibeh, A., Zorriassatine, F., & Coy, J., (2004), A Survey on Condition Monitoring Systems in Industry. 7thBiennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, Manchester, UK.

46. Hokstad, P., Jersin, E., Sten, T., A risk influence model applied to North Sea helicopter transport, *Reliability Engineering & System Safety*, 2001., 74(3), 311-322.
47. Hoyland, A., Rausand, M., *System reliability Theory: Models and Statistical Methods*, New York: John Wiley & Sons, Inc. 1994.
48. Hubka, V., Eder, e., (1988), *Theory of Technical Systems – A Total Concept Theory for Engineering Design*. Berlin: Springer – Verlag.
49. Hubka, V., (1982) *Principals of Engineering Design*. London: Butterworth Scientific.
50. Ignjatović D., Jovančić P., *Mašine i uređaji za površinsku eksploataciju i transport - zbirka zadataka*, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, 2012.
51. Ilić. B., Adamović Ž., Savić, B., Paunjorić P., *Automatizovani dijagnostički sistemi električnih mašina*, Srpski akademski centar, Novi Sad, 2012, ISBN 978-86-89087-01-7
52. Ivković, S., Ignjatović, D., Jovančić, P., Tanasijević, M., *Projektovanje održavanja opreme površinskih kopova uglja*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2007.
53. Jackson, M., & Petersson, P., *A Model for Development of Future Manufacturing Systems*. 32nd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Leuven, Belgium, 1999.
54. Jardine, A. K. S., Lin, D., % Banjevic, D., (2006). *A review of Machinery Diagnostics and Prognostics Implementing Condition – Based Maintenance*. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), pp. 1483-1510.
55. Jevtić, N., Adamović, Ž., Josimović, Lj., Paunjorić, P., *Hidraulični cilindri*, Akademija inženjerstva održavanja, Beograd, 2008
56. Jiang, G., Zhaohui, L., Yitao, C., Yuewu, W., & Shijie, C., (2002). *Virtual Environment Conceptions for CBm of Hydro-electric Generating Units*. *International Conference on Power System Technology*, Kunming, China.
57. Jick, T., (1991). *Implementing Change*. Note 9-491-114, Boston: Harvard Business School Pres.
58. Johansson, P., (1997). *The Status of Maintenance Management in Swedish Manufacturing Firms*. *Journal of quality in Maintenance Engineering*, 3(4), pp. 233-258.
59. Jovančić, P., *Održavanje rudarskih mašina*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2014.
60. Josimović, Lj., Milošević, D., Savić, N., Petrov, T., Paunjorić, P., *Mere za sprečavanje oštećenja nadzemnih delova gasovoda*, Treći naučno-stručni skup „Energetska efikasnost“, Visoka tehnička škola strukovnih studija, Beograd, 23.10.2015., (ISSN 2334-914X)
61. Juran, J. M., (1989). *Juran on Leadership for Quality – An Executive handbook*. USA: The Tree Press.
62. Kolegaev, N.R., *Opređenje optimalnoj dugovečnosti tehničkih sistem*, Sovetskoe radio, Moskva, 1967.
63. Kong, L. X., and Nahavandi, S., *On-line tools condition monitoring and control system in forging processes*, *Journal of Materials Processing Technology*, 2002., 125-126, 464-470
64. Kossiakoff, A., & Sweet, W. N., (2003). *System Engineering Principles and Practice*. Hoboken: John Wiley
65. Kucora, I., Paunjorić, P., Tolmač, J., Vulović, M., James, G. Speight, Radovanović, Lj., *Coke formation in Pyrolysis Furnaces in the Petrochemical Industry*, *Petroleum Science and Technology*, 2474 Overland Road, Laramie, WY 82070-4808 USA, LPET-2016-0572; DOI:10.1080/10916766.2016.1198810 (potvrda od 07.06.2016.)
66. Kvale, S., (1996). *Interviews – An Introduction to Qualitative Research Interviewing*. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc.
67. Maggard, B., & Rhyne, D., (1992). *Total Productive Maintenance: A Timely Integration of Production and Maintenance*. *Production and Inventory Management Journal*, Fourth Quarter, pp. 6-10.
68. Markeset, T., & Kumar, U., (2001). *R&M and Risk – Analysis Tools In Product Desing, to Reduce Life – Cycle Cost and Improve Attractiveness*. *Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Philadelphia, P.A., USA.

69. Maxwell, J., (1996). *Qualitative Research Design: An interactive Approach*. Thousand Oaks. Sage Publications, Inc.
70. Moazzami, M., Hemmati, R., Haghighatdar Fesharaki, F., Rafiee Rad, S., Reliability evaluation for different power plant busbar layouts by using sequential Monte Carlo simulation, *Electrical Power and Energy Systems*, 2013., 53,987-993.
71. Moubray, J., *Reliability Centred Maintenance*, New York: Industrial Press, 1997.
72. Muždeka, S., *Logistika – Logističko inženjerstvo – pouzdanost, pogodnost za održavanje, gotovost, integralno tehničko obezbeđenje (skripta)*, SSNO, Beograd, 2000.
73. Naess A., Leira B.J., Batsevych O., System reliability analysis by enhanced Monte Carlo simulation, *Structural Safety*, 2009., 31,349-355.
74. Nikhil Dev, Samsheb, S.S. Kachhwaha, Rajesh Attri, Development of reliability index for combined cycle power plant using graph theoretic approach, *Ain Shams Engineering Journal*, Ain Shams University, 2014., 5, 193—203.
75. Paunjorić, P., Adamović, Ž., Dependence of Reliability and Availability of Dampers on Maintenance strategies of Opencast mines, *Časopis Tehnička dijagnostika*, br. 4, 2016, Beograd, ISSN 1451-1975
76. Paunjorić, P., Adamović, Ž., Implementacija održavanja prema stanju tehničkih sistema na površinskim kopovima, *Časopis Tehnička dijagnostika*, br. 3, 2016, Beograd, ISSN 1451-1975
77. Paunjorić, P., Adamović, Ž., Meza, S., Faktori jednovremenosti i električno termoakumulaciono grejanje, *Časopis „Menadžment znanja“*, Godina X br. 1-2, 2015, Smederevo ISSN 1452-9661
78. Paunjorić, P., Vulović, M., Spasić, D., Meza, S., Adamović, Ž., Model pouzdanosti u sistemu proaktivnog održavanja mašina, *Časopis „Održavanje mašina“*, br. 1, 2016, Smederevo
79. Paunjorić, P., Vulović, M., Spasić, D., Pouzdanost i proaktivno održavanje, *Majski skup održavalaca Srbije – „Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja“*, Vrnjačka Banja, 2016
80. Paunjorić, P., Josimović, Lj., Petrov, T., Savić, N., Nanomikroskopija, *Časopis „Održavanje mašina“*, br. 1-2, 2016, Smederevo
81. Paunjorić, P., Adamović, Ž., Malić, D., Podmazivanje kliznih radijalnih ležaja, *Majski skup održavalaca Srbije – „Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja“*, Vrnjačka Banja, 2016
82. Paunjorić, P., Tul, R., Cukić, D., Ispitivanje geometrijskih parametara mašina i uređaja, *Majski skup održavalaca Srbije – „Tehnička dijagnostika mašina i postrojenja“*, Vrnjačka Banja, 2016
83. Petrov, T., Savić, N., Paunjorić, P., Praćenje i kontrola realizacije projekta, *Zbornik radova Vrnjačka Banja*, 30.10.2015. (ISBN 978-86-83701-38-4)
84. Petrov, T., Savić, N., Adamović, Ž., Paunjorić, P., Sistemski pristup tehničkom održavanju – model za reinženjering, *Zbornik radova Vrnjačka Banja*, 30.10.2015. (ISBN 978-86-83701-38-4)
85. Rao, B.K.N., *Handbook of Condition Monitoring*, UK: Elsevier Advanced Technology, 1996.
86. Ristović, I., Efektivnost rada i održavanje pomoćne mehanizacije na površinskim kopovima lignita, *Rudarsko-geološki fakultet*, Beograd, 2007.
87. Savić, N., Petrov, T., Adamović, Ž., Paunjorić, P., Indikatori aktivnosti održavanja, *Zbornik radova Vrnjačka Banja*, 30.10.2015.(ISBN 978-86-83701-38-4)
88. Savić, N., Petrov, T., Paunjorić, P., Upravljanje rizikom projekta, *Zbornik radova Vrnjačka Banja*, 30.10. 2015. (ISBN 978-86-83701-38-4)
89. Tsang, A. H. C., Condition-based maintenance: tools and decision making, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1995., 1(3): p. 3-17.
90. Yam, R., Tse, P., Li, L., & Tu, P., (2001). Intelligent Predictive Decision Support System for Condition – Based Maintenance. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 17(5), pp. 383-391.
91. Walker, N., (2005). The Implementation of a Condition Based Maintenance Strategy. 18th International Conference on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management, Cranfield, UK.

92. Webera, P., Jouffe, L., Complex system reliability modelling with Dynamic Object Oriented Bayesian Networks (DOOBN), *Reliability Engineering and System Safety*, 2006., 91,149-162.
93. Wireman, T., (1990). *Word Class Maintenance Management*. New York: Industrial Press, Inc.
94. Vorfolomeev, B. H., *Naučnie osnovi*, Sovetskae radio, Moskva, 1994.

12. PRILOZI

S obzirom da je u disertaciji analizirana metoda “po konstantnom datumu” i “po konstantnoj trajnosti” (poglavlje 8.4) to je za jedan broj uređaja složenih mašina na površinskim kopovima u preduzeću RTB-Bor urađen predlog za održavanje na svakih:

- 6-8 sati
- 50 sati
- 100 sati
- 200 sati
- 500 sati
- 1000 sati
- 2000 sati i
- 5000 sati.

U nastavku se daje skraćeni opis pojedinih operacija održavanja koji je koncipiran na bazi preporuka RTB-Bor.

PLAN ODRŽAVANJA

RASPORED ODRŽAVANJA		
OPIS	RADNJA	PODMAZIVANJE
NA SVAKIH 8-10 SATI ILI DNEVNO		
Tačke podmazivanja:		
Centralni blok tornja	5 nanosa maziva na svaki priključak	MPG-EP1 mazivo
Centralni blok okvira	5 nanosa maziva na svaki priključak	
Čekrci i lančanici	5 nanosa maziva na svaki priključak	
Nosač i čašice	5 nanosa maziva na svaki priključak	
Kolektor prašine	Provera - ispusna i usisna creva, zaptivač osovine i isoust ventilatora	Pogledajte uputstvo za delove
	Provera - impulsni vazdušni ventili i filteri	
Održavanje mašine	Čišćenje bušilice	
SVAKIH 50 SATI		
Menjač motora pumpe	Proverite da ne curi ulje	80W90 mašinsko ulje
	Proverite nivo ulja	
Obrtni menjač gusenica	Proverite nivo ulja	ISO VG220 (Preporučeno mazivo)
	Proverite da ne curi ulje	
	Slušajte ima li neobičnih zvukova.	
Zategnutost gusenica	Pogledajte uputstvo za servisiranje proizvođača	
Pomoćna dizalica	Povremeni pregled	

SVAKIH 100 SATI		
Pomoćna dizalica	Promenite prvo ulje	TEXACO MEROPA 150 OR EQUIVALENT API GL-2/3
SVAKIH 250 SATI		
Obrtni menjač gusenica	Provera - zategnutost momenta ili zavrtanja/navrtki	
	Promenite prvo ulje	ISO VG220 (Preporučeno mazivo)
Dizalica sa kranom	Provera - stanje sajli	
SVAKIH 500 SATI		
Hidraulični rezervoar	Promena - odušak hidrauličnog rezervoara	Pogledajte uputstvo za delove
Kompresor	Promena - sito za kompresorsko ulje	
	Promena - filteri za kompresorsko ulje	Pogledajte uputstvo za delove
Menjač motora pumpe	Promenite prvo ulje	80W90 mašinsko ulje
Pumpa za ubrizgavanje vode	Promena - ulje kućišta radilice	SAE40 (antikoroziono)
Pomoćna dizalica	Provera - nivo ulja	TEXACO MEROPA 150 ILI EQUIVALENT API GL-2/3
Dovodno & žičano uže	Očistite i podmažite sajlu/uže	Pogledajte uputstva
Crevo/stezaljke vazdušnog kompresora	Proverite vazdušno crevo, pritegnite šrafove stezaljke	Pogledajte uputstva
SVAKIH 1000 SATI		
Prijemni rezervoar za odvajanje	Promena - ulje kompresora	DRILLCare LP-150
		DRILLCare HP-350
Filteri hidrauličnog ulja	Zamena - Glavni filteri povratnog ulja	Pogledajte uputstvo za delove
	Zamenite filter povratnog ulja kućišta	
Rotaciona glava	Zamena - ulje rotacione glave	SAE 90W mašinsko ulje
Menjač motora pumpe	Zamenite ulje	80W90 mašinsko ulje
Izmenjivač šipki	Zamenite ulje pogonskog reduktora	140W mašinsko ulje
Pomoćna dizalica	Zamenite ulje	TEXACO MEROPA 150 ILI EQUIVALENT API GL-2/3
SVAKIH 2000 SATI		
Prečistači vazduha	Zamena - prvobitni/sigurnosni delovi	Pogledajte uputstvo za delove
Obrtni menjač gusenica	Isprazniti & napuniti menjač	ISO VG220 (Preporučeno mazivo)
SVAKIH 4500 SATI		
Ležajevi motora (pogonska strana-strana kompresora)	Količina = 60 gm.	Shell Aeroshell # 7
Ležajevi motora (ne-pogonska strana - menjačka kutija) Vrh poklopca ventilatora	Motor radi- dodajte dok ne ispadne iz niže GR. potpore	Shell Aeroshell # 7
SVAKIH 5000 SATI		
Hidraulični rezervoar	Isprazniti, očistiti & napuniti hidraulični rezervoar	ISO AW32

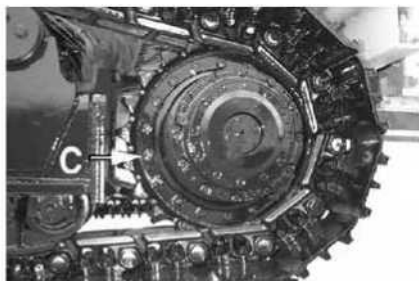
PRVI SERVIS NAKON RAZRAĐIVANJA

Nova oprema zahteva sledeći prvi servis nakon razrađivanja, nakon 50 do 100 sati rada. Posle ovog prvog servisa treba pratiti regularne intervale navedene u rasporedu održavanja.

Proverite podešavanja navrtki točkova

Sledeći servis se mora izvesti nakon 50-100 sati:

1. Proverite da li su navrtke točkova (C) zategnute na ispravnu vrednost od 571 Nm.



2. Ponovite isti postupak na pogonu druge gusenice.

SERVIS PO POTREBI

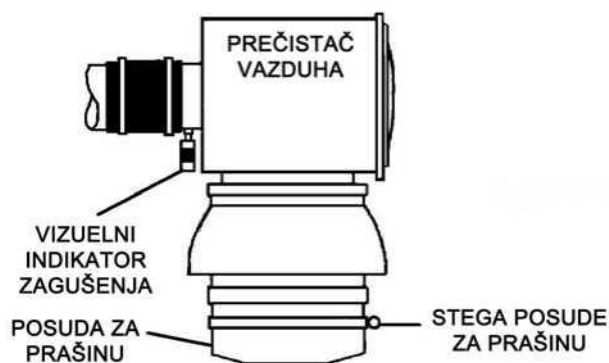
Treba obavljati sledeće servise u ovom odeljku **SERVIS PO POTREBI** pre, tokom i posle završetka dnevnog rada sa bušilicom. To je dodatak na 10-satnu svakodnevnu proceduru održavanja. Izvođenje ovih servisa može produžiti vek trajanja i povećati produktivnost vaše bušilice.

PREČISTAČI VAZDUHA

Dole su navedena detaljna uputstva za izvođenje rutinskih procedura održavanja prečistača vazduha kompresora.

Indikatori prečistača vazduha

Proveravajte vizuelne indikatore zagušenja prečistača vazduha pre, za vreme i nakon svake smene.

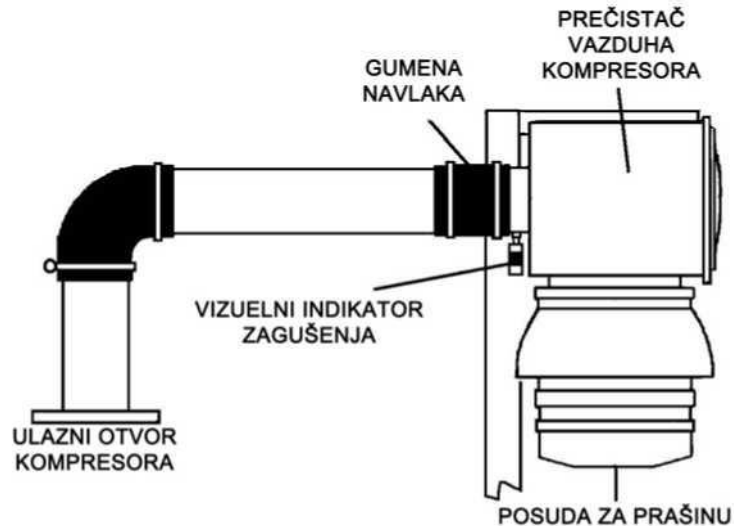


Očistite i pregledajte vizuelne indikatore zagušenja prečistača vazduha kompresora. Treba da su **ZELENI**. Ako su **CRVENI** očistite ili zamenite filtere.

Nakon čišćenja filtera resetujte indikator zagušenja na **ZELENO** kada ponovo postavite filter u kućište prečistača vazduha.

Prečistači vazduha kompresora se moraju proveriti kako bi se uverili da se indikatori zagušenja nisu zaglavili. To proverite utiskujući gumenu navlaku. Unutrašnji zeleno/crveni indikator treba slobodno da se pomera.

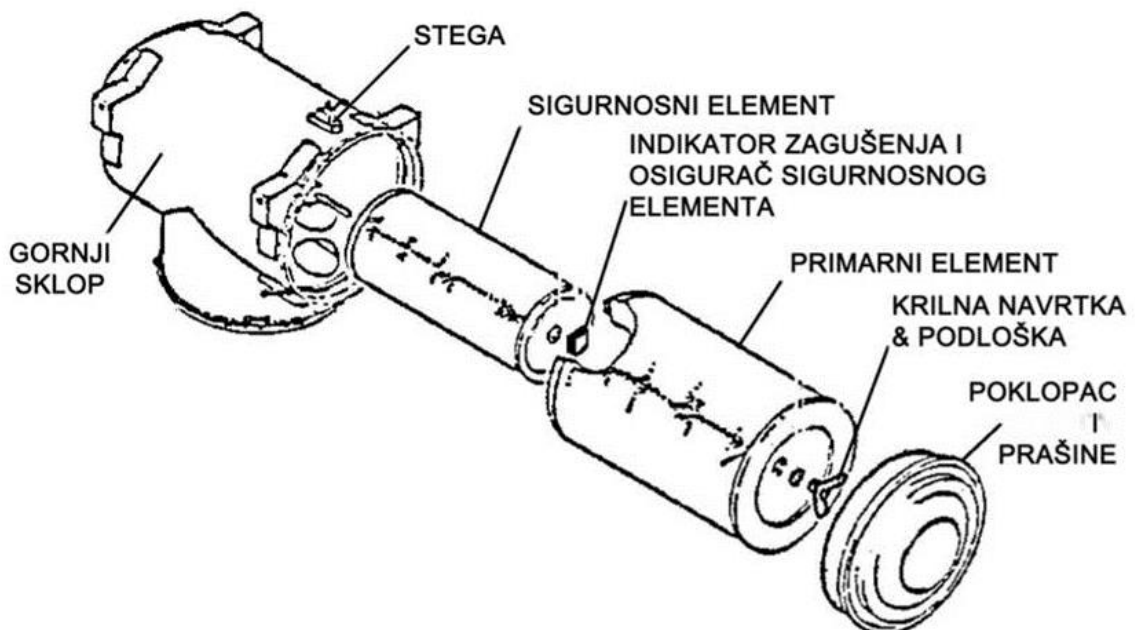
Spojevi i cevi



Proverite spojeve i cevi prečistača vazduha da ne ispuštaju pre, tokom i nakon svake smene. Proverite da li su svi spojevi između prečistača vazduha i kompresora pritegnuti i zaptiveni.

Delovi prečistača vazduha

Prečistač vazduha je suvog tipa sa dva dela: Primarni element koji je zamenjiv i može se očistiti, i sigurnosni element koji se može samo zameniti i nikad se ne čisti.



Kada je vizuelni indikator zagušenja CRVEN, očistite i zamenite delove prečistača

vazduha. Mora se izvršiti sledeća procedura održavanja.

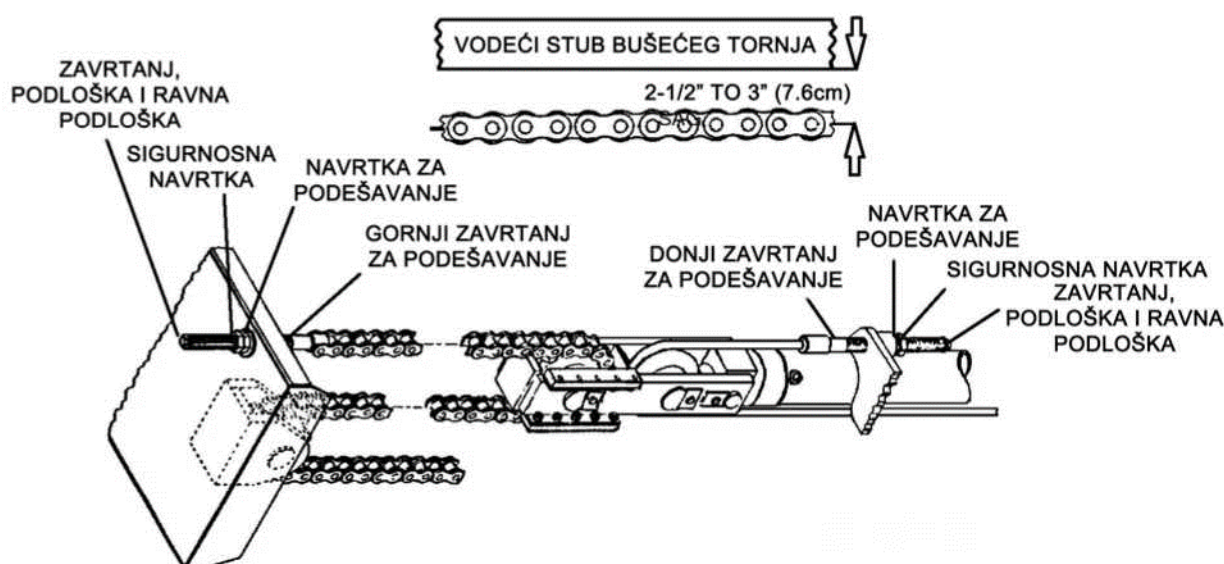
1. Otpustite tri stege koje pridržavaju posudu za prašinu.
2. Uklonite posudu za prašinu.
3. Uklonite krilnu navrtku i podlošku. Pažljivo uklonite primarni element prečistača vazduha.
4. Pregledajte indikator zagušenja sigurnosnog elementa (sigurnosni signal). Ako je indikator CRVEN, zamenite sigurnosni element.
5. Očistite unutrašnjost poklopca i kućišta sa čistom, vlažnom krpom.

POGONSKI LANCI BUŠILICE

Povremeno pregledajte lance kako biste proverili istrošenost i ispravnost.

Podešavanje pogonskih lanaca za pomeranje bušilice

1. Sa spuštanim tornjem i rotacionom glavom na vrhu tornja ali tako da ne dodiruje odstoynike, izmerite ulegnuće gornjeg pogonskog lanca od donjeg dela prednjeg tornja do centra pogonskog lanca. Ulegnuće ne sme biti veće od 7.6 cm.



2. Ako je ulegnuće lanca veće od 7.6 cm, pritegnite navrtke za podešavanje na vrhu tornja. Zategnite lanac tako da ulegnuće oba pogonska lanca bude između 6.35 cm i 7.6 cm.
3. Ako jedna strana pogonskog sistema ide ispred druge pri spuštanju ili podizanju rotacione glave, zategnite gornju podešavajuću navrtku one strane pogonskog lanca koja predvodi.
4. Podignite toranj i spustite rotacionu glavu sve dok osovinu ne dotakne centralizator. Proverite da li je osovinu dobro poravnata sa centralizatorom.
5. Ako osovinu nije poravnata sa centralizatorom, to se može ispraviti podešavanjem bilo koje strane pogonskog sistema.
 - a. Spustite toranj i otpustite gornju podešavajuću zavrtnu i zategnite donju podešavajuću zavrtnu da biste odmakli osovinu od lanca na kome radite.
 - b. Otpustite donju podešavajuću zavrtnu i zategnite gornju podešavajuću zavrtnu kako biste primakli osovinu lancu na kome radite.
 - c. Podešavajuća zavrtna sa jedne strane pogonskog lanca mora biti zategnuta

jednakim brojem okreta (računajući i delove okreta) kojim je popuštena sa druge strane tako da se tenzija lanca ne menja.

6. Podignite rotacionu glavu na vrh tornja. Ako su pogonski cilindri u potpunosti uvučeni pre nego što rotaciona glava dođe do odstoynika na vrhu tornja, donje podešavajuće zavrtnke se moraju popustiti a gornje zategnuti.
7. Spustite rotacionu glavu na dno tornja. Ako su pogonski cilindri u potpunosti izvučeni pre nego što rotaciona glava dođe do odstoynika na dnu tornja, gornje podešavajuće zavrtnke se moraju popustiti a donje zategnuti.
8. Postavite sigurnosnu navrtku na svaku podešavajuću zavrtnku, a kao dodatnu meru predostrožnosti dodajte i zavrtnanj, sigurnosnu podlošku i ravnu podlošku na kraj svake podešavajuće zavrtnke.
9. Podižite rotacionu glavu na vrh tornja dok vrh rotacione glave ne počne da dodiruje odstoynike. Ako rotaciona glava dodiruje samo jedan odstoynik, razmak između drugog odstoynika i rotacione glave se mora popuniti podmetačima.

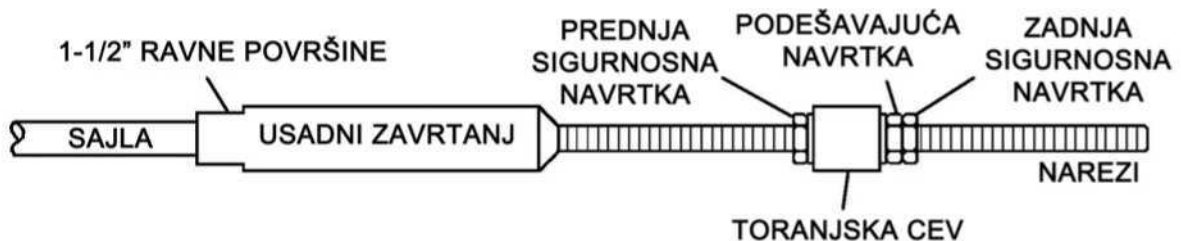
Smernice za zamenu

Crtež pokazuje razmotan prikaz žičanog užeta. Žičano uže je sastavljeno od snopova omotanih oko jezgra. Svaki snop je sastavljen od pojedinačnih žica. Ako su u užetu polomljene četiri (4) žice iz istog snopa unutar pouzne dužine, uže se prema ASME standardima treba zameniti.

Jedna pouzna dužina jeste dužina užeta koje treba jednom snopu da napravi ceo okret. Prečnik užeta se meri na najvišim tačkama. Prečnik se NE meri preko ravnih delova snopa.

Podešavanja pogonske sajle

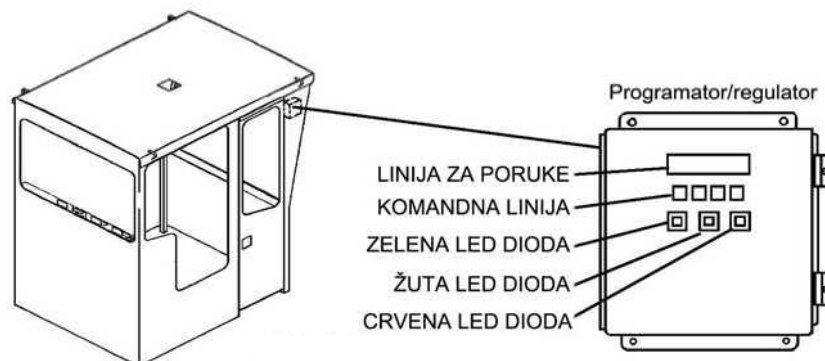
Da bi sprečili sajlu da se „odmota” prilikom podešavanja sajle, postavite 1-1/2" jednostrani viljuškasti ključ na usadni zavrtnanj sajle kako biste je sprečili da se okreće. Ako dozvolite sajli da se odmota, zahtevaće česta podešavanja koja će upotrebiti sve žice za podešavanje.



1. Pomerite rotacionu glavu na vrh tornja.
2. Postoje dve sigurnosne navrtke na prednjem delu metalnog kraja sajle i jedna sigurnosna navrtka na stražnjem delu. Pravilni postupak za podešavanje sajle je da popustite prednji sigurnosni zavrtnanj nekoliko okreta kako biste omogućili zatezanje sajle. Potom, popustite spoljni stražnji sigurnosni zavrtnanj kako biste omogućili podešavajućem zavrtnju da se rotira. Držeći usadni navrtanj sajle sa ključem, zategnite podešavajući zavrtnanj prema držaču.
3. Sajla NE sme da rotira dok se rotaciona glava pomera gore i dole na tornju. Kada su upotrebljene sve žice za podešavanje, sajla se mora zameniti.

DODATAK - BUBANJ SA MAZIVOM

Na bušilicama opremljenim dodatnim sistemom za centralizovano podmazivanje zamenjivanje 55- galonskog (208.45 litara) bubnja za podmazivanje potpada pod održavanje "po potrebi". Programator/regulator se nalazi unutar kabine, na strani pored vrata sa strane tornja.



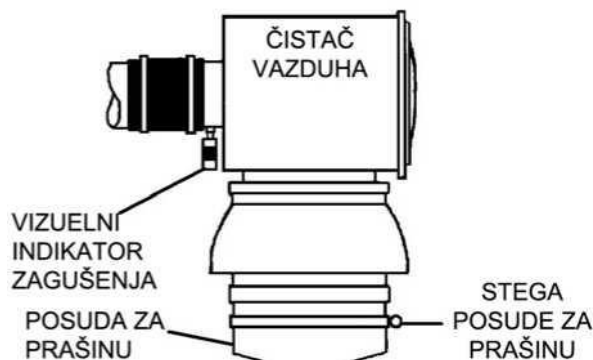
ODRŽAVANJE (NA 8-10 SATI ILI SVAKODNEVNO)

PREČISTAČI VAZDUHA

Dole su navedena detaljna uputstva za izvođenje rutinskih procedura održavanja prečistača vazduha kompresora.

Indikatori prečistača vazduha

Proveravajte vizuelne indikatore zagušenja prečistača vazduha pre, za vreme i posle svake smene.

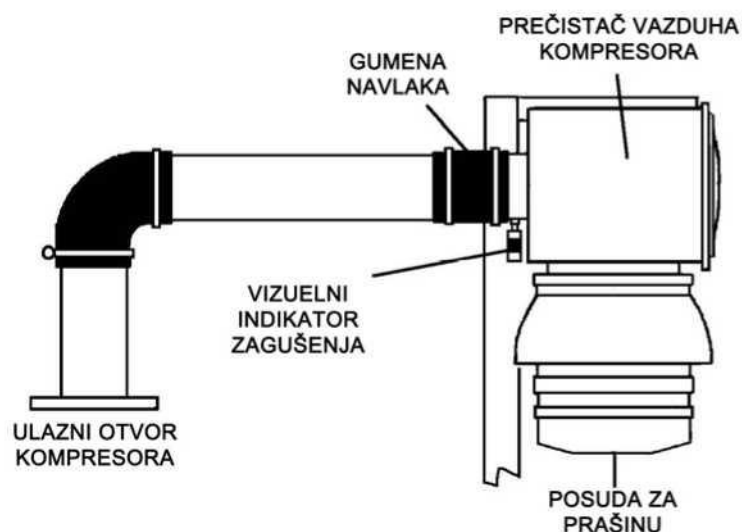


Očistite i pregledajte vizuelne indikatore zagušenja prečistača vazduha kompresora. Treba da su ZELENI. Ako su CRVENI očistite ili zamenite filtere.

Nakon čišćenja filtera resetujte indikator zagušenja na ZELENO kada ponovo postavite filter u kućište prečistača vazduha.

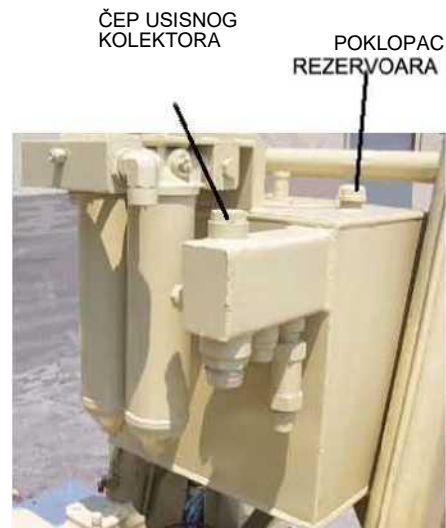
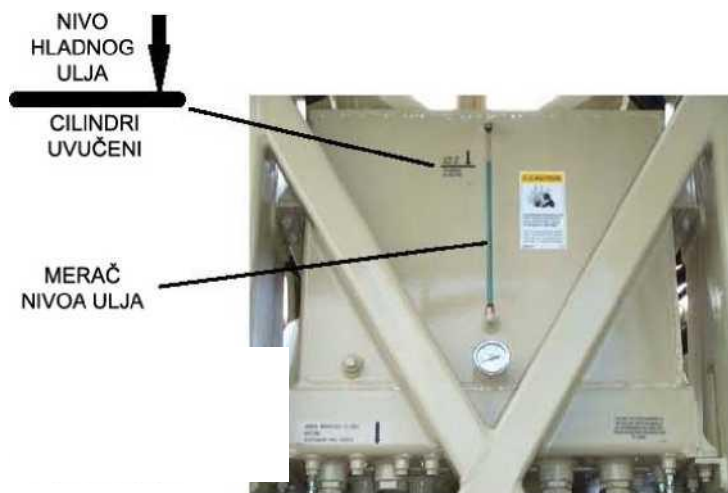
Prečistač vazduha kompresora se mora proveriti kako bi se uverili da se indikatori zagušenja nisu zaglavili. To proverite utiskujući gumenu navlaku. Unutrašnji zeleno/crveni indikator treba slobodno da se pomera.

Spojevi i cevi



Proverite spojeve i cevi prečistača vazduha da ne ispuštaju pre, tokom i nakon svake smene. Proverite da li su svi spojevi između prečistača vazduha i kompresora pritegnuti i zaptiveni.

Nivo ulja u hidrauličnom rezervoaru



1. Proverite nivo ulja u rezervoaru pregledom mernog prozora.
2. Nivo ulja u hidrauličnom rezervoaru zavisi od toga da li su hidraulični cilindri u izvučenom ili u uvučenom položaju. Važno je da se posmatra i obrati pažnja na sledeće informacije kada se očitava merač nivoa:
 - a. Nivo ulja sa *uvučenim svim hidrauličnim cilindarima* (toranj dole a ravnajuće dizalice podignute) treba da je u nivou sa oznakom na hidrauličnom rezervoaru pored mernog prozora.
 - b. Površina nivoa ulja **MORA** biti vidljiva kada motor radi i kada je motor zaustavljen. Ulje mora biti vidljivo u meraču u svakom trenutku. Dodajte ulje

za dovođenje do gore definisanih nivoa.

3. Ako je potrebno, dodajte sveže, čisto hidraulično ulje protiv habanja (filtrira se kroz filter od 5 mikrona) kroz poklopac punjača da nivo bude PUN (Pogledajte slika 6.5-34). **Ne dodajite ulje kroz čep usisnog razvoda.**
4. Tokom rada proveravajte termometar hidrauličnog ulja.

RUČNO PODMAZIVANJE

Sledeći postupci podmašćivanaj se moraju obaviti kao deo **10-satnog ili svakodnevnog** postupka održavanja.

Centralno podmazivanje tornja bušilice

1. Ako je potrebno podignite toranj bušilice i zaključajte ga u vertikalnom položaju.
2. Isključite električni motor.
3. Očistite sve cevne spojnice za podmazivanje.
4. Ušpricajte 5 puta mazivo MPG-EP1 u svaku spojnicu na bloku 1.
5. Obrišite višak maziva.

Centralno podmazivanje glavnog okvira

1. Ako je potrebno spustite toranj bušilice u horizontalni položaj.
2. Isključite električni motor.
3. Očistite sve cevne spojnice za podmazivanje.
4. Ušpricajte 5 puta mazivo MPG-EP1 u svaku spojnicu na bloku 2.
5. Obrišite višak maziva.

Podmazivanje čekrka i lančanika



1. Ako je potrebno spustite toranj bušilice.
2. Isključite električni motor.
3. Očistite sve cevne spojnice za podmazivanje.
4. Ušpricajte 5 puta mazivo MPG-EP1 u svaku spojnicu za podmazivanje čekrka i lančanika
5. Obrišite višak maziva.

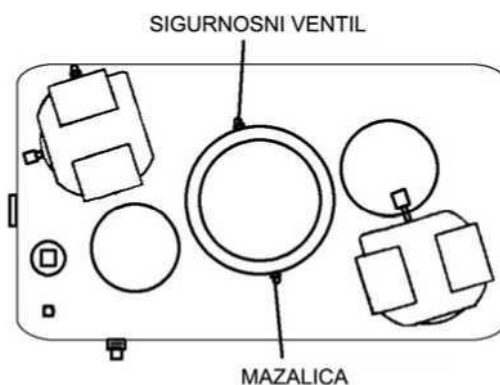
Podmazivanje čašica nosača



1. Ako je potrebno podignite toranj bušilice i zaključajte ga u vertikalnom položaju.
2. Isključite električni motor.
3. Očistite sve cevne spojnice za podmazivanje.
4. Očistite sve cevne spojnice za podmazivanje.
5. Ušpricajte 5 puta mazivo MPG-EP1 u svaku spojnicu za podmazivanje čašicu nosača šipki bušilice.
6. Obrišite višak maziva.

Podmazivanje gornjih ležajeva rotacione glave

Podmažite gornje ležajeve rotacione glave svakodnevno u tački podmazivanja na vrhu rotacione glave.



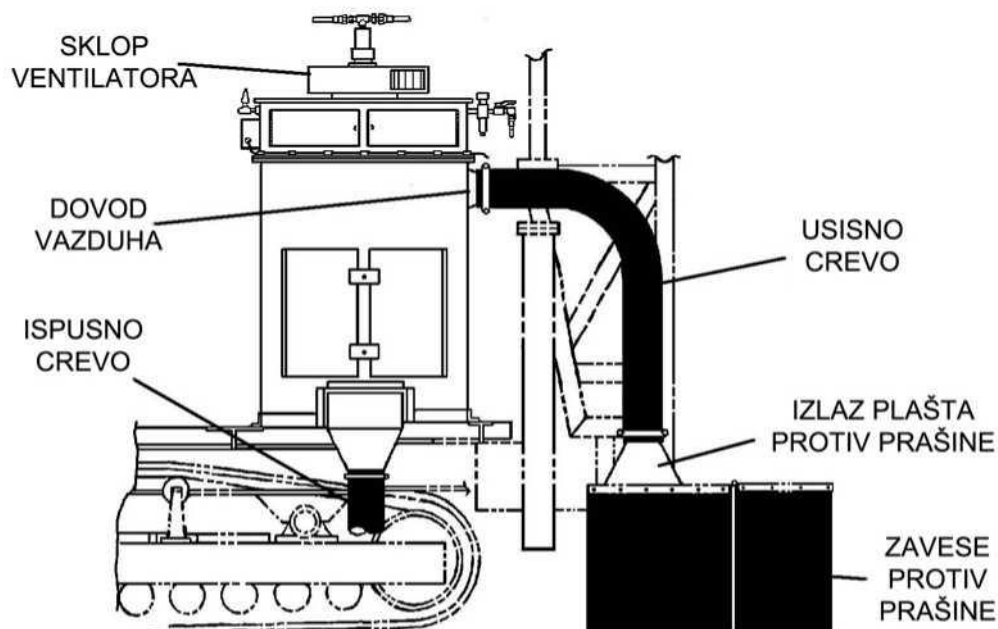
Proverite da mazivo na otpusnom ventilu može da se pomera i da otvor nije začepljen. Uklonite otpusni priključak za obavljanje ovog zadatka. Potom podmazujte lagano dok se ne otvori. Proverite da li otpusni priključak radi. Zamenite otpusni priključak i nastavite sa dodavanjem maziva sve dok otpusni indikator ne iskoči.

KOLEKTOR PRAŠINE

Da bi osigurali da sistem skupljanja prašine radi po planiranim specifikacijama treba periodično izvršiti sledeću vizuelnu inspekciju.

Ispusno crevo

Proverite da li je ispusno crevo smešteno na dnu kolektora prašine sigurno učvršćeno na ispusni konus. U ovom crevu ne sme da bude rupa i treba da sigurno zaptiva tokom perioda kada kolektor vuče vakuum. Crevo će se odmah otvoriti tokom svakog povratnog pulsiranja sabijenog vazduha kada se čiste delovi filtera.



Usisno crevo

Usisno crevo koje vodi od izvoda plašta protiv prašine do ulaza u kolektor prašine ne sme da ima prepreke kao što su sakupljena prljavština ili blato. Usisno crevo ne sme da ima nikakve pukotine ili izuzetno oštre krivine.

Sklop ventilatora

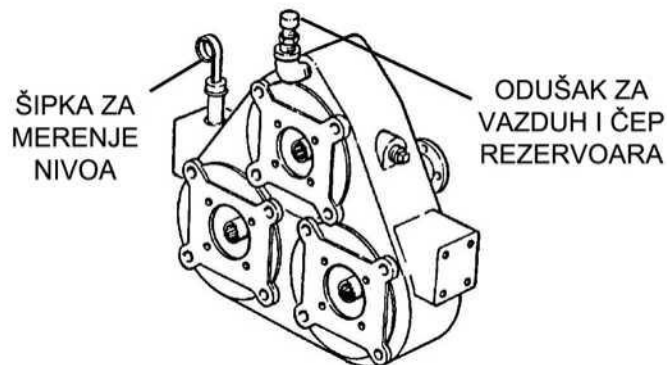
Pogledajte pražnjenje sklopa ventilatora. Nikakva vidljiva prašina ne sme da izlazi iz ispusta kućišta ventilatora. Ako je ima, delove filtera i/ili zaptivki treba **zameniti odmah da bi se izbeglo oštećenje točka ventilatora.**

ODRŽAVANJE (NA 50 SATI ILI SVAKODNEVNO)

MENJAČ MOTORA PUMPE

Provera nivoa ulja

Vrsta servisa i radni uslovi će odrediti intervale održavanja. Međutim, preporučuje se da se nivo ulja proverava kao deo **50-satnog** rutinskog rasporeda održavanja. U isto vreme se poverava i curenje ulja. Zbog toga što je sistem podmazivanja srce uređaja izuzetno je važno da se ulje održava čistim.

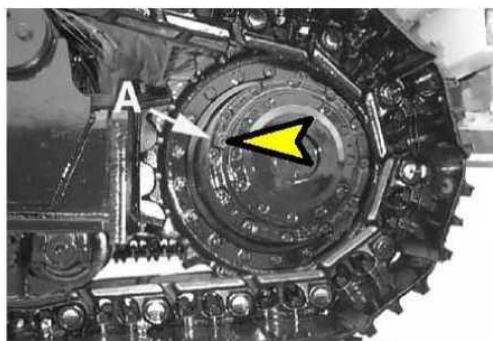


1. Pomerite bušilicu na ravnu podlogu.
2. Zaustavite električni motor pre provere ili dodavanja ulja.
3. Očistite oko merača nivoa ulja i ulaznog otvora za punjenje pre provere ili dodavanja ulja.
4. Proverite nivo ulja u menjaču pomoću mernog štapa. Izvadite merni štap i očistite ga. Vratite pa ponovo izvadite merni štap da očitete nivo ulja u menjaču
5. Ako je potrebno dodajte mašinsko ulje 80W90 i napunite do određenog nivoa. Uvek koristite čisto ulje iz čistih posuda.
6. Proverite i očistite odušak menjača.

MENJAČ GUSENICA

Sledeći postupci podmašćivanja se moraju obaviti kao deo rutinskog **50-satnog** postupka održavanja.

Provera nivoa ulja



1. Pomerite bušilicu na ravnu podlogu i isključite električni motor.
2. Proverite da obrtna kućišta nisu vrela na dodir. Ako jesu, neka se ohlade pre nastavljajna.
3. Očistite oko čepa otvora za punjenje/merača nivoa pre nego ga izvadite. Izvadite čep otvora za punjenje/merača nivoa (A).
4. Ulje treba da je u nivou dna otvora za punjenje/merača nivoa. Ako je potrebno dodajte ulje kroz ovaj otvor.
5. Preporučeno mazivo za krajnje pogonske menjače je ISO VG220.
6. Sačekajte da ulje iscure iz otvora.
7. Očistiite, postavite i zavrnite čep.
8. Proverite da ne curi.
9. Ponovite isti postupak na pogonu druge gusenice.

GUSENICE

Sledeći postupci održavanja gusenica se moraju obaviti kao deo rutinskog **50-satnog** postupka održavanja.

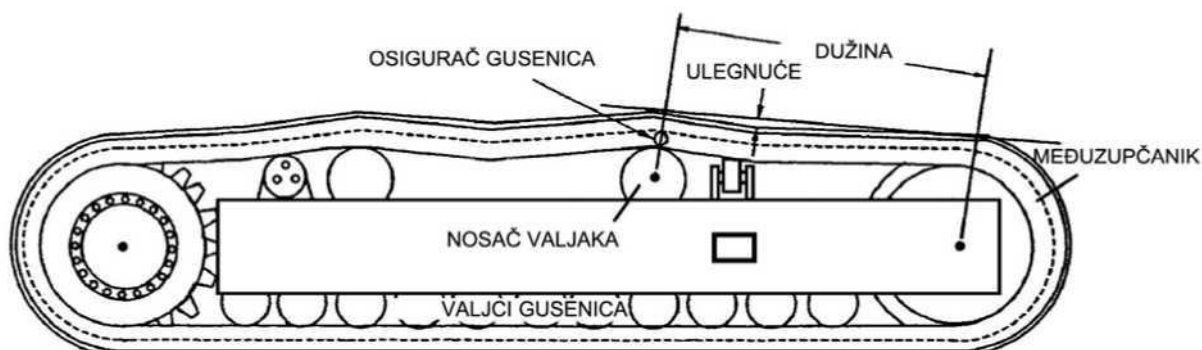
Jedan od kritičnih faktora za habanje donjeg stroja je pravilno podešavanje gusenica.

- a. Gusenice koje su **previše zategnute** će dodatno opteretiti kako donji stroj tako i delove pogonskog uređaja i smanjiti konjsku snagu.
- b. Gusenice koje su **suviše labave** stvaraju previše savijanja unazad, izvijanje i loša su osnova koja izaziva nepotrebno habanje prirubnica valjka, zubaca lančanika i vođica gusenica.

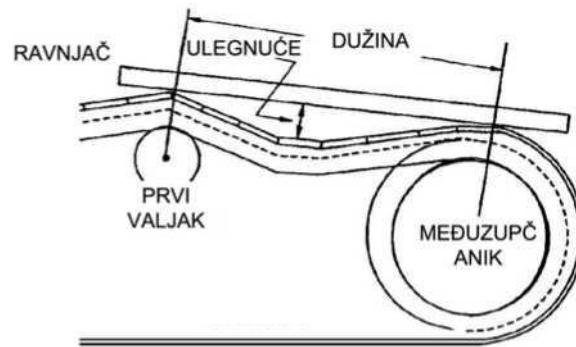
Pravilno podešavanje gusenica se menja sa uslovima podloge i primenom bušilice. Na primer, nabijen teren oduzima opuštenost i zateže gusenice. Ako je postavljen lanac za bager habanje unutrašnjeg osigurača i čaure izaziva labavljenje gusenica i uravnotežuje zategnutost gusenica izazvanu nabijenim terenom.

Provera zategnutosti gusenica

1. Bušilica treba da se nalazi na terenu. Provozajte bušilicu kroz blato da se prljavština nakupi na gusenicama.
2. neka se bušilica kreće u prevcu međuzupčanika. Zaustavite kada se osigurač gusenice nalazi baš iznad prednjeg nosača valjaka (najbližeg među-zupčaniku)



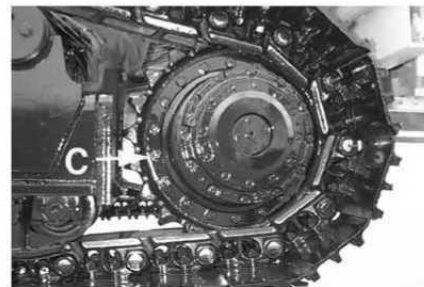
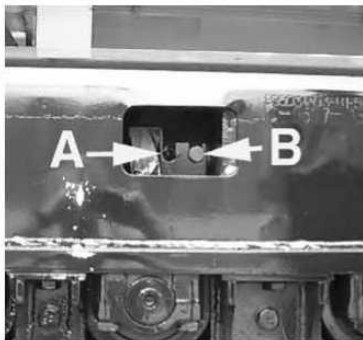
3. Postavite ravnu ivicu na vrh kramponskih ploča između prednjeg nosača valjaka i međuzupčanika.



4. Pravilan **ULEGNUĆA** (razmak između dna ravne ivice do vrha ploče gusenice) je 3-4 % razmaka između vrha međuzupčanika i nosača valjaka.
5. Gusenica zahteva ponovno zatezanje kada vrh njenog ulegnuća između vrha nosača valjaka premašuje 1-1/2" (38 mm).

Podešavanje gusenica

Ako su gusenice suviše labave moraju se zategnuti dodavanjem maziva u podešivač gusenica. Ako su gusenice previše zategnute treba ukloniti mazivo iz podešivača gusenica.



1. Očistite spojnicu za podmazivanje (A).
2. Ušpricavajte mazivo MPG-EP2 pištoljem visokog pritiska dok ne dobijete željenu zategnutost gusenica.
3. Za smanjenje zategnutosti gusenica lagano odvrnite čep na poklopcu (B). Unutrašnja opruga odbojnika će se opustiti i izbaciti mazivo.
4. Za ponovno podešavanje osigurajte poklopac (B) i ušpricavajte mazivo na tačku podmazivanja (A) dok ne dobijete željenu zategnutost gusenica.
5. Ponovite isti postupak na pogonu druge gusenice.

Proverite podešavanja navrtki točkova

Sledeći postupci održavanja gusenica se moraju obaviti kao deo rutinskog **50-satnog** postupka održavanja.

1. Proverite da li su navrtke točkova (C) zategnute na ispravnu vrednost od 420 ft./lbs (571 Nm).
2. Ponovite isti postupak na pogonu druge gusenice.

ODRŽAVANJE (NA 100 SATI)

POMOĆNA DIZALICA

Zamena ulja

Mašinsko ulje bi trebalo da se menja posle prvih stotinu (100) sati rada, a zatim na svakih 1.000 radnih sati ili šest (6) meseci, šta god se prvo dogodi. Mašinsko ulje mora da se promeni da bi se uklonile zaostale čestice koje ometaju pouzdan i siguran rad kvačila kočnice i troše ležajeve, zupčanike i zaptivke.

Mašinsko ulje takođe treba da se menja svaki put kada se okolna temperatura značajno menja i ulje različite temperature bi bilo više pogodnije. Viskozitet ulja u vezi sa okolnom temperaturom je bitan za pouzdan rad kočnica. Uverite se da je viskozitet mašinskog ulja koje se koristi u vitlu odgovarajući za prevladavajuću radnu temperaturu.

Mašinsko ulje treba menjati posle prvih **stotinu (100) sati** rada, a potom posle svakih **1000 radnih sati**.



ČEP ZA ISPUŠTANJE ULJA



ČEP OTVORA ZA MERENJE ULJA

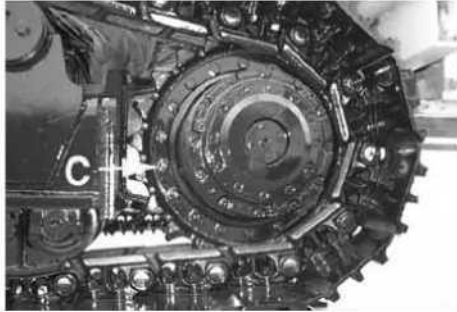
1. Pomerite bušilicu na stabilnu, ravnu podlogu i isključite električni motor.
2. Spustite toranj u horizontalni položaj.
3. Postavite posudu zapremine od najmanje 2 pinte (.94 litra) ispod ispusta za skupljanje iskorišćenog ulja.
4. Uklonite čep poklopca merača ulja da bi ulje glatko isticalo.
5. Za ispuštanje ulja uklonite mali čep isteka.
6. Ispustite ulje u odgovarajuću posudu.
7. Očistite i vratite bezbedno čep.
8. Uklonite posudu i bacite upotrebjeno ulje u skladu sa lokalnim smernicama.
9. Ponovo napunite kućište mašinskim uljem. Obrtna vitla se pune u fabrici mašinskim uljem
10. Očistite i vratite čep merača nivoa.
11. Kad god se mašinsko ulje promeni uklonite čep ventila (smešten u nosaču bubnja), očistite u rastvaraču i vratite na mesto.
12. Podignite toranj, pokrenite pomoćnu dizalicu i proverite da li curi.

ODRŽAVANJE (NA 250 SATI)

OBRTNI MENJAČ GUSENICA

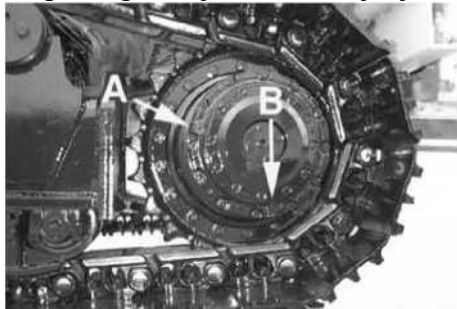
Proverite podešavanja navrtki točkova

Sledeći servis se mora izvesti na svakih 250-100 sati ili jednom mesečno:



1. Proverite da li su navrtke točkova (C) zategnute na ispravnu vrednost od 420 ft./lbs (571 Nm).
2. Ponovite isti postupak na pogonu druge gusenice.

Takvo održavanje preporučuje Katerpillar kao deo rasporeda za podmazivanje i preventivno održavanje da bi se pomogao najduži vek trajanja obrtnog menjača.



ODRŽAVANJE (NA 500 SATI)

Sito za kompresorsko ulje



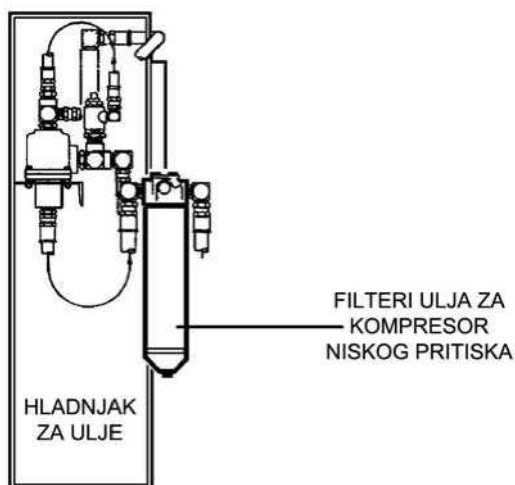
CEDILJKA ULJA ZA
KOMPRESOR



1. Temeljno očistite oblast oko sita za kompresorsko ulje.
2. Uklonite poklopac prijemnika i izvadite deo sita.
3. Očistite sito i magnetni čep.
4. Ponovo instalirajte deo sita.
5. Zamenite i sigurno namestite poklopac.

Promena filtera za kompresorsko ulje

Sledeći postupci održavanja filtera za kompresorsko ulje se moraju obaviti kao deo rutinskog **500- satnog** postupka održavanja.



Temeljno očistite i obrišite svu spoljnu nečistoću i ulje sa kućišta filtera i oblasti oko glave da smanjite na najmanju meru da zagađenje uđe u sistem.

POMOĆNA DIZALICA

Nivo ulja dizalice s kranom

Nivo mašinskog ulja treba proveravati na svakih **pet stotina (500) sati** rada.

ČEP OTVORA
ZA MERENJE
ULJA



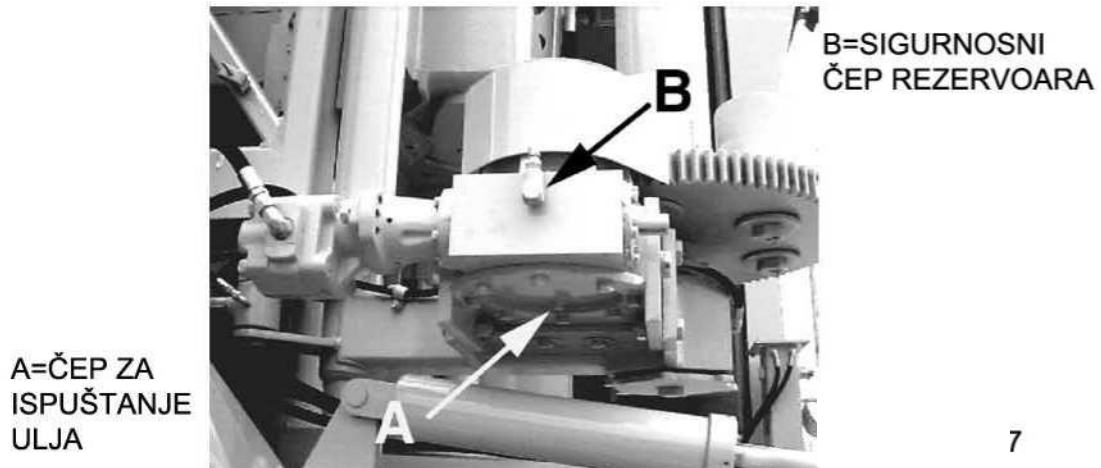
DIZALICA
(DODATAK)

1. Pomerite bušilicu na stabilnu, ravnu podlogu i spustite toranj u horizontalni položaj.
2. Isključite električni motor.
3. Da proverite nivo ulja uklonite lep punjača ulja prikazan na slika 6.9-10. Ulje treba da je u nivou sa dnom ovog otvora.
4. Ako je potrebno dodati ulje, napunite kućište do dna čepa za punjenje/merača. Obrtna vitla se pune u fabrici mašinskim uljem Texaco Meropa 150 ili mazivom slične industrijske klase koje je u skladu sa AGMA 4EP ili API GL-2 sa ISO stepenom viskoziteta 150, za temperature između -10°F(-25°C) do 80°F (26°C).
5. Ispustite i ponovo napunite kućište ako ulje pokazuje znake vlage ili drugog zagađenja.
6. Podmažite podupirač osovine bubnja i kvačilo (ako ga ima) mazivom.
7. Podmažite veze radnih spojeva koristeći ulje SAE 30.

ODRŽAVANJE (NA 1000 SATI)

Ulje pogonskog reduktora

1. Očistite oko ulaznog/mernog čepa (B,) i skinite ga.
2. Očistite oko ispusnog čepa (A) i skinite ga.

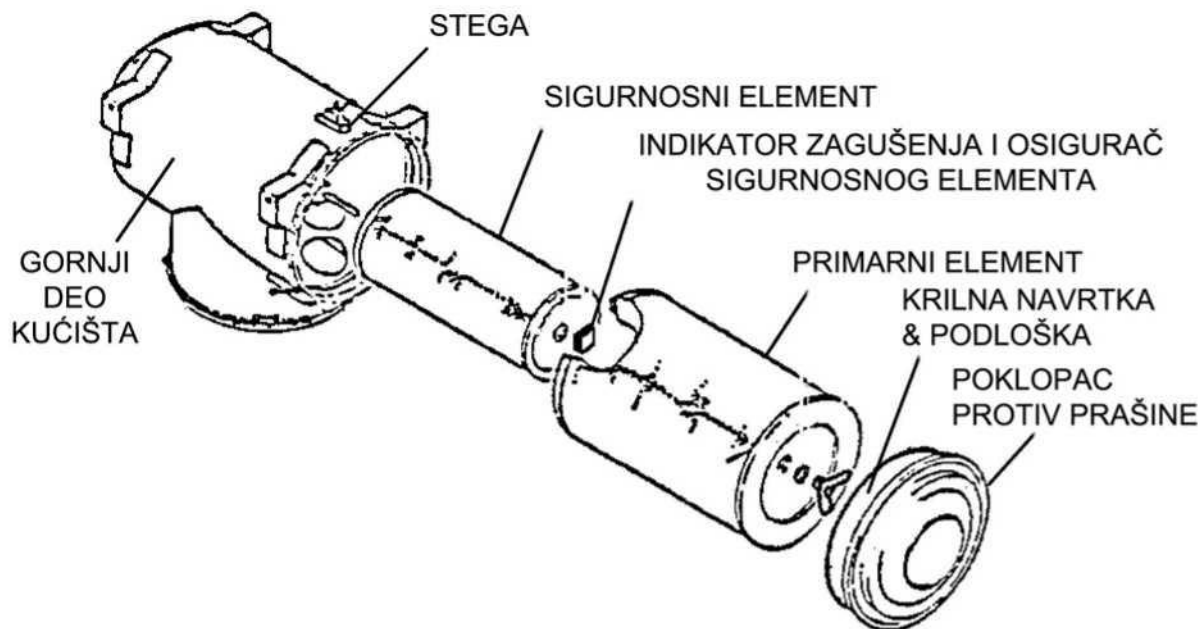


3. Neka ulje potpuno isteče iz kućišta. Uklonite iskorišćeno ulje u skladu sa lokalnim smernicama.
4. Očistite i vratite ispusni čep (A).
5. Napunite menjač kroz ulazni otvor (B) dok se nivo ulja ne izjednači sa dnom ulaznog/mernog otvora.
6. Očistite i instalirajte ulazni/merni čep (B).
7. Zamahnite izmenjivač šipki u položaj za smeštanje.
8. Pokrenite bušilicu i proverite da ne curi.

ODRŽAVANJE (NA 2000 SATI)

Prvobitni i zaštitni delovi

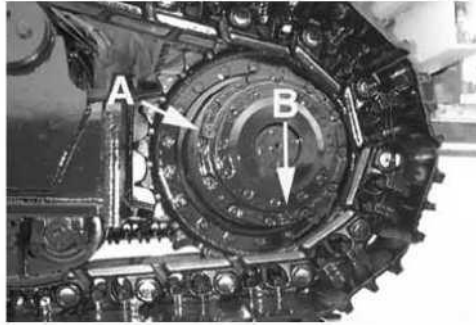
Prvobitni i zaštitni delovi se moraju zamenjivati kao deo rasporeda rutinskog **2000-satnog** postupka održavanja



1. Otpustite tri stega koje pridrđavaju poklopac za prašinu.
2. Uklonite poklopac za prašinu.
3. Uklonite krilnu navrtku i podlošku. Pažljivo uklonite primarni element prečistača vazduha.
4. Kako biste zamenili sigurnosni element uklonite osigurač i indikator zagušenja. Pažljivo uklonite sigurnosni element. Pažljivo odbacite korišćeni element.
5. Očistite unutrašnjost poklopca i kućišta čistom, vlažnom krpom.
6. Postavite novi sigurnosni element i pričvrstite ga sa indikatorom zagušenja i osiguračem.
7. Pregledajte da novi prvobitni element nije poderan ili oštećen, da nema deformisane krajeve, čauru ili zaptivke.
8. Proverite da li su krilna navrtka i podloška prvobitnog elementa napukli ili oštećeni. Zamenite po potrebi.
9. Pažljivo postavite novi primarni element i pričvrstite ga krilnom navrtkom i podloškom.
10. Postavite poklopac za prašinu.

Zamenite obrtno ulje u gusenicama

Mašinsko ulje treba menjati posle prvih **dve stotine pedeset (250) radnih sati**, a potom na svakih **2000 radnih sati**. Takvo održavanje preporučuje Katerpillar kao deo rasporeda za podmazivanje i preventivno održavanje da bi se pomogao najduži vek trajanja obrtnog menjača.



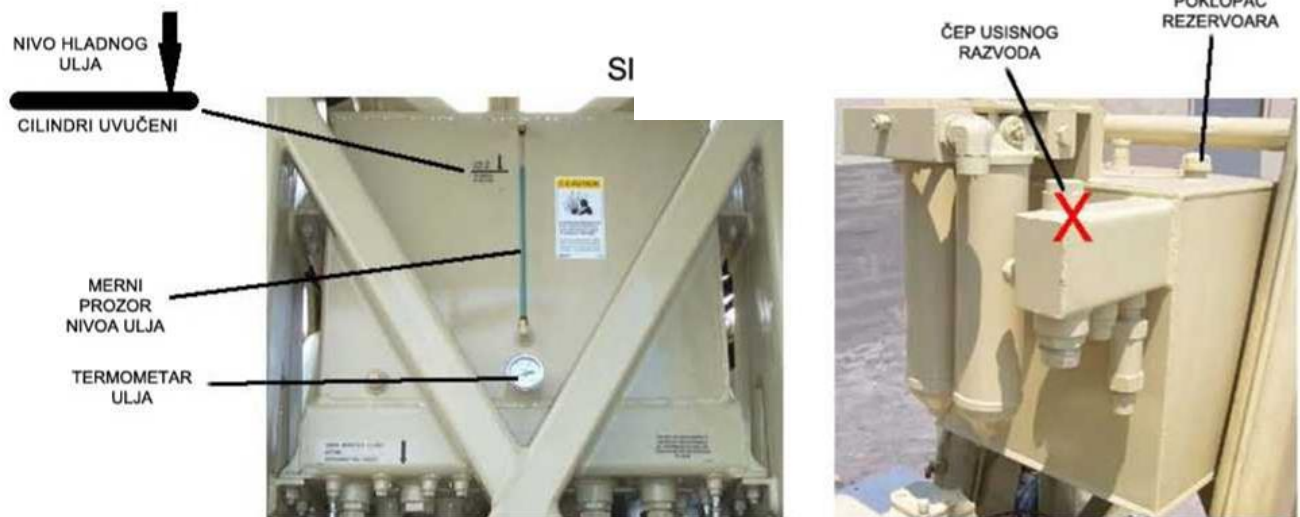
1. Pomerite bušilicu na ravnu podlogu i isključite električni motor.
2. Uverite se da li je ulje toplo pre isticanja.
3. Stavite posudu zapremine od najmanje 25 četvrtine galona (24 litra) pod ispusnu tačku pogona gusenice (B) kao što je prikazano na slika 6.11-2.
4. Uklonite čep ispusta i čep otvora za punjenje/merač nivoa (A). Sačekajte da ulje iscure iz ispusnog otvora u posudu. Ne dozvolite izlivanje korišćenog ulja na tlo. Uklonite korišćeno ulje na pravi način.
5. Očistite čep ispusta pa ga vratite.
6. **DML bušilice** - Napunite ulje kroz čep otvora za punjenje (A) sa oko 8.4 četvrtine galona (8 litara) ulja ISO VG220 dok se ne napuni i uljem preko vrha.. Neka višak ulja iscure dok nivo ulja ne bude u nivou dna otvora za punjenje (A).
7. Očistite čep ispusta pa ga vratite.
8. Posle pokretanja proverite pogon obrtnu gusenice radi curenja na radnim temperaturama.

ODRŽAVANJE (NA 5000 SATI)

HIDRAULIČNI REZERVOAR

Zamena hidrauličnog ulja

1. Otvorite otpusni ventil.
2. Pustite neka ulje isteče i zatvorite otpusni ventil.
3. Uklonite otpusno crevo.
4. Očistite i vratite čep ispusnog otvora.
5. Uklonite iskorišćeno ulje u skladu sa lokalnim smernicama.
6. Očistite oblast filtera za ulje i skinite poklopac punjača. Napunite rezervoar čistim, filtriranim hidrauličnim uljem iz neotvorene posude do pune crte.
7. Proverite nivo ulja u rezervoaru pregledom mernog prozora.



13. BIOGRAFSKI PRIKAZ

Mr. Pera (Bogoljub) Paunjorić, rođen je 15.01.1971. godine u Laznici, opština Žagubica. Osnovnu školu je završio u Laznici 1985. godine, a srednju Tehničku školu u Boru 1989. godine. Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“ je završio u Zrenjaninu 1999. godine. Magistrirao 2009. na istom fakultetu.

Pera Paunjorić, započeo je radno iskustvo na poslovima održavanja u Rudniku mrkog uglja „Jasenovac“ u Krepoljinu od 1991-1994. Od 1994. do 2016. godine radi kao profesor grupe mašinskih predmeta u Tehničkoj školi u Žagubici. Učestvovao je više puta na republičkim i okružnim takmičenjima iz oblasti mašinstva i obrada metala, obrazovnih profila automehaničar i mašinbravar. U srednjoj školi je predavao ili predaje: Mašinske materijale, Tehnologiju obrade, Mašinske elemente, Tehnologiju obrazovnog profile i Praktičnu nastavu.

Koautor je 2 rada objavljenih u međunarodnim časopisima sa SCI liste. Ima 9 objavljenih radova u naučno stručnim časopisima nacionalnog značaja, i više od 10 objavljenih radova na naučno stručnim konferencijama nacionalnog značaja. Član je uređivačkog odbora u nacionalnim časopisima: „Tehnička dijagnostika“, „Održavanje mašina“ i „Menadžment znanja“.