

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Радиша Д. Ђурић

КОНЦЕПТ РАСПОЛОЖИВОСТИ ПРИ  
ДЕФИНИСАЊУ ЕФИКАСНОГ ОДРЖАВАЊА  
ПОМОЋНЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА  
ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА

Докторска дисертација

Београд, 2016.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Radiša D. Djurić

AVAILABILITY CONCEPT IN DEFINING OF THE  
EFFICIENT AUXILIARY EQUIPMENT  
MAINTENANCE IN SURFACE MINING

Doctoral dissertation

Belgrade, 2016.

**Ментор:**

др Предраг Јованчић, ванредни професор,  
Механизација у рударству и енергетици,  
Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет Београд

**Чланови комисије:**

др Милош Танасијевић, ванредни професор,  
Елементи машинских и енергетских система,  
Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет Београд

др Угљеша Бугарић, редовни професор,  
Катедра за индустријско инжењерство,  
Универзитет у Београду – Машински факултет Београд

**Датум одбране:**

\_\_ . \_\_ . 2016.

---

# КОНЦЕПТ РАСПОЛОЖИВОСТИ ПРИ ДЕФИНИСАЊУ ЕФИКАСНОГ ОДРЖАВАЊА ПОМОЋНЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА

## ИЗВОД

Оцена расположивости представља основну компоненту у инжењерском управљању опремом. Распоживост је свеобухватни концепт који представља меру употребног квалитета техничких система, који садржи читаву серију парцијалних индикатора који се односе на време у раду и време у отказу система као и на његову функционалну погодност. Ова дисертација даје структурну анализу парцијалних индикатора као и развој модела њихове синтезе на ниво расположивости. Поменути подаци имају хибридни карактер (измерени и експертски добијени) и њихова интеграција и синтеза је остварена коришћењем фази пропозиције и фази закључивања. Овакав приступ омогућава оцену техничког система у смислу доношења одлука у циљу процене преосталих могућности машина и оптимизације трошкова животног циклуса.

Одржавање оријентисано ка расположивости је унапређење концепта поузданости. Одржавање оријентисано ка поузданости у овој дисертацији је представљено кроз математичку релацију која описује очекивано време настанка отказа гусеничног механизма код булдозера у функцији садржаја прашине ( $\text{SiO}_2$ ) тј. у односу на интензитет хабања. Ова релација је базирана на подацима о отказима гусеничног механизма и на карактеристикама стенског материјала у смислу интензитета трошења горњих ролни на механизму.

Да би приказала могућности развијеног модела оцене расположивости, ова дисертација приказује студију случаја оцене расположивости булдозера. Булдозери су једне од најчешће коришћених машина на површинским коповима који раде у сложеним условима под пресијом постизања великих радних учинака са што мањим застојима и са што мањим трошковима радног века. Студија случаја приказује два приступа. Први је базиран на прикупљању експертских оцена, њиховој статистичкој обради, док је други приступ базиран на мерењу и статистичкој обради података из експлоатације и одржавања машине.

---



---

Ово истраживање има значај за инжењеринг који анализира рад гусеничног механизма на булдозерима у смислу предикције времена отказа и трошкова одржавања ових машина. Такође има значај на инжењеринг у експлоатацији и одржавању ових машина у смислу управљања опремом. Овакав приступ даје смернице за развој концепта одржавања према расположивости.

**Кључне речи:** управљање опремом, инжењерство одржавања, расположивост, фази закључивање, прикупљање података, булдозер.

**Научна област:** Рударско инжењерство

**Ужа научна област:** Механизација у рударству и енергетици

**УДК:** 621.86:621.87  
622.23/.24.05:622.271  
622.68(043.3)

---

---

## **AVAILABILITY CONCEPT IN DEFINING OF THE EFFICIENT AUXILIARY EQUIPMENT MAINTENANCE IN SURFACE MINING**

### **ABSTRACT**

Availability evaluation is one of basic components for engineering asset management. Availability is overall concept representing measurement for quality of service level of analyzed engineering system, which contains series of partial indicators related to time in operation and time for maintenance activities and functional properties of the system. This article describes analysis and structuring of partial indicators, as well as development of model for their synthesis to the level of availability. Mentioned data are of hybrid character (measured and experts judgment), hence the fuzzy inference model is suggested for their processing and integration into the availability. This approach provided possibility for evaluation of a technical system in sense of decision making about remaining capabilities and optimization of life cycle costs.

Maintenance related to availability is upgrade of reliability concept. As maintenance related to reliability, this paper describes a mathematical relation which is developed to estimate the occurrence of track mechanism failure in function on the mineral dust ( $\text{SiO}_2$ ) content, i.e. wear intensity. This relation is based on actual data of track-type machine (bulldozers) failures, the properties of rocks and measurements of wear intensity on the upper rollers of track mechanism.

To demonstrate the opportunities of developed model for availability evaluation, this article provides a case study related to bulldozers. Bulldozers are one of the most common machines operating on surface mines at difficult conditions, under pressure for achieving required performance with low stoppages and reduced costs during overall operational life. Case study included two approaches. First one is based on data collected by expert's judgment, while the other one is based on measurement and statistical processing of data.

This research has impact on proper management of track-type machines operating on lignite open pits, in the sense of predicting time to failures and cost of maintenance of these machines and on proper management of operation and maintenance in sense of asset management. This approach provided guidelines for the establishment of availability centered maintenance model.

---

---

**Key words:** Asset management, Maintenance engineering, Availability, Fuzzy inference, Data collection, Bulldozer.

**Scientific field:** Mining engineering

**Narrow scientific field:** Mechanization in mining and energetics

**UDC:** 621.86:621.87  
622.23/.24.05:622.271  
622.68(043.3)

---

## САДРЖАЈ

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА _____	1
1.1. Увод _____	1
1.2. Предмет и циљ истраживања _____	1
1.3. Полазне хипотезе _____	3
1.4. Примењене методе истраживања _____	3
2. ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА ФЕНОМЕНА РАСПОЛОЖИВОСТИ И ПРИКАЗ УОБИЧАЈЕНИХ МЕТОДА ЗА РАЧУНАЊЕ ПАРАМЕТАРА РАСПОЛОЖИВОСТИ _	5
2.1. Сигурност функционисања _____	16
2.2. Закони расподеле, Вејбулова расподела _____	27
2.3. Утврђивање теоријског закона расподеле _____	31
2.4. Тропараметарска Вејбулова расподела _____	37
2.5. Сложена Вејбулова расподела _____	39
2.6. Случај малог узорка _____	40
2.7. Оцена погодности одржавања _____	41
3. ЗНАЧАЈ, УЛОГА И МАШИНЕ ПОМОЋНЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА _____	45
3.1. Преглед, примена и основне карактеристике помоћне механизације на површинским коповима _____	48
3.2. Примењена помоћна механизација на примеру површинских копова Електропривреде Србије _____	56

---

---

4. ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА МОГУЋИХ КОНЦЕПЦИЈА ОДРЖАВАЊА _____	66
4.1. Анализа инжењерских искустава из области одржавања помоћне механизације _____	70
4.2. Дефинисање актуелне и других потенцијално могућих концепција одржавања _____	71
4.3. Истраживање параметара расположивости у експлоатацији и одржавању _____	79
4.3.1. Израчунавање поузданости булдозера _____	80
4.3.2. Израчунавање расположивости булдозера _____	86
4.3.3. Израчунавање расположивости булдозера према најкритични- јем елементу – концепт одржавања према поузданости _____	91
5. СИНТЕЗНИ МОДЕЛ ОЦЕНЕ РАСПОЛОЖИВОСТИ _____	107
5.1. Распоживост као свеобухватни концепт употребног квалитета техничког система и могућност његовог синтезног сагледавања ____	107
5.2. Теорија фази скупова као подлога за формирање математичког и концепцијског модела _____	112
5.2.1. Основни појмови из теорије Фази скупова _____	113
5.2.2. Лингвистичка вредност и лингвистичка променљива _____	122
5.2.3. Фази релације _____	126
5.2.4. Композиција фази релација _____	126
5.2.5. Могућност примене фази скупова и фази релација у процесу евалуације расположивости _____	127
5.3. Развој синтезног модела за процену расположивости _____	128
5.3.1. Модел пропозиције _____	130
5.3.2. Модел за фазификацију _____	131

---

---

5.3.2.1. Експертни приступ – фазификација експертски попуњених упитника _____	132
5.3.2.2. Нумерички приступ (приступ на бази измерених података и њихове статистичке обраде) – фазификација временски зависне функције _____	143
5.3.2.3. Фазификација нумеричких података са одступањем – случај дефинисања функционалности на бази капацитета _____	149
5.3.3. Модел фази закључивања – модел max-min композиције _____	152
5.3.4. Идентификација _____	156
5.4. Упоредна анализа добијених резултата _____	158
6. ЗАКЉУЧАК _____	161
ЛИТЕРАТУРА _____	164

---

---

## СПИСАК СЛИКА

<b>Слика 2.1.</b> Временска слика стања _____	5
<b>Слика 2.2.</b> Функција густине интервала у отказу _____	7
<b>Слика 2.3.</b> Понашање функције интензитета отказа у зависности од поузданости система _____	8
<b>Слика 2.4.</b> Структура времена у отказу _____	9
<b>Слика 2.5.</b> Погодност одржавања и структура њених компоненти _____	10
<b>Слика 2.6.</b> Конструкцијска погодност одржавања и њена обележја _____	10
<b>Слика 2.7.</b> Функције поузданости и погодности одржавања _____	13
<b>Слика 2.8.</b> Шема стандарда IEC 300-1 _____	17
<b>Слика 2.9.</b> Укупна својства техничког система, концепт изражавања перформанси према IEC _____	20
<b>Слика 2.10.</b> Функције $f(t)$ , $\lambda(t)$ и $R(t)$ за Вејбулов закон расподеле _____	29
<b>Слика 2.11.</b> Понашање Вејбулове расподеле релативних фреквенци $f(t)$ у зависности од вредности параметра $\beta$ _____	30
<b>Слика 2.12.</b> Утицај параметра облика $\beta$ на функцију поузданости $R(t)=1-F(t)$ _____	30
<b>Слика 2.13.</b> Утицај параметра облика $\beta$ на функцију интензитета отказа _____	30
<b>Слика 2.14.</b> Понашање Вејбулове расподеле релативних фреквенци $f(t)$ у зависности од вредности параметра размере $\eta$ _____	30
<b>Слика 2.15.</b> Алгоритам за утврђивање теоријског закона расподеле _____	35
<b>Слика 2.16.</b> Папир вероватноће за Вејбулову расподелу _____	36
<b>Слика 2.17.</b> Утицај параметра $\beta$ на Вејбулову расподелу, посматрано на папиру вероватноће _____	37

---

---

<b>Слика 3.1.</b> Основни и помоћни радови на површинском копу _____	45
<b>Слика 4.1.</b> Организациона шема одржавања помоћне механизације површинског копа Дрмно _____	73
<b>Слика 4.2.</b> Организациона шема помоћне механизације површинског копа Дрмно са наглашеном целином одржавања помоћне механизације __	76
<b>Слика 4.3.</b> Организациона шема текућег одржавања помоћне механизације површинског копа _____	78
<b>Слика 4.4.</b> Ток активности на одржавању помоћне механизације површинског копа _____	79
<b>Слика 4.5.</b> Вејбулов папир вероватноће за булдозер D8R (K2) _____	81
<b>Слика 4.6.</b> Дијаграми функције поузданости R(t) и функције отказа F(t) __	82
<b>Слика 4.7.</b> Вејбулов папир вероватноће за булдозер TD25H (B2) _____	84
<b>Слика 4.8.</b> Дијаграми функције поузданости R(t) и функције отказа F(t) __	85
<b>Слика 4.9.</b> Коефицијент техничке расположивости булдозера D8R _____	88
<b>Слика 4.10.</b> Коефицијент техничке расположивости булдозера TD25H ____	90
<b>Слика 4.11.</b> Положај и изглед горње ролне у оквиру гусеничног механизма дозера _____	93
<b>Слика 4.12.</b> Процес абразивног хабања горњег точка дозера TD25M _____	95
<b>Слика 4.13.</b> Дијаграм хабања горњег точка дозера TD25M _____	95
<b>Слика 4.14.</b> Горњи точкови дозера TD25M на површинским коповима Дрмно, Тамнава Запад и Велики Црљени, након 1205, 1880 и 2242 сати рада, респективно _____	96
<b>Слика 4.15.</b> Функција поузданости R(t) и параметар размере $\beta$ _____	97
<b>Слика 4.16.</b> Weibull-ов папир _____	104
<b>Слика 4.17.</b> Функција поузданости R у зависности од времена и % учешћа песка _____	104

---



---

<b>Слика 4.18.</b> Зависност између средњег времена отказа и % учешћа песка	105
<b>Слика 5.1.</b> Графички (Венов дијаграм) приказ скупова А и Б, за случај када јесу и када нису фази скупови. У случају фази скупови интензитет сиве боје представља степен припадности скупу	113
<b>Слика 5.2.</b> Функција припадности $\mu_A(x)$ фази скупа А, односно $\mu_B(x)$ фази скупа В	115
<b>Слика 5.3.</b> Пример нормалног и суб-нормалног фази скупа	116
<b>Слика 5.4.</b> Фази скуп на левој страни је конвексан, док на десној страни није	116
<b>Слика 5.5.</b> Унија фази скупови А и В	117
<b>Слика 5.6.</b> Пресек фази скупови А и В	118
<b>Слика 5.7.</b> Комплемент фази скупа А	118
<b>Слика 5.8.</b> Закон искључења трећег у класичној теорији скупова важи (горњи део слике), али у теорији фази скупови не важи (доњи део слике)	120
<b>Слика 5.9.</b> Фази скупови који јесу (А и В) и који нису фази бројеви (С – не испуњава услов нормалности и D не испуњава услов конвексности)	120
<b>Слика 5.10.</b> Фази број, интервал поверења и степен сигурности	121
<b>Слика 5.11.</b> Троугласти фази број А	121
<b>Слика 5.12.</b> Трапезоидни фази број А	122
<b>Слика 5.13.</b> Оператори модификације	125
<b>Слика 5.14.</b> Дијаграм фази модела за оцену расположивости	130
<b>Слика 5.15.</b> Фази скупови расположивости	131
<b>Слика 5.16.</b> Графичка интерпретација резултата процене расположивости за В1-D	142

---

---

<b>Слика 5.17.</b> Дијаграм функције густине отказа $f(t)$ и средње време $\bar{T}$ за Вејбулову дво-параметрску расподелу за различите вредности параметра облика $\beta$ и константне вредности параметра размере $\eta$ _____	143
<b>Слика 5.18.</b> Фазификација функције густине отказа (за $\beta=3.5$ и $1$ ) у фази бројеве правоугаоног и трапезоидног облика _____	144
<b>Слика 5.19.</b> Дијаграм теоретског капацитета _____	150
<b>Слика 5.20.</b> Фазификација нумеричких података капацитета _____	152
<b>Слика 5.21.</b> Структура max-min композиције _____	154
<b>Слика 5.22.</b> Поређење добијених резултата: а) просечна оцена за експертски приступ; б) просечна оцена машина за приступ на бази мерења; в) машина В2-Т за оба приступа; г) машина В3-Ф за оба приступа _____	160

---

---

## СПИСАК ТАБЕЛА

<b>Табела 2.1.</b> Елементи и задаци програма за обезбеђивање сигурности функционисања _____	18
<b>Табела 3.1.</b> Класификација помоћних радова на површинском копу и преглед машина _____	46
<b>Табела 3.2.</b> Преглед помоћне механизације и њихова примена на површинским коповима _____	48
<b>Табела 3.3.</b> Пресек тренутног стања дозера– костолачки басен _____	56
<b>Табела 3.4.</b> Пресек тренутног стања цевополагача и померача – костолачки басен _____	57
<b>Табела 3.5.</b> Пресек тренутног стања утоварача гусеничара – костолачки басен _____	57
<b>Табела 3.6.</b> Пресек тренутног стања утоварача на пнеуматицима – костолачки басен _____	57
<b>Табела 3.7.</b> Пресек тренутног стања хидрауличних багера – костолачки басен _	58
<b>Табела 3.8.</b> Пресек тренутног стања осталих машина – костолачки басен __	58
<b>Табела 3.9.</b> Пресек тренутног стања дозера – колубарски басен _____	59
<b>Табела 3.10.</b> Пресек тренутног стања цевополагача– колубарски басен ____	61
<b>Табела 3.11.</b> Пресек тренутног стања утоварача гусеничара– колубарски басен _____	62
<b>Табела 3.12.</b> Пресек тренутног стања утоварача на пнеуматицима– колубарски басен _____	62
<b>Табела 3.13.</b> Пресек тренутног стања хидрауличних багера – колубарски басен _____	63
<b>Табела 3.14.</b> Пресек тренутног стања осталих машина – колубарски басен ____	64
<b>Табела 4.1.</b> Основне стратегије у организовању одржавања помоћне механизације _____	72
<b>Табела 4.2.</b> Сервиси тешке механизације _____	74
<b>Табела 4.3.</b> Коефицијент техничке расположивости булдозера D8R _____	86

---

---

<b>Табела 4.4.</b> Параметри медијалног ранга _____	86
<b>Табела 4.5.</b> Параметри најмањих квадрата _____	86
<b>Табела 4.6.</b> Реална расподела _____	87
<b>Табела 4.7.</b> Математичка расподела _____	87
<b>Табела 4.8.</b> Коефицијент техничке расположивости булдозера TD25H _____	89
<b>Табела 4.9.</b> Параметри медијалног ранга _____	89
<b>Табела 4.10.</b> Параметри најмањих квадрата _____	89
<b>Табела 4.11.</b> Реална расподела _____	90
<b>Табела 4.12.</b> Математичка расподела _____	90
<b>Табела 4.13.</b> Време застоја (Time to failures, TTF) _____	100
<b>Табела 4.14.</b> Процедура за добијање функције поузданости за површински коп Дрмно _____	101
<b>Табела 4.15.</b> Функција поузданости $R(t)$ и средње време до отказа (MTTF) за анализиране копове _____	103
<b>Табела 4.16.</b> Процедура за добијање зависности између средњег времена отказа (MTTF) и процентуалног учешћа песка _____	105
<b>Табела 5.1.</b> Резултати експертског истраживања за површински коп Дрмно _____	134
<b>Табела 5.2.</b> Резултати експертског истраживања за коп Тамнава Западно поље _____	135
<b>Табела 5.3.</b> Резултати експертског истраживања за Поље Д _____	136
<b>Табела 5.4.</b> Прорачун специфичних вредности на нивоу фази скупа машине В1-Д _____	139
<b>Табела 5.5.</b> Прорачун специфичних вредности на нивоу фази скупа машине В2-Д _____	140
<b>Табела 5.6.</b> Прорачун специфичних вредности на нивоу фази скупа машине В3-Д _____	140

---

---

<b>Табела 5.7.</b> Прорачун специфичних вредности на нивоу фази скупа машине В1-Т _____	141
<b>Табела 5.8.</b> Функција поузданости за различите булдозере _____	147
<b>Табела 5.9.</b> Функција погодности одржавања за различите булдозере _____	147
<b>Табела 5.10.</b> Технички параметри капацитета _____	151
<b>Табела 5.11.</b> Одступање радног капацитета _____	151
<b>Табела 5.12.</b> Структура МАХ-МІН композиције за В1-Д машину _____	155
<b>Табела 5.13.</b> Процена расположивости на основу измерених података _____	156
<b>Табела 5.14.</b> Процена расположивости на основу експертских процена _____	158

---

---

## СПИСАК ОЗНАКА

$\varphi$  – угао заокренутости плуга дозера у хоризонталној равни

$a-b-c$  – осовинска формула грејдера

$t$  – времена рада система

$\Delta t$  – интервал времена посматрања

$\theta$  – временски период машине у застоју

$\tau$  – време застоја због активности на превентивном одржавању

$N$  – број испитиваних елемената

$N_1$  – број елемената у отказу после периода  $t$

$N_2$  – број елемената у раду после периода  $t$

$R(t)$  – функција поузданости

$F(t)$  – функција отказа

$f(t)$  – функција густине отказа (густина вероватноће појаве отказа)

$p(t)$  – функција густине вероватноће безотказног рада

$\lambda(t)$  – функција интензитета отказа

$M(t)$  – функција погодности одржавања

IEC 300 – међународни стандард о управљању поузданошћу

IEC 300-1 – међународни стандард о управљању сигурношћу функционисања

IEC 300-2 – међународни стандард обезбеђења квалитета перформанси  
сигурности функционисања

ISO 9000 – међународни стандард система управљања квалитетом

$E(t, \tau)$  – функција ефективности

$A(\tau)$  – расположивост

$FP, F$  – функционална погодност, функционалност

$I$  – интервал статистичког скупа

$i$  – дужина поједних интервала статистичког скупа

$z$  – број интервала статистичког скупа

$n$  – број података у интервалу статистичког скупа

$\bar{i}$  – средња вредност случајне променљиве

$\sigma$  – стандардна девијација

---

---

$MR, Q$  – медијални ранг

$t_{50}$  – медијана

$f_i$  – фреквенција појава у  $i$ -том интервалу

$t_{zi}$  – средња вредност  $i$ -тог интервала

$D$  – средина интервала са највећом фреквенцијом

$d_i$  – параметар који зависи од  $\Delta t$ ,  $t_{zi}$  и  $D$

$D(t)$  – варијанса

$\eta$  – параметар размере

$\beta$  – параметар облика

$\gamma$  – параметар положаја

$T_{ur}, T_{sr}$  – средња вредност времена у раду

$T_{A-SR}$  – аритметичка средина времена рада

$y$  – једначина линеарне регресије

$a, b$  – чланови/елементи линеарне регресије

$t_1$  – вредност апсцисе у првој тачки криве ( $t_{\min}$ ), у Вејбуловом папиру вероватноће

$t_2$  – вредност апсцисе добијене половљењем разлике ордината  $t_1$  и  $t_3$  ( $t_{sr}$ ), у Вејбуловом папиру вероватноће

$t_3$  – вредност апсцисе у последњој тачки криве ( $t_{\max}$ ), у Вејбуловом папиру вероватноће

$n_I, n_{II}, n_{III}$  – величина појединих узорака при одређивању поузданости

$P$  – ранг процењене непоузданости

$j$  – број отказа

$K_{tr}$  – коефицијент техничке расположивости

$K$  – реална и математичка расподела

$A$  – фази скуп

$B$  – фази скуп

$x, y$  – елемент фази скупа

$X, Y$  – надскуп или универзални скуп

$\mu_A(x)$  – функција припадности

$R$  – скуп реалних бројева

$a, b, c, d$  – параметри дефинисања облика функције припадности

---

---

$\alpha$  – степен поверења/сигурности  
 $R_1, R_2$  – фази релације  
 $K(x_i)$  – језгро фазификације  
 $P$  – фази пропозиција  
 $Z$  – скуп могућих решења  
ОПП – одржавање према поузданости  
SAE JA1012 – водич за стандард одржавања према поузданости  
HRC – тврдоћа по Rockwell-у  
 $\Gamma$  – гама функција  
 $\bar{T}$  – међувреме  
K-C – Колмогоров-Смирнов тест  
 $D_n$  – растојање/удаљеност између функције расподеле и теоријске функције  $F(t)$   
 $D_{n\alpha}$  – критична вредност растојања/удаљености  
 $\alpha_z$  – ниво значајности  
 $P_z$  – вероватноћа да се подаци прате по одређеном теоретском закону  
TTF – време застоја (Time to failures)  
 $H$  – лингвистичка променљива  
 $bp$  – тачке прелома  
FN1 – правоугаони фази бројеви  
FN2 – трапезоидни фази бројеви  
 $Q$  – капацитет булдозера при откопавању и гурању материјала  
 $V_{vp}$  – запремина вучне призме  
 $k_n$  – коефицијент који зависи од нагиба  
 $k_g$  – коефицијент губитка материјала са стране плуга приликом транспорта  
 $\eta_t$  – коефицијент временског искоришћења  
 $T_{sm}$  – укупно трајање смене  
 $k_r$  – коефицијент растреситости  
 $T_c$  – време трајања радног циклуса  
 $t_k$  – време копања материјала и формирања вучне призме  
 $d$  – растојање између  $A$

---



## **1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА**

### **1.1. Увод**

Сублимација концепта расположивости и теорије фази скупова, представља врхунски методолошки приступ при дефинисању оптималног система одржавања опреме у рударству, а посебно помоћне механизације, због великог броја разнородних машина. Међутим, врло је мали број објављених и изведених радова, или их чак уопште нема, који проблему одржавања помоћне механизације на површинским коповима приступа на овај методолошки начин. Углавном су то појединачно изведене теоретске поставке одређеног проблема, између осталог и одржавања помоћне механизације, у циљу његовог решавања. Углавном су дефинисане препоруке произвођача опреме, у складу са врстом и типом машине помоћне механизације. Према томе, често се наилази на доста недоумица око дефинисања одређених појава при одржавању овакве опреме. Теорија фази скупова је због тога и развијена, односно, користи се за сагледавање постојећих пре свега недовољно прецизних појава и феномена, и карактеристична је по томе што даје могућност рачунања са лингвистичким, а не нумеричким вредностима.

### **1.2. Предмет и циљ истраживања**

Рударске машине представљају једне од најкомплекснијих система у индустрији уопште. Комплексност се између осталог огледа и у великој вредности технолошког процеса у коме учествују, па је висок ниво расположивости један од примарних задатака који се од њих тражи. Паралелно са високом расположивошћу од ових машина се захтева и што већи радни учинак, што су често супротстављени захтеви. Један од основних циљева развоја системских наука и индустријског управљања је управо налажење међузависности између параметара расположивости и концепције управљања експлоатацијом и одржавањем специфичних техничких система.

Предмет истраживања у овој докторској дисертацији састоји се у анализи релевантних показатеља и оцене употребног квалитета, конкретно расположивости и нивоа одржавања помоћних машина на површинским коповима, све то у циљу егзактног дефинисања корелације између структуре система одржавања наведених техничких система и нивоа расположивости истих. Остварење задатог циља има за последицу побољшање рада и одржавања ових машина, односно смањења трошкова одржавања и експлоатације.

Основни циљ истраживања у овој докторској дисертацији састоји се у дефинисању ефикасног и економски оправданог система одржавања помоћне механизације на површинским коповима у зависности од очекиваног нивоа расположивости. Односно, дисертација има за циљ утврђивање методе за истраживање и обраду показатеља оцене расположивости помоћних машина на површинским коповима, као једног од најсложенијих показатеља употребног квалитета техничког система. Научно заснована метода праћења и обраде показатеља оцене расположивости помоћне механизације за површинске копове, разрешила је бројне дилеме везане за експлоатацију и одржавања ових машина, одредила реалне параметре рада и одржавања и одредила оптимално време замене ових машина, као и правовремено планирање текућих сервиса и генералних оправки, како оне не би постале лимитирајући фактор производних потенцијала уграђене основне механизације у фази редовне експлоатације површинског копа.

Опис перформансе расположивости дефинише се помоћу сигурности функционисања. Поред тога, преко ње се дефинишу и фактори који утичу на сигурност функционисања: перформанса поузданости, перформанса погодности одржавања и перформанса подршке одржавању. За расположивост се може рећи и да је комплексна карактеристика техничког система која узима у обзир екстерне и интерне чиниоце функционисања неког техничког система, односно утицаје околине тако и сопствене, уграђене чиниоце. Сви ови параметри су дефинисани као задаци истраживања при оцењивању расположивости помоћне механизације на површинским коповима, односно појаве које се проверавају истраживањем.

Према томе, основни циљ докторске дисертације је утврђивање ефикасног система одржавања помоћне механизације на површинским

---

коповима, односно утврђивању методе за истраживање и обраду показатеља оцене расположивости помоћних машина на површинским коповима.

### **1.3. Полазне хипотезе**

Полазна хипотеза у дисертацији је заснивана на поставци да је на површинском копу најбитније да су машине увек исправне и спремне за рад, нарочито у фази интензивне експлоатације. Због тога је познавање расположивости тих машина веома битан фактор за максимално искоришћење помоћне механизације, а тиме и извршење пројектованих задатака како у области експлоатације тако и у области одржавања. При томе, наведена механизација на површинским коповима је у току рада изложена великим напрезањима различитог интензитета и времена трајања, условљених дејством широког спектра експлоатационих фактора, што је учинило истраживање сложеним.

Полазна хипотеза овог истраживања могла би да се искаже и кроз следећу тврдњу: помоћна механизација на површинском копу представља сложен систем са великим бројем различитих јединица, различитих конструктивних изведби, различитих намена и произвођача, те да је дефинисање концепције одржавања системски проблем који се квалитетно може решити применом различитих научних метода. Да би се дошло до утврђивања ефикасног система одржавања, односно критеријума који дефинишу концепт одржавања, искоришћени су параметри расположивости односно поузданости, погодности одржавања, сигурности функционисања. Спону између ових целина представља методологија која је постојеће податке на адекватан нумерички начин обрадила и дала крајњи, квалитетан став, односно начин будућег рада и одржавања помоћне механизације на површинским коповима.

### **1.4. Примењене методе истраживања**

Расположивост као основна манифестација система одржавања, представља вероватноћу да ће систем, односно у овом случају објекат помоћне механизације, у било ком тренутку времена бити у стању да исправно ради тј. да се укључи у рад (уколико непосредно пре тога није већ

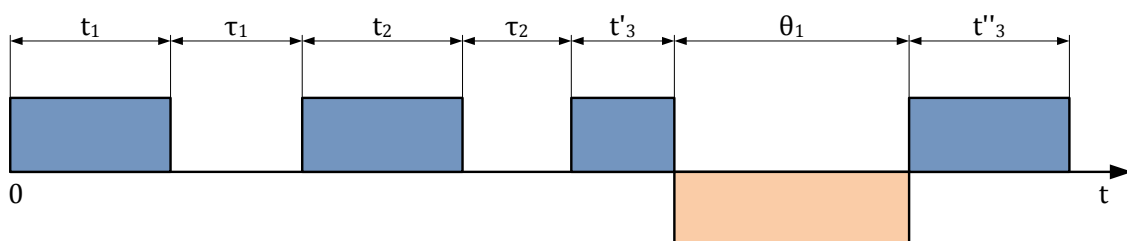
био у раду). Ово се односи на укупно време, укључујући и време складиштења, као и време технолошки и функционално неопходних застоја објеката помоћне механизације на површинским коповима. У том смислу као базична метода истраживања била би коришћена теорија вероватноће. До сада се у пракси као најпогоднији закон вероватноће показао Вејбулов дво-параметарски закон расподеле, уз коришћење медијалног рангирања и Бернарове апроксимације. Сигурно најбољи и најквалитетнији начин за прорачун показатеља расположивости помоћне механизације је прорачун на основу праћења података из експлоатације. Често се у реалним радним условима не могу наћи сви потребни подаци за апликацију теорије вероватноће па се често користи и метода експертске процене. У овом смислу коришћена је теорија фази скупова и фази пропозиције (``рачунање речима``) за апликацију експертских мишљења. Фази теорија, конкретно композиција фази релација и фазификованих функција поузданости и др., коришћена је у синтезном аспекту модела.

У докторској дисертацији извршено је праћење параметара ефикасности рада, односно праћење коефицијента расположивости, коефицијента квара, статистичка обрада времена у раду и застоју као и слаба места на машинама и трошкови одржавања, како за појединачне тако и групу машина. Дефинисани су критеријуми, односно утврђене методе за праћење и обраду показатеља сигурности функционисања – поузданости, готовости, расположивости, погодности за одржавање, као и трошкови експлоатације и одржавања помоћне механизације на површинским коповима, чиме су створени предуслови за континуално праћење рада помоћних машина и планирање њиховог ангажовања за наредни период, како са техничког тако и са економског аспекта. На бази познатих статистичких метода, на крају је извршено тестирање корелационе зависности актуелних и потенцијалних концепција одржавања са вредношћу наведених параметара расположивости – као смерница за доношење инжењерског става и на крају, доказ који треба да потврди исправност и тачност дефинисане методологије у функцији исправности утврђивања ефикасног система одржавања помоћне механизације.

## 2. ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА ФЕНОМЕНА РАСПОЛОЖИВОСТИ И ПРИКАЗ УОБИЧАЈЕНИХ МЕТОДА ЗА РАЧУНАЊЕ ПАРАМЕТАРА РАСПОЛОЖИВОСТИ

Најбитнији задатак који се поставља помоћној механизацији, јесте висок степен поузданости машина и њених саставних елемената. Појмови, тј перформансе поузданости и погодности одржавања сигурно да су најразвијенији и по питању научног и математичког тумачења и по питању саме примене. Са њиховог становишта технички систем може да се објасни као организовани скуп елемената обједињених заједничком функцијом циља. При томе, основна карактеристика функције циља је да има изразити динамички карактер, односно нема техничког система чија функција не зависи од времена тј. извршење функције циља остварује се у неком периоду времена. Да би се квалитено сагледао технички систем са становишта неке од ове две перформансе, оне морају да се поставе као функције у времену, а не као статистички показатељи.

Анализа динамичког карактера понашања једног техничког система, на пример булдозера, најбоље се приказује временском сликом стања, на којој се времена рада  $t$ , смењују са временима у отказу  $\tau$ , при чему се повремено појављује и временски период дужине  $\theta$ , када се систем налази у застоју (често због радова превентивног одржавања, између осталог). На слици 2.1 дат је шематски приказ временске слике стања [Ивковић, 1997].



Слика 2.1. Временска слика стања

На бази временске слике стања техничког система, могу да се констатују одговарајући показатељи самог система. Пре свега се уводи следећа једнакост:

$$F(t) + R(t) = 1$$

Поузданост, или вероватноћа рада без отказа, добија се експериментом који се врши над  $N$  једнаких елемената, под истим условима. Другим речима, после времена  $t$  у отказу ће бити  $N_1$  елемената, док ће осталих  $N_2 = N - N_1$  бити још у раду [Ивковић, 1997]. Поузданост се на основу тога изражава као:

$$R(t) = \frac{N - N_1(t)}{N} = \frac{N_2(t)}{N}$$

а вероватноћа отказа, у виду функције отказа, као:

$$F(t) = \frac{N_1(t)}{N}$$

$$\text{односно: } F(t) + R(t) = \frac{N - N_1(t)}{N} + \frac{N_1(t)}{N} = 1$$

диференцирањем наведеног израза по времену, добија се:

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

при чему је:  $\frac{dF(t)}{dt} = f(t)$  густина расподеле (густина вероватноће појаве отказа) и представља вероватноћу отказа у јединици времена посматраног саставног дела система.

Извод  $\frac{dR(t)}{dt} = p(t)$  представља функцију густине вероватноће безотказног рада посматраног саставног дела система.

Уколико се промене посматрају као коначне тј. прекидне функције, функције наведених густина расподела могу се изразити на следећи начин:

$$f(t) \cong \frac{N_1(t)}{\Delta t \cdot N}, \quad p(t) \cong \frac{N_2(t)}{\Delta t \cdot N}$$

где је интервал  $\Delta t$  интервал времена посматрања.

Кумулативна функција густине појаве стања у раду (до тренутка  $t_1$ ) или функција безотказног рада, представља поузданост система, и може да се изрази на следећи начин:

$$R(t) = \int_0^{t_1} p(t) dt$$

На исти начин може да се дефинише и одговарајућа функција густине појаве стања у отказу (од тренутка  $t_1$  до тренутка  $t_2$ ):

$$F(t) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt$$

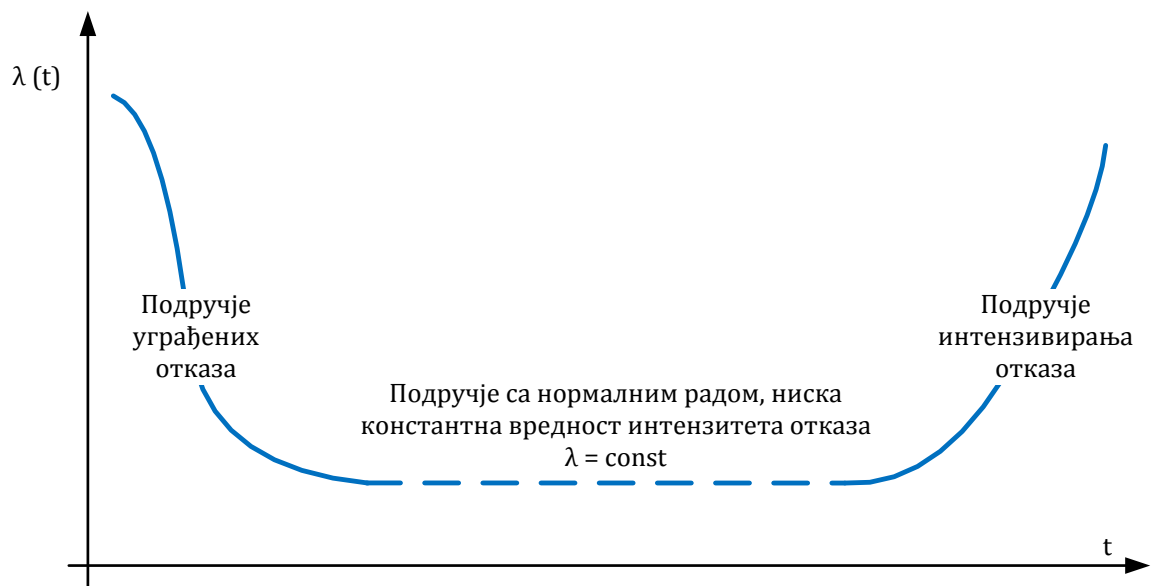
Интензитет отказа представља однос функције густине појаве стања у отказу и кумулативне густине појаве стања у раду и за континуалне промене стања, може да се изрази:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}, \text{ појава стања у отказу, } s^{-1}$$

За коначне промене стања биће:

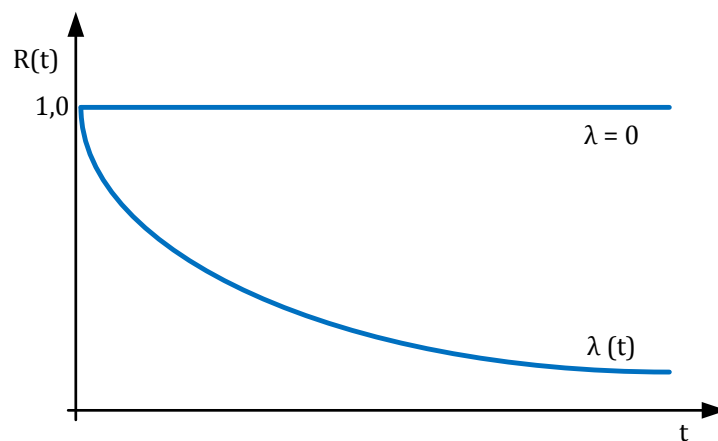
$$\lambda(t) \cong \frac{N_2(t) - N_2(t + \Delta t)}{\Delta t \cdot N_2(t)}$$

Графички, интензитет отказа може да се представи у зависности од времена [Тодоровић, 1993], кривом на слици 2.2:



Слика 2.2. Функција густине интервала у отказу

Наведена крива представља карактеристичну криву тока функције интензитета појава стања у отказу, са три карактеристична подручја. Очигледно је поклапање криве са слике 2.2 са кривом каде. Различите вредности интензитета стања у отказу условљавају различите вредности кумулативне функције густине интервала у раду. Промена вредности  $R(t)$  са променом интензитета отказа може да се прикаже на следећи начин [Ивковић и остали, 2008]:



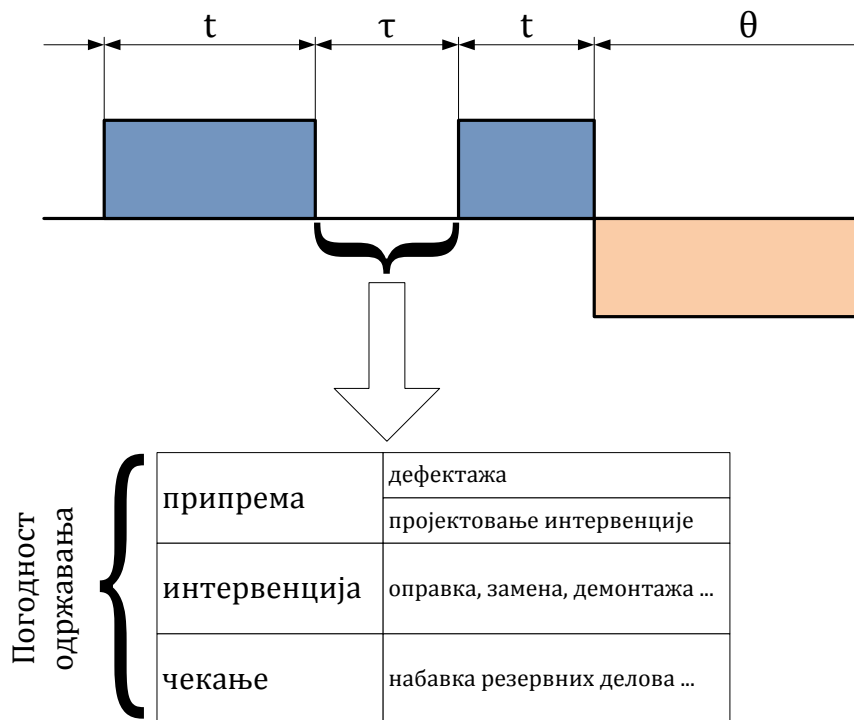
**Слика 2.3.** Понашање функције интензитета отказа у зависности од поузданости система

Имајући у виду временску слику стања (слика 2.1.), могу да се дефинишу и следећи параметри: средње време у раду, средње време између отказа, средње време у отказу, који представљају аритметичке средине одговарајућих времена и спадају у показатеље статистичке природе. Време у отказу система у реалним условима садржи времена: припреме, трајања интервенције одржавања и чекања.

Време припреме обухвата дефектажу и поступак пројектовања интервенције одржавања. Време трајања саме интервенције одржавања представља време вршења самих радова непосредно везаних за одржавање (оправка, замена, демонтажа и сл.). Време чекања је одређено организационим условима, условима набавке резервних делова и другим утицајима. Наведена времена могу још додатно да се рашчлане [Тодоровић, 1993].

Величина средњег времена у отказу, у највећем броју случајева је највише условљена степеном сложености структуре система, односно дужином времена саме интервенције, што је приказано на слици 2.4.



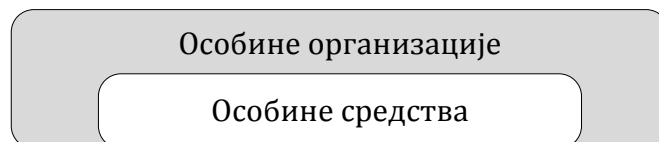


Слика 2.4. Структура времена у отказу

Погодност одржавања везује се за одређени систем одржавања и одређену стратегију одржавања, реализовану са одређеном концепцијом, технологијом и организацијом и условљену опремом, људством и другим значајним чиниоцима логистичке подршке. У принципу особине посматраног система, од којих зависи погодност одржавања могу да се посматрају као: техничке и као организационе. Оваква подела често се дефинише као конструкцијска и логистичка погодност одржавања. У конструкцијску групу спадају [Тодоровић, 1993]: сложеност конструкције за извођење поправки, структура и композиција система у смислу повезаности елемената система, унификација, стандардизација, прилагођеност дијагностици, квалитет израде, тежина, и други. Логистички показатељи погодности одржавања односе се на следеће елементе подршке: оспособљеност и квалификација радника, опремљеност простора и радионица, снабдевеност резервним деловима, организације и концепта одржавања, техничке документације, и других. На основу изложеног, погодност одржавања може да се дефинише као својство средства које се односи на лакоћу и једноставност, економичност, сигурност (људи, средства и опреме), као и тачност (исправност података и поступака одржавања), у спровођењу превентивних и корективних акција одржавања, уз предвиђену подршку у: особљу (знање и вештина),

опреми за одржавање, резервним деловима и потрошном материјалу, радионицама (простор и инфраструктура) и документацији (техничкој и организационој).

### ПОГОДНОСТ ОДРЖАВАЊА

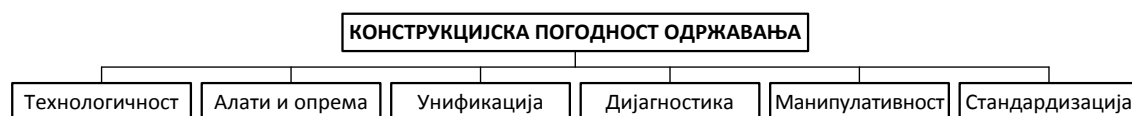


**Слика 2.5.** Погодност одржавања и структура њених компоненти

Анализа показатеља погодности одржавања, односно времена у отказу или времена потребног за обављање одређених акција одржавања, односи се на укупно дејство свих чинилаца који утичу на систем одржавања и његов квалитет. Недостатак такве анализе је немогућност издвојеног дејства појединих чинилаца, па ни утицаја квалитета саме конструкције посматраног техничког система на дужину времена у отказу. Није спорно да сама конструкција утиче у великој мери на погодност одржавања, што се најбоље доказује посматрањем по функцији сличних система али различитог конструкцијског извођења. Разлике у параметрима погодности одржавања могу у том случају да буду доста велике.

Пгодност одржавања посматрана као скуп конструкцијских карактеристика које утичу на време отклањања отказа или на време обављања других поступака одржавања, представљају “унутрашње” својство датог техничког система [Тодоровић, 1993]. Тако да се ова функција назива и конструкцијска погодност одржавања или поправљивост.

Конструкцијска погодност одржавања једног техничког система у највећој мери утиче на саму технологију одржавања, односно на примењене алате и уређаје, број извршилаца, поступке рада итд. Сама конструкцијска погодност одржавања може да се опише кроз низ обележја, што је и дато на слици 2.6 [Тодоровић, 1993].



**Слика 2.6.** Конструкцијска погодност одржавања и њена обележја

Примена делова, материјала, самим тим и алата, у великој мери стандардизују сам поступак одржавања, односно поједине радње одржавања. У највећој мери се то рефлектује на обим и структуру набавке резервних делова и на обученост и увежбаност радника одржаваоца. Другим речима, висок степен унификације и стандардизације даје већу расположивост, уз мање трошкове.

Технологија индентификације и лоцирања насталог отказа, односно препознавање стања које тражи поступке одржавања – дијагностика, представља основни предуслов квалитетног одржавања, у смислу брзине отклањања отказа.

Технолошка прилагођеност техничког система одржавању се огледа пре свега у приступачности местима на којима је потребно нешто радити, степену сложености операција расклапања и склапања, могућност примене агрегатне замене појединих делова, и слично. Ови утицаји су вишеструки, како у вези са трајањем процеса одржавања, тако и у односу на потребне квалификације радника, њихову обученост, итд.

Алати и опрема су једно од основних средстава појединих операција поступка одржавања. У принципу, са гледишта појединачних операција одржавања, треба тежити специјално прилагођеним алатима, мада се то коси са захтевима стандардизације опреме, односно што ниже цене исте.

Конструкцијске карактеристике система које омогућују његов транспорт, преношење, пре свега на релацији место експлоатације – радионица, називају се манипулативност. Она посебно долази до изражаја у строгој хијерархијској структури система одржавања, са централном радионицом односно службом одржавања [Танасијевић, 2007].

Примећује се да наведена обележја конструкцијске погодности одржавања у великој мери утичу једна на друге, и да њихова дејства тешко понекад могу да се разграниче. Сигурно је да су строго конструктивног карактера, и да о њима треба размишљати још у поступку пројектовања техничког система, евентуално у поступку реконструкције, те да се њихово дејство у највећој мери рефлектује на организационе карактеристике система одржавања датог техничког система.

Експлоатацију техничких система редовно прате променљиви радни услови, интензитет оптерећења, квалитет коришћења и одржавања, који посредно или непосредно утичу на показатеље погодности одржавања. У

свету се данас развија велики број метода и техника за предвиђање показатеља погодности одржавања као и поузданости. Као пример могу се навести неки аутори који предвиђају време оправки на текућем одржавању моделирањем једначина регресије, као функције више фактора као: маса, удео виталних склопова у диспозицији система, снага и врста погонских агрегата, године старости и друго [Канарчук, 1982].

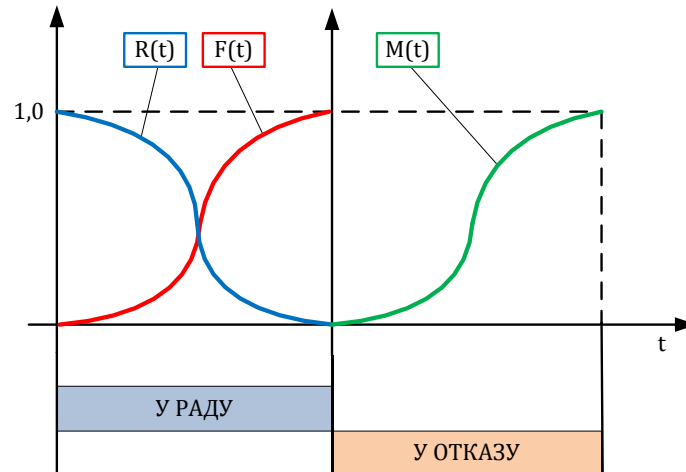
Као ефикаснији модел за предвиђање показатеља погодности одржавања примењује се анализа утицајних фактора на бази теорије вероватноће, дужине времена трајања стања у отказу, односно операција одржавања. Применом овакве анализе омогућава да се са дозвољеном тачношћу могу прогнозировать времена поступака одржавања.

Чак и у случајевима када нема довољно података из праксе, могу се добити резултати који показују тенденције показатеља погодности одржавања, чија је анализа неопходна за даљу организацију управљања радом посматраног техничког система.

Време у отказу, односно непосредно трајање одржавања техничког система, представља случајну величину, која подлеже неком закону расподеле. Наведена расподела представља карактеристику целог система одржавања и добро карактерише све утицајне чиниоце и њихово дејство, а тиме и примењену стратегију одржавања. Практикује се да се расподела времена трајања поступака одржавања изражава као једна од функција вероватноће, на идентичан начин као и у теорији поузданости односно непоузданости.

Ово је приказано на слици 2.7, у логичној комбинацији са одговарајућом сликом стања неког техничког система [Танасијевић, 2007].

Недостатак функције погодности одржавања, на бази расподеле вероватноћа, је идентичан као и за помињане статистичке показатеље погодности одржавања [Танасијевић, 2007]. Односно, што не указује директно на узроке који дефинишу функцију, већ само на комплекс утицаја, тј. практично указује на последице неисправности.



**Слика 2.7.** Функције поузданости и погодности одржавања

Значи, систем одржавања најкомплетније се описује карактеристиком – погодношћу одржавања [Тодоровић, 1993]. Већ је поменуто да се функција погодности одржавања односи директно на време у отказу одређеног система, односно на трајање акција одржавања. Најчешће се дефинише као: способност техничког система да у датим условима коришћења буде у стању у коме може да извршава захтевану функцију, или да се може поново довести у такво стање, а у случају да се одржавање спроводи под датим условима, по утврђеним поступцима и на датим ресурсима.

Квантитативно се може приказати као вероватноћа да ће се поступак одржавања обавити за неко време  $t_0$  под одређеним условима, где је време одржавања  $t_0$  случајна величина. Ова расподела добро карактерише цео систем одржавања, све утицајне чиниоце и њихово дејство, тако да даје оцену примењене стратегије одржавања. Функција погодности одржавања се по дефиницији изражава као [Тодоровић, 1993]:

$$M(t) = \int_0^t f(t) dt$$

где је  $t$  време трајања поступка одржавања, а  $f(t)$  функција густине вероватноће овог времена застоја због одржавања техничког средства.

Функција погодности одржавања као функција вероватноће, представља монотонно растућу функцију [Тодоровић, 1993]. У време ван трајања поступка одржавања  $t_0 = 0$ , функција погодности одржавања има вредност једнаку нули. Уколико је и време одржавања дужи и вредност

функције погодности одржавања биће већа. При поређењу два система одржавања, бољи је онај који за исто време трајања процеса одржавања има већу вредност функције погодности одржавања. Другим речима систем који има већу вредност функције за неко време, бољи је утолико што се у њему већина поступака одржавања обаве за то време, односно поступак одржавања се обавља брже.

Функција погодности одржавања може да се дефинише за цео систем или за поједине подсистеме, па чак и за појединачне поступке одржавања. Анализом сложенијих структура система, а нарочито ако се такви системи међу собом упоређују, добијају се доста релативни показатељи. Осим у случају када се одговарајући сложени систем измени односно побољша у неком сегменту, те се упоређује са претходним стањем. При анализи погодности одржавања једноставнијих система, најчешће подсистема, добијају се квалитетнији резултати, који могу да се упоређују, јер су сагледиви сви утицаји под којима се дошло до резултата. И у случају наведених једноставнијих система, важи констатација за анализу одговарајућих измена на систему.

Појам погодности одржавања има исти смисао у теорији одржавања као појам поузданости у теорији поузданости. Међутим, појам погодности одржавања често се везује и за појам теорије поузданости. Конструкцијске и логистичке карактеристике погодности одржавања садрже елементе који доприносе смањењу времена застоја, односно истовремено повећавају способност одговарајућег система да поуздано изврши постављени задатак. Исто тако карактеристике поузданости могу да допринесу побољшању показатеља погодности одржавања.

Погодност одржавања теоријски се дакле анализира кроз функција расподеле вероватноће али и кроз одговарајуће квантитативне захтеве (помоћне карактеристике), који могу да се прикажу на следећи начин:

- Време активног одржавања, и то као: средње или максимално и као корективно или превентивно;
- Периодичност превентивног одржавања;
- Време застоја због одржавања;
- Цена одржавања по сату рада уређаја;
- Број сати одржавања по сату рада уређаја;
- Број ососбља по акцији одржавања;
- Трошкови одржавања за животни циклус;

Активно време поправки представља карактеристику одржавања која се чешће у литератури своди на средње време поправки односно корективног одржавања. У том случају означава се са МТТР (Mean Time To Repair), и представља случајно променљиву величину, која се карактерише неким законом расподеле, тј. неком функцијом густине [Танасијевић, 2007]. Средње време трајања поступка одржавања представља математичко очекивање посматране случајно променљиве величине или аритметичку средњу вредност свих њених појединачних реализација. Ако се тежи прецизнијем одређењу, поред средњих вредности трајања поступка одржавања могу да се дају и одговарајуће стандардне девијације или дисперзије. Обично се рачуна за одређени саставни део машине који може да откаже. Аналогно изнесеном може да се дефинише и средње време превентивног одржавања односно средње активно време превентивног одржавања. Најчешће се рачуна за одређену радњу превентивног одржавања.

Средње време активног одржавања представља средње време трајање поступка одржавања и то само активног рада на одржавњу, искључујући све логистичке, административне и друге застоје. По правилу се дефинише за све спроведене поступке превентивног и корективног одржавања.

Средње време између одржавања представља просечно време између свих поступака одржавања, превентивних и корективних. У начелу је приближно једнако средњем времену између отказа, као карактеристике поузданости, мада су могућа и извесна одступања (због комбинованих отказа, превентивних мера, итд.). Ова карактеристика се често користи код оцене система одржавања, посебно на захтеве расположивости. За средње време између одржавања користи се ознака МТВМ (Mean Time Between Maintenance) [Танасијевић, 2007].

У склопу приче о захтеваним условима које поставља перформанса погодности одржавања могу се дефинисати и квалитативни захтеви, као: квалификације особља за одржавање; потребе за специјалном опремом (било за рад, било за одржавање); потребе за подешавањем; приступачност за надзор при раду и за превентивно одржавање; стандардизација делова (склопова и елемената); визуелни или звучни надзор функција или отказа; рашчланивост уређаја на мање целине (модуле, склопове); уграђена испитна опрема; означавање елемената; техничка упуства; ограниченост људским фактором (знања, обука); и др.

## 2.1. Сигурност функционисања

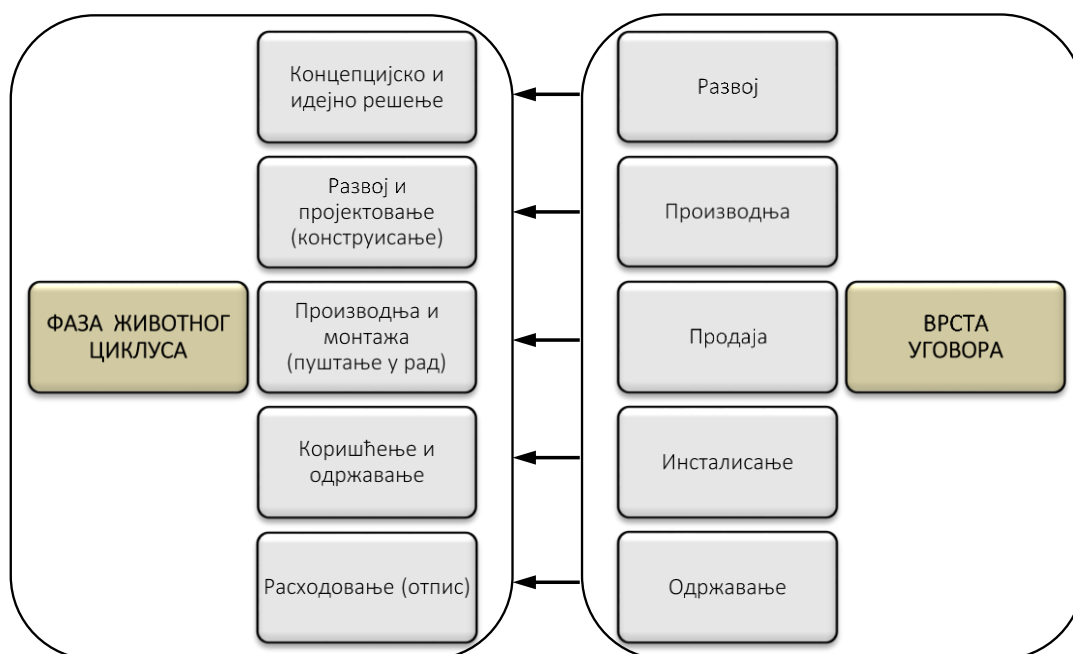
Сигурност функционисања је заједнички термин који се користи да опише перформансу расположивости и факторе који на њу утичу: перформанса поузданости, перформанса погодности одржавања и перформанса подршке одржавању [Тодоровић, 1993; Strandberg, 1991; Танасијевић, 2007]. Овде је очигледно да се одвојено посматрају конструкцијска погодност одржавања која је именована само као погодност одржавања и логистичка погодност одржавања која је именована са подршка одржавању. Раздвојено посматрање наведене две перформансе одржавања, потпуно је логично, с обзиром на далеко сложенију структуру времена у отказу у односу на време у раду које реперезентује поузданост. Перформансе поузданости и погодности одржавања су у највећем броју случајева најважније карактеристике опреме односно пресудне у спречавању нежељених ефеката, било трошкова, штета или евентуално озледа. Међутим, произвођач може да испоручи опрему који задовољава све постављене захтеве у односу на поузданост и погодност одржавања, али он може бити нерасположив уколико није обезбеђена адекватна логистичка подршка. Овим питањима баве се стандарди серије IEC 300. Зато су они и постали жижа интересовања у правцу обезбеђења сигурности функционисања, а тиме и суштинска допуна серији већ довољно познатих стандарда ISO 9000, који се овим питањима на овакав начин не баве. Подизање нивоа разјашњења помињаних појмова, првенствено сигурности функционисања и раније дефинисаног употребног квалитета, на ниво стандарда произашло је из савремених потреба у развоју управљања системима и коришћења техничких ресурса. Наиме, у последњој деценији прошлог века, начин размишљања, где се на квалитет производа гледа само са нивоа произвођача, односно на нивоу производно-технолошког процеса пре почетка коришћења производа, постао је и више него застарео, непотпун. Машине или опрема се испоручују (продају или изнајмљују) са уговорима и гаранцијама за све карактеристике сигурности функционисања. Логистичка подршка одржавању од стране испоручиоца, данас постаје можда и најважнији део уговора, произвођач или његов локални заступник преко аранжмана подршке опреми гарантује расположивост на одређеном нивоу, односно по уговореном нивоу одржавања [Тодоровић, 1993]. Очигледно је да одговорности за обезбеђење сигурности функционисања носе и испоручилац и купац.



Од нивоа успешности реализације свих перформанси сигурности функционисања зависи квалитет у употреби, али и укупни трошкови животног циклуса опреме. Степен задовољења корисника неким производом зависи од три важна фактора: времена, квалитета и трошкова [Тодоровић, 1993]. Односно:

- када ће се производ појавити на тржишту;
- до ког степена ће производ моћи да одговори очекивањима и потребама крајњег корисника;
- колики ће бити трошкови развоја и производње, затим трошкови поседовања и рада, као и трошкови одржавања, и евентуално трошкови расходовања производа, тј. трошкови у разним фазма животног циклуса.

Применом адекватних принципа сигурности функционисања још од самог почетка, време када се производ појављује на тржишту може да се скрати, а сигурност функционисања да се повећа, што ће истовремено одржати укупне трошкове века производа на рационалном нивоу. Управљање пројектовањем производа и начином његовог коришћења у складу са утврђеним циљевима сигурности функционисања захтева постављање затим и одржавање програма сигурности функционисања који је претходно усаглашен између испоручиоца и корисника производа [Тодоровић, 1993].



Слика 2.8. Шема стандарда IEC 300-1

Озбиљност и комплексност елемената и задатака програма за обезбеђење квалитета перформанси сигурности функционисања, којима се посебно и детаљно бави стандард ИЕС 300-2, на недвосмислен начин се доказују и само увидом у садржај истих. У садржају је наведено једанаест теметских активности које се одвијају током целог животног циклуса машине. У табели 2.1 су наведени елементи и задаци програма за обезбеђивање сигурности функционисања, с циљем стварања слике о озбиљности и комплексности перформансе сигурности функционисања.

**Табела 2.1.** Елементи и задаци програма за обезбеђивање сигурности функционисања

1. Планирање и управљање	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Планови сигурности функционисања,</li> <li>– Управљање одлучивањем током пројектовања,</li> <li>– Управљање погодношћу за праћење,</li> <li>– Управљање конфигурацијом.</li> </ul>
2. Ревизија уговора и везе	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ревизија уговора,</li> <li>– Представници за везу.</li> </ul>
3. Захтеви за сигурношћу функционисања	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Спецификација захтева за сигурношћу функционисања,</li> <li>– Интерпретација захтева,</li> <li>– Алокација захтева.</li> </ul>
4. Инжењерство	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Инжењерство одржавања,</li> <li>– Инжењерство поузданости,</li> <li>– Инжењерство логистичке подршке,</li> <li>– Инжењерство погодности испитивања,</li> <li>– Инжењерство људског фактора.</li> </ul>
5. Производи набављени са стране	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Производи од подуговарача,</li> <li>– Производи од стране корисника.</li> </ul>
6. Анализе, прорачуни и ревизије пројеката	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализе начина и ефеката отказа,</li> <li>– Анализе стабла отказа,</li> <li>– Анализе напрезања и оптерећења,</li> <li>– Анализе људског фактора,</li> <li>– Прогнозе – прорачуни,</li> <li>– Анализе компромиса,</li> <li>– Анализе ризика,</li> <li>– Званична ревизија пројекта.</li> </ul>
7. Верификација, озваничење и испитивање	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Верификација, планирање испитивања ради озваничавања,</li> <li>– Испитивање века,</li> <li>– Испитивање сигурности функционисања,</li> <li>– Испитивање побољшања поузданости,</li> <li>– Испитивање у производњи,</li> <li>– Пријемна испитивања,</li> <li>– Селективно испитивање поузданости.</li> </ul>
8. Програм укупних трошкова века	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Програм укупних трошкова века.</li> </ul>
9. Подршка експлоатацији и одржавању	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Планирање подршке одржавања,</li> <li>– Инсталисање,</li> <li>– Службе одржавања,</li> <li>– Инжењерство одржавања,</li> <li>– Снабдевање резервних делова.</li> </ul>
10. Побољшање и модификације	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Побољшање програма и контрола модификација.</li> </ul>
11. Повратне информације	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Скупљање и анализа података.</li> </ul>

Овако конципиран програм подршке обезбеђењу сигурности функционисања, његови елементи и задаци, намеће потребу перманентног и организованог планирања допуњене едукације код инжењерских структура корисника, произвођача, службе одржавања, пројектантских институција, у циљу овладавања или проширења домена знања из оквира одговарајућих инжењерских дисциплина и директног упознавања са новим садржајима, поступцима, методама израде студија, итд.

Појам *Расположивости* се уобичајено користи као мера сигурности функционисања. Међутим, расположивост се изражава у квантитативним показатељима, те као таква представља меру сигурности функционисања, а тиме и меру квалитета у употреби чиме ови појмови попримају квантитативну димензију.

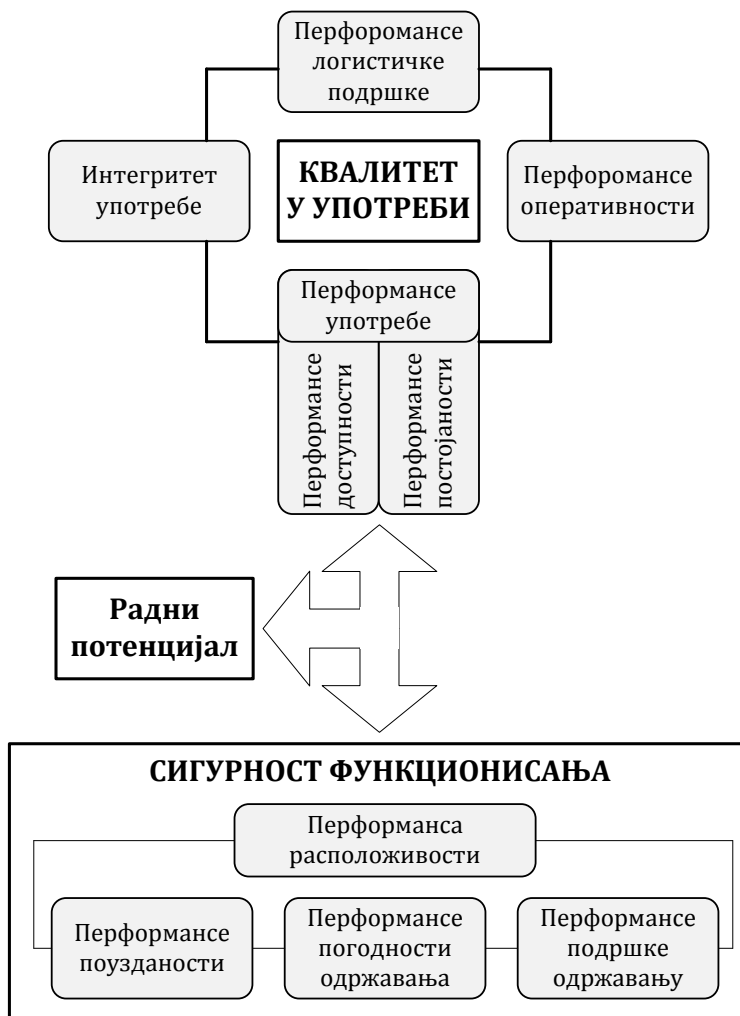
Утицај који перформанса сигурност функционисања има на укупни квалитет у употреби, схематски је приказан на слици 2.9, кроз структуру и перформансе које сачињавају квалитет у употреби, како је то дефинисано у стандарду ИЕС [[International Electrotechnical Commission ...](#)].

На слици 2.9. је практично дата међузависност одређених појмова, на нивоу укупних својстава техничког система. Употребни квалитет се дефинише као: “укупни ефекат радних перформанси (својстава) који одређује степен задовољења корисника”. При томе он зависи од: перформансе логистичке подршке раду система, која се дефинише као: “способност организације да обезбеди рад техничког система и помогне у извршавању његовог задатка”; перформансе оперативности: “способност техничког система да буде успешно и лако коришћен”.

Перформансе употребе: “способност техничког система да функционише у границама дозвољених одступања и под другим условима које захтева корисник, у току прописаног (захтеваног) времена”. Перформансе употребе могу да се посматрају као перформансе доступности и перформансе постојаности. Прве су везане за захтеве корисника, а друге за захтевано време. Такође, перформансе употребе могу да се рашчлане и на компоненте везане за радни потенцијал и везане за сигурност функционисања. Радни потенцијал представља “способност техничког система да задовољи захтеве корисника изражене у квантитативним карактеристикама, под датим условима”, док појам сигурност

функционисања представља сложена функцију, зависну од поузданости, погодности одржавања и логистичке подршке одржавању.

Интегритет (стабилност) употребе: “способност система да по ступању у рад функционише без значајног погоршања” [Јовичић и остали, 1996].



Слика 2.9. Укупна својства техничког система, концепт изражавања перформанси према ИЕС

Примећује се да је појам перформанси употребе најкомплекснији. Такође се примећује и повезаност овог појма за појам сигурност функционисања, који је раније дефинисан као “збирни појам који се користи за описивање перформанси расположивости и чинилаца који одређују ове перформансе: перформанси поузданости, перформанси погодности одржавања и перформанси подршке одржавању”. У том смислу дају се следеће дефиниције:

Перформансе расположивости: “способност техничког система да буде у стању у коме може да извршава захтевану функцију, под датим условима и у датом тренутку времена, односно у току датог интервала времена, а под претпоставком да је обезбеђено потребно снабдевање (спољни ресурси)”.

Перформансе поузданости: “способности техничког система да извршава захтевану функцију, под датим условима и у датом интервалу времена”.

Перформансе погодности одржавања: “способност техничког система да у датим условима коришћења буде у стању у коме може да извршава захтевану функцију, или да се може поново довести у такво стање, а у случају да се одржавање спроводи под датим условима, по утврђеним условима и са датим ресурсима”.

Перформансе подршке одржавању: “способност система одржавања, односно организације која врши одржавање, да под датим условима обезбеди захтевано одржавање техничког система, у складу са стратегијом одржавања.”

Перформанса расположивости има пресудан утицај на сигурност функционисања и квалитет у употреби због познате чињенице да машину пре свега треба имати расположиву за рад, како би се и остале перформансе реализовале.

Постизање задовољавајуће вредности расположивости производа (машине) у фази коришћења зависи у великој мери од одговарајућих поступака одржавања, од логистичке подршке као и од обезбеђености одговарајућих средстава за одржавање. Укупни напори за смањење активног времена одржавања морају бити праћени и настојањима да се смањи неактивно време у процесу одржавања, које је проузроковано одговарајућим техничким, логистичким и административним чекањима. Ово захтева одговарајуће напоре у правцу планирања и стварања реалистичке концепције одржавања, критичку анализу планова одржавања (нивои одржавања, идентификација потреба, циљеви), дефинисање захтева за средства логистичке подршке (људство, обука, приручници, испитни и помоћни инструменти, резервни делови, итд.). Средства за логистичку подршку и за одржавање имају велики удео у укупним трошковима века производа (опреме), због чега она морају да буду планирани током разних фаза настајања производа.

Због тога се данас скоро у свим случајевима при уговарању нове машине или било које опреме, од стране произвођача рударске опреме нуде аранжмани подршке производа – Product Support Agreements (PSAs) [[International Electrotechnical Commission ...](#)]. Посебно су битни на рудницима са површинском експлоатацијом, с обзиром на велике инвестиционе вредности машина.

Пре промовисања сигурности функционисања као свеобухватне перформансе понашања техничког система, неко време се помињала и функција *Ефективности*. Ова функција се изражава као вероватноћа да ће посматрани систем успешно ступити у дејство у тренутку потребе и да ће успешно извршити задату функцију критеријума у пројектованом времену и под датим условима околине [[Тодоровић и остали, 1978](#); [Рарис и остали, 2007](#)]. Треба напоменути да је рад система у времену изложен бројним случајним утицајима, тј. појава отказа као и свих других догађаја у животу техничког система имају стохастички карактер. Дефиниција функције ефективности  $E(t, \tau)$  може аналитички да се изразити у облику:

$$E(t, \tau) = R(t) A(\tau) FP$$

$R(t)$  – Поузданост, односно вероватноћа рада без отказа у току времена  $t$ ,

$A(\tau)$  – Распоживост, односно вероватноћа да ће систем у било ком тренутку времена  $\tau$  бити расположив (календарског), односно да ће бити у стању да ради или да се укључи у рад,

$FP$  – Функционална погодност, односно степен задовољења функционалних захтева, а то значи прилагођеност околини или тачније условима у којима систем ради.

Постоје и нешто другачије дефиниције ефективности. У основи свих се спомиње расположивост или готовост (изједначавање ова два појма се сматра прихватљивим и поред извесних начелних разлика); док поред поузданости и функционалне погодности, спомињу се и појмови функционалности (мера стања система у току вршења функције критеријума) и способности (мера могућности извршења функције критеријума), односно појмови карактеристике система и корисност система. У свим наведеним дефиницијама поузданост и расположивост се

посматрају као случајне функције, док се функционална погодност третира као неслучајна, односно детерминисана величина, на коју се директно утиче самим пројектовањем. Иако је ефективност дата у одговарајућем математичком облику, она није заживела у пракси у облику функције. Односно није коришћена на начин као што су на пример поузданост или погодност одржавања. Проблем је у самој структури ефективности, као комбинацији трију независних величина, чија је синтеза доста сложена. Односно поменути, коришћени математички израз за ефективност  $E(t, \tau)$ , само начелно показује корелацију трију наведених величина, без дефинисаног модела њихове синтезе.

Неспорно је да је ефективност система већа уколико су интервали времена у раду дужи, односно интервали времена у отказу краћи. Са становишта поузданости то значи да ће ефективност бити утолико већа уколико је и поузданост већа, а са становишта одржавања уколико се поступци одржавања обављају брже, у краћем времену.

У литератури, пре свега студијама и сличним анализама, могу да се нађу и одговарајући коефицијенти као показатељи техничког стања и шире употребног квалитета машине. Најзаступљенији су коефицијенти временског, као и капацитативног искоришћења. Њихова математичка интерпретација је крајње једноставна и дају само начелну слику стања машине.

Наведени приказ појмова развијених у циљу сагледавања употребног квалитета одређене машине, у највећој мери потврђује заокруженост појма сигурности функционисања, као најпогоднијег за анализу у циљу давања свеобухватне оцене техничког система као што је булдозер. Односно као модел оцене употребног квалитета као и самог техничког стања булдозера тј. његових механичких компоненти, неопходно је да се на квалитетан начин сагледају: поузданост, погодност одржавања и подршка одржавању и изврши њихова синтеза до нивоа сигурности функционисања.

Најдуже развијене методе истраживања параметара сигурности функционисања су модели истраживања поузданости као и погодности одржавања, на бази теорије вероватноће, односно функција  $R(t)$  и  $M(t)$ . У том смислу добијање потребних података, тј. стварање слике о понашању техничких система у процесу рада, представља процес квантитативног истраживања показатеља сигурности функционисања датог система, односно његових компоненти и условљено је поседовањем свих релевантних података

о понашању система како у експлоатацији тако и у процесу одржавања, датог техничког система. У принципу произвођач и корисник су упућени на различите методе истраживања, тј. лабораторијском и експлоатационом истраживњу. Информације у том смислу могу потицати из више извора кроз целокупну структуру првенствено логистичке подршке експлоатацији као и службе одржавања, и то пре свега за експлоатациони вид истраживања.

Експлоатациона истраживања могу да се базирају на две врсте података. Први се односе на време у коме је посматрани систем у стању у раду, а други на време у коме је систем у стању у отказу. Прва група података је везана за услове под којима систем ради, односно условима саме околине, радних оптерећења, остварених радних учинка, карактеристика логистике експлоатације, одржавања, карактера система руковођења, итд. Друга група података се односи на временски период док је систем у отказу, односно од тренутка настанка неисправности до њеног отклањања. Пре свега је сачињавају подаци који су везани за време трајања стања у отказу, узроке отказа, начину отклањања отказа, трошковима услед отказа и његовог отклањања, итд. Наведени подаци се прикупљају на основу успостављеног информационог система који подржава посматрани технички систем.

Обрада наведених података представља практично процес квантитативног описивања особина и понашања посматраног техничког система. Карактер појава, тј. особина и понашања техничког али и самог информационог система, је изразито стохастички. Све информације које се односе на карактер техничког система су случајне величине, које подлежу одређеном закону вероватноће. Информације односно скуп података које се анализирају у смислу наведеног, подлежу одређеним условима. Пре свега наведени скуп података мора да буде статистички хомоген, односно да су све појединачне информације истог карактера. То значи да се подаци односе на исте, тј. једнаке техничке системе, који се експлоатишу у одређеним, условно једнаким околностима, на прописани начин. Хомогеност информација мора да се огледа и у једнакости догађаја на који се односе. Други битан услов је да је посматрани скуп система довољно репрезентативан, односно да у довољном степену одражава понашање укупне популације.

Наведени захтеви су доста сложени и врло их је тешко удовољити на прави начин, поготово у рударској пракси. Посебно је то изражено у односу на величини узорка и његову репрезентативност, првенствено из разлога



економског карактера. Ово је посебно изражено код машинских система који се производе у малим серијама или чак појединачно. Тако се испитивању подвргавају само неколико елемената, у условима који су често нерегуларни. Очит пример је управо рударска механизација коришћена на коповима.

Примена статистичке анализе у виду хистограма релативних фреквенци или кумулативне криве, има смисла у анализи већег броја података. При анализи мањег броја података хистограм добија нетипичан карактер, тако да се било какви закључци не могу добити. У таквим случајевима се користи метода рангирања, која се заснива на додељивању одговарајућег ранга сваком резултату понаособ, те формирању кумулативних фреквенци овако ранжираних резултата. Као најзначајнији метод рангирања је одређивање такозваног медијалног ранга.

Истраживања везана за функцију вероватноће неке појаве изискују статистичку обраду издвојених података. Поступак обраде издвојених података о стањима система може да се опише као [Lei, 2008; Murthy и остали, 2004; O'Connog и остали, 2012; Ивковић, 1997; Зеленовић и остали, 1979]:

- одређивање величине узорка,
- издвајање података,
- груписање података,
- обрада груписаних података
- графичко представљање издвојених података (хистограм, полигон),
- постављање хипотезе о теоријском закону расподеле,
- одређивање теоријског закона расподеле и
- тестирање хипотезе.

Од свих наведених корака, највећи проблем је постављање хипотезе о теоријском закону расподеле који најбоље апроксимира издвојене податке. Издвајање великог броја података обележја и одређивање просте и дистрибуције фреквенција не даје прегледну слику статистичког скупа, јер се добија велики број разреда. У том случају интервал статистичког скупа  $I = t_{\max} - t_{\min}$  се дели на "z" интервала дужине "i" тако да је  $I = i \cdot z$ .

Потпуно одређена правила за одређивање броја интервала "z" не постоје, али искуствене препоруке за број интервала су:

$$z = \sqrt{n}$$

$$z = 2 \cdot \sqrt[3]{n}$$

$$z = 1 + 3,32 \cdot \log(n)$$

$$z = 5 \cdot \log(n)$$

Наведене изразе не треба дословно примењивати, али је неопходно придржавати се основног принципа да што је већи број података, број интервала треба да је већи. Потребно је избегавати празне интервале, спајањем суседних, а такође, ако се претпоставља симетрична расподела, препоручује се непаран број интервала. Број података у интервалу при томе не треба да буде мањи од 4 до 6.

Све случајне величине, без обзира да ли се поковавају неком дискретном или континуалном закону промене, карактеришу одређени основни статистички показатељи. Под њима се подразумевају вредности случајно променљиве, које на одређени начин приказују основне особине закона њене расподеле.

У циљу утврђивања теоријског закона расподеле случајне променљиве, потребно је код издвојеног узорка утврдити:

- средњу вредност  $\bar{t}$ ,
- стандардну девијацију  $\sigma$ ,
- медијану  $t_{50}$  и
- функцију интензитета отказа  $\lambda(t)$ .

Средња вредност или аритметичка средина, која одређује средњи положај распореда фреквенција, око кога се распоређују остале вредности, идентична је математичком очекивању  $M(t)$  и израчунава се помоћу изрази:

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

односно, за случај да су вредности случајне променљиве разврстане у подинтервале ширине " $\Delta t$ ":

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

$f_i$  – фреквенција појава у  $i$ -том интервалу,

$d_i$  – параметар који се одређује помоћу изрази:  $d_i = \frac{1}{\Delta t} (t_{zi} - D)$ ,

$t_{zi}$  – средња вредност  $i$ -тог интервала,

$D$  – средина интервала са највећом фреквенцијом.

Као основна мера расипања користи се позитиван квадратни корен варијансе  $D(t)$ , према релацији:

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

који се назива стандардном девијацијом. За случај да су вредности разврстане у интервале, користи се израз:

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

Медијана, ознаке  $t_{50}$ , представља вредност око које постоји исти број елемената скупа са мањом, односно, већом вредношћу. Уколико је паран број вредности, медијана представља аритметичку средину два средња елемента.

## 2.2. Закони расподеле, Вејбулова расподела

Један од основних задатака у циљу што квалитетнијег анализирања добијених експерименталних података, представља утврђивање закона расподеле посматране случајне променљиве величине. Прецизније речено, утврђивање којем од познатих и теоријски развијених закона расподеле, највише одговарају добијени подаци. Тада се са дефинисаном вероватноћом могу израчунавати све потребне карактеристике посматране случајно променљиве величине. Случајна величина која се анализира може бити прекидног (дискретног) карактера, односно таква да се не може интерпретирати континуалним законом расподеле, и непрекидног карактера. Расподеле прекидног карактера немају већег значаја у испитивању машинских система. Теоријски закони расподеле непрекидних случајних величина, који се најчешће сусрећу у анализи различитих техничких проблема су: Експоненцијални, Нормални, Вејбулов (Weibull), Логаритамско-нормални (Log-нормални), ал и друге као например Гама итд

---

[Weibull, 1951; Ивковић, 1997]. Између осталог, користе се и у теорији поузданости и теорији одржавања.

Експоненцијални закон расподеле је један од најчешће примењиваних закона расподеле у теорији поузданости. Карактеристичан је пре свега за период нормалне експлоатације, који карактеришу случајни откази техничких система. Нормални закон расподеле пре свега је карактеристичан за различита физичка својства живих организама, димензије производа и сл. У теорији поузданости овакав закон расподеле карактеристичан је за период интензивног хабања елемената и система, у теорији одржавања примењује се за радње превентивног одржавања. Овај закон је примењив на појаве код којих већи број утицајних чинилаца има подједнаки утицај. Вејбулова расподела налази широку примену код различитих техничких проблема. То је општа расподела времена безотказног рада при различитим интензитетима отказа. Овој расподели се покорвају времена безотказног рада: транспортних система, алатних машина, електронских компоненти, а такође и механичка својства материјала. Такође и у анализи погодности одржавања ова расподела има примену када се поступци одржавања обављају без чекања.

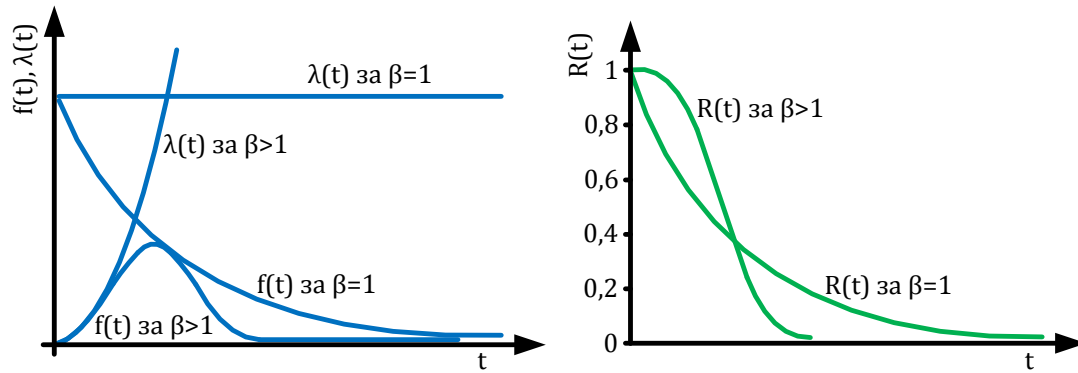
Специјални случајеви Вејбулове двопараметарске расподеле (или су закони расподела приближно исти), су: експоненцијална, нормална, логнормална и друге. Поред двопараметарске у теорији поузданости сусрећу се и тропараметарска Вејбулова расподела.

Искуство показује да Вејбулов закон расподеле покрива највећи број појава у анализама поузданости, док у случају погодности одржавања то је случај за Log-нормалну и такође Вејбулову расподелу. Log-нормална, уколико има чекања на операцију одржавања и обрнуто. Често се наводи да је карактеристична за опште поступке одржавања.

У сваком случају, у теоријском делу анализе закона расподеле који покривају карактеристике поузданости и погодности одржавања, на овом нивоу, довољно је да детаљно буде приказана само Вејбулова расподела.

Као што је речено она покрива велики број појава везаних за појаву отказа и време потребно за отклањање отказа, а са друге стране њена параметарска природа сама по себи покрива и друге расподеле.

Графичка интерпретација неких од параметара Вејбуловог закона расподеле, је дата на слици 2.10.



Слика 2.10. Функције  $f(t)$ ,  $\lambda(t)$  и  $R(t)$  за Вејбулов закон расподеле

Тропараметарска Вејбулова расподела даје се преко следеће релације за густину расподеле:

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

где је:  $f(t) \geq 0$ ,  $t \geq 0$  или  $\gamma$ ,  $\beta > 0$ ,  $\eta > 0$ ,  $-\infty < \gamma < \infty$ ,

$\eta$  - параметар размере,  $\beta$  - параметар облика,  $\gamma$  - параметар положаја.

За вредност параметара положаја једнаком нули  $\gamma = 0$ , и претпостављајући да је параметар облика  $\beta = C = const$ , Вејбулов закон расподеле постаје и једнопараметарски, изражен релацијом:

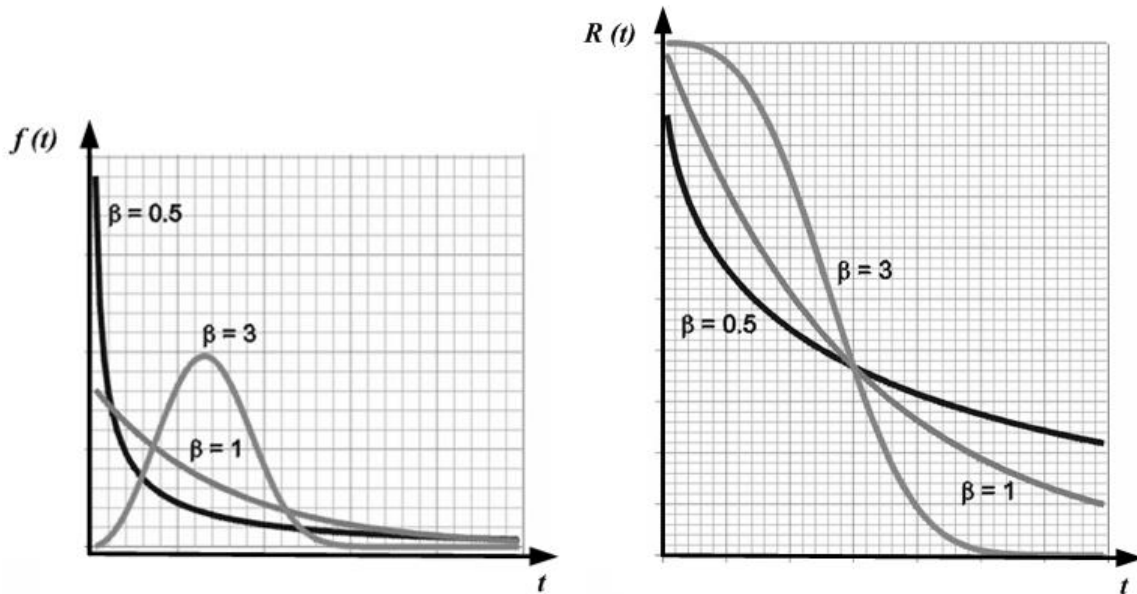
$$f(t) = \frac{C}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{C-1} e^{-\left( \frac{t}{\eta} \right)^C}$$

У овом случају се подразумева да је параметар облика познат унапред, те једино параметар размере остаје непознат. Овакав случај би се појавио у анализи већ искуствено познатог понашања одређеног техничког система. У техници Вејбулова расподела се углавном примењује као двопараметарска, без утицаја параметра положаја. Различите вредности параметра облика  $\beta$  на одређени начин дефинишу понашање Вејбулове расподеле. Очито је да за вредност  $\beta = 1$ , Вејбулова расподела поприма облик експоненцијалне расподеле.

$$f(t) = \frac{1}{\eta} \cdot e^{-\frac{t-\gamma}{\eta}}$$

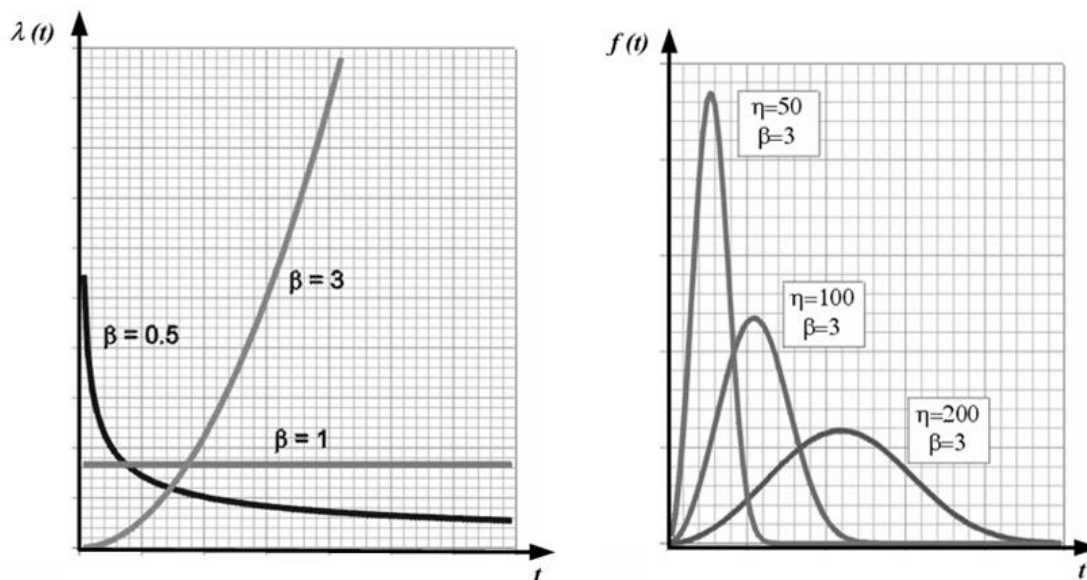
где је:  $1/\eta = \lambda$  - интензитет отказа.

За вредност параметра облика  $\beta > 3,5$  [Lei, 2008; Murthy и остали, 2004; O'Connor и остали, 2012;], Вејбулова расподела практично прелази, са довољном тачношћу, у нормалну расподелу, слика 2.11. понашање Вејбулове расподеле у зависности од вредности параметара, приказано је на сликама 2.11 – 2.14.



**Слика 2.11.** Понашање Вејбулове расподеле релативних фреквенци  $f(t)$  у зависности од вредности параметра  $\beta$

**Слика 2.12.** Утицај параметра облика  $\beta$  на функцију поузданости  $R(t)=1-F(t)$



**Слика 2.13.** Утицај параметра облика  $\beta$  на функцију интензитета отказа

**Слика 2.14.** Понашање Вејбулове расподеле релативних фреквенци  $f(t)$  у зависности од вредности параметра размере  $\eta$

Утврђивање теоријских закона расподеле је у неку руку крајњи циљ анализе поузданости техничких система. Предвиђање понашања елемената и система у времену је олакшано ако је познат закон расподеле непрекидне променљиве која је у највећем броју случајева време. Поред основних теоријских закона расподеле који су поменути, у теорији поузданости се у неким екстремним случајевима користе и остали, познати закони расподеле као што су: Snedecor-ова F-расподела, Student-ова, t-расподела,  $\chi^2$ -расподела, расподела екстремних вредности (максималних и минималних), бета расподела, равномерна расподела, Erlang-ова и друге расподеле.

У сваком случају примена овако великог броја различитих расподела је непотребна и нерационална, тако да се за потребе обраде информација у теорији поузданости може користити само Вејбулов закон.

### 2.3. Утврђивање теоријског закона расподеле

Утврђивање односно избор закона расподеле, подразумева поступак провере који од познатих закона највише одговара информацијама које се обрађују, односно којим законом расподеле најбоље могу да се интерпретирају случајно променљива која се анализира. У суштини, поступак утврђивања закона расподеле се своди на два корака: претпоставка којем закону припадају анализирани подаци (на основу одговарајућих препорука) и провера односно тестирање претпостављене хипотезе о важности једног одређеног закона. У литератури [Freeman и остали, 2013; Lei, 2008; Murthy и остали, 2004; O'Connor и остали, 2012; Ивковић, 1997; Зеленовић и остали, 1979; Weibull, 1951; Вујановић, 1990] се наводе два модела за проверу хипотезе, аналитички и графички. У првом случају се израчунавају вредности функције густине, а затим и кумулативне вероватноће за податке којима се располаже, па се проверава да ли се добијају резултати који одговарају тој расподели. Очигледно је да је овај поступак доста сложен. Знатно је једноставнији графички поступак, уз помоћ одговарајућих папира вероватноће. За сваку расподелу може да се конструише наведени папир вероватноће, чији је координатни систем тако постављен, да се закон расподеле у њему јавља као права линија. Констатије се да је полазна хиптеза исправна, ако унети подаци могу да се задовољавајуће апроксимирају са правом линијом.

На основу особина расподела које се најчешће јављају у проблемима теорије поузданости и одржавања, могу се издвојити услови који карактеришу одређене теоријске законе, тако да је:

- У случају када су приближно једнаке средња вредност и стандардна девијација ( $T_{ur} = \sigma$ ) и када је интензитет отказа константан ( $\lambda(t) = \text{const}$ ), треба испитати могућност апроксимације основног скупа података експоненцијалним законом расподеле;
- Када су приближно једнаке средња вредност и медијана, треба проверити хипотезу о нормалном закону расподеле ( $T_{ur} = t_{50}$ );
- У случају да интензитет отказа расте у времену и да је средња вредност већа од стандардне девијације ( $\lambda(t + \Delta t) > \lambda(t) \quad \forall t \in (0, \infty) \text{ и } \bar{t} > \sigma$ ), треба проверити хипотезу о Вејбуловој расподели; како параметар  $\beta$  Вејбулове расподеле утиче на облик расподеле, то за:
  - $0,5 < \beta < 1,5$  треба испитати експоненцијални закон расподеле;
  - $1,5 < \beta < 2,5$  треба испитати Reyleigh-еву расподелу, а у случају да не задовољава, треба проверити логаритамско-нормалну расподелу;
  - $2,5 < \beta < 4,5$  треба испитати могућност апроксимације нормалним законом расподеле.
- Када интензитет отказа  $\lambda(t)$  расте, а затим опада у времену, треба проверити могућност апроксимације логаритамско-нормалним законом расподеле;
- Ако интензитет отказа опада и ако је средња вредност мања од стандардне девијације ( $T_{ur} < \sigma$ ) треба испитати Вејбулов закон расподеле са параметром облика  $\beta$  мањим од 1 ( $\beta < 1$ );
- У случају да ни један од претходних услова није задовољен, а:
  - познато је да полазни подаци представљају минимуме случајно-променљиве треба проверити хипотезу о расподели минималних (екстремних) вредности или
  - када је познато да полазни подаци представљају максимуме (екстреме) случајно-променљиве, треба испитати могућност апроксимације расподелом максималних (екстремних) вредности и/или гама расподелом.



Описани поступак алгоритамски је приказан на слици 2.15.

Поступак провере који од познатих закона највише одговара резултатима, односно информацијама које се обрађују, тј. којим законом расподеле најбоље могу да се интерпретирају наведени резултати, представља врло осетљиву фазу поступка обраде података.

Провера полазне хипотезе о важности једног одређеног закона расподеле може се проверити на више начина.

Већ је наведена применљивост графичког начина за проверу полазне хипотезе уз помоћ одговарајућих папира вероватноће.

Наиме, за сваку расподелу може да се конструише такав папир вероватноће, чији ће координатни систем бити решен тако да се закон расподеле у њему јавља као права линија.

У том случају, ако се уношењем података који се обрађују у овакав папир вероватноће констатује задовољавајуће поклапање са правом линијом, може се сматрати да је полазна хипотеза исправна, тј. да се посматрана случајна величина може интерпретирати на овај начин.

Постоји и могућност да се ова оцена и ближе провери, помоћу статистичких тестова, те да се исправност хипотезе још више учврсти.

Поступак одређивања теоријског закона расподеле помоћу папира вероватноће, за случај Вејбулове расподеле може да се опише на следећи начин.

На основу израза за Вејбулов закон расподеле  $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$ , могуће је конструисати Вејбулов папир вероватноће у коме је координатни систем са поделом добијеном логаритмовањем израза за непоузданост на следећи начин:

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

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

Из горњег израза је очигледно да при конструкцији папира у коме је  $x$ -оса са поделом " $\ln t$ ", а  $y$ -оса са поделом:

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

Вејбулова теоријска расподела непоузданости постаје права линија облика:

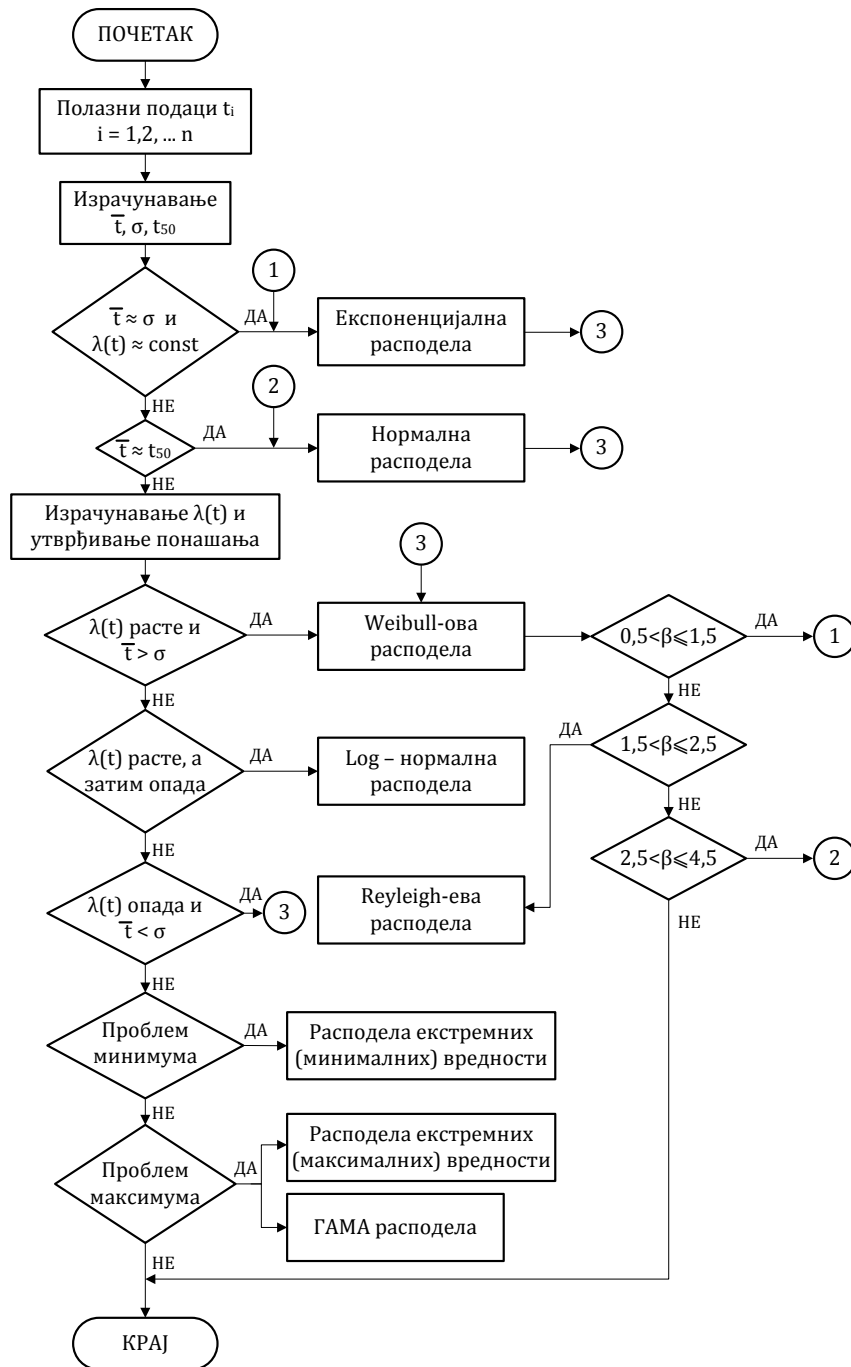
$$y = \beta \cdot x + (-\beta \cdot \ln(\eta))$$

Добијене вредности се уносе у Вејбулов папир вероватноће и изврши се линеарна апроксимација (линеарном регресијом  $y = ax + b$ ), где је:

$$a = \frac{i \cdot \Sigma(x \cdot y) - (\Sigma x) \cdot (\Sigma y)}{i \cdot \Sigma(x^2) - (\Sigma x)^2},$$

$$b = \frac{\Sigma(x^2) \cdot (\Sigma y) - (\Sigma x) \cdot \Sigma(x \cdot y)}{i \cdot \Sigma(x^2) - (\Sigma x)^2}.$$

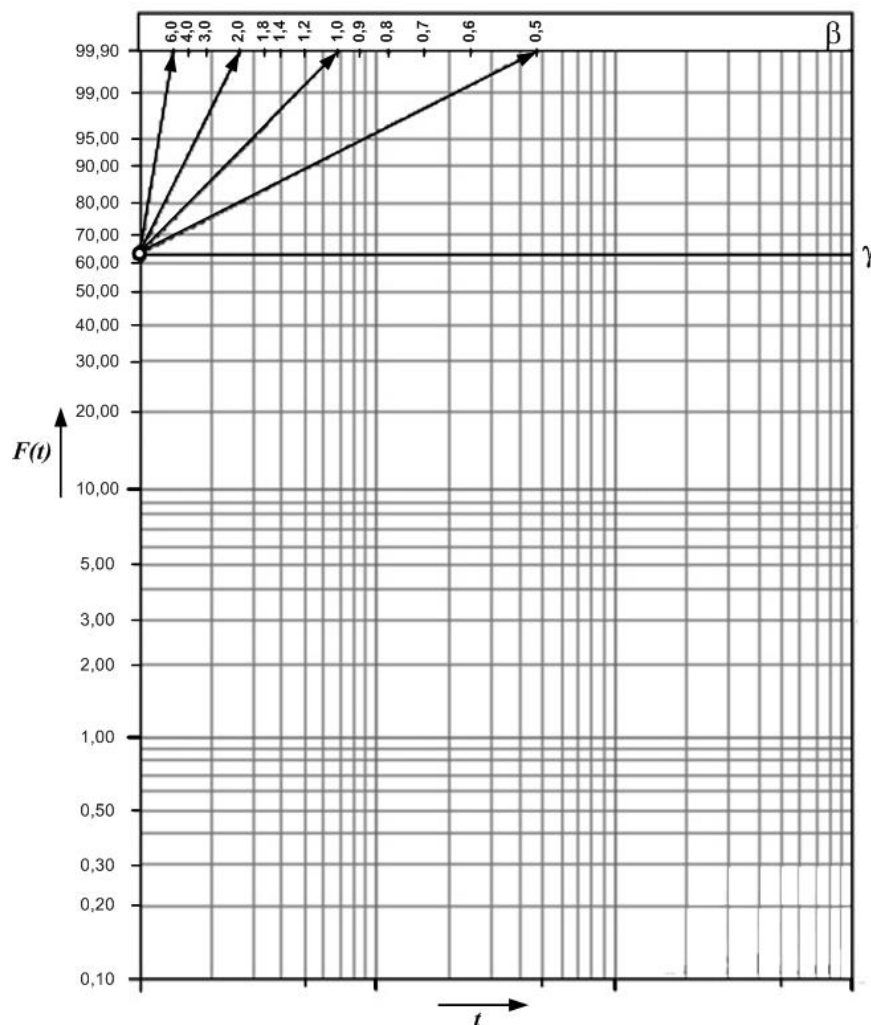
Вредности параметара  $\beta$  и  $\eta$  могуће је приближно тачно одредити и са папира вероватноће, и то: параметар облика  $\beta$  као нагиб апроксимативне праве из папира вероватноће, параметар размере  $\eta$  се читава на апсциси  $t$ , а добија се повлачењем нормале на апсцису  $t$  из пресека апроксиманте и ординате.



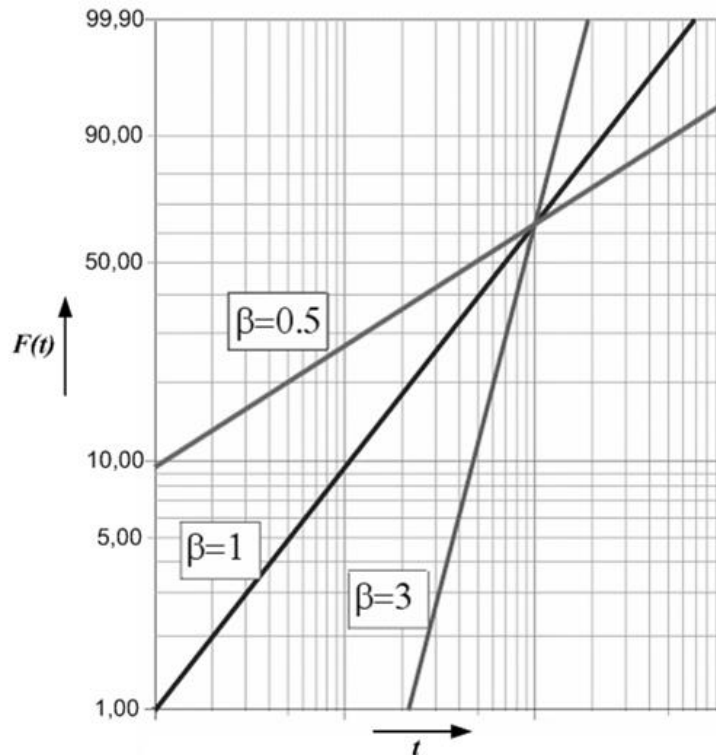
**Слика 2.15.** Алгоритам за утврђивање теоријског закона расподеле  
[Зеленовић и остали, 1979]

Одступања која се јављају између унетих тачака и апроксимативне праве линије толеришу се до одређене мере. Карактеристично је да се одступања најинтензивније јављају код најмањих релативних учесталости. Да би се у оцени ових одступања добила одређена сигурност, користе се тзв. статистички тестови, међу којима се највише користи тест Колмогоров-

Смирнова. Тест се заснива на претпоставци да добијена расподела заиста одговара теоријској, и то за целу популацију. Степен сагласности се оцењује на бази одступања појединих тачака од претпостављене расподеле - дакле праве линије, упоредјујући ова одступања са критичним вредностима каја су дата у одговарајућим табелама [Weibull, 1951]. Табеле се дају за различит број узорака и различит степен значајности. Ако било која тачка унетих података, излази из подручја дефинисаног критичног одступања, постоји само онолики проценат шансе (дефинисан степеном значајности из наведене табеле), да претпостављена расподела одговара стварним особинама популације. Насупрот томе, ако ниједна тачка не излази из овог подручја, то не значи да је овако претпостављена расподела тачна, већ само да може бити задовољавајућа. Ово је обележје и свих других статистичких тестова, али се тест Колмогоров-Смирнова наводи као најприкладнији за употребу.



Слика 2.16. Папир вероватноће за Вејбулову расподелу



Слика 2.17. Утицај параметра  $\beta$  на Вејбуловоу расподелу, посматрано на папиру вероватноће

## 2.4. Тропараметарска Вејбулова расподела

Вејбулова расподела оправдава назив универзалне расподеле, поред раније наведене могућности да описује исте појаве као и нормални, експоненцијални, лог-нормални закон расподеле, даје и могућност да описује појаве које имају одређени почетни период, за који се сигурношћу може тврдити да се неће десити одређено стање (отказ). Овакве појаве се описују Вејбуловом тропараметарском расподелом [Ивковић, 1997].

Када се подаци који одговарају тропараметарској Вејбуловој расподели унесу у Вејбулов папир вероватноће, добија се крива линија. У овом случају поред параметара облика и размере (двопараметарска Вејбулова расподела), постоји и параметар положаја  $\gamma$ , који се одређује на један од три начина:

### 1. Графичко – итеративним поступком:

Претпостави се вредност параметра  $\gamma$  мања од најмање реализоване вредности и рачуна се вредност апсцисе папира вероватноће  $t - \gamma$ . На

израчунатим вредностима уцртавају се тачке MR (медијални ранг), односно  $F(t)$  и врши се поново апроксимација правом линијом. Уколико није могуће податке довољно добро апроксимирати правом линијом (поново се добија крива линија), поступак претпостављања параметра  $\gamma$  се понавља све док се, за одређено  $\gamma$ , у Вејбуловом папиру не добије права линија.

2. Графичко – аналитички према изразу:

$$\gamma = t_2 - \frac{(t_3 - t_2) \cdot (t_2 - t_1)}{(t_3 - t_2) - (t_2 - t_1)}$$

где су:

$t_1$  – вредност апсцисе у првој тачки криве ( $t_{\min}$ ),

$t_2$  – вредност апсцисе добијене (графичким путем) половљењем разлике ордината  $t_1$  и  $t_3$  ( $t_{sr}$ )

$t_3$  – вредност апсцисе у последњој тачки криве ( $t_{\max}$ ).

3. Аналитички, према истом изразу као код другог поступка:

Поступак који се од графичко-аналитичког поступка разликује само по начину одређивања величине  $t_2$ , наиме:  $t_2$  тј. вредност апсцисе одређује се као време које одговара непоузданости, која се одређује на основу средње вредности израза:

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

одређеног за непоузданост на крју првог и последњег интервала, односно,

$$A = \frac{\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t_1)}\right)\right) + \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t_3)}\right)\right)}{2}$$

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t_2)}\right)\right) = A$$

$$F(t_2) = 1 - e^{-A}$$

Након овако одређене непоузданости, потребно је одредити у којем интервалу се налази добијена вредност и интерполацијом одредити одговарајући временски тренутак -  $t_2$ . Овде је потребно напоменути да се на овај начин чини одредјена грешка услед линеарне интерполације криве линије, али је грешка која се чини релативно мала, односно прихватљива.

Поступак одређивања параметара  $\eta$  и  $\beta$  је исти као и код Вејбулове двопараметарске расподеле.

Коначан израз за поузданост је:

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

Поступак тестирања теоријског закона расподеле је идентичан поступку тестирања двопараметарске Вејбулове расподеле.

## 2.5. Сложена Вејбулова расподела

Вејбулова расподела добро апроксимира велики број појава у природи. Како се у пракси често јавља проблем нехомогености узорака, то јест података о тренуцима појава основних стања система, то је потребно, у поступку анализе података, одредити теоријски закон расподеле који на задовољавајући начин описује и такве нехомогене узорке. Овај поступак је познат као сложена Вејбулова расподела [Ивковић, 1997]. Нехомогеност узорка утврђује се након уношења података о непоузданости у папир вероватноће. Уколико се у поступку апроксимације унетих података могу повући две или три праве линије као апроксиманте, то указује на чињеницу да подаци представљају различите отказе, нпр. ране, случајне или позне. У том случају се врши раздвајање узорака и то на основу:

- Дијаграма фреквенције отказа  $f(t)$ ,
- Дијаграма интензитета отказа  $\lambda(t)$  и
- Вејбуловог папира вероватноће.

Границе између појединих узорака одређују се на местима очигледне промене основних тенденција фреквенције и интензитета отказа, односно у временском интервалу у коме се завршава (отпочиње) права линија из Вејбуловог папира. Након раздвајања узорака поново се израчунава вредност

$F(t)$ , односно медијални ранг MR, за сваки подскуп посебно. На идентичан начин како се ради када је у питању обична, двопараметарска Вејбулова расподела, одређују се и параметри  $\beta_i$  и  $\eta_i$  расподеле за сваки подскуп. Коначан израз за поузданост је:

$$R_s(t) = \frac{n_I}{n} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta_I}\right)^{\beta_I}} + \frac{n_{II}}{n} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta_{II}}\right)^{\beta_{II}}} + \frac{n_{III}}{n} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta_{III}}\right)^{\beta_{III}}}$$

где је са  $n_I$ ,  $n_{II}$  и  $n_{III}$  означена величина појединих узорака, а индекси уз параметре расподеле означавају узорак на који се односе.

## 2.6. Случај малог узорка

Врло чест случај у анализи показатеља поузданости или погодности одржавања техничких система, је недовољно велики број експерименталних података. У том случају непосредна анализа на основу кумулативних учесталости експерименталних података ствара нереалну слику о анализираном догађају. За такве случајеве морају да се користе посебне методе, међу којима је најзаступљенија метода медијалног рангирања. У литератури се као гранични број података за коришћење ових метода обично наводи 50 [Ивковић, 1997]. Наиме, код испитивања малог броја узорака потребно је преко одговарајућег статистичког показатеља, објективније оценити стварни ранг сваког појединачног резултата. У суштини решење проблема се своди у томе, што се у папир вероватноће уместо кумулативних учесталости уносе медијални рангови (MR) сваког резултата испитивања, понаособ.

Ранг може да се дефинише за неку тачку  $P$  (дефинисану као проценат и то сведену тако да се налази у интервалу  $0 < 1$ ), и то као решење биномне расподеле по величини  $Z$ . За  $j$ -ти отказ, ранг процењене непоузданости може да се прикаже као:

$$P = \sum_{k=j}^N \binom{N}{k} Z^k (1 - Z)^{N-k}$$

Величина  $N$  представља укупни број резултата, односно број елемената у узорку који се посматра.



Полазећи од тога да је вероватноћа да половина времена анализираниог случаја буде мања, а половина већа од претпостављене вредности ранга, односно дефинисањем тачке  $P$  за вредност 0,50 (50%), добија се следећа једнакост:

$$0.50 = \sum_{k=j}^N \binom{N}{k} Z^k (1 - Z)^{N-k}$$

Други, нешто подеснији начин за употребу, одређивања медијалног ранга, је преко бета расподеле ( $F_{0,50; m; n}$  – аналогно прво наведеном примеру):

$$\begin{aligned} MR &= \frac{1}{1 + \frac{N-j+1}{j} F_{0,50; m; n}} \\ m &= 2(N - j + 1) \\ n &= 2j \end{aligned}$$

Непрактичност употребе наведене две једнакости, решава се давањем медијалних рангова таблично. Често се користи и приближан образац (добијен емпиријски), као најподеснији аналитички начин за одређивање медијалног ранга, у облику:

$$MR = \frac{j - 0.3}{N + 0.4}$$

Ова апроксимација се хазива функција Бенарда (Benard's approximation). Величина  $j$  представља редни број резултата мерења (први од свих резултата, сређених по растућем реду апсолутних вредности), а  $n$  укупни број резултата, односно број елемената у узорку који се посматра. Као алтернатива наведеном методу медијалног рангирања користи се и на пример Kaplan-Meier-ов метод процене ранга, и слично [[Reliability edge, 2002](#)].

## 2.7. Оцена погодности одржавања

Анализа и оцена погодности одржавања једног техничког система, у највећој мери представља оцену па и саму верификацију одговарајућег система одржавања. Поступци анализе и оцене погодности одржавања могу

бити теоријске или хеуристичко-емпиријске природе. Прве су засноване на поставкама аналогним оним у теорији поузданости, док су хеуристичко-емпиријске методе првенствено базиране на искуству и знањима из праксе, као и експертској процени. Теоријски засноване методе су објективније, а тиме у начелу и поузданије. Примена ових метода, међутим, тражи много улазних података, те је у тој мери и комплекснија за примену. Хеуристичко-емпиријске методе су у некој мери субјективног карактера, те се првенствено користе за упоредне или оквирне анализе погодности одржавања. У сваком случају основна предност им је једноставна и брза примена. Међутим, не може а да се не констатује да експертске методе оцене погодности одржавања или неких других перформанси, начелно носе више информација. Односно уз квалитетно постављену анкету и систематски приступ анализи прикупљених информација, могу да се добију резултати који могу да имају већу специфичну тежину и далеко више могућих модела тумачења, у односу на оне добијене на бази теоријских модела.

Теоријске методе су засноване на посматрању квалитета система одржавања (погодности одржавања) на основу: времена потребног за одговарајућу радњу на систему из области поступака одржавања; или на основу трошкова спровођења поступка одржавања. Повољна стратегија одржавања омогућава спровођење потребних или предвиђених поступака одржавања у краћем времену, са мањим трошковима. При томе повољнија стратегија одржавања се на одређени начин рефлектује и на функцију погодности одржавања  $M(t)$ . Поступак дефинисања функције  $M(t)$  на основу времена потребног за одговарајућу радњу на систему из области поступака одржавања, је практично описан у оквиру истраживања претходних поглавља. Речено је, да се што се тиче перформансе погодности одржавања, уз Вејбулову често користи и Лог-нормална расподела. У теоријској анализи закона расподеле, детаљно је описана само Вејбулова из довољно јасних разлога. Што се тиче Лог-нормалне, концепцијски приступ је потпуно аналоган и на истом нивоу дат у литератури [[Reliability edge, 2002](#)].

Хеуристичко емпиријске методе имају подлогу у ставу да се квалитет изабране стратегије одржавања, односно одговарајућег система одржавања, може оценити и валоризовати и без дубљих теоријских анализа, а под условом да се пажљиво анализирају сви параметри система који непосредно или посредно утичу на погодност одржавања. Сви утицајни чиниоци глобално

се могу поделити на пет група: конструкција система; логистичка подршка; радионица; радници који обављају поступке одржавања; снабдевеност резервним деловима алатом и потрошним материјалом. Оцена сваке групе чинилаца може да се изврши квалитативно и квантитативно. Квалитативно оцењивање представља описно оцењивање, које је на први поглед једноставније, али тражи доста искуства и ствара тешкоће у исказивању и тумачењу појединих мишљења и ставова. Квантитативно оцењивање појединих система врши се према одговарајућем моделу (упутству) у складу са прецизно дефинисаним критеријумима и нормама. Најчешће се свако својство или параметар оцењује – бодовањем, те се одговарајућим математичким моделом своди оцена погодности одржавања датог објекта или техничког система. У свету је развијено више модела квантитативног оцењивања погодности одржавања.

Метода “mil-hdbk-407” заснива се на констатацији да се откази јављају због неисправности рада елемената или склопова, који могу да се замене; те да време у отказу зависи од трајања операције замене. Сходно томе време у отказу зависи од три параметара:

- физичких особина објекта одржавања, тј. посматраног техничког система;
- потребне логистичке подршке;
- вештине и обучености радника на одржавњу.

Оцена ових параметара врши се на основу одређених “чек-листа” за сваки параметар. Основни садржај ових листа би био специфичан за сваки систем, и садржао би одговарајуће ставке које се посебно бодују. Систем је развијен за потребе Ратног ваздушловства САД-а, те је и његова примена доста софистицирана.

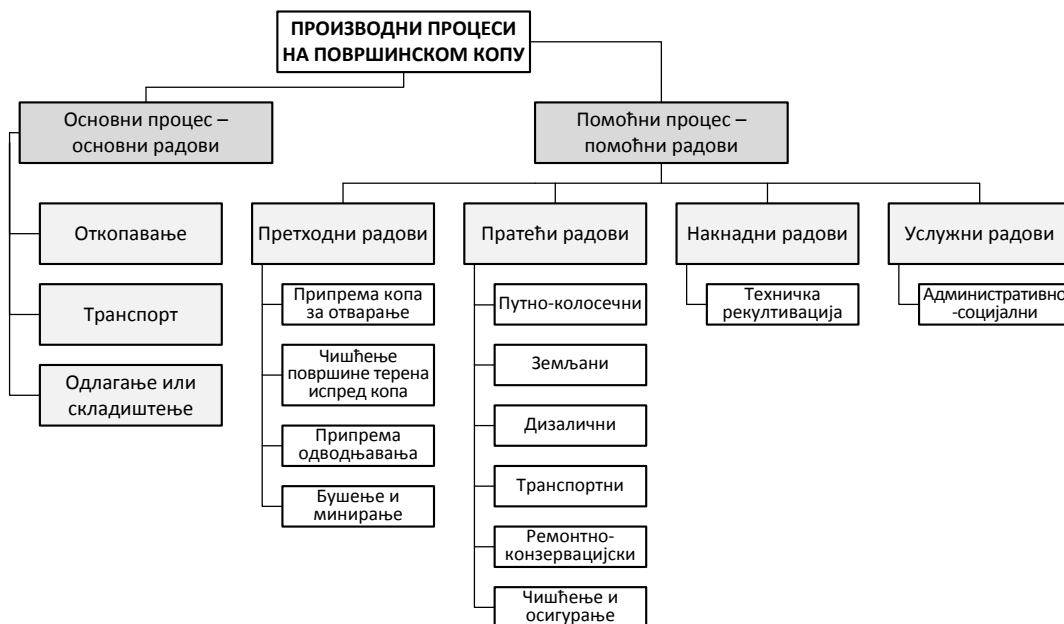
Модел “Bretby” процењује погодност одржавања на основу одговарајућег индекса (Bretby Maintainability Index), до кога се долази бодовањем. Индекс је структуриран тако да истакне оне поступке одржавања који постављају највеће захтеве и траже највише времена, као и оне који могу довести до секундарних отказа и оштећења или до повреде радника. И у овом случају основни концепт је да се сваки појединачни поступак одржавања бодује на бази детаљно разрађених Чек-листа. Број бодова који се додељује за појединачне утицајне факторе је у сразмери са радним временом, тако да се на бази укупног индекса може проценити време трајања стања у

отказу, датог система. Бодовање се врши у четири сегмента: приступачност; карактер поступка (монтажа, демонтажа, провера, притезање и сл.); посебни захтеви (енергетски, видљивост, обука, и сл.); периодичност (недељно, годишње, итд.).

### 3. ЗНАЧАЈ, УЛОГА И МАШИНЕ ПОМОЋНЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА

Површинску експлоатацију дефинише технолошки процес откопавања лежишта и примена одговарајуће механизације. Сви радови који се обављају на површини терена у циљу откопавања корисне минералне сировине чине процес површинске експлоатације, а објекат који се при томе формира назива се површински коп. Површинска експлоатација обухвата две основне групе радова: радове на откривци (јаловини) и радове на корисној минералној сировини. Површински копови су по правилу опремљени машинама великог јединичног капацитета за обављање основног технолошког процеса. Међутим, поред основног технолошког процеса који се обавља крупном механизацијом, на површинском копу су присутни бројни и веома разноврсни помоћни радови који се ефективно могу обављати само специјалним машинама, у рударској технологији названим помоћном механизацијом. Наравно, овај појам треба схватити условно, будући да има доста површинских копова (углавном мањих капацитета), али и грађевинских предузећа, где основну механизацију представљају искључиво машине из ове групе. [Ђурић, 2008]

На слици 3.1 дат је шематски приказ основних и помоћних радова на копу.



Слика 3.1. Основни и помоћни радови на површинском копу

У табели 3.1 дат је преглед основних група, подгрупа и елементарних помоћних радова на површинским коповима као и помоћних машина које ове радове обављају или могу успешно обављати. [Игњатовић, 1997]

**Табела 3.1.** Класификација помоћних радова на површинском копу и преглед машина

Основне групе и подгрупе помоћних радова	Елементарни помоћни радови	Примењена помоћна механизација	
Претходни радови	Припрема копа за отварање	Израда усека отварања, израда монтажних плацева, изградња насеља, монтажа.	Дреглајни, дозери, ваљци, дизалице, дерик-кранови.
	Чишћење површине терена испред копа	Рушење и уклањање грађевинских објеката, сеча шума и вађење пањева, уклањање ниског растиња.	Хидраулични багери, утоварачи, дозери, камиони.
	Припрема одводњавања	Регулација водотокова, израда усека одводњавања, израда водонепропусних екрана, постављање цеви, израда филтерских бунара.	Дреглајни, дозери, хидраулични багери, цевопологачи, машине за бушење.
	Бушење и минирање	Бушење бунара, истражних и минских бушотина и пуњење експлозивом.	Машине за бушење и пуњење експлозивом.
Пратећи радови	Путно-колосечни	Изградња и одржавање путева померљивих и преносивих, стабилизација тла на етажа-ма, померање и регулисање транспортера, продужавање и скраћивање транспортера, премештање електро напајања, превлачење елемената конструкције и објеката.	Машине за полагање путног застора, машине за стабилизацију тла (ваљци), цевопологачи са главом за померање, дозери.
	Земљани	Нивелисање терена откопних и одлагалишних етажа (израда планума), чишћење кровине угља, обликовање косина копа и одлагалишта, растресање (риповање) терена, копање канала, рупа за анкере, пропуста, водосабирника, утовар материјала.	Багери са једним радним елементом (дреглајни), дозери са рипером, скрепери, грејдери, хидраулични багери.
	Дизалични	Складиштење, претовар материјала, демонтажа и монтажа машина.	Виљушкар, мосни кранови, дизалице, монтажни кранови, цевопологачи.
	Транспортни	Превоз људи, машина, материјала, горива и воде, делова конструкција.	Теренски аутомобили, доставна, ватрогасна возила, цистерне за воду и гориво, трактори, камиони, плато кола.
	Ремонтно-конзервацијски	Замена механичких и електро делова багера, одлагача и транспортера, вулканизација трака, подмазивање и замена уља у оквиру текућих ремонта, сервиса и инвестиционих поправки.	Уређаји за замену кашика, ваљака и ланаца, пресе за вулканизацију, покретне радионице, апарати за заваривање, генератори, компресори, контејнери, дизалице, цевопологачи, транспортна средства.
Чишћење и обезбеђење	Чишћење пресипних места, одстрањивање отпадака, загревање/одмрзавање, постављање ограда, уклањање снега.	Утоварач, специјални чистач или трактор са телескопским уређајем, уређаји за одмрзавање, грејдери, чистачи путева.	
Накнадни радови	Техничка рекултивација	Равнање површина одлагалишта, обликовање косина, израда канала, приступних путева.	Дозери, дреглајни, хидраулични багери.
Услужни радови	Техничка инфраструктура	Припрема терена за расељавање, израда путева, водоводних и електричних водова, пресељење објеката, снабдевање водом и др.	Дозери, грејдери, ваљци, хидраулични багери, утоварачи, транспортна средства.

Ефикасно извршење разноврсних помоћних радова захтева примену специјализованих машина, као што су: дозери, утоварачи, цевополагачи, померачи, рипери, хидраулични багери, грејдери, скрепери, багери дреглајни, ваљци, дизалице, камиони, цистерне, теренска возила итд. [Ђурић, 2008]

Машине помоћне механизације су заправо машине за копање и транспорт откопаног материјала које истовремено обављају обе наведене функције, при чему се кретање радног органа при копању остварује кретањем целе машине. Поред помоћних радова, неке од њих у извесним случајевима могу да служе и као основне машине у процесу експлоатације површинским начином. Неке од поменутих машина имају широку област примене, односно универзалнијег су карактера (очит пример су дозери), док су друге уско специјализоване за обављање само одређених врста послова (дизалице, машине за бушење).

Помоћна механизација на површинским коповима ради у веома тешким условима, у веома различитим материјалима и променљивим климатским условима, са изразито високим осцилацијама оптерећења у радном режиму, са честим променама правца, смера и брзине кретања, неопходно је истаћи следеће захтеве:

- маневарску способност тј. могућност кретања и рада машине у стешњеним условима савлађивања малих радијуса кривине или окретања у месту;
- мобилност машине која је одређена брзином кретања, радном и транспортном проходношћу, стабилношћу при кретању и раду, габаритима и другим параметрима;
- стабилност машине у транспорту и раду као способност исте да ради или се креће на одређеним нагибима (успонима или падовима), без опасности од превртања;
- проходност машине као способност савлађивања разних неравнина на терену, кретања по влажним и растреситим (насутим) подлогама, савлађивања плићких водених препрека.

На машинама за откопавање и транспорт откопаног материјала примењују се сложенија конструктивна решења која могу да одговоре постављеним захтевима. У погледу поузданости, сигурности, квалитета и издржљивости, због много оштријих захтева него код других сличних машина,

ове машине се одликују великом хетерогеношћу кинематских решења и извршних органа.

Најважнији параметар, од кога у највећем степену зависи ефективност рада помоћне механизације у условима радне средине на површинским коповима је проходност.

Она је одређена врстом транспортног уређаја (гусенични или на точковима), специфичним притиском на тло, вучном силом и клиренсом, а код машина на точковима (пнеуматицима) још и бројем погонских осовина, пречником, бројем и распоредом точкова, подужним и попречним радијусом проходности, радијусом окретања итд. [Ђурић, 2008]

### 3.1. Преглед, примена и основне карактеристике помоћне механизације на површинским коповима

У табели 3.2 дат је преглед помоћне механизације и њихова примена на површинским коповима.

**Табела 3.2.** Преглед помоћне механизације и њихова примена на површинским коповима

Доzer		<p>Израда планума за транспорт багера и одлагача, гурање просутих маса у зону дејства роторног точка, разбијање "венаца" одложеног материјала, копање и гурање и сабијање меких стенских материјала, планирање траса за саобраћајнице (путеве, пруге, транспортере), израда рампи и обрада косина, чишћење етажа и транспортних путева, израда монтажних платоа, планирање земљишта за потребе рекултивације, вуча погонских, повратних станица, клизног воза и утоварних колица при померању транспортера, вуча вулканизерских кућица, трафо станица, риповање угља и чвршћих стена, вађење пањева, рушење разних објеката, итд.</p>
Цевологач (померач)		<p>Померање транспортера, монтажа и демонтажа транспортера, нивелација транспортера, дизалични радови, утовар, истовар, постављање цеви, монтажни радови, пренос и вуча различитих конструкционих елемената, итд.</p>



Утоварачи		Откопавање и утовар различитих материјала у меком и растреситом стању, чишћење терена око погонских и повратних станица, чишћење терена, подешавање понтона приликом померања транспортера, чишћење етажа и утовар отпадног материјала после извршених сервиса и инвестиционих оправки и др.
Хидраулични багер		Израда и одржавање (чишћење) канала за одводњавање, откопавање и утовар разног материјала, чишћење око погонских, повратних станица и дуж транспортера, монтажа транспортера, израда рупа за анкере и стубове, рушење разних објеката, вађење пањева и сл.
Грејдери		Изградња и одржавање путева, израда и чишћење канала, планирање монтажних платоа, фино планирање трасе транспортера (када временски услови то дозвољавају), чишћење снега у зимским условима и др.
Ваљци		Компактирање терена приликом израде плацева за монтажу и ремонте (инвестиционе оправке), изградња и одржавање путева и др.
Чистачи трака		Чишћење просутог материјала дуж транспортера.
Машине за бушење		Бушење истражних бушотина, бунара за одводњавање и минских бушотина (ако има потребе).
Камиони кипери		Превоз сипког грађевинског материјала и резервних делова.
Камиони са краном		Утовар, превоз и истовар резервних делова и конструкционих елемената и склопова мањих димензија и маса до 5 t.
Цистерне		Превоз течних материјала (воде, горива и другог).

Дизалице		Утовар, истовар и монтажно-демонтажни радови.
Теренска возила		Превоз људи.
Плато кола		Транспорт резервних делова већих димензија и маса до 40 t, превоз помоћних машина и др.
Доставна возила		Транспорт елемената маса до 2 t.
Виљушкари		Утовар и истовар разних материјала и конструктивних елемената у радионицама и на магацинским плацевима.

Најзаступљеније машине помоћне механизације на површинским коповима су дозери, цевополагачи, утоварачи, хидраулични багери и грејдери. Као што се види, акценат је дат такозваним машинама тешке помоћне механизације.

**Дозери** – најзаступљеније машине помоћне механизације на површинским коповима, како по врсти тако и по обиму помоћних радова који се њима могу успешно обављати. Дозери се у основи састоје од базне машине (трактора на гусеничном транспортном уређају или на пнеуматичима), и овесног радног органа чији је основни елемент плуг. Могу се класификовати по бројним обележјима: по номиналној вучној сили базне машине, по снази мотора базне машине, по типу транспортног уређаја, по начину управљања, по положају тј. могућности заокретања плуга у хоризонталној и вертикалној равни, по намени, итд.

По номиналној вучној сили, дозере можемо класификовати као:

- веома тешке (изнад 300 kN),
- тешке (250-300 kN),
- средње (135-200 kN),
- лаке (25-135 kN) и
- веома лаке или малагабаритне (до 25 kN).

При овоме, под номиналном вучном силом дозера се подразумева максимална вучна сила коју може реализовати базна машине са овесним радним органом на чврстој подлози, при проклизавању не већем од 7% за дозере на гусеницама, односно 20% за дозере на пнеуматцима.

По снази мотора, дозере можемо поделити на:

- веома снажне (изнад 300 kW),
- снажне (190-300 kW),
- средње снаге (120-190 kW),
- мале снаге (45-120kW) и
- врло мале снаге (испод45 kW).

Треба напоменути да снага погона дозера приближно одговара њиховој вучној сили.

По типу транспортног уређаја, дозери могу бити на:

- гусеничном транспортном уређају или
- на пнеуматцима.

По начину управљања радним органом, дозери могу бити са:

- ужетним или
- хидрауличним системом управљања.

Због немогућности принудног утискивања резног дела плуга у тло, ужетни систем управљања је скоро у потпуности истиснут из употребе и замењен хидрауличним системом управљања радним органом. Наиме, хидраулични систем управљања обезбеђује интензивније утискивање резног дела плуга у тло и то на рачун могућности преношења дела тежине базне машине на резни део плуга.

По положају плуга у хоризонталној и вертикалној равни, дозере можемо поделити на:

- булдозере, код којих је плуг постављен управно на подужну осу базне машине без могућности заокретања у хоризонталној равни,
- англдозере, код којих је плуг окретан у односу на подужну осу базне машине тј. у хоризонталној равни, по правилу за угао  $\varphi = 55 \div 60^\circ$ ,
- тилтдозере, код којих је плуг окретан у хоризонталној и вертикалној равни.

У погонској пракси, а и у стручној литератури, врло често се користи подела на:

- дозере са неокретним плугом (булдозери) и
- дозере са окретним плугом (англедозери и тилтдозери са правим и дозери са универзалним плугом).

Дозери опште намене се користе за слојно резање, формирање вучне призме и транспорт откопаног материјала, а специјални дозери за обављање специфичних технолошких операција или рада у специјалним условима (гурачи скрепера, рад у екстремним климатским условима, итд.).

Данас се у свету производи велики број модела дозера, снага до 600 kW и масе до 100 t.

**Цевополагачи/померачи** – после дозера, представљају једну од најзаступљенијих помоћних машинана површинским коповима. Оне уствари представљају самоходне дизалице са бочним краном. Обављају бројне радове од чијег квалитета и брзине извођења директно зависи ефективност рада основне механизације.

Цевополагачи имају велику примену на површинским коповима захваљујући пре свега доброј проходности и малом специфичном притиску на тло. Сходно овоме, они веома успешно замењују дизалице пре свега на слабо носећим теренима, посебно у случајевима када терет треба пренети на одређено растојање. Цевополагачи су веома захвалне машине за извођење бројних радова, како је и наведено у табели 3.2.

Међутим, најважнија намена цевополагача на површинским коповима везана је за радове на померању транспортера. Како је за обављање радова померање транспортера неопходно зауставити рад основних технолошких система, императивно се намеће потреба да се радови померања и накнадне регулације транспортера обаве што квалитетније и у што је могуће краћем временском року. За радове померања транспортера цевополагачи морају бити опремљени специјалном главом за померање. Управо радови на померању транспортера, уз пуно респектовање конкретних услова радне средине и примењене основне механизације, мериторни су за оптимални избор цевополагача. Наиме, цевополагачи недовољне снаге и масе не могу постићи задовољавајуће учинке померања. Са друге стране, предимензионисана машине не одговара због веће масе, набавне цене и немогућности искоришћења њеног оптималног капацитета.

Данас се у свету израђују цевополагачи који имају носивост и преко 1000 kN са масом од преко 65 t.

**Утоварачи** – откопно-транспортне машине које се све више примењују у површинској експлоатацији и то првенствено за утовар растреситог материјала, као и за откопавање и утовар слабије везаних материјала. Све већа примена утоварача на површинским коповима резултат је низа предности које имају ове машине: релативно велики капацитет у односу на масу, мале експлоатационе трошкове, велику брзину која им омогућава да обављају и транспортне радове, мање трошкове набавке, могућност опслуживања више радилишта, мали масу, могућност рада у скученом простору, независност продуктивности од смањења висине радилишта, итд. Обзиром на предности утоварача, може се очекивати да ће ове машине имати све већу примену у својству основне и помоћне механизације на површинским коповима, поготово ако се има у виду убрзан развој компонената везаних за трансмисију, моторе, транспортне уређаје, итд.

Основни радни елемент је кашика која је зглобно везана за врх подизне стреле. Пуњење кашике материјалом врши се под дејством потисне силе транспортног уређаја или при закоченом транспортном уређају, на рачун сагласног дејства стреле, полужног механизма и хидрауличних цилиндара.

Утоварачи се по правилу класификују по следећим обележјима:

- носивост: лаки (6-20 kN), средњи (21-40 kN), тешки (41-100 kN) и врло тешки (изнад 100 kN);
- снага базне машине: мале снаге (до 75 kW), средње снаге (76-150 kW), велике снаге (151-500 kW) и веома велике снаге (изнад 500 kW);
- тип базне машине: специјалне шасије, модификовани трактори, тегљачи;
- транспортни уређај: на гусеничном транспортном уређају и на пнеуматицима;
- начин пражњења кашике: предње (фронтално), задње и бочно;
- намена: опште и специјалне намене.

Будући да се у већини случајева код утоварача процес копања материјала остварује на рачун потисне силе које се ствара померањем базне машине напред, то се посебан захтев код ових машина поставља у смислу задовољења трајности и поузданости уређаја за транспорт. Утоварачи са

чеоним (фронталним) начином истовара кашике су нашли најширу примену на површинским коповима.

У свету се производе утоварачи са запремином кашике од 0.5 до 33 m<sup>3</sup> и снагама мотора до 1000 kW.

**Хидраулични багер / ровокопач** – примена једноставнијег и концепцијски савршенијег принципа погона и преноса снаге условили су знатно мању масу у односу на класичне багере кашикаре (2-3 пута мања маса). Овако знатно смањење конструкционе масе хидрауличних багера значи уједно и мање напрезање и оптерећење основних склопова, мање обртне моменте у раду, краћи радни циклус и мањи утрошак енергије. Хидраулични багери могу остварити далеко већу специфичну силу копања, јер се практично може искористити целокупна снага мотора преко хидрауличних цилиндара. Исто тако, измењена кинематска шема ослањања и учвршћивања радних елемената, као резултат директног постављања погонских склопова (радних хидрауличних цилиндара), има за последицу коришћење пуне ефективне снаге при практично независној трајекторији радног елемента. Интензитет реултујуће силе и трајекторија кретања кашике су независни од кинематске шеме и у сваком положају могу достићи пуну номиналну вредност.

Класификују се по следећим обележјима:

- врста транспортног уређаја: на гусеницама или на пнеуматцима;
- степен окретања платформе: неокретне, делимично окретне и потпуно окретне за 360°;
- врста погонског мотора: са СУС мотором, са електромотором;
- запремина кашике: са малом, средњом и великом запремином;
- висина притиска хидросистема: са ниским притиском до 100 бара, са средњим притиском 100-300 бара и са високим притиском преко 300 бара.

Последњих година ови багери добијају све већу примену и то као помоћне машине на великим површинским коповима са континуалним дејством и као основне машине на мањим површинским коповима. Последњих деценија, паралелно са усавршавањем багера са механичким и електричним преносом снаге од погонског мотора до извршних органа, усавршили су се и багери са хидрауличним преносом снаге. Савремени хидраулични багери израђују се са запремином кашике и преко 40 m<sup>3</sup> и

притисцима до 450 бара, са даљом тенденцијом пораста. Њима је могуће копати тла до IV категорије чврстоће.

**Грејдери** – машина намењена за планирање и профилисање хоризонталних и благо нагнутих терена. Углавном се примењују за изградњу путева и њихово одржавање. Грејдери могу бити вучени (прикључни) и самоходни, такозвани мотогрејдери. Самоходни грејдери су у потпуности истисли прикључне грејдере. Основни радни елемент грејдера је плуг, који је за разлику од дозерског плуга постављен између предњих и задњих осовина точкова, чиме се постиже лакше и финије планирање. Плуг код грејдера има могућност заокретања у вертикалној и хоризонталној равни, могућност промене угла резања као и бочног истурања ван ослоног рама.

Класификација самоходних грејдера најчешће се врши по: снази мотора, маси машине, дужини плуга, осовинској формули, систему управљања, итд. Уобичајена подела грејдера је:

- лаки: снага мотора до 70 kW, маса машине до 7 t, дужина плуга до 3000 mm и осовинска формула 1-1-2 и 2-2-2;
- средњи: снага мотора од 70 до 110 kW, маса машине изнад 14 t, дужина плуга до 3700 mm и осовинска формула 2-2-2 и 1-2-3;
- тешки: снага мотора изнад 110 kW, маса машине изнад 14 t, дужина плуга до 4900 mm и осовинска формула 1-2-3, 1-3-3 и 3-3-3 (осовинска формула *a-b-c* означава: *a* – број осовина са точковима за управљање, *b* – број погонских осовина и *c* – укупан број осовина).

У поређењу са неким другим помоћним машинама (дозери, утоварачи, цевополагачи, итд.), обим и врста помоћних радова који се изводе грејдерима су неупоредиво мањи, па је сходно томе и заступљеност ових машина на површинским коповима осетно нижа. Радној средини, обиму и врсти помоћних радова на површинским коповима у потпуности могу одговарати грејдери снаге мотора до 110 kW, масе до 14 t и дужине плуга 3700 mm.

### 3.2. Примењена помоћна механизација на примеру површинских копова Електропривреде Србије

Помоћна механизација у оквиру колубарског и костолачког угљеног басена је стационарирана на пет површинских копова: Поље Д, Поље Б, Велики Црљени, Тамнава Западно поље (колубарски басен) и Дрмно (костолачки басен). У табелама 3.3-3.14 дат је пресек тренутног стања и основних карактеристика машина помоћне механизације на овим површинским коповима (закључно са 2014/2015. годином).

**Табела 3.3.** Пресек тренутног стања дозера– костолачки басен

р.бр.	Машина	Произвођач	Интерни број	Снага [kW]	Маса [t]	Почетак рада	Време рада [mh]
1	TD 25G	Dressta (Pol)	B38	220	34	1990	20.293
2	CAT D8R	CAT (USA)	K2	245	33,5	1998	23.669
3	PD 320Y	Peng Pu China	S7	239	36	2001	12.591
4	PD 320Y	Peng Pu China	S8	239	36	2001	13.382
5	PD 320Y	Peng Pu China	S11	239	36	2001	12.775
6	PD 320Y	Peng Pu China	S14	239	36	2001	9.042
7	PD 320Y	Peng Pu China	S19	239	36	2001	12.248
8	PD 320Y	Peng Pu China	S20	239	36	2001	12.027
9	PD 320Y	Peng Pu China	S10	239	36	2001	9.215
10	TD 40C	Dressta (Pol)	A1	378	66,5	2003	20.358
11	TD 40C	Dressta (Pol)	A2	378	66,5	2003	22.492
12	TD 25 H	Dressta (Pol)	B1	242	36	2003	17.147
13	TD 25 H	Dressta (Pol)	B2	242	36	2003	13.009
14	TD 25 H	Dressta (Pol)	B3	242	36	2003	17.522
15	TD 25 H	Dressta (Pol)	B4	242	36	2003	17.793
16	TD 25 M EXTRA	Dressta (Pol)	B5	242	36	2007	10.676
17	TD 25 M	Dressta (Pol)	B6	242	36	2007	10.400
18	TD 25 M	Dressta (Pol)	B7	242	36	2007	12.628
19	TD 40E	Dressta (Pol)	A3	378	66,5	2007	15.547
20	TD 40E	Dressta(Pol)	A4	378	66,5	2007	14.360
21	TD 40E	Dressta (Pol)	A5	378	66,5	2007	12.231
22	TD-40E mc	Dressta (Pol)	A6	378	66,5	2008	11.080
23	TD 25 M EXTRA	Dressta (Pol)	B8	242	36	2008	15.042
24	TD 25 M EXTRA	Dressta (Pol)	B9	242	36	2008	12.291
25	TD 25 M EX	Dressta (Pol)	B10	242	36	2011	9.219
26	TD 25 M EXTRA	Dressta (Pol)	B11	242	36	2011	9.653
27	TD 25 M EX	Dressta (Pol)	B12	242	36	2012	8.110
28	TD 25 M EX	Dressta (Pol)	B13	242	36	2012	8.242
29	TD 25 M EXTRA	Dressta( Pol)	B14	242	36	2012	7.127
30	TD 25 M EXTRA	Dressta (Pol)	B15	242	36	2012	7.431
31	TD 25 M EXTRA	Dressta (Pol)	B16	242	36	2014	2.888
32	TD 25 M EX	Dressta (Pol)	B17	242	36	2014	2.504
33	TD 25 M EX	Dressta (Pol)	B18	242	36	2015	1.191
34	TD 25 M EX	Dressta (Pol)	B19	242	36	2015	912



**Табела 3.4.** Пресек тренутног стања цевополагача и померача – костолачки басен

р.бр.	Машина	Произвођач	Интерни број	Снага [kW]	Маса [t]	Почетак рада	Време рада [mh]
1	TD-25CS-3	Dressta (Pol)	C11	242	41,5	1998	15.464
2	TD-25CS-3	Dressta (Pol)	C20	242	41,5	1998	15.706
3	TD-25CS-3	Dressta (Pol)	C21	242	41,5	1998	16.501
4	TD-25CS-3	Dressta (Pol)	C22	242	41,5	2001	14.750
5	TD-25CS-3	Dressta (Pol)	C23	242	41,5	2001	16.589
6	TD-25CS-3	Dressta (Pol)	C24	242	41,5	2002	15.581
7	SB-60	Dressta (Pol)	C25	235	51	2003	15.295
8	SB-60	Dressta (Pol)	C26	235	51	2003	16.138
9	SB-60	Dressta (Pol)	C27	235	51	2003	15.728
10	SB-60	Dressta (Pol)	C28	235	51	2011	5.742
11	SB-60	Dressta (Pol)	C29	235	51	2011	6.800
12	SB-60	Dressta (Pol)	C30	235	51	2011	6.358
13	SB-60	Dressta (Pol)	C31	235	51	2015	463
14	SB-60	Dressta (Pol)	C32	235	51	2015	450
15	SB-85 PT	Dressta (Pol)	PT1	235	61	2009	6.533
16	SB-85 PT	Dressta (Pol)	PT2	235	61	2009	5.441
17	SB-85 PT	Dressta (Pol)	PT3	235	61	2012	2.191

**Табела 3.5.** Пресек тренутног стања утоварача гусеничара – костолачки басен

р.бр.	Машина	Произвођач	Интерни број	Снага [kW]	Маса [t]	Почетак рада	Време рада [mh]
1	953 C	CAT (USA)	G1	95	14,9	2001	12.985
2	TD 175 C	Dressta (Pol)	G2	105	14,2	2003	10.860
3	TD 175 C	Dressta (Pol)	G3	105	14,2	2003	11.130
4	953 C	CAT (USA)	G4	95	14,9	2001	13.975

**Табела 3.6.** Пресек тренутног стања утоварача на пнеуматцима – костолачки басен

р.бр.	Машина	Произвођач	Интерни број	Снага [kW]	Маса [t]	Почетак рада	Време рада [mh]
1	160 СК	ИМК 14. oktobar	ULT07	118	13,9	2003	21.500
2	220 СК	ИМК 14. oktobar	ULT08	187	18,7	2003	19.635
3	220 СК	ИМК 14. oktobar	ULT09	187	18,7	2003	18.795
4	160 СК	ИМК 14. oktobar	ULT10	118	13,9	2003	20.860
5	160 СК	ИМК 14. oktobar	ULT11	118	13,9	2006	16.150
6	160 СК	ИМК 14. oktobar	ULT14	118	13,9	2010	3.725
7	160 СК	ИМК 14. oktobar	ULT15	118	13,9	2011	2.435
8	160 СК	ИМК 14. oktobar	ULT16	118	13,9	2011	2.225

**Табела 3.7.** Пресек тренутног стања хидрауличних багера – костолачки басен

р.бр.	Машина	Произвођач	Интерни број	Снага [kW]	Маса [t]	Почетак рада	Време рада [mh]
1	O&K RH6/20	O&K (GER)	RH6	90	20	1998	8.320
2	CAT 320B	CAT (USA)	RK1	96	19,5	2001	18.035
3	CAT 320B	CAT (USA)	RK2	96	19,5	2001	15.535
4	BGH1000G	IMK 14. oktobar"	M1	105	25,5	2004	9.056
5	BGH1000G	IMK 14. oktobar"	M2	105	25,5	2004	6.519
6	BGH1000G	IMK 14. oktobar"	M3	105	25,5	2004	7.486
7	BGH1000G	IMK 14. oktobar	M4	105	25,5	2004	7.675
8	CAT336DL	CAT (USA)	RK3	198	30,5	2010	8.629
9	CAT 336DL	CAT (USA)	RK4	198	30,5	2010	11.133
10	E 265 B	New Holland (ITA)	RK7	142	27,5	2010	7.759
11	E 265 B	New Holland (ITA)	RK8	142	27,5	2010	4.899
12	UDS211.11	CSM Tisovec (Љех)	UDS3	94	18	2013	1.317
13	JCB JS210	JCB (GB)	RK9	102	21,5	2014	2.208
14	JCB JS210	JCB (GB)	RK10	102	21,5	2014	2.445
15	HMK 300 LC	Hydromek (TR)	RK11	161	30,5	2015	283
16	HMK 300 LC	Hydromek (TR)	RK12	161	30,5	2015	295

**Табела 3.8.** Пресек тренутног стања осталих машина – костолачки басен

р.бр.	Машина	Произвођач	Интерни број	Снага [kW]	Маса [t]	Почетак рада	Време рада [mh]
1	Аутодизалица Locatelli 840t,40t	Locatelli (ITA)	L1	125	28.5	2001	3283
2	Аутодизалица Locatelli 840t,40t	Locatelli (ITA)	L2	125	28.5	2001	2101
3	Аутодизалица Tatra NJ20, 20t	Tatra (Љех)	D5	280	25	2005	1771
4	Аутодизалица Tatra NJ20, 20t	Tatra (Љех)	D6	280	25	2005	3361
5	Аутодизалица Tatra NJ20, 20t	Tatra (Љех)	D7	280	25	2005	2930
6	Аутодизалица Tatra NJ20, 20t	Tatra (Љех)	D8	280	25	2005	3510
7	Грејдер MG145 (m. Cummins)	'Radoje Dakić' (CG)	1	110.4	13.5	1992	8800
8	Комбиновани трактор JCB3CX	JCB (GB)	1	68.5	8	2005	4125
9	Комбиновани трактор JCB3CX	JCB (GB)	2	68.5	8	2005	2177
10	Комбиновани трактор JCB3CX	JCB (GB)	3	68.5	8	2008	7804
11	Комбиновани трактор JCB3CX	JCB (GB)	4	68.5	8	2008	6053
12	Комбиновани трактор JCB4CX	JCB (GB)	5	81	8.6	2015	1011
13	Виљушкар IHS 40,12.5t	'Litostroj' (Slo)	V1	59	14.8	1990	5445
14	Виљушкар IMO TU 35S,3.5t	'Pobeda' Srbija	V2	46.5	5.5	1986	2985
15	Виљушкар SAMUK 50D,5t	'Samuk' (Korea)	V3	50	7.2	2008	1145
16	Виљушкар V5DS, 5t	'Litostroj' (Slo)	V4	57	7.4	1984	6654
17	Виљушкар VAMO 3900K, 5t	'Klark' (USA)	V5	50.5	7.3	2007	1655

Табела 3.9. Пресек тренутног стања дозера – колубарски басен

р.бр.	Машина	Произвођач	Интерн и број	Снага [kW]	Маса [t]	Почетак рада	Време рада [mh]
1	TD25H	Dressta (Pol)	30	242	35.5	2003	30149
2	TD25H	Dressta (Pol)	31	242	35.5	2003	26470
3	TD25H	Dressta (Pol)	32	242	35.5	2003	31406
4	TD25H	Dressta (Pol)	33	242	35.5	2003	35313
5	TD25H	Dressta (Pol)	34	242	35.5	2003	26019
6	TD25H	Dressta (Pol)	35	242	35.5	2003	36019
7	TD25H	Dressta (Pol)	36	242	35.5	2003	38795
8	TD25H	Dressta (Pol)	37	242	35.5	2003	34531
9	TD25M	Dressta (Pol)	38	242	37.2	2007	14268
10	TD25M	Dressta (Pol)	39	242	37.2	2007	14712
11	TD25M	Dressta (Pol)	40	242	37.2	2011	14111
12	TD25M	Dressta (Pol)	41	242	37.2	2011	15526
13	TD25M	Dressta (Pol)	42	242	37.2	2011	13522
14	TD25M	Dressta (Pol)	43	242	37.2	2011	14249
15	TD25M	Dressta (Pol)	44	242	37.2	2011	10337
16	TD25M	Dressta (Pol)	45	242	37.2	2014	4951
17	TD25M	Dressta (Pol)	46	242	37.2	2014	5061
18	TD25M	Dressta (Pol)	47	242	37.2	2014	4778
19	TD25M	Dressta (Pol)	48	242	37.2	2014	4804
20	TD25M	Dressta (Pol)	49	242	37.2	2014	
21	TD25M	Dressta (Pol)	50	242	37.2	2014	
22	Liebherr 752	Liebherr (Ger)	L1	243	34.2	2006	19574
23	Liebherr 752	Liebherr (Ger)	L2	243	34.2	2006	30015
24	Liebherr 752	Liebherr (Ger)	L3	243	34.2	2006	23578
25	Liebherr 752	Liebherr (Ger)	L4	243	34.2	2006	21636
26	Liebherr 754	Liebherr (Ger)	L5	250	34.5	2007	22616
27	Liebherr 754	Liebherr (Ger)	L6	250	34.5	2007	16627
28	TD25E	Dressta (Pol)	33	235	34	1980	992
29	TD25E	Dressta (Pol)	61	235	34	1985	28334
30	TD25E	Dressta (Pol)	64	235	34	1985	52488
31	TD25E	Dressta (Pol)	65	235	34	1985	39679
32	TD25E	Dressta (Pol)	66	235	34	1985	28267
33	TD25G	Dressta (Pol)	69	257	34	1985	38898
34	TD25G	Dressta (Pol)	70	257	34	1985	60171
35	TD25G	Dressta (Pol)	71	257	34	1985	48478
36	TD25G	Dressta (Pol)	72	257	34	1987	45557
37	TD25G	Dressta (Pol)	73	257	34	1987	48936
38	TD25G	Dressta (Pol)	76	257	34	1988	47208
39	TD25G	Dressta (Pol)	80	257	34	1989	53819
40	TD25G	Dressta (Pol)	81	257	34	1989	10232
41	TD25G	Dressta (Pol)	83	257	34	1990	37431
42	TG300	IMK"14. oktobar"	89	220	32	1991	9442
43	TD25GHP	Dressta (Pol)	90	257	34	1991	61164
44	TD25GHP	Dressta (Pol)	94	257	34	1993	42707
45	TD25GHP	Dressta (Pol)	95	257	34	1993	41812
46	TD25GHP	Dressta (Pol)	96	257	34	1994	54930
47	PD 320Y	Peng Pu China	100	235	36	2001	10244

48	PD 320Y	Peng Pu China	101	235	36	2001	11919
49	PD 320Y	Peng Pu China	104	235	36	2001	1921
50	PD 320Y	Peng Pu China	105	235	36	2001	5612
51	PD 320Y	Peng Pu China	106	235	36	2001	16533
52	PD 320Y	Peng Pu China	108	235	36	2001	10418
53	PD 320Y	Peng Pu China	111	235	36	2001	204
54	PD 320Y	Peng Pu China	112	235	36	2001	7514
55	PD 320Y	Peng Pu China	113	235	36	2001	1416
56	PD 320Y	Peng Pu China	114	235	36	2001	7732
57	PD 320Y	Peng Pu China	116	235	36	2001	15224
58	PD 320Y	Peng Pu China	117	235	36	2001	18740
59	PD 320Y	Peng Pu China	118	235	36	2001	15613
60	PD 320Y	Peng Pu China	119	235	36	2001	13853
61	PD 320Y	Peng Pu China	120	235	36	2001	14722
62	PD 320Y	Peng Pu China	121	235	36	2001	8975
63	PD 320Y	Peng Pu China	122	235	36	2001	27576
64	PD 320Y	Peng Pu China	124	235	36	2001	20741
65	PD 320Y	Peng Pu China	125	235	36	2001	18550
66	PD 320Y	Peng Pu China	126	235	36	2001	3661
67	PD 320Y	Peng Pu China	127	235	36	2001	12585
68	PD 320Y	Peng Pu China	128	235	36	2001	9269
69	PD 320Y	Peng Pu China	129	235	36	2001	6749
70	PD 320Y	Peng Pu China	130	235	36	2001	9550
71	PD 320Y	Peng Pu China	131	235	36	2001	20349
72	PD 320Y	Peng Pu China	132	235	36	2001	10352
73	PD 320Y	Peng Pu China	133	235	36	2001	18528
74	PD 320Y	Peng Pu China	134	235	36	2001	12479
75	PD 320Y	Peng Pu China	135	235	36	2001	15100
76	PD 320Y	Peng Pu China	136	235	36	2001	10239
77	PD 320Y	Peng Pu China	137	235	36	2001	11303
78	PD 320Y	Peng Pu China	138	235	36	2001	19819
79	PD 320Y	Peng Pu China	139	235	36	2001	14548
80	Shantui SD32W	China	140	235	36.7	2014	3343
81	Shantui SD32W	China	141	235	36.7	2014	5149
82	Shantui SD32W	China	142	235	36.7	2014	4792
83	Shantui SD32W	China	143	235	36.7	2015	2000
84	Shantui SD32W	China	144	235	36.7	2015	2150
85	CAT D8 R	CAT (USA)	C1	227	37.5	1998	18855
86	CAT D8 R	CAT (USA)	C2	227	37.5	1998	23405
87	CAT D8 R	CAT (USA)	C3	227	37.5	2007	24599
88	CAT D8 R	CAT (USA)	C4	227	37.5	2007	26220
89	CAT D8 R	CAT (USA)	C5	227	37.5	2007	27058
90	CAT D8 R	CAT (USA)	C6	227	37.5	2008	21962
91	CAT D8 R	CAT (USA)	C7	227	37.5	2008	19415
92	CAT D8 R	CAT (USA)	C8	227	37.5	2008	20853
93	CAT D8 R	CAT (USA)	C9	227	37.5	2008	18756
94	CAT D8 R	CAT (USA)	C10	227	37.5	2010	15588
95	CAT D8 R	CAT (USA)	C11	227	37.5	2010	12551
96	CAT D8 R	CAT (USA)	C12	227	37.5	2010	14792
97	CAT D8 R	CAT (USA)	C13	227	37.5	2010	12831

98	CAT D8 R	CAT (USA)	C14	227	37.5	2014	4688
99	CAT D8 R	CAT (USA)	C15	227	37.5	2014	2775
100	CAT D8 R	CAT (USA)	C16	227	37.5	2015	1026
101	CAT D8 R	CAT (USA)	C17	227	37.5	2015	1023
102	TD 40	Dressta (Pol)	1	386	62	1988	25396
103	TD 40	Dressta(Pol)	2	400	62	1989	20981
104	TD 40	Dressta (Pol)	3	386	62	1990	40394
105	TD 40	Dressta (Pol)	4	386	62	2003	33229
106	TD 40	Dressta(Pol)	5	386	62	2003	38164
107	TD 40	Dressta (Pol)	6	386	62	2008	14852
108	TD 40	Dressta (Pol)	7	384	62	2008	20870
109	TD 40	Dressta(Pol)	8	384	62	2011	5680
110	TD 40	Dressta (Pol)	9	384	62	2011	13839
111	TD 40	Dressta (Pol)	10	384	62	2014	2453
112	TG 110	IMK "14. oktobar"	26	107	12	2003	1887
113	TG140	IMK "14. oktobar"	27	100	15	2003	2089

Табела 3.10. Пресек тренутног стања цевополагача- колубарски басен

р.бр.	Машина	Произвођач	Интерн иброј	Снага [kW]	Маса [t]	Почетак рада	Време рада [mh]
1	TD25CS	Dressta (Pol)	15	238	47.5	1978	9706
2	TD25CS	Dressta(Pol)	16	238	47.5	1983	13438
3	TD25CS	Dressta (Pol)	17	238	47.5	1984	9457
4	TD25CS	Dressta (Pol)	20	238	47.5	1986	6808
5	TD25CS	Dressta(Pol)	22	238	47.5	1986	13978
6	TD25CS	Dressta (Pol)	24	238	47.5	1988	25923
7	TD25CS	Dressta (Pol)	25	238	47.5	1988	17723
8	TD25CS	Dressta(Pol)	26	238	47.5	1990	24793
9	TD25CS	Dressta (Pol)	27	238	47.5	1990	11317
10	TD25CS	Dressta (Pol)	28	238	47.5	1991	23441
11	TD25CS	Dressta (Pol)	29	238	47.5	1991	15124
12	TD25CS	Dressta(Pol)	30	238	47.5	1996	19917
13	TD25CS	Dressta (Pol)	31	238	47.5	1999	19674
14	TD25CS	Dressta (Pol)	32	238	47.5	2001	22946
15	TD25CS	Dressta(Pol)	33	238	47.5	2001	19070
16	TD25CS	Dressta (Pol)	34	238	47.5	2001	17533
17	TD25CS	Dressta (Pol)	35	238	47.5	2001	12830
18	TD25CS	Dressta(Pol)	36	238	47.5	2001	10030
19	TD25CS	Dressta (Pol)	37	238	47.5	2002	11996
20	SB60	Dressta (Pol)	38	235	51	2003	17792
21	SB60	Dressta (Pol)	39	235	51	2003	18725
22	SB60	Dressta (Pol)	40	235	51	2003	14104
23	SB60	Dressta(Pol)	41	235	51	2003	10333
24	SB60	Dressta (Pol)	42	235	51	2003	18542
25	SB60	Dressta (Pol)	43	235	51	2003	18162
26	SB60	Dressta (Pol)	44	235	51	2003	9505
27	SB60	Dressta (Pol)	45	235	51	2003	12331
28	RL52	Liebherr (Ger)	46	243	52.3	2006	9192
29	RL52	Liebherr (Ger)	47	243	52.3	2006	8651
30	RL52	Liebherr (Ger)	48	243	52.3	2009	8229

31	RL52	Liebherr (Ger)	49	243	52.3	2009	8057
32	SB60	Dressta (Pol)	50	235	51	2009	13736
33	SB60	Dressta(Pol)	51	235	51	2009	13608
34	SB60	Dressta (Pol)	52	235	51	2010	9886
35	SB60	Dressta (Pol)	53	235	51	2013	5126
36	SB60	Dressta (Pol)	54	235	51	2014	2407
37	SB60	Dressta (Pol)	55	235	51	2014	2935

Табела 3.11. Пресек тренутног стања утоварача гусеничара– колубарски басен

р.бр.	Машина	Произвођач	Интерни број	Снага [kW]	Маса [t]	Почетак рада	Време рада [mh]
1	924G	CAT (USA)	46	102	11.3	2001	14813
2	924G	CAT (USA)	47	102	11.3	2001	15894
3	953C	CAT (USA)	48	95	15.1	2001	13838
4	953C	CAT (USA)	49	95	15.1	2001	7258
5	953C	CAT (USA)	50	95	15.1	2001	17031
6	TD175C	Dressta(Pol)	51	100	16.3	2003	9563
7	TD175C	Dressta (Pol)	52	100	16.3	2003	9828
8	TD175C	Dressta (Pol)	53	100	16.3	2003	5062
9	TD175C	Dressta (Pol)	54	100	16.3	2003	8969
10	TD175C	Dressta (Pol)	55	100	16.3	2003	10219
11	953D	CAT (USA)	56	109	15.6	2008	8586
12	953D	CAT (USA)	57	109	15.6	2008	10626
13	RL622B	Liebherr (Ger)	58	97	13.2	2009	6129

Табела 3.12. Пресек тренутног стања утоварача на пнеуматичима– колубарски басен

р.бр.	Машина	Произвођач	Интерни број	Снага [kW]	Маса [t]	Почетак рада	Време рада [mh]
1	ULT220	IMK "14. oktobar"	19	170	18.7	1986	11464
2	ULT220	IMK "14. oktobar"	21	170	18.7	1987	15148
3	ULT220	IMK "14. oktobar"	22	170	18.7	1988	12903
4	TD175C	IMK "14. oktobar"	23	170	18.7	1989	5786
5	ULT220	IMK "14. oktobar"	26	170	18.7	1989	10073
6	ULT220	IMK "14. oktobar"	33	170	18.7	1990	9995
7	ULT220	IMK "14. oktobar"	34	170	18.7	1990	5587
8	ULT220	IMK "14. oktobar"	36	170	18.7	1982/1993	5833
9	ULT220	IMK "14. oktobar"	37	170	18.7	1983/1993	4579
10	ULT220	IMK "14. oktobar"	38	170	18.7	1985/1993	10296
11	ULT220	IMK "14. oktobar"	41	170	18.7	1985/1993	6371
12	ULT220	IMK "14. oktobar"	43	170	18.7	1989/1993	11655
13	ULT220	IMK "14. oktobar"	44	170	18.7	1990/1993	8899
14	ULT160CK	IMK "14. oktobar"	45	118	16.9	2001	11686
15	ULT 160	IMK "14. oktobar"	46	118	16.9	1995	8033
16	ULT220CK	IMK "14. oktobar"	48	170	18.7	2003	9389
17	ULT160CK	IMK "14. oktobar"	49	118	16.9	2003	8315
18	ULT160CK	IMK "14. oktobar"	50	118	16.9	2003	13096
19	ULT220CK	IMK "14. oktobar"	51	170	18.7	2003	8535
20	ULT220CK	IMK "14. oktobar"	52	170	18.7	2003	14667
21	ULT220CK	IMK "14. oktobar"	53	170	18.7	2003	6592
22	ULT160B	IMK "14. oktobar"	54	118	16.9	2003	8640

23	ULT160G	IMK "14. oktobar"	55	118	16.9	2003	6311
24	ULT160G	IMK "14. oktobar"	56	118	16.9	2003	5074
25	ULT220CK	IMK "14. oktobar"	57	170	18.7	2003	10135
26	ULT220CK	IMK "14. oktobar"	58	170	18.7	2003	12615
27	DHS/50	IMK "14. oktobar"	59	50	7	1991	8948
28	ULT220CK	IMK "14. oktobar"	60	170	18.7	2003	3311
29	ULT220CK	IMK "14. oktobar"	61	170	18.7	2005	7557
30	ULT220CK	IMK "14. oktobar"	62	170	18.7	2006	8644
31	ULT160CK	IMK "14. oktobar"	63	117	16.9	2006	5837
32	ULT160CK	IMK "14. oktobar"	64	118	16.9	2006	14905
33	ULT220CK	IMK "14. oktobar"	65	170	18.7	2010	6653
34	ULT220CK	IMK "14. oktobar"	66	170	18.7	2010	5481
35	ULT220CK	IMK "14. oktobar"	67	170	18.7	2012	4662
36	ULT220CK	IMK "14. oktobar"	68	170	18.7	2012	2267

Табела 3.13. Пресек тренутног стања хидрауличних багера – колубарски басен

р.бр.	Машина	Произвођач	Интерни број	Снага [kW]	Маса [t]	Почетак рада	Време рада [mh]
1	G700	Radoje Dakić (CG)	4	95	13	1981	10029
2	G700	Radoje Dakić (CG)	6	95	13	1981	5232
3	G700	Radoje Dakić (CG)	9	95	13	1996	3999
4	G1000	Radoje Dakić (CG)	10	115	25	1996	4048
5	G1000AD	Radoje Dakić (CG)	15	115	28	1999	6120
6	G700	Radoje Dakić (CG)	16	95	13	1984	7316
7	G700	Radoje Dakić (CG)	17	95	13	1985	6791
8	G700LC	Radoje Dakić (CG)	24	95	15	1988	8858
9	G1000HD	Radoje Dakić (CG)	26	115	25	1984	7677
10	R912	Radoje Dakić (CG)	30	95	15	1991	13917
11	A912	Radoje Dakić (CG)	31	95	5	1991	15010
12	G1000	Radoje Dakić (CG)	44	86	25	1995	9287
13	BGH1000	IMK "14. oktobar"	46	86	28.2	1996	3050
14	RH6/20	O&K (GER)	48	126	22.5	1998	33111
15	RH6/20	O&K (GER)	49	126	22.5	1998	11964
16	RH6/20	O&K (GER)	50	126	22.5	1998	14656
17	BGH1000GRH	IMK "14. oktobar"	52	86	28.2	1998	11266
18	RH6/20	O&K (GER)	53	126	22.5	1998	22712
19	BGH1000GRH	IMK "14. oktobar"	54	86	28.2	1998	10257
20	RH6/20	O&K (GER)	55	126	22.5	1998	8418
21	RH6/20	O&K (GER)	56	126	22.5	1998	15227
22	M312	CAT (USA)	57	85	14	2001	16764
23	M312	CAT (USA)	58	85	14	2001	9912
24	G700	Radoje Dakić (CG)	59	95	13	2003	297
25	G700LC	Radoje Dakić (CG)	60	95	15	2003	312
26	G1000	Radoje Dakić (CG)	61	115	25	2003	2318
27	RD600B	Radoje Dakić (CG)	62	86	12	2003	1041
28	BGH610C	Radoje Dakić (CG)	63	86	12	2003	872
29	BTH	IMK "14. oktobar"	64	86	12	2004	1889
30	BGH1000	IMK "14. oktobar"	65	86	28.2	2004	8738
31	BGH1000	IMK "14. oktobar"	66	86	28.2	2004	9518
32	BGH1000	IMK "14. oktobar"	67	86	28.2	2004	8507

33	BGH1000	IMK "14. oktobar"	68	86	28.2	2004	15413
34	BGH1000	IMK "14. oktobar"	69	86	28.2	2004	7259
35	BGH1000	IMK "14. oktobar"	70	86	28.2	2004	12760
36	BGH1000	IMK "14. oktobar"	71	86	28.2	2004	15594
37	BGH1000	IMK "14. oktobar"	72	86	28.2	2004	19537
38	BGH1000	IMK "14. oktobar"	73	86	28.2	2004	3233
39	BGH1000	IMK "14. oktobar"	74	86	28.2	2004	6779
40	M315C	CAT (USA)	75	92.5	16	2006	8199
41	M315C	CAT (USA)	76	92.5	16	2006	14580
42	CAT323 D	CAT (USA)	77	110	23.13	2008	10137
43	CAT323 D	CAT (USA)	78	110	23.13	2008	9452
44	CAT323 D	CAT (USA)	79	110	23.13	2008	12432
45	E215B	New Holland (ITA)	80	118	21.8	2008	7757
46	E215B	New Holland (ITA)	81	118	21.8	2008	9518
47	E215B	New Holland (ITA)	82	118	21.8	2008	13286
48	E215B	New Holland (ITA)	83	118	21.8	2008	12125
49	MH5.6	New Holland (ITA)	84	106	20	2008	7107
50	E215B	New Holland (ITA)	86	118	21.8	2011	12959
51	E215B	New Holland (ITA)	87	118	21.5	2011	3997
52	E215B	New Holland (ITA)	88	118	21.5	2011	3909
53	E215B	New Holland (ITA)	89	118	21.5	2011	8454
54	CAT323 D	New Holland (ITA)	90	110	22	2011	12595
55	CAT323 D	New Holland (ITA)	91	110	22	2012	11983
56	E215B	New Holland (ITA)	92	118	21.5	2012	11248
57	E215B	New Holland (ITA)	93	118	21.5	2012	9657
58	E215B	New Holland (ITA)	94	118	21.5	2012	9379
59	E215B	New Holland (ITA)	95	118	21.5	2012	10572
60	E215B	New Holland (ITA)	96	118	21.5	2012	11685
61	E215B	New Holland (ITA)	97	118	21.5	2012	12308
62	CASE WX168	CASE (GB)	98	105	18	2014	2186
63	BGH-250ST	IMK "14. oktobar"	99	114	26	2014	3418
64	BGH-250ST	IMK "14. oktobar"	100	114	26	2014	2859
65	R926 E4000	LIEBHERR (GER)	9	128	26	2013	1719
66	R926 E4000	LIEBHERR (GER)	10	128	26	2013	1196

Табела 3.14. Пресек тренутног стања осталих машина – колубарски басен

р.бр.	Машина	Произвођач	Интерни број	Снага [kW]	Маса [t]	Почетак рада	Време рада [mh]
1	Аутодизалица RT755/9	Grove (USA)	9	154	38.5	1985	
2	Аутодизалица Locatelli 840t,40t	Locatelli (ITA)	13	125	28.5	2001	
3	Аутодизалица Locatelli 840t,40t	Locatelli (ITA)	14	125	28.5	2001	
4	Аутодизалица Locatelli 840t,40t	Locatelli (ITA)	15	125	28.5	2001	
5	Дизалица LS418A	Link belt (USA)	8	140	120	1976	
6	Дизалица Senn 683 HD	Sennebogen (GER)	18	186	75	2009	
7	Дизалица Senn 643 HD	Sennebogen (GER)	19	135	36.5	2011	
8	Аутодизалица LTM 1030	Liebherr (GER)	20	206	24	2014	
9	Аутодизалица LTM 1030	Liebherr (GER)	21	206	24	2014	
10	Аутодизалица LTM 1030	Liebherr (GER)	22	206	24	2014	
11	Грејдер MG145	'Radoje Dakić'(CG)	2	106	13.5	1995	1284
12	Грејдер MG145	'Radoje Dakić'(CG)	7	106	13.5	1995	10615



13	Грејдер F206	O&K (GER)	9	150	16	1998	16400
14	Грејдер F206	O&K (GER)	10	150	16	1998	10368
15	Грејдер F206	O&K (GER)	11	150	16	1998	12471
16	Грејдер PY160	TGT China	12	129	14.1	2011	2024
17	Специјални рокопач WL12	WIEGER (GER)	2	70	12	1976/2010	6500
18	Специјални рокопач WL12	WIEGER (GER)	4	70	12	1977/1980	14780
19	Специјални рокопач WL12	WIEGER (GER)	5	70	12	1978/1984	14180
20	Специјални рокопач UDS/114	UDS (ČEH)	6	285/104	26	1987	4725
21	Специјални рокопач GH1	China	8	80	12	2005	5494
22	Комбиновани трактор KRAMER	KRAMER (GER)	7	75	7.5	1988	4716
23	Комбиновани трактор KRAMER	KRAMER (GER)	8	75	7.5	2003	2532
24	Комбиновани трактор SKIP ZTS	SKIP ZTS (SLO)	9	78	4.5	2003	156
25	Комбиновани трактор CAT 428Д	CAT (USA)	16	73	7.7	2005	9776
26	Комбиновани трактор JCB 3CX	JCB (GB)	17	74	8	2006	9786
27	Ј Комбиновани трактор CB 3CX	JCB (GB)	18	74	8	2009	8253
28	Моторни ваљак KVV-12	IMK "14. oktobar"	4	70	12	1988/1993	4502
29	Моторни ваљак CA25-PP	DYNAPAC	5	140	25	1986/1993	2605
30	Моторни ваљак CA51	DYNAPAC	6	180	51	1986/1993	3402
31	Моторни ваљак KVV-12B	IMK "14. oktobar"	7	70	12	2003	709
32	Моторни ваљак ADC	AMMAN	8	100	15	2009	3221
33	New Holland B100C	New Holland (ITA)	20	80	14	2014	1127
34	Виљушкар CA25-PP	(RUS)	5	25	5	1986/1993	2605
35	Виљушкар CA51	(RUS)	6	60	7.5	1986/1993	3402
36	Виљушкар V5d	Litostroj (SLO)	3	57	7.4	1980	22959
37	Виљушкар V5d	Litostroj (SLO)	6	57	7.4	1984	17193
38	Виљушкар V5d	Litostroj (SLO)	7	57	7.4	1986	16820
39	Виљушкар VAE5/20E	(RUS)	8	120	26	1987	529
40	Виљушкар HERCU 50	(GB)	10	50	7	2002	4004
41	Виљушкар HERCU 50	(GB)	11	50	7	2003	237
42	Виљушкар V5d	Litostroj (SLO)	12	57	7.4	2003	2093
43	Виљушкар TU32	'Pobeda'	13	24	4.8	2003	299
44	Виљушкар TU32	'Pobeda'	14	24	4.8	2003	1889
45	Виљушкар V8d	Litostroj (SLO)	15	80	17	2003	7860
46	Виљушкар TU50	'Pobeda'	17	57	7.4	2004	1999
47	Виљушкар TU35	'Pobeda'	18	46.5	5.5	2004	5573
48	Виљушкар TU35	'Pobeda'	19	46.5	5.5	2004	3820
49	Виљушкар TU35	'Pobeda'	20	46.5	5.5	2004	3399
50	Виљушкар TU35	'Pobeda'	21	46.5	5.5	2004	301
51	Виљушкар FD50K	(RUS)	22	57	7.4	2007	4992
52	Виљушкар FD50K	(RUS)	23	57	7.4	2007	2982
53	Виљушкар Heli CPCД80	(RUS)	25	80	15	2012	917
54	Виљушкар Heli CPCД80	(RUS)	26	80	15	2012	740
55	Виљушкар Toyota 02-8FDJF35	TOYOTA (JPN)	27	35	6	2014	68

Познато је да највеће трошкове у раду и одржавању имају дозери. Зато се они у наредним поглављима третирају као репер у оцени расположивости при дефинисању ефикасног одржавања помоћне механизације на површинским коповима.

#### 4. ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА МОГУЋИХ КОНЦЕПЦИЈА ОДРЖАВАЊА

Појам одржавања долази уз сваки појам производње одређених добара [Јованчић, 2014]. Током времена и употребе долази до старења материјала и средства за рад, смањује се технолошка ефикасност, а долази и до евидентног технолошког застаревања. Средства се током времена троше и смањује им се радна способност, подложна су кваровима, ломовима, оштећењима, па се појављују прекиди/застоји у раду. То узрокује појаву трошкова због замене и поправке делова, али и трошкове због застоја у процесу производње.

Одржавање средстава за рад се дефинише као стална контрола над свим средствима за рад, као и вршење одређених поправки и превентивних радњи, чији је циљ стално, функционално оспособљавање средстава и чување производне опреме, постројења и других средстава за рад.

Основни циљеви који треба да се постигну процесом одржавања су:

- минимизирање трошкова због застоја у раду услед непланираних кварова на средствима за рад;
- спречавање, односно успоравање застаревања средстава за рад, које настаје као последица лошег квалитета производа и шкарта;
- смањивање трошкова рада и материјала у производњи, који настају услед повећаних кварова и застоја у процесу рада;
- пружање организоване помоћи свуда где је потребно одржававање и управљање средствима за рад.

Значај одржавања рударске опреме на површинским коповима је изузетно велики. Оно директно утиче на основне факторе производње и може врло повољно утицати (ако се добро спроводи), на постизање позитивних пословних резултата. Добро спроведено одржававање директно утиче на смањење трошкова производње и пословања. Застоји машина услед неисправности и нужног вршења сервиса/ремонта, нарушавају технолошки процес производње, а исто тако утичу и на економику производње, пропорционално са временом застоја и уложеним средствима за отклањање кварова. Због тога, одржававање и сервис/ремонт машина захтева пре свега

рационалну организацију одржавања и сервиса/ремонта, добру опремљеност средствима и људством. Организација великих оправки (ремонта) и техничког одржавања машина, да би испуњавала своје задатке, мора увек бити усклађена са машинским парком о коме се брине, а то значи да треба бити подложна и честим променама. Наиме, њена организација и начин деловања треба да се усклађују и мењају зависно од квалитативних и квантитативних промена, које настају у машинском парку рудника, затим због промене у карактеру производње или неких других елемената који могу бити од утицаја. Ради тога рад и организација службе, односно погона ремонта, представља сталан, веома сложен и динамичан проблем у укупној организацији производње рудника. Разноврсност машина у машинском парку који се одржава и ремонтује, њихова конструктивна и технолошка сложеност, чине рад инжењера – надзорно-техничког особља запосленог у ремонтној служби, веома сложеним и одговорним. Ова одговорност постаје све већа јер се у последње време сам процес производње све више механизује и аутоматизује, тако да економичност производње све више зависи од ремонта и техничког одржавања машине. Међутим, још увек није у довољној мери схваћена важност службе одржавања за успешно функционисање савременог предузећа. Недостаци, пропусти или неефикасност у организацији и раду ове службе, често се правдају (односно прикривају) недостатком резервних делова за машине које се одржавају, недовољном снабдевеношћу репродукционим материјалом и алатом, недостатком специјалистичког кадра, итд. И поред тих пропусти, организација и рад ремонта, последњих деценија добијају своју теоретску и научну базу. На ово је пресудан утицај имало сазнање о њиховом великом утицају на економичност укупне производње.

Одржавање основне механизације површинских копова знатно се разликује од одржавања машина помоћне механизације. Суштинска разлика потиче од тога што су машине помоћне механизације конструктивно усавршеније, произведене у великом броју примерака и што имају мотор са унутрашњим сагоревањем (СУС мотор), који је у последње време врло усавршен, софистициран агрегат, прилагођен захтевима радне средине у смислу њене заштите. Такође је познато да произвођачи ових машина имају мрежу добро организованих специјалистичких сервиса, што све заједно чини поменути разлику у приступу површинског копа према одржавању тих машина.

Без обзира на улогу помоћне механизације у производном процесу једног површинског копа, произвођачи ових машина прописују превентивно одржавање у виду сервиса који се обављају после одређеног броја часова рада, по строго утврђеном критеријуму. Квалитетно спроведено превентивно одржавање ових машина, јефтиније је од корективног, на шта указују произвођачи опреме и инсистирају на томе.

Програми превентивног одржавања одвијају се периодично, по прецизно написаним програмима и процедурама, при чему се води и јасно написана евиденција о томе шта је извршено и шта је запажено при прегледу. Периодична превентиван одржавања су:

- дневни прегледи (основно одржавање) и
- сервисно одржавање, односно сервиси различитог нивоа, који се врше после одређеног броја мото-сати рада машина.

Спровођење поступака превентивног одржавања омогућава откривање проблема на машинама, те се на тај начин откази могу спречити. Рад на решавању откривеног проблема може се припремити и извести у повољном тренутку. На тај начин се примењује принцип одржавања на основу утврђеног стања, а то значи да следећи сервис, а посебно сервиси вишег нивоа, осим редовног програма, имају допуну која треба да отклони оно што је запажено, а није могло одмах да се отклони. Добри програми превентивног одржавања базирају се пре свега на препорукама произвођача појединих машина, али је неопходно истаћи да се у процесу експлоатације стичу искуства о понашању машина и кваровима, те да то даје основу да се програми превентивног одржавања коригују и допуњују.

И поред свих мера превентивног одржавања, ма како да се оне брижљиво и доследно спроводе, на машинама у експлоатацији догађају се кварови. Мере које се предузимају ради враћања машине из неисправног стања у исправно, зову се корективно одржавање. За корективно одржавање такође је потребно да се предвиди радионички простор, опрема и радна снага. Новија опрема тражи релативно мало корективног одржавања, док старије машине имају све веће време корективног одржавања.

Постоји противуречност између предвиђених захтева произвођача опреме, који прописују врло честе застоје ради радова превентивног одржавања и настојања корисника машина да трошкове одржавања смањи, а повећа искоришћење машина. Примера ради, компанија *Caterpillar* за своје

дозере предвиђа сервисе на сваких 10, 50, 250, 500, 1000 и 2000 сати рада, што значи да машина мора долазити у радионицу сваких 10 сати рада ради сервиса. Ово захтева велики радионички простор и велике трошкове доласка са копа до радионице, што за корисника није прихватљиво, осим у гарантном периоду. Површински копови колубарског басена дуги низ година примењују процедуру да дозери долазе у радионицу на сваких 200 сати рада, док се остали предвиђени радови обављају на терену. На тај начин се штеди гориво, средства за подмазивање, време, умањује се хабање ходног уређаја и других елемената, итд. Сличан је однос и на површинским коповима костолачког басена. Овај концепт да корисник машина може да промени процедуре одржавање које је предвидео произвођач машина, показао се као веома делотворан.

Утврђивање стања машине је један од кључних проблема у процесу њеног одржавања. Потребно је пратити промену стања појединих параметара склопова и елемената који временом доводе до слабљења, а ако се ништа не предузима и до квара, односно прекида рада. Такође је ургентно да се у случају изненадног квара открије шта је узрок, у чему је квар и како га треба отклонити. Класично, ови проблеми решавају се на основу искуства и знања појединих мајстора, инжењера који имају дара да без примене савремених дијагностичких средстава открију "у чему је ствар". Они у многим случајевима остају незаменљиви у решавању појединих проблема, на местима у систему на којима раде дуги низ година. Једна савремена научна дисциплина, стварање вештачке интелигенције настоји да се ова експертска знања појединаца аутоматизују и ставе на располагање стручњацима који иначе овакве способности не поседују. Дакле, и поред напретка савремених средстава техничке дијагностике, увек ће бити драгоцен знање експерата, који могу без посебних средстава да покажу у чему је проблем. Ипак се у овом случају индивидуалне експертске дијагностике, поставља питање веродостојности постављене дијагнозе. Дијагноза мора бити постављена тачно, што подразумева најчешће комбинацију оцене експерта и примену техничких средстава дијагностике.

#### 4.1. Анализа инжењерских искустава из области одржавања помоћне механизације

У оквиру одржавања помоћне механизације на површинским коповима лигнита рударских басена Колубара и Костолац, примењује се углавном превентивно одржавање, са елементима одржавања на основу утврђеног стања, а извесни радови су корективног карактера при изненадним кваровима [Ивковић и остали, 2008]. Одржавање је организовано у три хијерархијска нивоа:

- текуће одржавање (може се подвести и као основна нега машина - најнижи ниво одржавања – свакодневно одржавање); спроводи се сопственим снагама;
- сервисно одржавање (углавном је везано за временске оквири и то на основу препорука произвођача машине – више пута годишње); спроводи се сопственим снагама;
- велике генералне оправке, обично назване ремонтно одржавање, које изводи највиши ниво радова, углавном на основу остварених мото сати или пређених километара (на годишњем или вишегодишњем нивоу); спроводи се сопственим снагама уз честу асистенцију реномираних кућа са стране, које су произвеле одређене типове машина; један од главних услова за примену овог концепта је да највиши ниво одржавања буде у погледу опреме, кадрова и организације способан да обавља и најсложеније операције одржавања, уз потребну мању сарадњу фирми са стране.

Програми превентивног одржавања одвијају се периодично, по прецизно написаним програмима и процедурама, при чему се води и јасно написана евиденција о томе шта је извршено и шта је запажено при прегледу.

Периодична превентивна одржавања су: дневни прегледи (основно одржавање) и сервисно одржавање, односно сервиси различитог ранга, који се врше после одређеног броја остварених мото-сати рада машина.

Одржавање помоћне механизације у оквиру површинских копова лигнита европских земаља зависи, у првом реду, од власника машина помоћне механизације – да ли је то површински коп (као што је код нас случај), или је то фирма са стране (или такозвана ћерка фирма). Оно што издваја одржавање помоћне механизације и механизације уопште на

површинским коповима лигнита у Европи су доста нижи трошкови одржавања и одлична логистичка подршка развијеног (више/мање) индустријског окружења. Нажалост, то код нас још није случај. Копови који имају помоћну механизацију, углавном спроводе активности на одржавању помоћу главних радионица, које су делом оспособљене за израду одређених резервних делова. Специфични делови се набављају од произвођача машина помоћне механизације. Копови који немају у својој организацији помоћну механизацију, коришћење и одржавање машина спроводи фирма са стране. И у једном и у другом случају спроводе се текуће одржавање, сервисно одржавање и генералне оправке, по препорукама произвођача опреме, док у појединим случајевима активности на одржавању зависе од специфичности коришћења тих машина на коповима.

#### **4.2. Дефинисање актуелне и других потенцијално могућих концепција одржавања**

Приликом анализе и упоређења могућих концепција одржавања, мора се поћи од основног задатка техничког система површинског копа, а то је обезбеђење планиране производње. Ради остварења тог циља потребно је квалитетно одржавање опреме. Менаџмент рудника дужан је да обезбеди квалитетно и економично одржавање и због тога он одлучује о томе ко ће изводити и коју врсту радова на појединој опреми, узимајући у обзир у првом реду квалитет, цену, рокове, као и остале утицајне чиниоце.

Разматрају се само она решења која се између себе битно разликују у погледу стратешких опредељења, (све остало су подваријанте, којих има веома много). Под стратешким опредељењем у смислу варијанте у овом разматрању подразумевају се решења главних питања, као сто су:

- Начин управљања одржавањем (управљање израдом документације и њеном циркулацијом, време реализације радова, управљање контролом квалитета изведених радова, трошкови одржавања);
- Дефинисање потребних нивоа одржавања за поједину врсту опреме у погледу садржаја радова и периодичности извођења;
- Начин одређивања извршилаца појединих радова одржавања, пошто је могуће да све радове одржавања изводи структура

површинског копа, али уз веће или мање учешће других извршилаца радова;

- Управљање резервним деловима и материјалима.

У табели 4.1, принципијелно су дате могуће основне стратегије у организовању одржавања помоћне механизације површинског копа.

**Табела 4.1.** Основне стратегије у организовању одржавања помоћне механизације

Први стратешки правац	Други стратешки правац	Трећи стратешки правац
Одржавање у највећој мери врше фирме са стране, док се у оквиру копа задржава само најнужнији део службе одржавања (основно/ текуће). Наравно да управа рудника задржава управљање одржавањем, контролу квалитета и сл.	Одржавање се у највећој мери задржава у саставу копа. То значи да се текуће и сервисно одржавање налазе у саставу копова, док велике оправке врши одговарајућа фирма са стране, и то на основу јавног тендера.	Ова оријентација би представљала својеврсну средину између 1. и 2., правца при чему је могуће да се више користи оријентација 1, а мање 2 или обрнуто. Разуме се да у оквиру овакве оријентације постоји више варијаната.

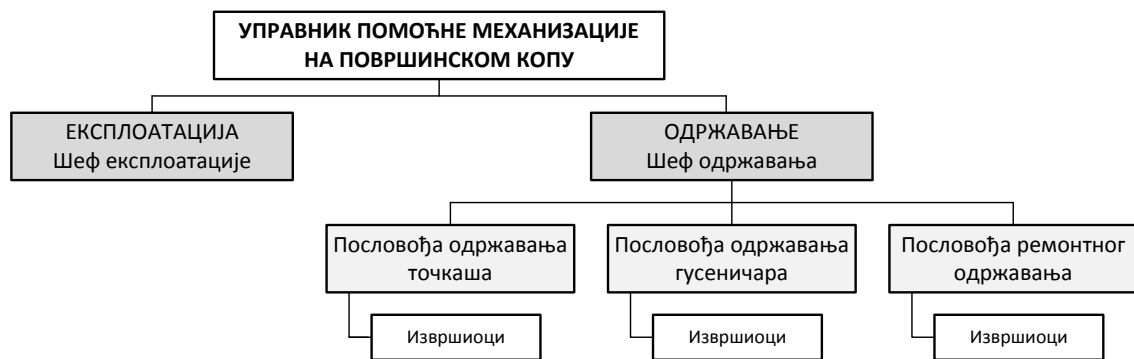
На основу ових стратешких правца, може се дефинисати неколико варијанти:

- Површински коп изводи одржавање помоћне механизације у комплетном обиму (текуће, сервисно и ремонтно), са минималним учешћем специјализованих фирми са стране – опрема је у саставу копа;
- Површински коп изводи одржавање помоћне механизације у мањем обиму, заједно са већим учешћем специјализованих фирми са стране – опрема у саставу копа;
- Површински коп не изводи одржавање помоћне механизације, осим у смислу основне неге и контроле, већ је одржавање поверено специјализованим фирмама са стране – опрема у саставу копа;
- Површински коп не изводи одржавање помоћне механизације, осим у смислу контроле повезаности технолошких операција и одржавања, већ је одржавање поверено специјализованим фирмама са стране – опрема је у власништву специјализоване фирме са стране, осим, на пример, цевополагача/померача који су директно повезани са основним рударским радовима.



Која ће се варијанта користити у будућности, зависи у првом реду од остварених трошкова. Због тога се намеће последња варијанта као оптимизована варијанта. Та варијанта захтева неколико предуслова који се превасходно морају испунити.

Постојећа организациона структура одржавања помоћне механизације на површинском копу Дрмно, која је узета као основица за анализу, приказана је на слици 4.1, која важи од самог почетка рада копа, како по вертикалној тако и по хоризонталној хијерархији, а од 2001. године придодато је и одржавање возила точкаша. Јединица "Помоћна механизација" која је формирана као засебна целина 1993. године, престала да постоји и радници који су запослени постају саставни део организационих структура површинског копа Дрмно.



**Слика 4.1.** Организациона шема одржавања помоћне механизације површинског копа Дрмно

У оквиру Помоћне механизације постоје три групе одржавања, у основној концепцији, и то:

- одржавање гусеничара,
- одржавање точкаша и
- ремонтно одржавање.

Одржавање точкаша и гусеничара је конципирано у смислу текућег одржавања и интервентног одржавања на терену и због недостатка радника уврштено и сервисно одржавање, како за гусеничаре тако и за точкаше.

У оквиру ремонтног одржавања које је било лоцирано на површинском копу Тириковац (који је у фази затварања), екипа одржавалаца ради на капиталним ремонтима мењача и диференцијала као и за средње оправке мотора гусеничара, за оба површинска копа.

За точкаше, у оквиру овог одржавања раде се генералне оправке мотора за тракторски програм и за теренска возила марке УАЗ и капитални ременти трансмисија за теренска возила УАЗ.

Текуће одржавање обухвата 70% браварских радова везаних за оправку хидрауличких компоненти на машинама као и радове на замени ходних стројева, што углавном представља браварско-варилачке послове. Осталих 30% се своди на мање оправке и подешавања мотора и исто тако обавезне сервисне радње на моторима основних средстава.

Код точкаша је однос другачији, механичарско-аутоелектричарских послова чини 60% који обухватају текуће сервисне активности на моторно-трансмисионом и управљачком делу возила.

Осталих 40% отпада на браварско-вулканизерске послове. Код оправке возила већина механичарских послова обухвата оправке везане за интервенције на управљачко-кочионим механизмима због експлоатације возила у отежаним теренским условима.

У табели 4.2 дати су пројектовани/предложени сервиси тешке механизације.

**Табела 4.2.** Сервиси тешке механизације

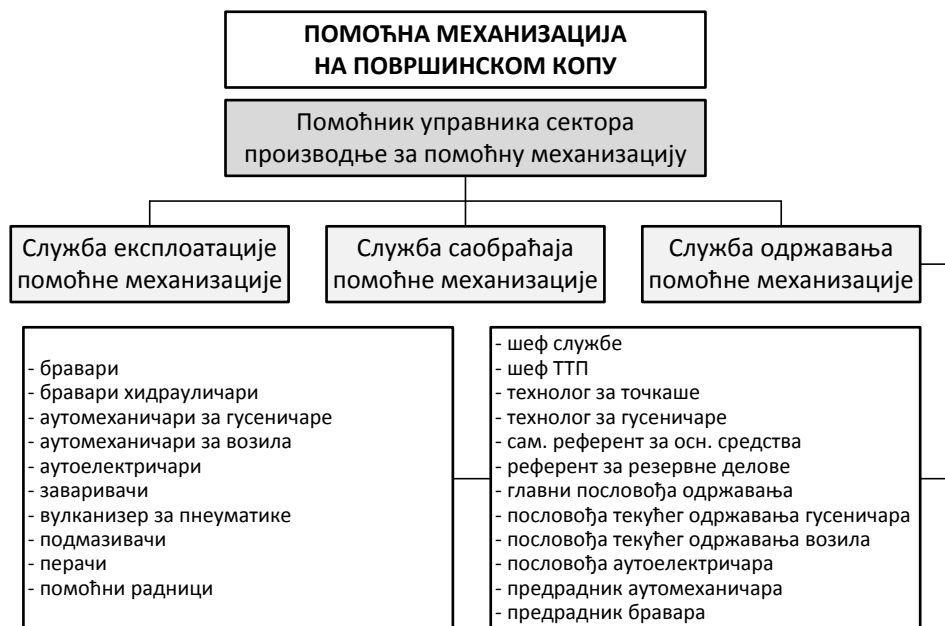
опрема	мали сервис		средњи сервис		велики сервис	
	после [mh]	трајање [h]	после [mh]	трајање [h]	после [mh]	трајање [h]
дозери	80-100	4	220-250	7-8	400-500	12-14
цевопологачи	80-100	4	220-250	7-8	400-500	12-14
ровокопачи	60-80	3	200-220	8	400-450	12
утоваривачи	60-80	3	200-220	8	400-450	12
грејдери	100	3	200	6	400	10
комбиноване машине	50-60	2	200	6	400	8
дизалице	50-60	2	200	6	400	8

Спецификација технолошких операција везаних за мали, средњи и велики сервис, везана је за технолошка упутства произвођача машине.

Капитални ременти се обављају зависно од врсте и произвођача основног средства као и обима радова који се изводи на њему, и то на следећи начин:

- *Булдозери:* Веће оправке које обухватају замену ходних стројева, мотора, мењача и осталог дела трансмисије, обављају се у радионицама за текуће одржавање, а мотора код овлашћених установа који су једини заступници и дистрибутери истих. За програм булдозера DRESSTA, HSW, PD 320Y-1 мотори су из производног програма CUMMINS и генералне ремонте истих обавља овлашћена фирма уз одговарајућу гаранцију. За булдозере других произвођача који су у саставу помоћне механизације, радионичко особље је стручно оспособљено и самостално обавља велике оправке без оправки мотора. За програм булдозера марке CATERPILLAR генералне оправке врши овлашћени сервисер за овај програм, док за програм ИМК 14. октобар Крушевац, који имају моторе марке CUMMINS, генералне оправке мотора врши овлашћена фирма уз одговарајућу гаранцију.
- *Цевополагачи/померачи:* За цевополагаче/помераче важи исти принцип оправки као и код булдозера.
- *Ровокопачи:* За ову врсту машина, кад је у питању производни програм CATERPILLAR генералне оправке врши овлашћени сервисер за овај програм. Ровокопачи ИМК 14. октобар имају моторе из производног програма CUMMINS те за њих генералне оправке мотора врши овлашћена фирма уз одговарајућу гаранцију. За ровокопаче марке O&K капитални ремонт за све машине врши се такође у овлашћеној фирми.
- *Утоваривачи:* Утовариваче точкаше произвођача ИМК 14. октобар из Крушевца, се у оквиру већих оправки, поправљају код произвођача машине. Утоваривачи марке DRESSTA и CATERPILLAR се такође оправљају код реномираних сервисера из одговарајућег програма.

Основна организациона структура одржавања помоћне механизације на примеру површинског копа Дрмно, приказана је на слици 4.2. Ова структура важи од 2006. године. Помоћна механизација припада организационо сектору производње, а самим тим истом сектору припада и служба одржавања.



**Слика 4.2.** Организациона шема помоћне механизације површинског копа Дрмно са наглашеном целином одржавања помоћне механизације

Ова велика и хетерогена група машина која ради на површинским коповима, посматрана је заједнички, с обзиром на захтеве у одржавању, који проистичу из њихове техничке природе и конструкционе реализације. Ради се најиме о томе да су те машине високог степена конструкционе разрађености у смислу развоја.

У развоју њихових конструкција реализовано је много циклуса усавршавања и унапређења, уз велики број произведених примерака за рударство, грађевинарство и друге области, што много превазилази број изграђених роторних багера и одлагача, који су произведени у малим серијама, или појединачно, за потребе једног копа.

То је довело до врло компактне конструкције, на пример булдозера, који има врло велике захтеве у погледу потребних перформанси, што је довело до примене најбољих материјала у њиховој производњи, компликованог облика елемената, а тиме и до врло строгих захтева у њиховом одржавању.

Овако високо софистицирана производња булдозера и осталих наведених машина довела је до јако организоване мреже сервиса за одржавање тих машина које су организовали произвођачи машина, а исто тако корисницима је уручено врло детаљно упутство о сервисима и

---

одржавању, тако да је простор да корисници нешто ту мењају у свом интересу веома сужен.

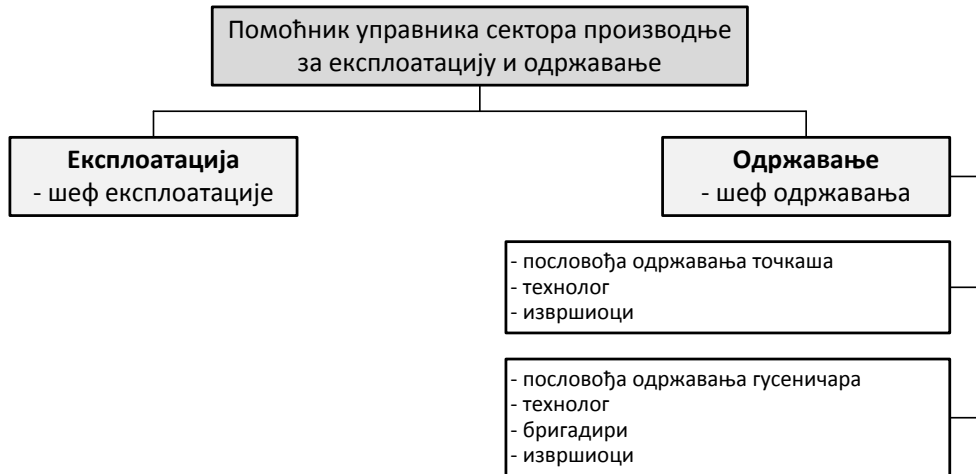
Дакле, машине о којима се овде говори, битно се разликују у погледу захтева за одржавањем и у погледу потребних радионица за одржавање, мајстора и радионичких површина од багера, одлагача, транспортера са гуменом траком, постројења за прераду и друго. Све што је речено о понашању булдозера, углавном важи и за друге сличне машине, као што су цевополагачи/померачи, утоварачи, скрепери, грејдери, вибрациони ваљци, разне дизаличне машине, дампера, багери са једним радним елементом, тј. кашикари и дреглајни са СУС мотором. Разуме се да је овој групи машина заједничко што је погон мотор СУС.

Свака машина се појединачно одржава у основи према упутству за одржавање произвођача. Чак и исте машине међусобно се разликују и примера ради, помоћна механизација копа може бити на гусеницама или на пнеуматцима; мотор СУС – механичка трансмисија, али и мотор СУС – електро трансмисија, итд.

Текуће одржавање помоћне механизације остаје на површинском копу са радном снагом која је неопходна за основно одржавање (основна хигијена машине, замена филтера, каишева, сијалица, мазива итд. – основни, најнижи ниво сервисног одржавања).

Томе треба додати рад бравара (посебно се намеће и истиче рад бравара у укупном одржавању помоћне механизације) на ходном строју уз обавезно учешће руковоца машине у реализацији овог вида одржавања. Ово важи како за тешку механизацију тако и за возила (гусеничари и точкаши).

Текуће одржавање помоћне механизације имало би организациону структуру као на слици 4.3, поготово знајући да ће се повећати број јединица за одржавање са повећањем површинског копа.



**Слика 4.3.** Организациона шема текућег одржавања помоћне механизације површинског копа

Сагласно са трендовима праваца организационог решавања одржавања помоћне механизације, мора се сагледати из новог угла концепт сервисног и ремонтног одржавања помоћне механизације. Као прелазно решење ка потпуној оптимизацији са аспекта трошкова, организационо, овај тип одржавања је и даље у оквиру површинског копа, уз учешће реномираних ремонтера за специјалистичке оправке одређених склопова, који су са стране:

- Сервисно одржавање: на полугодишњем и годишњем нивоу, на 1000-1500 сати рада, односно на 2000-3000 сати рада за радне машине гусеничаре, а за точкаше на 10000-15000 km и од 15000-30000 km на годишњем нивоу. Принципијелно, дефинисане су две групе сервисног одржавања које су везане за временски ниво и за ниво пређених километара. Овome треба додати и такозвано хаваријско односно интервентно одржавање које је такође у оквиру овог, сервисног одржавања (екипе су стално у приправности и реагују на позив диспечинг службе површинског копа, што укључује и шлеп службу).
- Одређене захвате ремонтног одржавања елемената, подсклопова и склопова, односно њихове агрегатне замене радила би такође ова сервисна група уз ангажовање специјалистичких сервиса реномираних произвођача.

На слици 4.4 је дат ток активности на одржавању средстава помоћне механизације.



**Слика 4.4.** Ток активности на одржавању помоћне механизације површинског копа

### 4.3. Истраживање параметара расположивости у експлоатацији и одржавању

Функција расположивости поред тога што непосредно описује одговарајућа својства техничког система (у овом случају булдозера), такође представља и карактеристику система одржавања истог.

Наиме, расположивост збирно показује утицај одржавања на ефективност техничког система булдозера, односно, расположивост повезује особине система булдозера у погледу поузданости и одржавања. Интензиван развој теорије поузданости је текао паралелно са развојем меког рачунарства и теорије вероватноће. Научна истраживања иду у неколико праваца. У многим радовима се писало о корелацији између поузданости и политике одржавања [Chateaufneuf и остали, 2011; Wang и остали, 2009], у смислу одређивања оптималних интервала активности на одржавању у зависности од поузданости [Peng и остали, 2009], односно у погледу одржавања према поузданости (у даљем тексту ОПП) [Jaarsveld и остали, 2011; Zhou и остали, 2007], у смислу смањења трошкова одржавања и побољшање ефикасности активности одржавања [Bugarić и остали, 2012; Jaarsveld и остали, 2011], у смислу истраживања зависности између поузданости и појава као што су умор [Tanasijević и остали, 2012; Thies и остали, 2012], корозија [Chateaufneuf и остали, 2011] и тако даље, или у погледу поузданости која је заснована на дизајну машине [Abo-Alkheer и остали, 2011].

ОПП је систематски метод анализе за планирање превентивног одржавања техничких система. ОПП се користи за планирани развој планова одржавања који ће обезбедити прихватљив ниво поузданости, с обзиром на прихватљив ниво ризика, и то на ефикасан и економичан начин [NASA ..., 2000]. Овај приступ је уведен у стандард SAE JA1012. ОПП се најчешће користи за предвиђање превентивног деловања и набавци резервних делова, у зависности од трошкова [Jaarsveld и остали, 2011]. Не постоји општа препорука на нивоу поузданости за обављање превентивних замена. Сваки инжењеринг систем је посебан случај. Рударска опрема је кључни елемент рударске производње. Комплексност рударске опреме и њене димензије се стално повећавају. Непланирани застоји рударске опреме изазивају веће трошкове поправки и замена, али са друге стране, трошкови производње су још битнији. Ризик за животну средину и раднике су високи. Ове чињенице наглашавају значај анализе поузданости у раду рударске опреме [Barabady и остали, 2008; Bugaric и остали, 2012; Tanasijevic и остали, 2012; Uzgoren и остали, 2010]. Сагласно томе, у наредном тексту су дати примери израчунавања поузданости и расположивости типских булдозера на површинским коповима лигнита.

#### 4.3.1. Израчунавање поузданости булдозера

За булдозер, који је главна машина помоћне механизације на површинском копу лигнита, може се рећи да је поуздан ако извршава своју функцију без отказа (квара). Булдозер се може представити као систем који је састављен из скупа елемената и релација између њих, али и њихових карактеристика које су интегрисане у циљу остварења одређеног циља при остваривању задатих техничко-технолошких операција булдозера на површинском копу лигнита. Као пример се наводе типски булдозери D8R, произвођача *Caterpillar* (у оквиру костолачког угљеног басена то је булдозер интерне ознаке K2) и булдозери TD25H, произвођача *Dressta* (у оквиру костолачког угљеног басена то је булдозер интерне ознаке B2) [Ђурић, 2008].

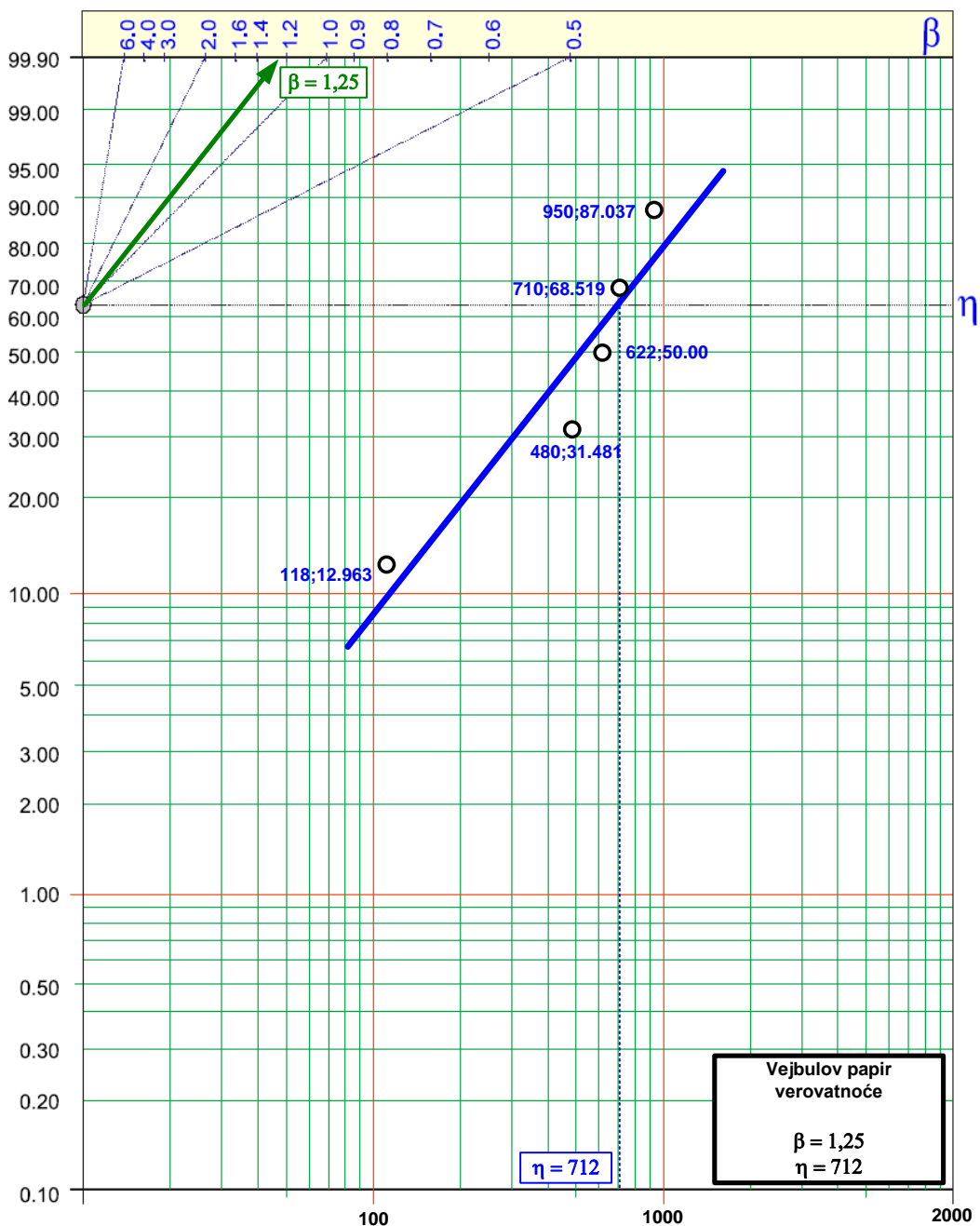
- Булдозер D8R CAT

Подаци који су потребни за формирање временске слике стања и израчунавање поузданости:



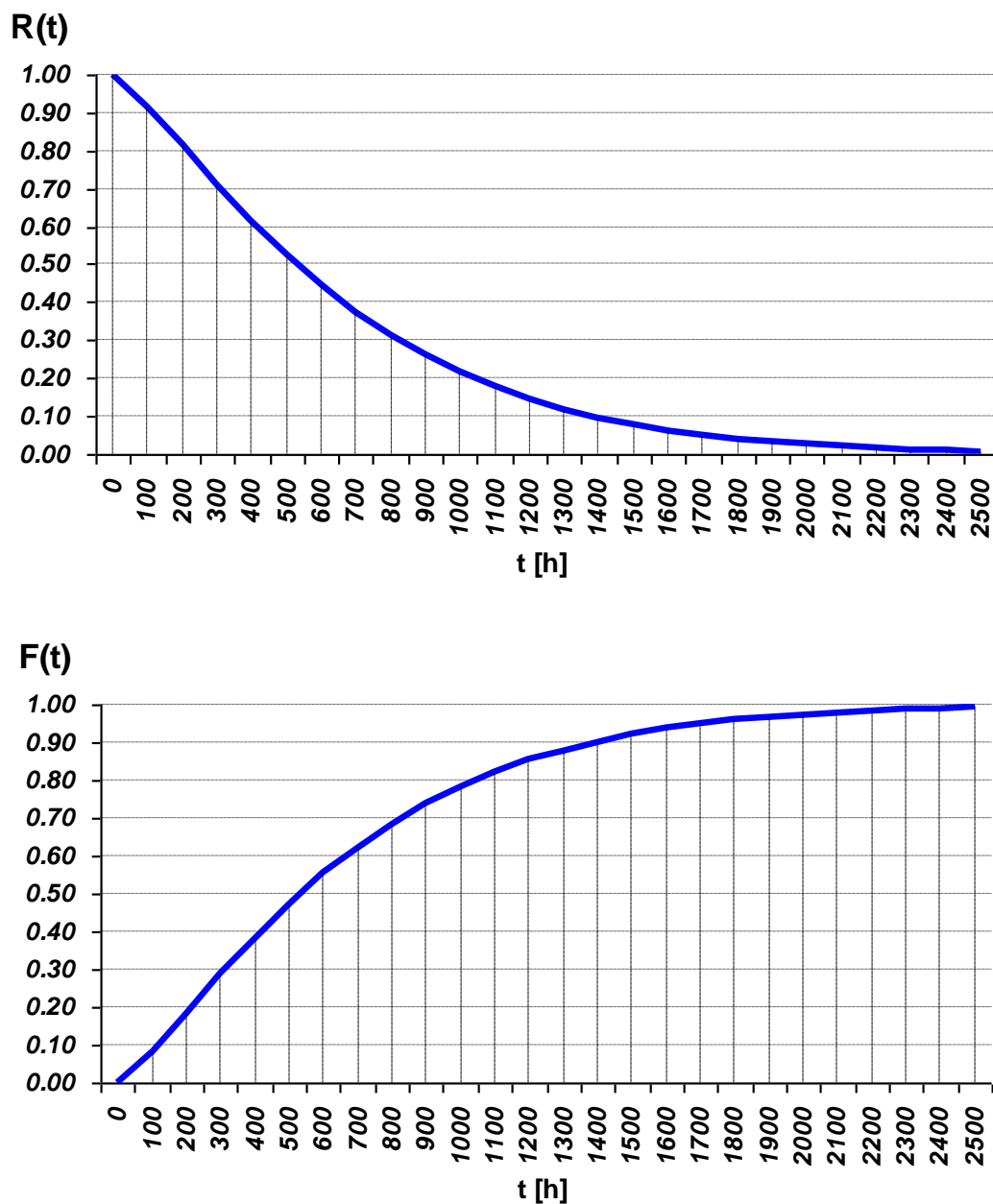
1. Остварени мото сати у току једне године: 2880 mh,
2. Остварени сати у отказу (непланирани застоји): 18 h,
3. Времена у раду булдозера између непланираних застоја током године:  
5 (118-480-622-710-950)

Помоћу медијалног ранга, добијене су вредности параметра облика  $\beta$  и параметра размере  $\eta$  преко Вејбуловог папира вероватноће. Вејбулова расподела је дата на слици 4.5.



Слика 4.5. Вејбулов папир вероватноће за булдозер D8R (K2)

Даљим коришћењем Ојлеровог интеграла друге врсте односно *гама* функције ( $\Gamma$ ), добијени су дијаграми функције поузданости  $R(t)$ , односно функције отказа  $F(t)$ , који су дати на слици 4.6.



Слика 4.6. Дијаграми функције поузданости  $R(t)$  и функције отказа  $F(t)$

Са ових дијаграма се може констатовати да постоји 8,2% вероватноће да ће се после 100 сати рада појавити отказ на булдозеру D8R, односно 47,4% вероватноће да ће се после 500 сати рада појавити отказ (булдозер K2 је узет као репрезентативни показатељ).

Средња вредност времена рада, које је производ параметра размере  $\eta$  и  $\gamma$  функције, износи:  $T_{SR} = 663,16 h$ , док је аритметичка средина времена рада:  $T_{A-SR} = 576 h$ .

На основу изнетог, може се констатовати да је у питању Вејбулова расподела, чија функција поузданости има следећи изглед:

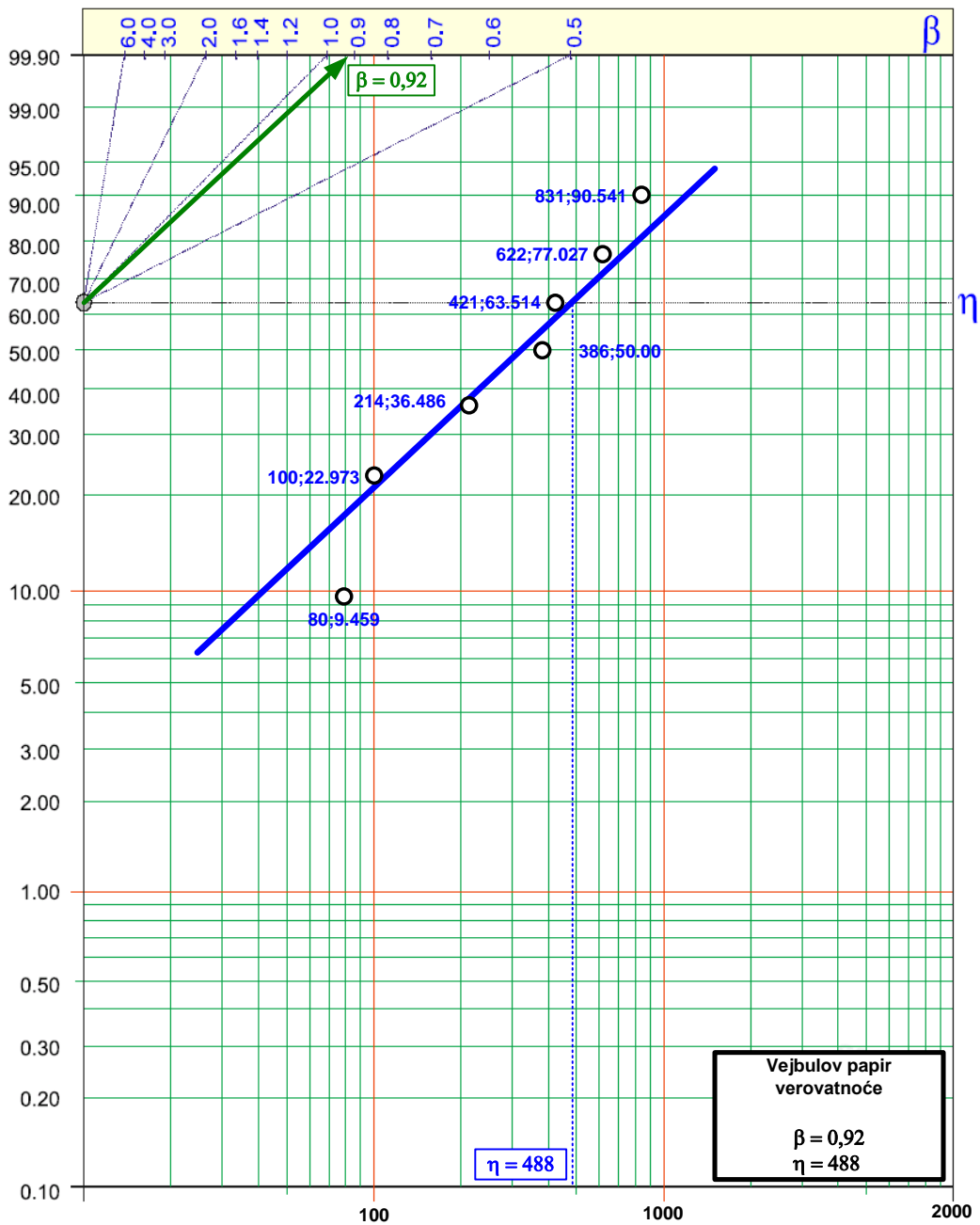
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{2500}\right)^{1.25}}$$

- Булдозер TD25H

Подаци који су потребни за формирање временске слике стања и израчунавање поузданости:

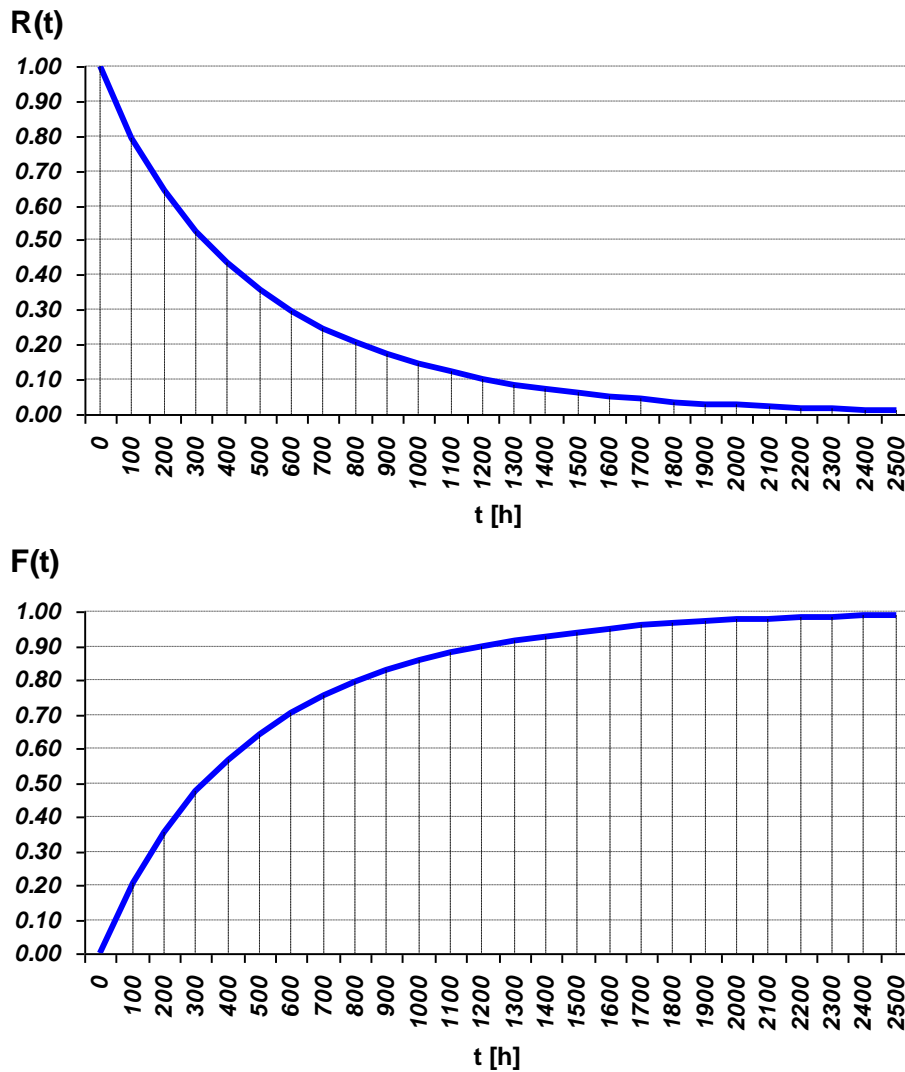
1. Остварени мото сати у току једне године: 2654 mh,
2. Остварени сати у отказу (непланирани застоји): 137 h,
3. Времена у раду булдозера између непланираних застоја током године: 7 (80-100-214-386-421-622-831)

Помоћу медијалног ранга, добијене су вредности параметра облика  $\beta$  и параметра размере  $\eta$  преко Вејбуловог папира вероватноће. Вејбулова расподела је дата на слици 4.7.



Слика 4.7. Вејбулов папир вероватноће за булдозер TD25H (B2)

Даљим коришћењем Ојлеровог интеграла друге врсте односно гама функције ( $\Gamma$ ), добијени су дијаграми функције поузданости  $R(t)$ , односно функције отказа  $F(t)$ , који су дати на слици 4.8.



**Слика 4.8.** Дијаграми функције поузданости  $R(t)$  и функције отказа  $F(t)$

Са ових дијаграма се може констатовати да постоји 21,8% вероватноће да ће се после 100 сати рада појавити отказ на булдозеру TD25H, односно 65% вероватноће да ће се после 500 сати рада појавити отказ (булдозер В2 је узет као репрезентативни показатељ).

Средња вредност времена рада, које је производ параметра размере  $\eta$  и  $\gamma$  функције, износи:  $T_{SR} = 514,01 h$ , док је аритметичка средина времена рада:  $T_{A-SR} = 379,14 h$ .

На основу изнетог, може се констатовати да је у питању Вејбулова расподела, чија функција поузданости има следећи изглед:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{2500}\right)^{0,92}}$$

## 4.3.2. Израчунавање расположивости булдозера

- Булдозер D8R CAT

На основу података за 5 година ангажовања булдозера (као пример се наводи исти тип булдозера D8R, произвођача *Caterpillar*, интерних ознака K1 и K2, који су радили и који раде у костолачком угљеном басену), добијени су коефицијенти техничке расположивости, применом методе најмањих квадрата. Подаци који су коришћени за израчунавање су укупно годишње појединачно време рада за булдозер, застоји како у оправкама тако и у сервисима. За пет година, укупно време рада ова два булдозера је износило 20432 mh, при чему је време проведено у оправкама (у непланираним застојима) износило 844 h за исти временски период, и на крају, време проведено у планираним сервисима за исти временски период је износило 2630 h. У табели 4.3 дати су коефицијенти техничке расположивости по годинама за булдозере CAT D8R [Ђурић, 2008].

Табела 4.3. Коефицијент техничке расположивости булдозера D8R

булдозер	1. година	2. година	3. година	4. година	5. година
K1	0.836292	0.839804	0.884793	0.882625	0.883060
K2	0.872286	0.830731	0.852953	0.884547	0.805934

На основу ових података, добијени су параметри за одређивање реалне и математичке расподеле техничке расположивости помоћу медијалног ранга Q и методе најмањих квадрата. Ти подаци су дати у табелама 4.4 и 4.5.

Табела 4.4. Параметри медијалног ранга

	<i>Ktr</i>	<i>Q</i>	<i>Int</i>	<i>lnln</i>
1	0.80593	6.697	-0.21575	-2.66905
2	0.83073	16.226	-0.18545	-1.73134
3	0.83629	25.857	-0.17878	-1.20673
4	0.83980	35.510	-0.17459	-0.82403
5	0.85295	45.169	-0.15905	-0.50930
6	0.87229	54.831	-0.13664	-0.22972
7	0.88263	64.490	-0.12485	0.03475
8	0.88306	74.142	-0.12436	0.30199
9	0.88455	83.774	-0.12268	0.59804
10	0.88479	93.300	-0.12240	0.99439

Табела 4.5. Параметри најмањих квадрата

	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>xx</i>	<i>xy</i>
1	-0.21575	-2.66905	0.04655	0.57586
2	-0.18545	-1.73134	0.03439	0.32108
3	-0.17878	-1.20673	0.03196	0.21574
4	-0.17459	-0.82403	0.03048	0.14386
5	-0.15905	-0.50930	0.02530	0.08101
6	-0.13664	-0.22972	0.01867	0.03139
7	-0.12485	0.03475	0.01559	-0.00434
8	-0.12436	0.30199	0.01547	-0.03756
9	-0.12268	0.59804	0.01505	-0.07337
10	-0.12240	0.99439	0.01498	-0.12171
Σ	-1.54455	-5.24100	0.24844	1.13195

Метод најмањих квадрата:

$$a\Sigma x^2 + b\Sigma x = \Sigma xy$$

$$a\Sigma x + nb = \Sigma y$$

$$0,248437a - 1,54455b = 1,131949$$

$$\underline{-1,54455a + 10b = -5,241}$$

$$\Rightarrow a = 32,65818 ; b = 4,52012$$

$$y = 32,65818x + 4,52012$$

$$\beta = 32,65818$$

$$b = -\beta \ln \eta \Rightarrow \eta = 0,8707$$

У табели 4.6 дата је реална расподела техничке расположивости булдозера D8R.

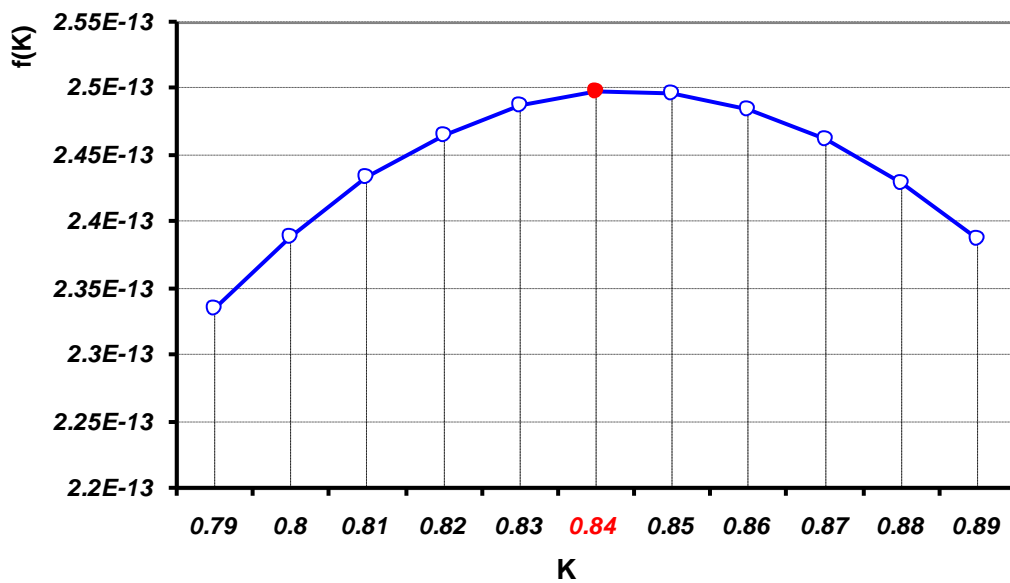
**Табела 4.6.** Реална расподела

K	f(t)	K	f(t)	K	f(t)	K	f(t)
0.80593	2.41616E-13	0.83980	2.4969E-13	0.88263	2.41897E-13	0.88479	2.41015E-13
0.83073	2.48798E-13	0.85295	2.49352E-13	0.88306	2.41723E-13		
0.83629	2.49455E-13	0.87229	2.45495E-13	0.88455	2.41118E-13		

У табели 4.7 дата је математичка расподела техничке расположивости булдозера D8R, на основу које се црта дијаграм који је дат на слици 4.9.

**Табела 4.7.** Математичка расподела

K	f(t)	K	f(t)	K	f(t)	K	f(t)
0.79	2.33416E-13	0.82	2.46541E-13	0.85	2.49593E-13	0.88	2.42906E-13
0.8	2.38881E-13	0.83	2.48686E-13	0.86	2.48397E-13	0.89	2.38727E-13
0.81	2.43267E-13	0.84	2.49699E-13	0.87	2.46151E-13		



Слика 4.9. Коефицијент техничке расположивости булдозера D8R

- Булдозер TD25H

На основу података за 4 године ангажовања булдозера (као пример се наводииститип булдозера TD25H, произвођача *Dressta*, интерних ознака B1, B2, B3 и B4, који су радили и који раде у костолачком угљеном басену), добијени су коефицијенти техничке расположивости, применом методе најмањих квадрата. Подаци који су коришћени за израчунавање су укупно годишње појединачно време рада за булдозер, застоји како у оправкама тако и у сервисима.

За четири године, укупно време рада овихчетири булдозера је износило 38133 mh, при чему је време проведено у оправкама (у непланираним застојима) износило 1191 h за исти временски период, и на крају, време проведено у планираним сервисима за исти временски период је износило 4456 h.

У табели 4.8 дати су коефицијенти техничке расположивости по годинама за булдозере TD25H.



**Табела 4.8.** Коефицијент техничке расположивости булдозера TD25H

булдозер	1. година	2. година	3. година	4. година
B4	0.882740	0.871835	0.847923	0.856669
B1	0.889564	0.847726	0.865769	0.880944
B2	0.887294	0.887338	0.878222	0.858344
B3	0.883184	0.866833	0.851025	0.871100

На основу ових података, добијени су параметри за одређивање реалне и математичке расподеле техничке расположивости помоћу медијалног ранга Q и методе најмањих квадрата. Ти подаци су дати у табелама 4.9 и 4.10.

**Табела 4.9.** Параметри медијалног ранга

	<i>Ktr</i>	<i>Q</i>	<i>lnt</i>	<i>lnln</i>
1	0.84773	5.192	-0.16520	-2.93151
2	0.84792	21.579	-0.16497	-1.41437
3	0.85103	20.045	-0.16131	-1.49742
4	0.85667	27.528	-0.15470	-1.13330
5	0.85834	35.016	-0.15275	-0.84158
6	0.86577	42.508	-0.14414	-0.59145
7	0.86683	50.000	-0.14291	-0.36651
8	0.87110	57.492	-0.13800	-0.15610
9	0.87184	64.984	-0.13715	0.04819
10	0.87822	72.472	-0.12986	0.25462
11	0.88094	79.955	-0.12676	0.47449
12	0.88274	87.421	-0.12472	0.72907
13	0.88318	94.808	-0.12422	1.08453
14	0.88729	83.635	-0.11958	0.59334
15	0.88734	89.730	-0.11953	0.82239
16	0.88956	95.760	-0.11702	1.15076

**Табела 4.10.** Параметри најмањих квадрата

	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>xx</i>	<i>xy</i>
1	-0.16520	-2.93151	0.02729	0.48428
2	-0.16497	-1.41437	0.02721	0.23332
3	-0.16131	-1.49742	0.02602	0.24155
4	-0.15470	-1.13330	0.02393	0.17532
5	-0.15275	-0.84158	0.02333	0.12855
6	-0.14414	-0.59145	0.02078	0.08525
7	-0.14291	-0.36651	0.02042	0.05238
8	-0.13800	-0.15610	0.01904	0.02154
9	-0.13715	0.04819	0.01881	-0.00661
10	-0.12986	0.25462	0.01686	-0.03306
11	-0.12676	0.47449	0.01607	-0.06015
12	-0.12472	0.72907	0.01556	-0.09093
13	-0.12422	1.08453	0.01543	-0.13472
14	-0.11958	0.59334	0.01430	-0.07095
15	-0.11953	0.82239	0.01429	-0.09830
16	-0.11702	1.15076	0.01369	-0.13467
$\Sigma$	-2.22283	-3.77485	0.31304	0.79281

Метод најмањих квадрата:

$$a\Sigma x^2 + b\Sigma x = \Sigma xy$$

$$a\Sigma x + nb = \Sigma y$$

$$0,31304a - 2,22283b = 0,79281$$

$$-2,22283a + 16b = -3,77485$$

$$\Rightarrow a = 63,1595 ; b = 8,5382$$

$$y = 63,1595x + 8,5382$$

$$\beta = 63,1595$$

$$b = -\beta \ln \eta \Rightarrow \eta = 0,8736$$

У табели 4.11 дата је реална расподела техничке расположивости булдозера TD25H.

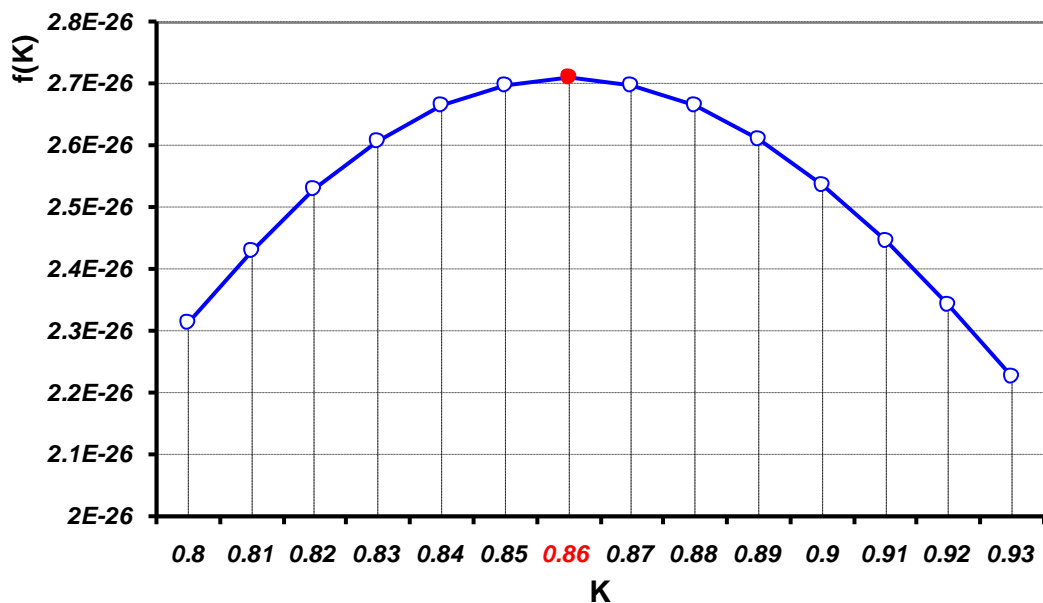
**Табела 4.11.** Реална расподела

K	f(t)	K	f(t)	K	f(t)	K	f(t)
0.84773	2.69207E-26	0.85834	2.70846E-26	0.87184	2.69231E-26	0.88318	2.64805E-26
0.84792	2.69261E-26	0.86577	2.70462E-26	0.87822	2.67073E-26	0.88729	2.62551E-26
0.85103	2.69994E-26	0.86683	2.70305E-26	0.88094	2.65891E-26	0.88734	2.62525E-26
0.85667	2.7076E-26	0.87110	2.69424E-26	0.88274	2.65028E-26	0.88956	2.61165E-26

У табели 4.12 дата је математичка расподела техничке расположивости булдозера TD25H, на основу које се црта дијаграм који је дат на слици 4.10.

**Табела 4.12.** Математичка расподела

K	f(t)	K	f(t)	K	f(t)	K	f(t)
0.8	2.31388E-26	0.84	2.66387E-26	0.88	2.66318E-26	0.92	2.34129E-26
0.81	2.43057E-26	0.85	2.69777E-26	0.89	2.60887E-26	0.93	2.22493E-26
0.82	2.52906E-26	0.86	2.70869E-26	0.9	2.53569E-26		
0.83	2.60733E-26	0.87	2.69689E-26	0.91	2.44571E-26		



**Слика 4.10.** Коэффициент техничке расположивости булдозера TD25H

#### 4.3.3. Израчунавање расположивости булдозера према најкритичнијем елементу – концепт одржавања према поузданости

Машине/дозери на гусеничном транспортном уређају се врло често користе на рудницима. Трошкови доњег строја могу бити велики део укупних трошкова коришћења на гусеничном транспортном уређају тих машина. Због тога, поузданост склопа гусеничног механизма, а поготово горњих ролни/тркача, је најважнија за систематску анализу. Велики произвођачи опреме идентификовали су пет основних услова који утичу на вероватноћу остварења животног века гусеничног механизма доњег строја: удар, абразивност, структура терена, рад и одржавање, како је наведено у *Caterpillar's Performance Handbook Ed. 43*. Очигледно је да сви ови ефекти се могу пратити, па чак и избегавати, осим абразивности.

На основу искуствених разматрања, најкритичнији елемент булдозера је горња ролна гусеничног механизма, због изразитог процеса хабања у условима неповољне радне средине на површинским коповима (изразито учешће песка).

Значи, један од важних процеса који изазива смањену поузданост машина у рударству је хабање. Разлог је контакт резних елемената и радне средине [Muro, 1985] или контакт механизма транспорта и тла [Ivanov и остали, 2010], који садржи абразивне елементе (песак са кварцом -  $\text{SiO}_2$ ). Питање хабање,  $\text{SiO}_2$  садржаја и хабања је истраживачка тема неколико аутора у прошлости. *Cerchar* тест [Cerchar ..., 1986] и *Cerchar Abrasiveness Index (CAI)* се обично користе за процену абразивности стена [Plinninger и остали, 2004]. Овај тест и изведени индекс абразивности се користе за прогнозу процене хабања резног елемента и повезане трошкове замене током ископа стенског масива. Још једно истраживање сугерише да садржај кварцног песка има највећи утицај на хабање алата за сечење [West, 1989]. Истраживања изведена на угљу потврђују корелацију, тј. линеарни однос између абразивности и просечне величине зрна кварца [Yarali и остали, 2008]. Међутим, однос између хабања проузрокованог садржајем  $\text{SiO}_2$  у тлу/стенама и преосталих могућности елемената машинске опреме, није испитана/истражена детаљно.

У сваком случају, важно је да одређени параметри поузданости прате дефинисање прецизних инжењерских закључака, који ће допринети да се унапреди квалитет услуге техничких система.

Идеја овог дела текста је да се нађе експлицитно корелација између параметара поузданости и параметара интензитета хабања, како би се предвидео рок замене горњег ваљка на гусеничном механизму дозера и избегли непланирани застоји.

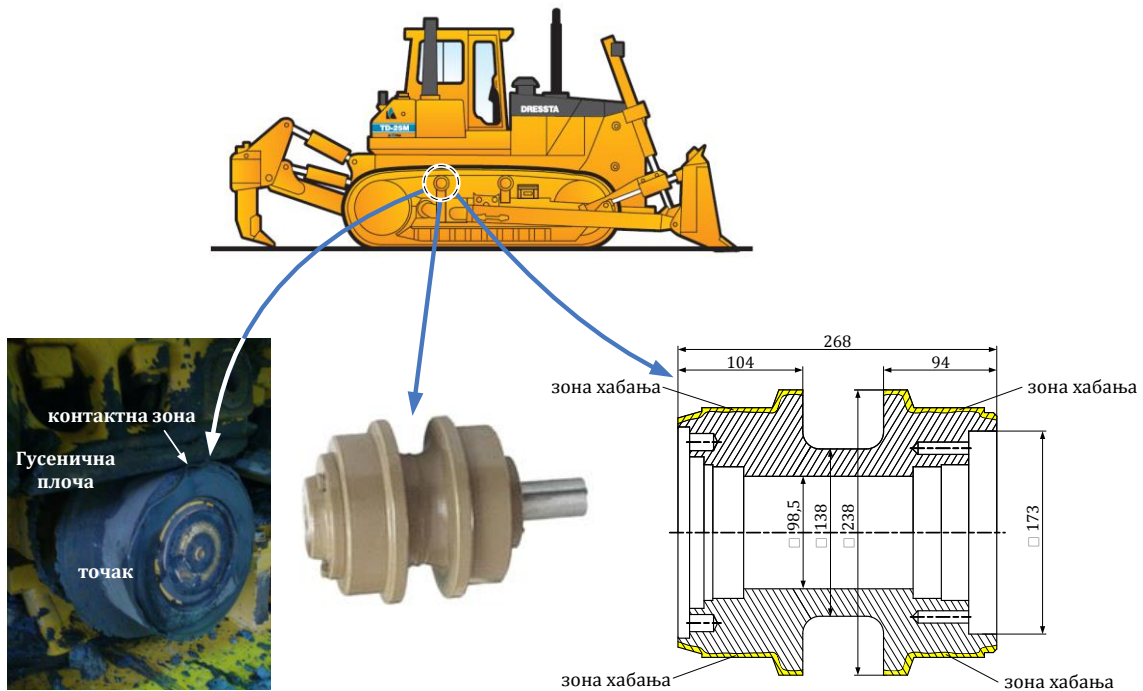
Дозери су једне од најважнијих машина помоћне механизације на површинским коповима лигнита. У погледу управљања квалитетом рудника, веома је важно да може да се предвиди тренутак када би машине требало да прођу сервис/поправку.

Због тога, овај текст даје математички модел и процедуру која се може користити за побољшање политике одржавања и да се смање трошкови пословања, у складу са принципом одржавања према поузданости.

Максимални ефекти рада откопне рударске механизације на површинским коповима постижу се благовременим и квалитетним обављањем помоћних радова. За обављање ових радова, површински коп мора располагати довољним бројем одговарајућих помоћних машина, у првом реду дозера. Дозери раде у изузетно тешким условима на етажама површинских копова, са изузетно променљивим режимима рада, од максималних вучних до транспортних режима. Из тих разлога век ових машина на површинским коповима је релативно кратак и обично траје неколико година. Због тога њихова поузданост веома брзо опада, а трошкови експлоатације и одржавања изузетно брзо расту.

Из тих разлога неопходно је перманентно праћење показатеља ефективности рада ових машина. У првом реду се то односи на критична места на дозерима, односно она места која условљавају правилан рад дозера. Једно од тих критичних места је склоп горње ролне на гусеничном транспортном уређају (слика 4.11).

Горња ролна је изложена процесу хабања од стране радне средине по којој се дозер креће. Што је већи проценат абразивних компоненти у материјалу, то је и хабање ролне веће.



**Слика 4.11.** Положај и изглед горње ролне у оквиру гусеничног механизма дозера

Умерено трошење материјала површина данас сматрамо нормалном појавом. Међутим, у знатном броју случајева у пракси наилазимо и на појачана и абнормално висока трошења и оштећења површина. Овакво хабање у релативно кратком временском периоду, доводи до отказивања и лома елемента, а тиме и до отказивања рада машина. То је случај са горњим ролнама на дозерима, које се обрађују у овом тексту. Абразивно трошење код горњих ролни дозера је карактеристичан вид хабања. Услови рада дозера на површинским коповима лигнита у Србији су различити у зависности од учешћа абразивних контамината. Ти контаминати, у зависности од врсте експлоатисане минералне сировине, могу имати веома различити састав. Главни састојак по правилу је силицијум-диоксид ( $\text{SiO}_2$ ).

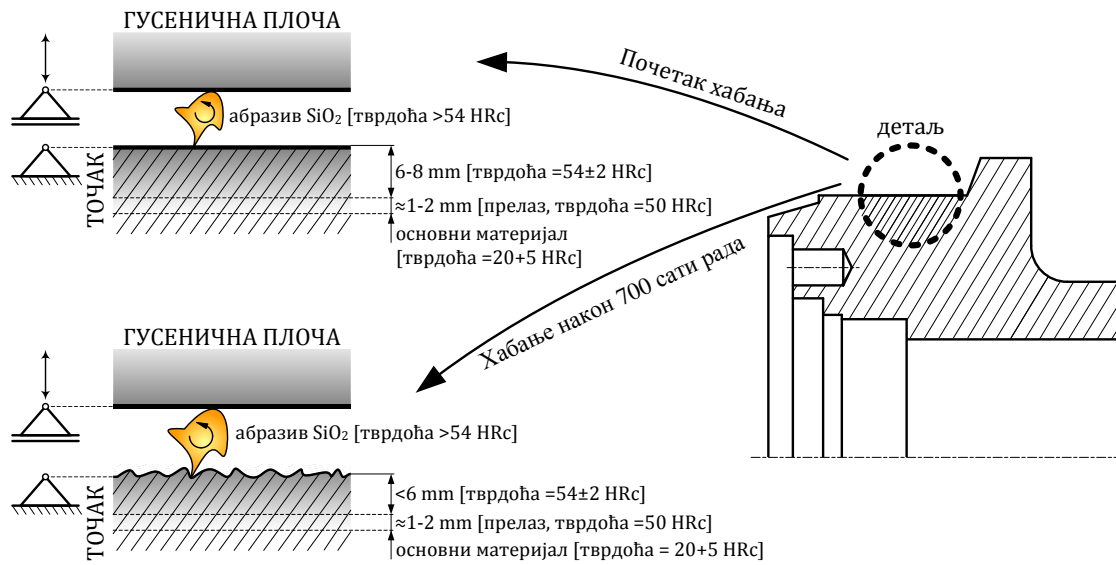
Технике за праћење хабања засноване су на емисији буке током радног процеса, повећаним вибрацијама, инфрацрвеном топлотном зрачењу услед појаве трења, визуелизацији контактне површине помоћу осветљавања у комбинацији са камером високе резолуције. Све ове технике су у принципу засноване на триболошком систему који у себи садржи систем подмазивања или одношења добијене топлоте неким другим медијумом које није мазиво (најчешће је везано за стругарски нож). Код система горње ролне нема подмазивања. Ипак, сигурно је да су ове технике у доста случајева меродавне,

поготово у лабораторијским условима. Мерењем на лицу места једног трибомеханичког система, као што је у овом раду наведено, има неколико битних отежавајућих околности. Прво, у процесу рада много већи извори буке су у близини овог трибомеханичког система тако да је изузетно тешко издвојити његов ниво буке (присуство погонског агрегата и сам технолошки процес рада). Друго, вибрације изискују прецизно постављање мерних сонди и њено фиксирање на месту са кога се очекују подаци – ово није могуће извести на систему горње ролне због изузетно великих динамичких удара. Треће, емисија топлоте се може опажати термовизијском камером када нема спољашње задрљаности трибомеханичког система, а што је у овом случају веома изражено због радне средине у коме овај систем ради (подаци који се добијају нису меродавни због различите емисије са задрљаних и незадрљаних површина). На крају, визуелизација камером високе резолуције се углавном примењује у лабораторијским условима односно у средини која није задрљана (нема прашине) – у случају горње ролне изразито постојање прашине. Сигурно је да ове технике чине квалитетније дефинисање стања и понашања једног трибомеханичког система. Међутим, у конкретном примеру горње ролне гусеничара оне нису примењљиве, односно и даље је оптимално мерење похабаности помоћу помичног мерила. Због тога, има смисла да се прате статистички подаци и обрађују према теорији поузданости.

Изглед горње ролне дозера TD25M (произвођач *Dressta*) је приказан на слици 4.11. Током операције је примећено да је хабање интензивнија када машина ради на земљишту које имају већи проценат песка, у површинском слоју.

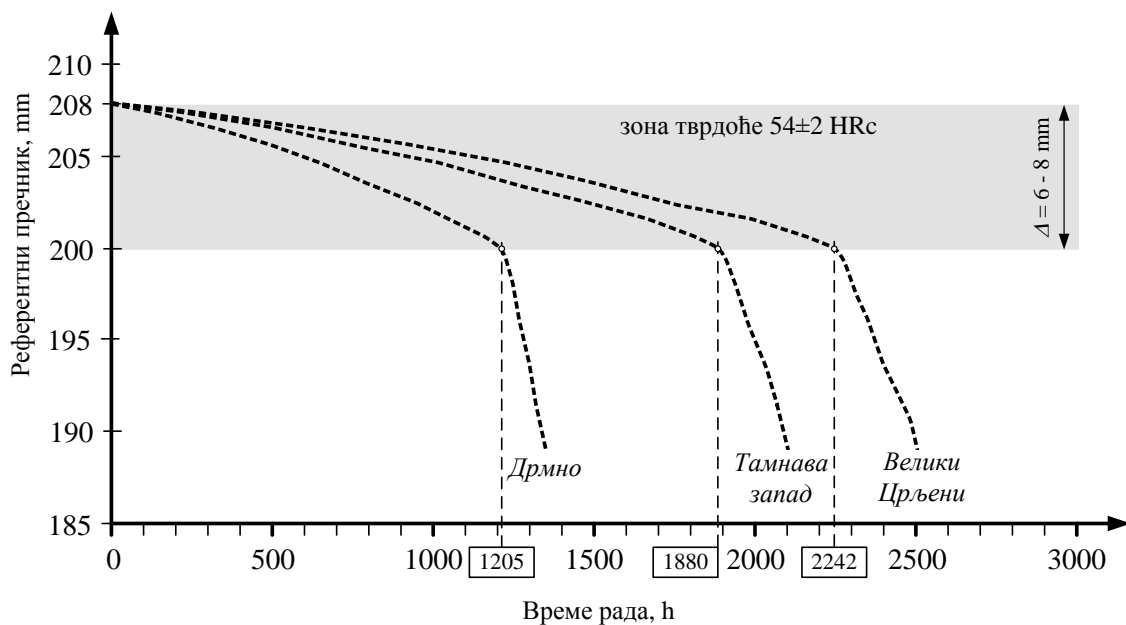
Абразивно хабање се најчешће јавља као нарушавање/уклањање слоја метала услед присуства честица  $\text{SiO}_2$  између спојених површина. У овом случају ове површине имају траг на гусеничној плочи и горњој ролни. Величина честица је између 150 и 200  $\mu\text{m}$ . Нема мазива између две металне површине, док концентрација абразивног материјала (песак -  $\text{SiO}_2$ ) је висока.

Због тога, овај механизам нема адхезивно хабање, већ само абразивно. Основни абразивни процес је приказан на слици 4.12. Слика 4.12 приказује детаљ горње ролне са теоријским тумачењем хабања које је настало између ролне и гусеничне плоче. Овај процес је показао два стања/ситуације: почетак хабања и хабање након 700 радних сати. Смањена дебљина ојачане зоне је евидентна, као и повећање храпавости.



Слика 4.12. Процес абразивног хабања горњег точка дозера TD25M

Дијаграм хабања односно однос интензитета хабања и времена у раду, за површинске копове Дрмно, Тамнава Запад и Велики Црљени је приказано на слици 4.13, као и кварцног садржаја ( $\text{SiO}_2$ ) у тлу ових површинских копова.



Слика 4.13. Дијаграм хабања горњег точка дозера TD25M

Више мерења су изведена помоћу помичног мерила на неколико локација пречника ваљка, а просечна вредност је коришћена за дијаграм хабања. Очигледно је да се хабање појачава након 1205, 1880 и 2242 радних

сати за површинске копове, респективно. Раст је узрокован попуштањем зоне тврдоће. Због тога, ова времена могу се сматрати као препорука за замену горњих ролни као превентивна мера.

Слика 4.14 приказује фотографије горњих ролни, у тренутку појачаног интензитета хабања (према дијаграму - Слика 4.13).



**Слика 4.14.** Горњи точкови дозера TD25M на површинским коповима Дрмно, Тамнава Запад и Велики Црљени, након 1205, 1880 и 2242 сати рада, респективно

Карактеристика поузданости посматраних техничких система одређује се на основу емпиријских података о времену застоја. Ови подаци се прикупљају током посматрања система у раду или на основу експеримента. Један од задатака за анализу поузданости је да се утврди која дистрибуција теоретски може бити погодна за најбољу интерпретацију прикупљених емпиријских података. У теорији вероватноће и статистике, развијено је на десетине закона дистрибуције. Дистрибуција *Weibull* је важна дистрибуција посебно за поузданост и анализу одржавања.

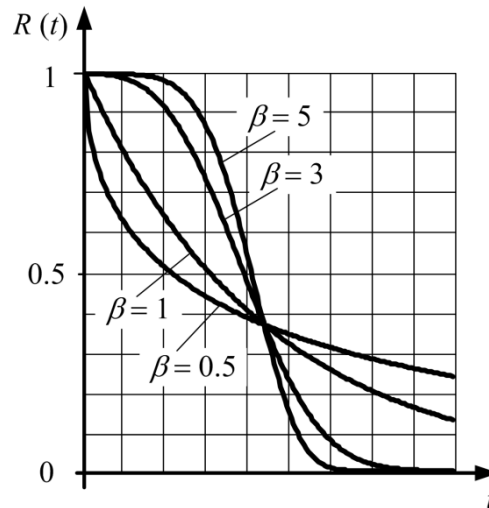
Функција поузданости, на основу двопараметарске Вејбулове дистрибуције је написано као [Murthy и остали, 2004; O'Connor и остали, 2012]:

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

где је  $\beta$  параметар облика, а  $\eta$  параметар размере.

Зависност између параметара  $\beta$  и  $R(t)$  је сасвим евидентна (слика 4.15). За случајеве када  $0.5 \leq \beta \leq 1.5$  Вејбулова расподела нагиње експоненцијалној расподели, а када  $2.5 \leq \beta \leq 5$  Вејбулова расподела нагиње нормалној расподели [Murthy и остали, 2004; O'Connor и остали, 2012].





Слика 4.15. Функција поузданости  $R(t)$  и параметар размере  $\beta$

Функција двопараметарске Вејбулове расподеле [Murthy и остали, 2004; O'Connor и остали, 2012], тј. вероватноћа времена застоја је дефинисана као:

$$R(t) + F(t) = 1 \Rightarrow F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Међу време се може израчунати као:

$$\bar{T} = \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

где је  $\Gamma$  такозвана гама функција:  $\Gamma(p) = \int_0^\infty t^{p-1} e^{-t} dt$  and  $p = 1 + \frac{1}{\beta}$ .

Гама функцију није лако израчунати, те се она углавном даје у одговарајућим табелама [O'Connor и остали, 2012].

Процедура за одређивање функције поузданости на бази двопараметарске Вејбулове расподеле, се састоји од следећих корака: прикупљање података и рангирање, унос података у Вејбулов папир (WPP) [Murthy и остали, 2004], процену параметара расподеле и тестирање хипотезе за закон дистрибуције. Подаци за анализу су периоди или времена између отказа односно времена у раду. У реалним условима овај корак је

веома компликован, јер постоји систем квалитета за детекцију кварова и њихово правилно снимање. Углавном је мали број података доступан. У случајевима када је број података  $n \leq 30$ , медијални ранг (MR) такође познат и као Бернардова апроксимација, користи се уместо емпиријске функције кумулативне расподеле  $F(t)$  [O'Connor и остали, 2012].

$$MR = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

где је  $i = 1 \dots n$  – рангирани број података.

Средња вредност и геометријска функција кумулативне расподеле нису нашли значајно место у инжењерингу поузданости.

Вејбулов папир вероватноће (слика 6.5) [Murthy и остали, 2004], има осе које трансформишу функцију вероватноће расподеле у правој линији. Ако подаци који се унети у ову врсту папира формирају праву линију, то значи да је хипотеза исправна. Вејбулов папир вероватноће може једноставно бити креиран. Вејбулова расподела може бити написана као:

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

Узимајући два пута природни логаритам ( $\ln \ln$ ), обе стране праве једначину праве линије:

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

Ова једначина је права линија  $y = a \cdot x + b$  у координатном систему, са ординатом:  $y = \ln \ln \left( \frac{1}{1 - F(t)} \right)$ , у односу на апсцису:  $x = \ln(t)$ . Ако су у Вејбулов папир вероватноће дефинисане тачке са координатама  $F(t)$  и  $t$ , оне морају бити усклађене са правом линијом. Нагиб праве линије на овом папиру је параметар облика  $\beta$ . Вредности  $t$  за тачку на линији са координатом  $F(t) = 0.63212$ , је параметар размере  $\eta$ . Познато је да је  $\ln \ln \left( \frac{1}{1 - 0.63212} \right) = 0$ .

Постоји неколико аналитичких метода које се користе у процени Вејбулових параметара [Lei, 2008]. Метода најмањих квадрата најчешће се примењује у инжењерским и математичким проблемима. Према овом поступку, пише се:

$$a \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i; \quad a \cdot \sum_{i=1}^n x_i + n \cdot b = \sum_{i=1}^n y_i$$

Решавањем система једначина, добија се:

$$a = \beta; \quad b = -\beta \cdot \ln(\eta) \Rightarrow \eta = e^{-\left(\frac{b}{a}\right)}$$

Колмогоров-Смирнов тест (К-С тест) је најчешћи метод за тестирање хипотезе успостављених закона дистрибуције. К-С тест је коришћен да дефинише да ли подаци о квару/застоју долазе из популације са одређеном расподелом. К-С тест врши поређење функције расподеле и теоријске функције  $F(t)$ , на основу њиховог растојања/удаљености  $D_n$ . Потребно је да је растојање мање од критичне вредности  $D_{n\alpha}$ , а онда се може извести закључак да се подаци добро уклапају са одређеним законом расподеле. Критична вредност се може наћи у Колмогоров-Смирнов табелама [Murthy и остали, 2004; O'Connor и остали, 2012].

Вероватноћа да се посматрани подаци прате по одређеном теоретском закону, може се дефинисати у зависности од нивоа значајности ( $\alpha_z$ ):

$$P_z(D_n \leq D_{n\alpha}) = 1 - \alpha_z$$

Костолац и Колубара су главни рударски басени површинске експлоатације лигнита у Србији. Производња лигнита се одвија на следећим површинским коповима: Дрмно и Ђириковац – коп у затварању (костолачки басен) и Тамнава-Запад, Поље Д, Поље Б, Велики Црљени (колубарски басен). Више од 700 машина помоћне механизације раде на овим коповима. Ове машине су веома важне за неометано извршавање основног рада – експлоатације, а непланирано одсуство машина може да изазове огромне трошкове. Међу помоћним машинама, дозери су свакако најважнији и зато је неопходно да се прати поузданост и одржавања ових машина [Chen и остали, 2008]. Постоји скоро 150 дозера у оквиру копова Електропривреде Србије.

Минералозна анализа стена у наведеним коповима је изведена за сваки коп посебно и дати у одговарајућим рударским и геолошким документима – Елаборат о резервама [Пројекат Актуелизовани инвестициони програм ..., 2007; Студија Иновирани дугорочни програм ..., 2006]. Елаборат о резервама је у ствари евиденција о количини и својствима минералних ресурса, и као такви су доступни на сваком појединачном руднику. Након разматрања ових докумената, било је могуће идентификовати материјал са значајним садржајем минерала прашинастог песка, за сваки коп [Djurić и остали, 2016]:

1. Костолац: ПК Дрмно – песковити седименти, 85%,
2. Костолац: ПК Ћириковац – песковито-глиновити седименти, 54%,
3. Колубара: ПК Тамнава Западно поље – глиновито-песковити алевритски седименти, 41%,
4. Колубара: ПК Поље Д – глиновито-песковити алевритски седименти, 40%,
5. Колубара: ПК Велики Црљени – седименти квартарне глине, 14% и
6. Колубара: ПК Поље Б – глиновито-песковити алевритски седименти, 38%.

На поменутих површинским коповима забележена времена застоја у односу на проблематику горње ролне су дате у табели 4.13. За даљу анализу прати се површински коп Дрмно. Број података је  $n = 10$ , односно  $n < 30$ , тако да се метод медијалног ранга користи за одређивање кумулативне функције дистрибуције  $F(t)$ . Тачке које представљају дато време у табели 4.13 и одговарајући медијални ранг се тада увуку у Вејбулов папир, тако да нацртана права линија најбоље апроксимира дате тачке. На основу цртања може се видети да је претпоставка о Вејбуловој расподели добра. Координате одређених тачака (табела 4.14, колона 1) у складу са Вејбуловим папиром су дати у табели 4.14 (колона 2 и 3).

**Табела 4.13.** Време застоја (Time to failures, TTF)

$i$	Дрмно	Ћириковац	Тамнава Запад	Поље Д	Поље Б	Велики Црљени
	Време [h]					
1	812	1172	1522	1530	1606	1986
2	1082	1621	1898	1892	1958	2297
3	1102	1783	2000	2063	2077	2464
4	1297	1848	2053	2088	2202	2601
5	1356	2012	2086	2118	2401	2903
6	1382	2425	2182	2251	2763	
7	1437		2307	2392		
8	1521		2588	2689		
9	1688					
10	1820					

**Табела 4.14.** Процедура за добијање функције поузданости за површински коп Дрмно

1	2	3	4	5	6	7	8	9
$i$	$TTF = t$	$MR = F(t)$	$\ln(t) = x$	$\ln\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right) = y$	$x^2$	$x \cdot y$	$F(t)_{\text{теор.}}$	$D$
1	812	0.06731	6.69950	-2.66384	44.88330	-17.84642	0.05987	0.00743
2	1082	0.16346	6.98657	-1.72326	48.81211	-12.03969	0.21018	0.04672
3	1102	0.25962	7.00488	-1.20202	49.06837	-8.42003	0.22665	0.03296
4	1297	0.35577	7.16781	-0.82167	51.37749	-5.88955	0.42311	0.06734
5	1356	0.45192	7.21229	-0.50860	52.01719	-3.66814	0.49193	0.04001
6	1382	0.54808	7.23129	-0.23037	52.29151	-1.66584	0.52286	0.02522
7	1437	0.64423	7.27031	0.03292	52.85745	0.23937	0.58848	0.05576
8	1521	0.74038	7.32712	0.29903	53.68674	2.19105	0.68578	0.05460
9	1688	0.83654	7.43130	0.59398	55.22421	4.41402	0.84789	0.01135
10	1820	0.93269	7.50659	0.99269	56.34892	7.45171	0.93121	0.00148
$\Sigma =$			71.83767	-5.23113	516.56730	-35.23351		

Треба напоменути да је главни циљ овог истраживања био да се анализирају кварови/застоји идентичних делова (горња ролна од дозера Dressta TD-25M) у различитим радним условима (садржај SiO<sub>2</sub>), а последица овог приступа је мали узорак, што је уобичајена ситуација у рударству. Слободно се може рећи да на расположивост дозера на површинском копу највећи утицај има горња ролна.

Подаци о застојима, прикупљени на површинским коповима лигнита Електропривреде Србије, представљају студију случаја, па као такви морају да се обради методом медијалног ранга, тј. да буду усклађени са Бернардовом апроксимацијом. Осим тога, једини реалан приступ је био да се прикупе подаци за идентичне машине које раде у различитим условима – површинским коповима у периоду од једне године (табела 4.13).

Користећи методу најмањих квадрата из Вејбуловог папира се добија једначина праве линије (табела 4.14, колоне 4-7), наиме вредности параметра облика ( $\beta$ ) и параметра размере ( $\eta$ ) од двопараметарске Вејбулове расподеле:

$$a \cdot x^2 + b \cdot x = x \cdot y$$

$$a \cdot 516.56730 + b \cdot 71.83767 = -35.23351$$

$$a \cdot x + b \cdot n = y$$

$$a \cdot 71.83767 + b \cdot 10 = -5.23113$$

$$a = 4.67 = \beta$$

$$b = -34,07392 = -\beta \cdot \ln(\eta) \Rightarrow \eta = 1474,06 \text{ сати.}$$

Коначно, добијамо функцију поузданост  $R(t)$  и времена између застоја (MTTF), за изведен случај:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{1474,06}\right)^{4,67}}$$

$$MTTF = \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 1474.06 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{4,67}\right) = 1474.06 \cdot \Gamma(1,21412) = 1348.13 \text{ сати.}$$

Максимална разлика између емпиријских (табела 4.14 – колона 3) и теоретских (табела 4.14 – колона 8) вредности функције  $F(t)$ , је за податке  $i=4$ :

$$MR(i=4) = F(1297) = 0,35577$$

$$F(1297)_{\text{teor.}} = 1 - e^{-\left(\frac{1297}{1474,06}\right)^{4,67}} = 0.42311$$

$$D_{n(i=4)} = |F(1297) - F(1297)_{\text{teor.}}| = |0.35577 - 0.42311| = 0.06734$$

За наведени пример који садржи  $n = 10$  података, према К-С тесту за добру подешеност, прихватљива разлика између емпиријске и теоријске вредности је:

$$D_{n;\alpha} = D_{10;0,05} = 0.410$$

Обично се израчунава са нивоом значаја  $\alpha_z = 0.05$ ; односно поверењем од 95%.

Како је  $D_n = 0.067 < 0.410 = D_{10,0.05}$ , можемо закључити да су подаци добро уклопљени са Вејбуловом расподелом.

На исти начин, рачуна се  $R(t)$  и  $MTTF$  за друге копове. У табели 4.15 дати су само резултати за друге копове.

**Табела 4.15.** Функција поузданости  $R(t)$  и средње време до отказа (MTTF) за анализирани копове

	Дрмно	Ђириковац	Тамнава запад
$R(t) =$	$e^{-\left(\frac{t}{1474.06}\right)^{4.67}}$	$e^{-\left(\frac{t}{1987.21}\right)^{4.28}}$	$e^{-\left(\frac{t}{2218.10}\right)^{6.88}}$
$MTTF =$	1348.13	1808,36	2073.02
	Поље Д	Поље Б	Велики Црљени
$R(t) =$	$e^{-\left(\frac{t}{2278.39}\right)^{6.41}}$	$e^{-\left(\frac{t}{2334.46}\right)^{5.68}}$	$e^{-\left(\frac{t}{2600.09}\right)^{7.29}}$
$MTTF =$	2121.40	2159.16	2437.37

На слици 4.17 се може видети функција поузданости  $R(t)$  где је независно дат проценат песка. У случају копа Велики Црљени дат је број података  $i = 5$ , разлика између емпиријске и теоријске вредности кумулативне расподеле застоја има вредност  $D = 0.09414$ , која је прихватљива са становишта К-С теста за добру подешеност.

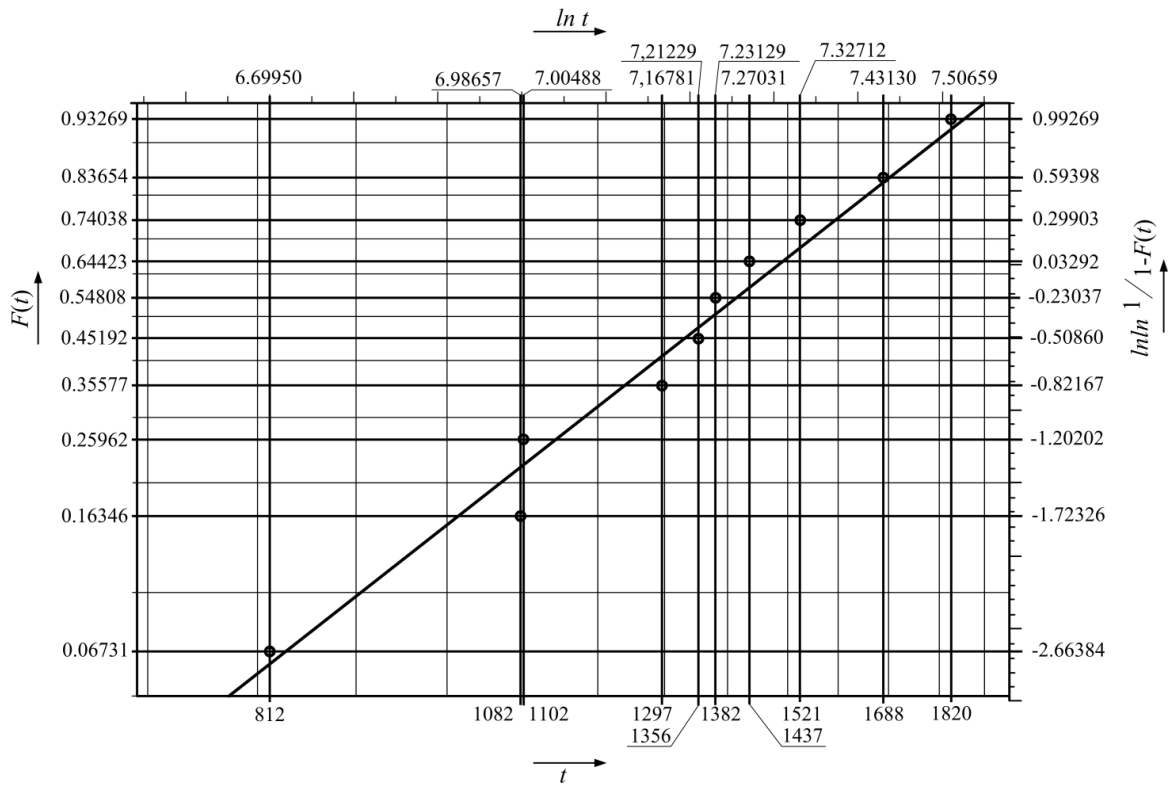
Може се запазити да вредности параметра облика ( $\beta$ ) у свим случајевима је између 4.28 и 7.29. То значи да су анализирани случајеви имали малу дисперзију података о временима између застоја.

Као што се може видети на слици 4.17, најбржи пад поузданости је на површинском копу Дрмно, која има највећи садржај  $\text{SiO}_2$ . Највећа поузданост је на површинском копу Велики Црљени, где је садржај  $\text{SiO}_2$  најнижи. Мерење на појединачним коповима је искоришћено за формирање препоруке за превентивну замену горње ролне. У наведеним случајевима, поузданост је:

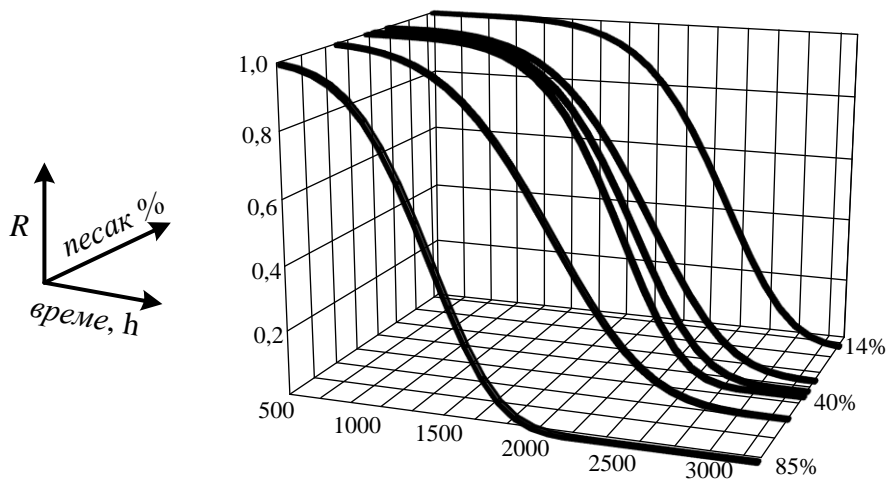
$$R_{Drmno} = e^{-\left(\frac{1205}{1474.06}\right)^{4.67}} = 68 \%$$

$$R_{T.zapad} = e^{-\left(\frac{1880}{2218.10}\right)^{6.88}} = 73 \%$$

$$R_{V.Crljeni} = e^{-\left(\frac{2242}{2600.09}\right)^{7.29}} = 71 \%$$



Слика 4.16. Weibull-ов папир



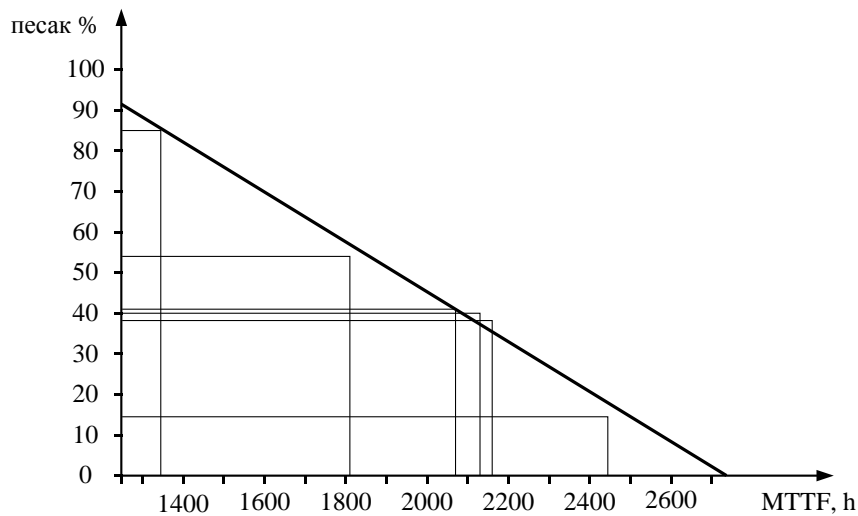
Слика 4.17. Функција поузданости  $R$  у зависности од времена и % учешћа песка

Постоји очигледна корелација између мерења и израчунатих функција поузданости. У време повећане појаве хабања, поузданост је око 70%. Овај закључак се може користити за избор тренутка замене горње ролне, како би се избегли неочекивани кварови.

Према томе, основу за одржавање према поузданости (ОПП) дозера се поставља на основу хабања доњег строја машине. Неопходно је наћи прави



тренутак за активност на одржавању, у овом случају за замену истрошених делова новим резервним деловима.



**Слика 4.18.** Зависност између средњег времена отказа и % учешћа песка

На слици 4.18, може се видети зависност времена до квара МТТФ и проценат песка. Са слике 4.18 евидентна је линеарна зависност између МТТФ и проценат песка. Користећи методу најмањих квадрата за  $n = 6$  (табела 4.16), може се добити и математичка веза између ових вредности у облику:

**Табела 4.16.** Процедура за добијање зависности између средњег времена отказа (МТТФ) и процентуалног учешћа песка

1	2	3	4	5	6	7
$i$	МТТФ = $x$	песак % = $y$	$x^2$	$x \cdot y$	МТТФ <sub>теор.</sub>	$D$
1 – Дрмно	1348.13	85	1817453.58	114591.02	1352.70	4.57
2 – Ђириковац	1808.36	54	3270151.35	97651.22	1851.72	43.37
3 – Тамнава запад	2073.02	41	4297415.28	84993.85	2060.99	12.03
4 – Поље Д	2121.40	40	4500345.22	84856.07	2077.09	44.31
5 – Поље Б	2159.16	38	4661989.73	82048.24	2109.28	49.88
6 – Велики Црљени	2437.34	14	5940603.22	34122.69	2495.62	58.29
$\Sigma =$	11947.41	272	24487958.38	498263.10		

$$a \cdot x^2 + b \cdot x = x \cdot y$$

$$a \cdot 24487958.38 + b \cdot 11947.41 = 498263.10$$

$$a \cdot x + b \cdot n = y$$

$$a \cdot 11947.41 + b \cdot 6 = 272$$

$$a = -0.06212$$

$$b = 169.03227$$

$$MTTF = \frac{S-b}{a} = \frac{S-169.03227}{-0.06212}$$

$$MTTF = 2720.98 - 16.10 \cdot S$$

где је  $S = \text{песак, \%}$

Највећа разлика између емпиријске и теоријске функције зависности MTTF и процентуалног учешћа песка је за податке  $i = 6$  (табела 6.4 – колона 7), где је око 2.5%. Може се сматрати да је тачност претпоставке висока.

Ова истраживања су спроведена на шест различитих површинских копова на истој машини – дозеру, а што је у вези са поузданошћу и процесом хабања. Главни резултат је способност да се идентификује тренутак (MTTF) квара дозера у зависности од садржаја песка ( $\text{SiO}_2$ ) у земљишту.

На бази теорије поузданости и садржаја абразивних компоненти у саставу земљишта, тј. на основу анализе података о времену застоја и процента кварца у земљишту по којем се дозери крећу, дефинисан је модел одржавања према поузданости. Он обрачунава математичку зависност између времена до појаве квара и процента кварца. Овај однос има линеарни карактер, и може послужити као једноставан и лако применљив критеријум за доношење одлуке о начину ефикасног коришћења дозера. У том смислу се препоручује да превентивне промене горњих ролни буде када је поузданост смањена на око 70%, односно када је очекивано повећање интензитета хабања.

Затим, може да се предвиди средње време у раду дозера који су анализирани у односу на проценат песка у земљишту (покрива се већи обим типова земљишта). Са појачаним интензитетом хабања имамо и краћи животни век контактних елемената. Зависност је линеарна, између животног века и садржаја материјала у контакту. Овај начин може да се користи као основа за спровођење политике одржавања у вези са заменом резервних делова.

## 5. СИНТЕЗНИ МОДЕЛ ОЦЕНЕ РАСПОЛОЖИВОСТИ

### 5.1. Распољивост као свеобухватни концепт употребног квалитета техничког система и могућност његовог синтезног сагледавања

Оцена располољивости представља једну од основних компоненти управљања животним веком техничких системима како у фази експлоатације тако и у фази одржавања. Распољивост је концепт који представља меру нивоа квалитета услуга (употребног квалитета) посматраног техничког система, који у себи садржи низ парцијалних показатеља везаних за време у раду и време за активности одржавања али и везано за функционалне карактеристике система. Феномени који су паралелни у смислу анализе животног века техничких система са феноменом располољивости, су ефективност система и сигурност функционисања (виша поузданост). Сва три концепта (феномена) имају заједнички атрибут, а то је поузданост. У зависности од карактеристика система пре свега у смислу интензитета отказа кроз фазе животног века и примењене методе одржавања, у обзир улазе читав низ парцијалних показатеља поред поузданости. За системе као што су роторни багери, као најпогоднији синтезни показатељ показао се феномен сигурности функционисања, који у обзир узима и конструкцијску и логистичку погодност одржавања [Танасијевић, 2007]. Роторни багер је технички систем велике инвестиционе вредности, великих радних учинака, неопходног континуитета у раду са великом ценом непланираних застоја и са израженом фазом уходавања у току почетне фазе животног века као последицом јединачне производње ових сложених машина [Половина, 2010]. Код машина које се производе у великим серијама и где не постоји фаза уходавања, где је развијена сервисна мрежа и где се као приоритет у раду поставља спремност машине да изврши своју функцију у било ком тренутку, као синтезни показатељ се поставља феномен располољивости. Пример су машине помоћне механизације на површинским коповима. Технички системи код којих је приоритет остварено укупно време у раду, као синтезни показатељ се поставља феномен ефективности [Миодраговић и остали, 2012]. У овом случају смисао добија и парцијални

---

показатељ функционалности. Ризик такође представља синтетички показатељ према коме могу да се управљају експлоатација и одржавање одређеног техничког система [Петровић, 2014]. У овом случају поред поузданости помињу се интензитет последице отказа и детектибилност.

Појам расположивости, који је тема овог рада, карактеристичан је по томе да може да се изрази као временски коефицијент [Ђурић, 2008]. При томе се добија податак који има смисла само у поступку компарације, али не и у смислу анализе слабих места на техничким системима и смислу организације експлоатацијом и одржавањем истих. У овој дисертацији, извршена је анализа и структурирање парцијалних показатеља расположивости и направљен је модел за њихову синтезу на ниво расположивости. Наведени подаци су хибридног карактера (измерени и експертски процењени), те је предложено коришћење фази теорије за поступак њихове пропозиције и композиције. На овај начин добијена је могућност подршке техничком систему у смислу одлучивања о преосталим способностима и оптимизацију трошкова животног циклуса.

Животни циклус техничких система се састоји од пет временских фаза: идеја, дизајн, израда, експлоатација и одржавање, отпис. Током четврте фазе која је и најдужа, систем неминовно губи свој радни потенцијал. У том тренутку поставља се питање, да ли систем може да се укључи у рад, колико дуго може да ради и како извршава задатак. Другим речима, да ли је расположивост на нивоу који захтева пројектовани употребни квалитет. У случају да није, неминовно наступа отпис.

Системски прилаз у инжењерству одржавања техничких система практично почиње са II Светским ратом. У том смислу се развијају поузданост и погодност одржавања пре свега у домену унапређења војне технике. Постоји више разлога за даљи интензивни развој системског прилаза у праћењу рада техничких система. Један од најважнијих разлога је потреба да се што прецизније одреде преостале могућности система. Као референтни чиниоци процесу упављања животним циклусом спомињу се обично синтетички показатељи употребног квалитета, као што је расположивост. За евалуацију оваквих широко обухватних (синтетичких) индикатора, неопходно је да се дефинише синтетички математички и концепцијски модел као и правила за прикупљање и обраду потребних улазних података за наведени модел. Прикупљање података о досадашњем понашању техничког система често

представља велики проблем, јер захтева скупе ИТ мониторинг системе. У случају квалитетног праћења понашања система, на бази статистике и теорије веоватноће, могуће је дефинисати улазне параметре за поменуте синтезне моделе. У противном, једина могућност је иницијална анализа на бази експертске анализе. При томе је битно да аналитичари буду из свих сегмената животног циклуса посматраног техничког система, пре свега из сектора производње, експлоатације и одржавања.

Рударске машине представљају једне од најкомплекснијих техничких система уопште. Њихове цене су обично врло високе, машине раде у тешким радним условима, њихов рад је спрегнут са непрестаним захтевима за што већим радним учинцима. Машине се често налазе у редној вези у смислу поузданости и неочекивини отказ може да изозове застој производног процеса.

Поузданост и погодност одржавања представљају најзначајније теоријски развијене концепте у анализи употребног квалитета (quality of service) техничких система. Концепт расположивости који је касније ушао у употребу, покушава да истовремено да опише понашање техничког система током периода експлоатације система и током периода одржавања истог. Расположивост техничког система може да се дефинише као вероватноћа да ће се систем ставити у функцију и успешно обављати жељену функцију у границама дозвољених одступања за одређени временски период и датим условима у датом окружењу. У контексту расположивости као синтезног концепта, поузданост се дефинише као карактеристика система да непрекидно има оперативну способност у границама дозвољених одступања у току временског периода; погодност одржавања као способност система за превенцију и проналажење недостатака и оштећења, за обнављање оперативне способности и функционалности; и функционалност као степен испуњавања функционалних захтева, односно привикавање на ситуацију, или тачније у условима у којима функционише овај систем. Поузданост и погодност одржавања могу да се егзактно прикажу на основу прикупљених података о времену проведеном у раду и времену до отказа (Слика 2.1), у случају временски зависних система. У овом случају поузданост и погодност одржавања добијају се у облику временски зависних функција  $R(t)$  и  $M(t)$ . За разлику од ова два показатеља, функционалност нема конвенционални начин мерења и вредновања. Може се само рећи да је мера функционалност, ЕКВИВАЛЕНТ радног учинка.

Поред ефективности, као укупни концепт квалитета система одржавања, у литератури се помиње појам сигурности функционисања (dependability). Појам концепта сигурности функционисања је садржан ISO-IEC стандарду [[International Electrotechnical Commission ...](#)]. Сигурност функционисања техничког система представља заједнички израз за описивање перформансе расположивости и њених утицајних фактора, као што су перформанса поузданости, перформанса погодности одржавања и перформанса подршке одржавања. Имплементација концепта сигурности функционисања је детаљно развијена у IEC-300 стандарду где су дефинисани циљеви сигурности функционисања али и принципи система управљања сигурносћу функционисања. Разлика између ефективности и сигурности функционисања је што сигурност функционисања посматра одвојено конструкцијску и логистичку компоненту погодности одржавања и што ефективност узима у обзир функционалност. Ефективност се обично користи за анализу техничких система који се производе у великим серијама односно који су на високом нивоу конструкцијске обрађености и са раширеном сервисном мрежом. Код ових машина функционалност долази до изражаја јер се машине праве према претпостављеним радним условима, који могу знатно да одступају од реалних. Технички системи који се производе појединачно према поруџбини, имају уграђену високу функционалност јер је она саставни део пројекта техничког система. Код ових система, због недовољне обрађености често се јављају проблеми у одржавању, због тога се код њих детаљније анализира погодност одржавања и сигурност функционисања. Прву групу машина чине на пример машине помоћне механизације на рудницима, другу групу машина чине на пример роторни багери, одлагачи итд.

Коефицијент временског искоришћења, тј. однос између времена проведеног у раду и укупног календарског времена често се користи као показатељ употребног квалитета. Овај показатељ је једноставан за коришћење али није прикладан за дубљу анализу узрока и последица које одређени ниво расположивости носи сам по себи (тражење слабих места и слично).

Проблем у имплементацији синтезних феномена као што су расположивост, сигурност функционисања, ефективност или ризик је непостојање стриктно дефинисаног математичког и концепцијског модела за њихово рачунање. У радовима [[Wang, 2000](#); [Wang и остали, 1995](#); [Wang и остали, 1996](#); [Ivezić и остали, 2008](#)] је дефинисан модел, где се парцијални

индикатори представљају у облику фази бројева, а њихов међусобни утицај се дефинише коришћењем фази композиције. На овај начин је добијена могућност интеграције квантитативних и квалитативних описа парцијалних индикатора и њихова синтеза. У односу на поменуте парцијалне индикаторе, фази теорија даје могућност интеграције лингвистичких описа (експертских процена) поступком фазификације. Врло је значајно да се лингвистички опис сачува до краја, без потребе за превођењем у нумеричку форму путем тежинских коефицијената или путем скалирања, чиме се уводи доза субјективности (вишеатрибутивно одлучивање).

У претходном тексту је усаглашено да се расположивост најквалитетније може сагледати кроз парцијалну анализу: поуздности, погодности одржавања и функционалне способности. Овакав приступ је доста сличан приступу ефективности, али са битним разграничењем у погледу коришћења облика улазних података. Поузданост и погодност одржавања су препознатљиви и често примењивани у пракси. Применом статистике и теорије веоватнће, долази се до временски зависних функција  $R(t)$  односно  $M(\tau)$ . Поступак статистичке обраде наведених података о времену у раду и отказу и њихова обрада на бази теорије поузданости је добро позната [Ивковић, 1997]. Функционалност, функционална погодност је у суштини мера радног учинка. За сваки технички систем овај индикатор може да се изрази на други начин. У овом раду је објекат анализе булдозер. Машина која се користи као помоћна у пословима померања тла. Радни учинак је дефинисан радним капацитетом сведеним на јединицу времена. На тај начин је садржан читав низ показатеља функционалности, као на пример величина плуга, интензитет расипања материјала, брзина при раду и брзина кретања при транспорту, маневарске способности и лакоћа управљања. Евидентно је да машина која има више изражену функционалност самим тим има и више изражену расположивост.

У овој дисертацији биће паралелно одређена расположивост булдозера који раде на површинским коповима ЕПС-а, коришћењем експертских процена запослених у експлоатацији и одржавању и коришћењем прикупљених измерених података везаних за временску слику стања и везано за радни капацитет. На овај начин биће извршена верификација експертног система са два различита извора улазних података и валидација експертских процена које саме по себи се могу сматрати недовољно објективним.

## 5.2. Теорија фази скупова као подлога за формирање математичког и концепцијског модела

Теорија фази скупова (енгл. *fuzzy* – расутих, расплинутих, неизразитих скупова), представља математички концепт за моделирање различитих процеса у којима доминира пре свега неизвесност, вишезначност, субјективност, неодређеност, итд [Zadeh, 1996; Zadeh, 2008; Zadeh, 1999; Техничка документација Електропривреде ...]. Развијена је за третирање недовољно прецизних појава које се не могу моделирати само теоријом вероватноће или интервалном математиком. За зачетника теорије фази скупова сматра се амерички професор *Lotfi Zadeh*, који је 1965. објавио први рад посвећен појму наведених скупова. Од тада до данас, у свету је објављено више стотина радова и одржан велики број научних скупова посвећених развоју теорије фази система и њиховим практичним применама. Овакав “фази” начин резонувања и изражавања, близак је философским поставкама култура далеког истока. Са друге стране тзв. *crisp* скупови, представљају основу западне, европске философије, која је зачета у Античкој Грчкој. Данас, највећа достигнућа у развоју теорије фази скупова, фази логике или фази управљања, управо су забележена у јапанској индустрији и научним установама.

Неодређеност као појам може да се посматра кроз следеће три категорије, у зависности од појава које се моделирају: прво, теоријом вероватноће, када дати услови који карактеришу појам не одређују јединствено очекивани резултат; друго, интервалном математиком, када није могуће (а није ни потребно), прецизно знати посматране вредности; треће, теоријом фази скупова, када неодређеност потиче од непрецизности у комуникацији (нпр. висока или ниска поузданост, добро или лоше одржавање и сл.).

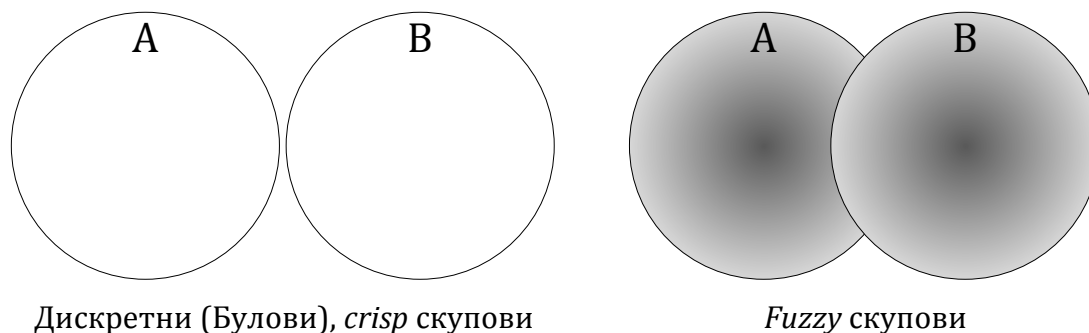
За разлику од вишеатрибутивног одлучивања, приступ на бази теорије фази скупова се заснива на истовременом раду са квалитативним (лингвистичким) и квантитативним (нумеричким) променљивим, а излазни резултат се даје у континуалној форми. Конкретно код сигурности функционисања: поузданост као улазна променљива најчешће представља математички дефинисану величину али не увек; подршка одржавању је чисто квалитативне природе и заснована је на експертској процени. Суштинска компаративна предност фази модела је у томе што се



квалитативни смисао променљивих, било при анализи перформанси или синтези истих на нивоу одређене конструкцијске структуре машине, при томе не губи, односно и резултат остаје у лингвистичком облику који је дефинисан функцијом припадности. Коришћење фази скупова, као и фази логике, често се симболично објашњава и као умеће стручњака или квалитативни опис умећа, или једноставно као рачунање речима.

### 5.2.1. Основни појмови из теорије Фази скупова

Под основним појмовима подразумевају се: особине, дефиниције, операције, принципи, које ће у наставку рада бити изложени на нивоу потребном за разумевање фази скупова и њихову даљу апликацију у циљу дефинисања параметара расположивости рударских машина [Zadeh, 1996; Zadeh, 2008; Zadeh, 1999; Субашић, 1997; Теодоровић и остали, 1991; Teodorovic и остали, 1998]. За разлику од класичне теорије скупова, која веома прецизно дефинише границу која раздваја елементе који припадају различитим скуповима, теорија фази скупова недовољно добро дефинише поменути границу. Често се каже да фази скупови садрже елементе са сличним својствима, за разлику од дискретних који садрже елементе са истим својствима. На пример, уколико у обичну инжењерску комуникацију уведемо појмове (скупове) врло квалитетна, средње квалитетна и некавалитетна машина, неминовно је да једну исту машину два различита инжењера могу да сврстају у различите скупове. Или да је сврстају у исти скуп, али са различитим степеном припадности (нпр. 40% врло, 60% средње квалитетна, и сл.).



**Слика 5.1.** Графички (Венов дијаграм) приказ скупова А и Б, за случај када јесу и када нису фази скупови. У случају фази скупова интензитет сиве боје представља степен припадности скупу

Фази скуп  $A$  се дефинише као скуп уређених парова  $\{X, \mu_A(x)\}$ , где је  $X$  коначан скуп  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ , а  $\mu_A(x)$  функција припадности. Припадност елемената  $x$  скупу  $A$  се у теорији фази скупова описује функцијом припадности  $\mu_A(x)$  на следећи начин:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{ако и само ако } x \text{ припада скупу } A \\ 0, & \text{ако и само ако } x \text{ не припада} \\ & \text{скупу } A \end{cases}$$

Осим крајњих граница у теорији фази скупова, функција припадности може да узме и било коју другу вредност из затвореног интервал  $a[0,1]$ . Према томе, дефинисани фази скуп  $A$  је уређени пар  $A = \{x, \mu_A(x)\}$ , при чему је  $\mu_A(x)$  степен припадности елемената  $x$  скупу  $A$ . Уколико је  $\mu_A(x)$  веће, утолико има више истине у тврђењу да елемент  $x$  припада скупу  $A$ .

У поменутом примеру са квалитетом машине, величине  $x_1 \dots x_N$  представљале би поједине машине, док би фази скуп  $A$  био нпр. врло квалитетна машина, а нпр. скупови  $B$  и  $C$ , средње квалитетна и неквалитетна машина, респективно. Вредности функције припадности нпр. за машину  $x_3$  би била:  $\mu_A(x_3) = 0.4$ ,  $\mu_B(x_3) = 0.6$ , итд.

Скуп  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  је коначан скуп елемената  $X_i, i=1, \dots, N$ , и може да се представи и као унија елемената:  $x_1, x_2, \dots, x_N$ .

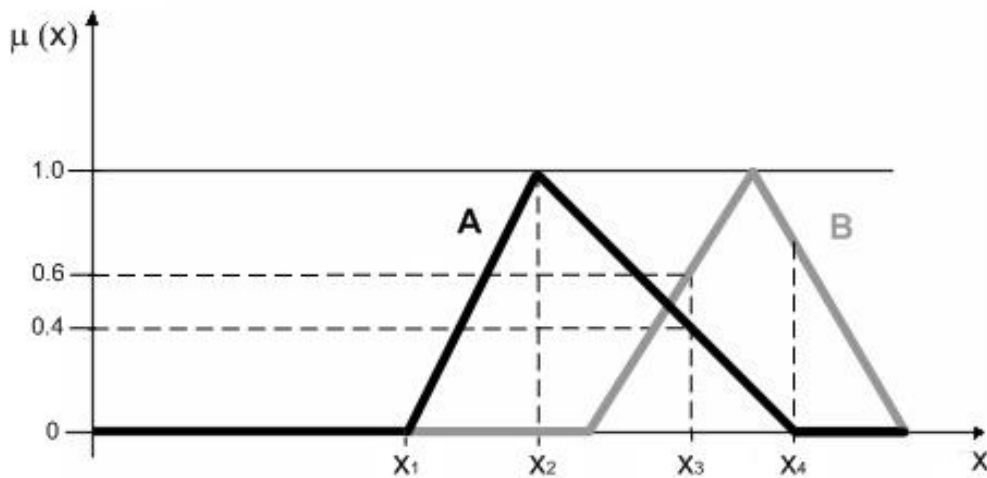
Фази скуп  $A$  дефинисан на скупу  $X$  се најчешће приказује на начин:

$$A = \mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \dots + \mu_A(x_N)/x_N = \sum_{i=1}^N [\mu_A(x_i)/x_i]$$

Овде симболи “+” и “ $\Sigma$ ”, немају уобичајена значења као у математици, већ симболишу унију или набрајање. У случају да  $X$  није коначан скуп, фази скуп  $A$  дефинисан на скупу  $X$  се изражава као:

$$A = [x[\mu_A(x)/x]]$$

Пример фази скупа и функције припадности приказан је на слици 5.2.



**Слика 5.2.** Функција припадности  $\mu_A(x)$  фази скупа A, односно  $\mu_B(x)$  фази скупа B

За дати пример на слици 5.2, фази скуп A и елементе:  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  и  $x_4$ , може да се напише следеће (без обзира што се у српском језику код писања децималних бројева користи “,” а у англосаксонском говорном подручју “.”, у књигама и радовима на српском језику везаним за фази скупове, уобичајено је да се на овом месту користи англосаксонски систем писања децималних бројева):

$$A = 0 / x_1 + 1.0 / x_2 + 0.4 / x_3 + 0 / x_4$$

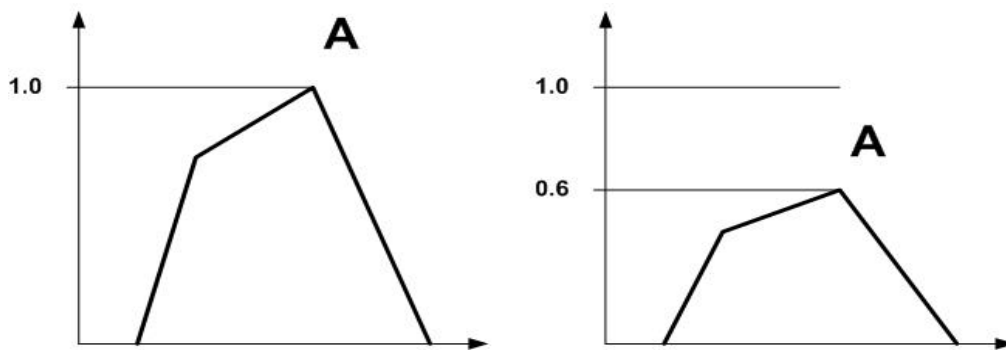
У случају поменутог примера са квалитетом машине, односно за посматрану машину  $x_3$ , јасно се види да су функције припадности  $\mu_A(x_3) = 0.4$ ,  $\mu_B(x_3) = 0.6$ , где врло квалитетне машине представља фази скуп A, средње квалитетне фази скуп B итд.

Основне особине фази скупова чине: нормалност, конвексност и број елемената (кардиналност) фази скупа, чија значења могу да се прикажу на следећи начин:

- Нормализован фази скуп има степен припадности бар једног свог елемента једнак јединици.

$$\max_{x \in X} \mu_A(x) = 1$$

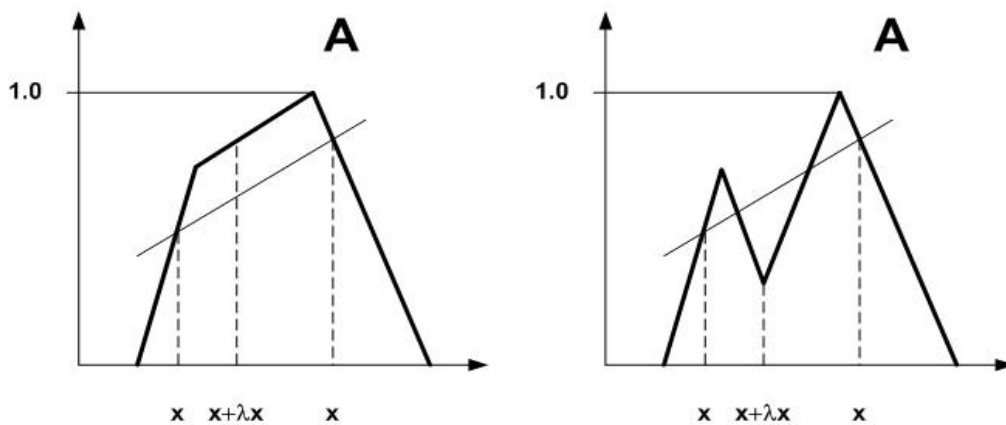
На слици 5.3. приказан је пример нормалног (лево) и суб-нормалног (десно) фази скупа. Суб-нормални фази скуп се може једноставно трансформисати у нормалан фази скуп, ако се све вредности степена припадности поделе са највећим степеном припадности, на слици, а то је 0.6. Ова операција се назива нормализација.



Слика 5.3. Пример нормалног и суб-нормалног фази скупа

- Фази скуп  $A$  је конвексан ако и само ако важи:

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)), \text{ за свако } x_1, x_2 \in X, \text{ и за свако } \lambda \in [0, 1].$$



Слика 5.4. Фази скуп на левој страни је конвексан, док на десној страни није

- Ако је  $X$  дискретан и коначан скуп, онда се кардиналност фази скупа изражава збиром степена припадности појединих елемената фази скупа:

$$|A| = \sum_{x \in X} \mu_A(x)$$

Ова дефиниција броја елемената фази скупа одговара дефиниција броја елемената дискретног скупа. Она се и своди на ту дефиницију када је  $A$  дискретан скуп, пошто се онда број елемената рачуна тако што се за сваки елемент рачуна степен припадности једнак јединици.

Може да се дефинише и појам релативне кардиналности фази скупа, која би се за дискретан и коначан скуп  $X$  рачунала као:

$$\|A\| = \frac{|A|}{|X|}$$

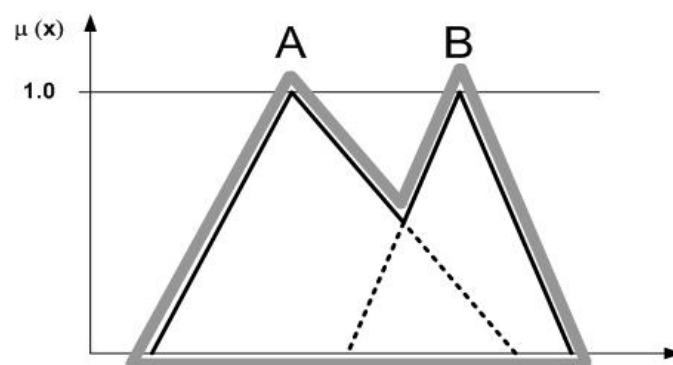
Релативна кардиналност фази скупа се добија када се кардиналност тог фази скупа подели са кардиналношћу домена  $X$  тог скупа. Овај број може да се користи као показатељ колико информација садржи фази скуп  $A$  [Субашић, 1997; Теодоровић и остали, 1991; Теодоровић и остали, 1998].

Основне операције над фази скуповима су: унија, пресек и комплемент, који се уводе и као модификатори функције припадности и дефинишу се помоћу следећих оператора.

▪ Унија фази скупова  $A$  и  $B$  је фази скуп који истовремено садржи и  $A$  и  $B$ , и представљена је помоћу функција припадности:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = \mu_A(x) \vee \mu_B(x)$$

где је  $\vee$  логички оператор "или", односно оператор максимума.

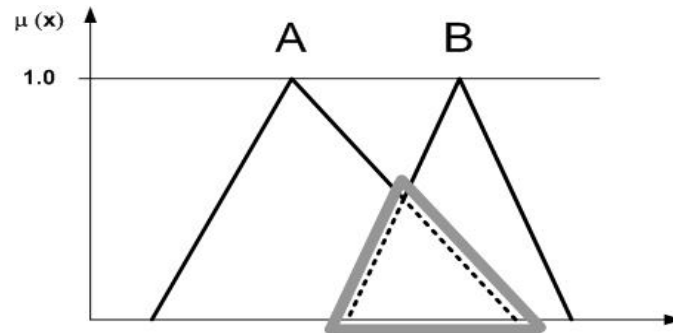


Слика 5.5. Унија фази скупова  $A$  и  $B$

- Пресек фази скупова  $A$  и  $B$  је фази скуп у који се истовремено садржи и  $A$  и  $B$ , и представљен је помоћу функција припадности:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$$

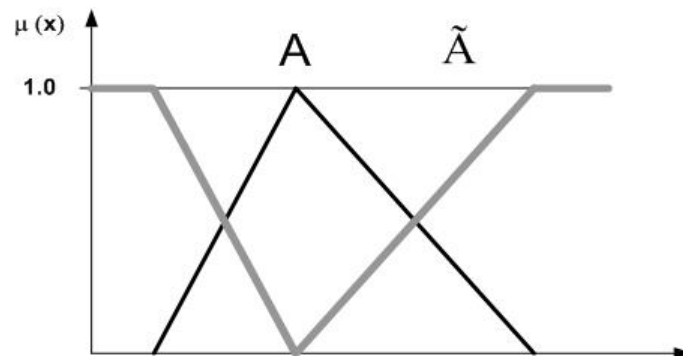
где је  $\wedge$  логички оператор "и", односно оператор максимума.



Слика 5.6. Пресек фази скупова  $A$  и  $B$

- Скуп супротан фази скупу је комплемент фази скупа. Комплемент фази скупа  $A$  је фази скуп  $\tilde{A}$ , такав да је:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$



Слика 5.7. Комплемент фази скупа  $A$

Поређење фази скупова врши се на основу поређења њихових функција припадности, на следећи начин:

- једнакост фази скупова  $A$  и  $B$ :  $A = B \Leftrightarrow \mu_A(x) = \mu_B(x)$
- инклузија (укључење) фази скупова:  $A \subset B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$

На основу изложеног, може се приметити да је највећи број особина исти, за фази скупове као и за дискретне скупове:

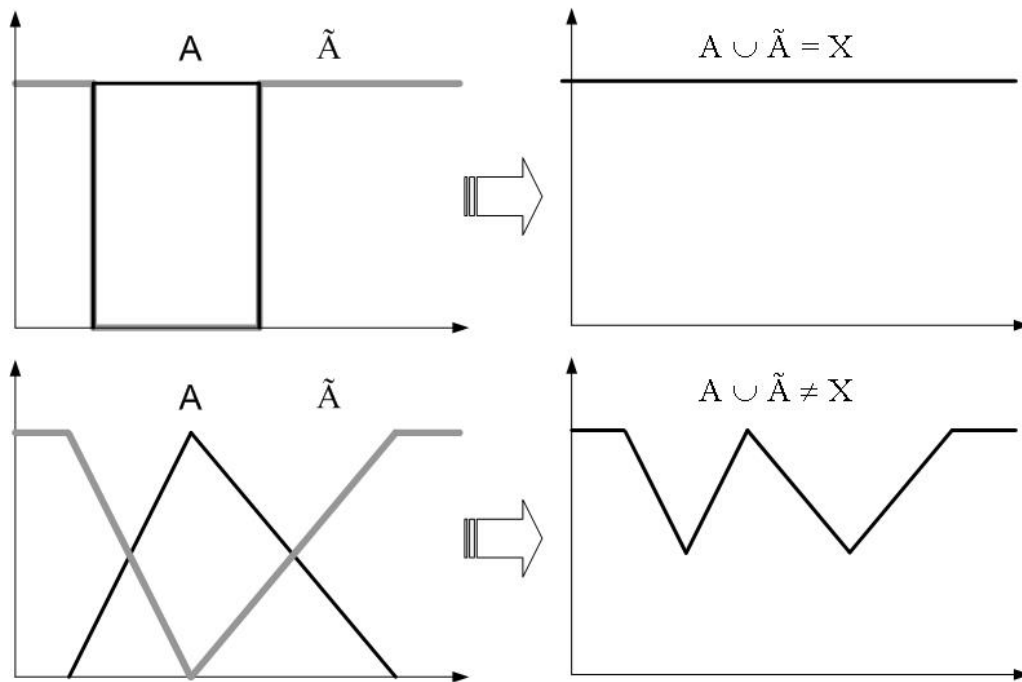
- идемпотентност:  $A \cup A = A, \quad A \cap A = A$
- комуникативност:  $A \cup B = B \cup A, \quad A \cap B = B \cap A$
- асоцијативност:  $A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C, \quad A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$
- дистрибутивност:  $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C), \quad A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
- двострука негација:  $A = \bar{\bar{A}}$
- Де Морганов закон:  $\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B} \quad \overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B}$

Постоје и две особине које не важе за дискретне, а важе за фази скупове:

- закон искључења трећег:  $A \cup \bar{A} = X$
- закон контрадикције:  $A \cap \bar{A} = \emptyset$

Ове две особине су основа специфичности теорије фази скупова у односу на класичне скупове, односно математичка имплементација реалних могућности (у складу са већ помињаним примером), да део машине из скупа врло квалитетних машина, истовремено могу да припадају и скупу средње квалитетних машина, односно да је збир свих врло квалитетних, средње квалитетних и некавалитетних машина већи од укупног броја посматраних машина из фази скупова, и слично.

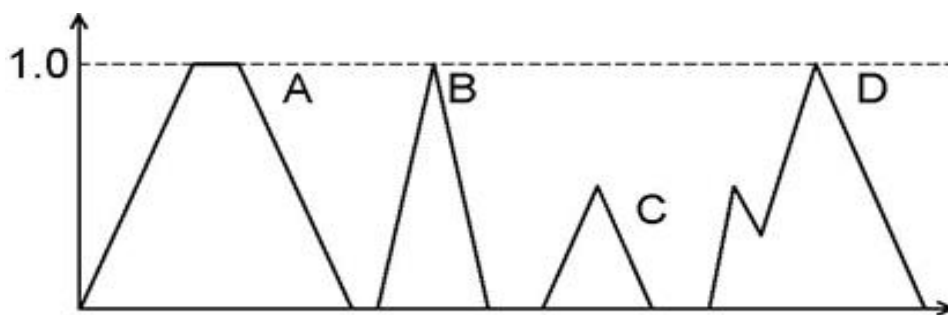
На слици 5.8 приказана је илустрација закона искључења трећег за дискретне скупове (горњи део), и илустрација која показује да овај закон не важи за фази скупове (доњи део). Док се у првом случају скуп допуњује својим комплементом до целог скупа, у другом случају се не допуњује [Субашић, 1997].



**Слика 5.8.** Закон искључења трећег у класичној теорији скупова важи (горњи део слике), али у теорији фази скупова не важи (доњи део слике)

Један од основних појмова из фази аритметике или како се често наводи основних концепата фази система, јесте фази број. Фази број  $A$  је скуп представљен функцијом припадности  $\mu_A(x)$  са следећим особинама:

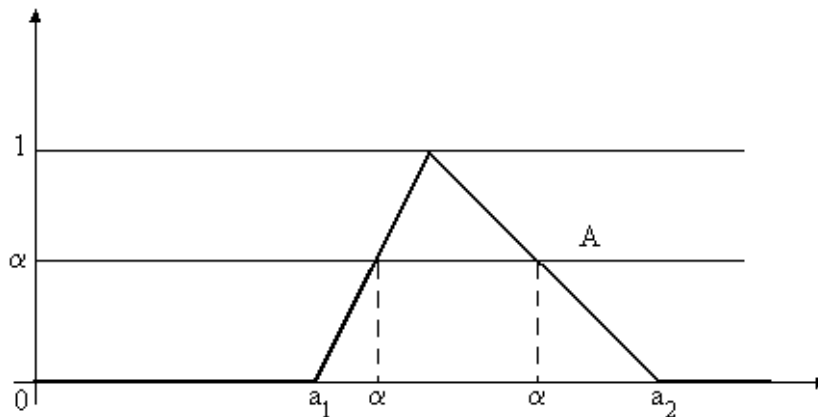
- $\mu_A(x)$  је дефинисана над скупом  $\text{Re}$ ;
- $\mu_A(x)$  је конвексна;
- $\mu_A(x)$  је нормална;
- $\mu_A(x)$  је део по део непрекидна функција.



**Слика 5.9.** Фази скупови који јесу ( $A$  и  $B$ ) и који нису фази бројеви ( $C$  – не испуњава услов нормалности и  $D$  не испуњава услов конвексности)



Фази број према томе представља нормализован и конвексан фази скуп који карактерише интервал поверења  $[a_1, a_2]$  и степен сигурности  $\alpha$ . На слици 5.10, приказан је фази број  $A$  и одговарајући интервал поверења и степен сигурности.



Слика 5.10. Фази број, интервал поверења и степен сигурности

Посебну класу фази бројева чине тзв. троугласти и трапезоидни фази бројеви. Троугласти фази број, условљен је обликом функције припадности и окарактерисан је следећим обликом:

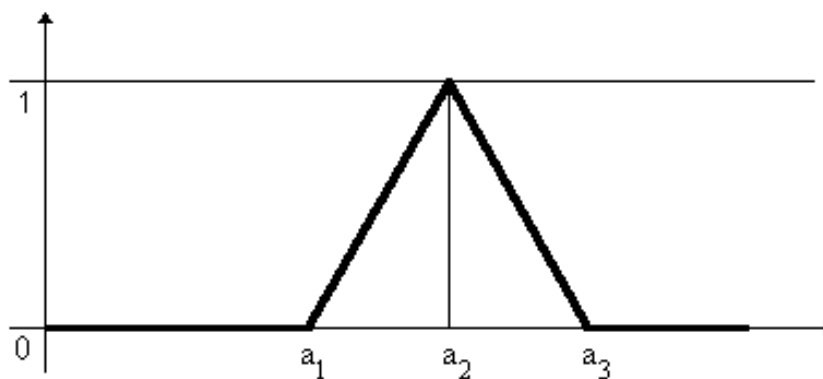
$$A=(a_1, a_2, a_3),$$

где је:

$a_1$  - доња (лева) граница фази броја,

$a_2$  - вредност фази броја са највећим степеном припадности, и

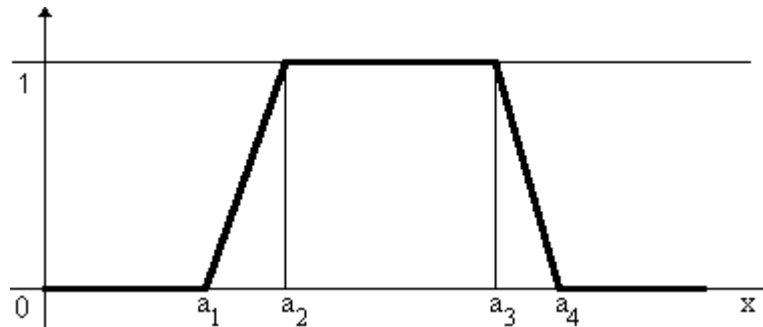
$a_3$  - горња (десна) граница фази броја.



Слика 5.11. Троугласти фази број  $A$

Другу класу чине трапезоидни фази бројеви, окарактерисани следећим обликом:

$A=(a_1, a_2, a_3, a_4)$ , са обликом приказаним на слици 5.12:



Слика 5.12. Трапезоидни фази број A

Односно, фази број је раван фази број, ако постоји више од једне вредности за које је  $\mu_A(x)=1$ .

Над фази бројевима су дефинисане и основне операције, тако да за фази бројеве са степеном поверења  $\alpha$ :

$$X\alpha = [x_1\alpha, x_2\alpha], \text{ и } Y\alpha = [y_1\alpha, y_2\alpha] \text{ важи: } X\alpha(\bullet) Y\alpha = [x_1\alpha \bullet y_1\alpha, x_2\alpha \bullet y_2\alpha],$$

где  $\bullet$  представља симбол једне од 4 основне рачунске операције: сабирање, одузимање, множење или дељење тј.  $\bullet \in \{ +, -, *, / \}$ .

У одговарајућој литератури [Субашић, 1997; Теодоровић и остали, 1991; Teodorovic и остали, 1998], везаној за теорију фази скупова често се помињу и принципи разлагања и проширења, који начелно дају везу између фази и дискретних скупова и дају принципе пресликавања. У даљем раду, односно у циљу анализе параматера сигурности функционисања, коришћење ових принципа неће бити потребно, те се и не даје њихова теоријска интерпретација.

### 5.2.2. Лингвистичка вредност и лингвистичка променљива

По дефиницији лингвистичка променљива је променљива чије су дозвољене вредности речи природног језика. У том смислу већ је помињан

пример квалитетна и неквалитетна машина, итд. Лингвистичка променљива често се назива и фази променљивом. Испред основних лингвистичких променљивих често се додају и одговарајући модификатори, нпр. врло и сл. Лингвистички модификатори као и везници који ће касније бити дефинисани, могу да се дефинишу зависно од употребе и намене. Због тога се и употребљава велики број различитих лингвистичких модификатора и везника. Очигледно је и да с обзиром на језичке манипулације, пре свега у смислу двосмислености појмова, лингвистичке променљиве и модификатори често могу да се комбинују тако да се делом изгуби њихова основна улога променљиве или модификатора. У сваком случају требало би дефинисати фази променљиве, тј. називе фази скупова на начин да се на најбољи начин апсорбују анализирани феномени. При томе треба увек имати на уму да је лингвистичка променљива практично веза између рачунара и човека.

Интересантан је начин на који неки опште прихваћени модификатори, модификују основни фази скуп тј. основну лингвистичку вредност.

Најпре би требало дефинисати операторе модификације:

Нека  $A$  означава фази скуп са функцијом припадности  $\mu_A(x)$ ;  $x \in X$ , где је  $X$  универзални скуп и  $A \subset X$ .

Прва група модификатора може се дефинисати на следећи начин:

$$1. \text{ Множење скаларом: } \mu_{\alpha A}(x) = \alpha \mu_A(x); \quad \alpha > 0, \alpha \in Re \text{ и } \forall x \in X \mu_A(x) \leq 1.$$

$$2. \text{ Степеновање: } \mu_{A^\alpha}(x) = (\mu_A(x))^\alpha; \quad \alpha > 0, \alpha \in Re$$

$$3. \text{ Нормализација: } \text{NORM}(A) = \frac{A}{\sup_x \mu_A(x)}; \quad \sup_x \mu_A(x) \neq 0$$

$$4. \text{ Концентрисање: } \text{CONC}(A) = A^2; \quad \mu_{\text{CONC}(A)} = (\mu_A(x))^2$$

$$5. \text{ Проширење: } \text{DIL}(A) = A^{0,5}; \quad \mu_{\text{DIL}(A)} = (\mu_A(x))^{0,5}$$

Друга група оператора модификације се може дефинисати на начине:

1. Појачавање контраста:  $\text{INT}(A)$ ;

$$\mu_{\text{INT}(A)} = \begin{cases} 2(\mu_A(x))^2 & \text{за } 0 \leq \mu_A(x) \leq 0,5 \\ 1 - 2(1 - \mu_A(x))^2 & \text{за } 0,5 \leq \mu_A(x) \leq 1 \end{cases}$$

2. Фазификација фази скупа  $A$  се врши помоћу другог фази скупа  $K(x_i)$  и дефинише се на следећи начин:

$$\text{SF}(A; K) = \sum_i \mu_A(x_i) K(x_i),$$

где се  $K(x_i)$  назива језгро фазификације.

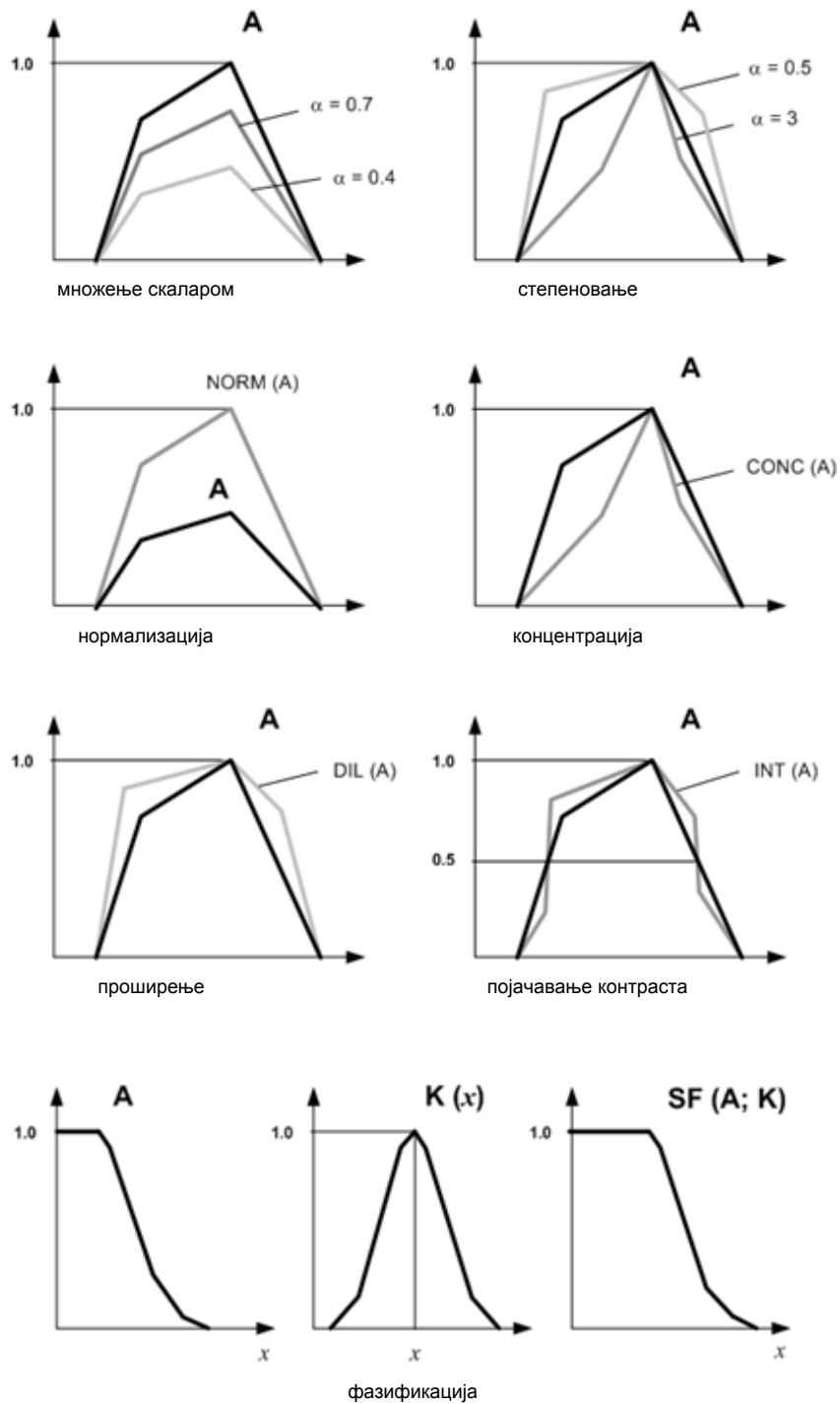
Наведени опште прихваћени модификатори лингвистичких вредности се придружују оператору модификације и то најчешће на следећи начин:

- веома  $A = \text{CONC}(A)$ ;
- мање-више  $A = \text{DIL}(A)$ ;
- понешто  $A = \text{NORM}(A \text{ и не } (\text{VEOMA}(A)))$ ;
- прилично  $A = \text{NORM}\{\text{INT}(A) \text{ и не } \text{INT}[\text{CON}(A)]\}$ ;
- изузетно  $A = \text{NORM}(\text{INT}(A))$ .

У општем случају могу да се дефинишу и везници (и, или, не) у лингвистичким изразима, који опет могу да се дефинишу на следећи начин:

- $A \text{ и } B = A \cap B$ ;
- $A \text{ или } B = A \cup B$ ;
- $\text{не } A = \tilde{A}$ .

За представљање тврђења која садрже лингвистичке вредности користи се поступак фази пропозиције. Фази пропозиција (P) је дакле поступак сагледавања реалности на начин да она може да се представи, како је раније речено, у рачунару. Слободно се може рећи да је поступак фази пропозиције најзахтевнији корак у формирању коначне оцене на бази фази скупова. Захтевност се огледа у комплексности систематизације знања, искустава, затим одговарајућих мерења и сл.



Слика 5.13. Оператори модификације

### 5.2.3. Фази релације

Фази релације описују непрецизне односе између две величине. Конкретно, нека су  $X$  и  $Y$  два универзална скупа. Тада је  $R = \{(x, y), \mu_R(x, y) \mid (x, y) \in X \times Y\}$  бинарна фази релација.  $\mu_R(x, y)$  је дводимензионална функција припадности.

Уобичајене бинарне фази релације су:  $x$  је близу  $y$  (бројеви);  $x$  зависи од  $y$  (догађаји);  $x$  личи на  $y$  (објекти); ако је  $x$  велико,  $y$  је мало (управљање, фази системи закључивања).

### 5.2.4. Композиција фази релација

Нека су дате две бинарне релације  $R_1$  и  $R_2$  фази релације дефинисане у  $X \times Y$  и  $Y \times Z$ , респективно. Композиција релација  $R_1$  и  $R_2$  се означава са  $R_1 \circ R_2$  и дефинисана је над производом  $X \times Z$ .

$$R_1 \circ R_2 = \{(x, z); (x, y) \in R_1, (y, z) \in R_2 \mid x \in X; y \in Y; z \in Z\}.$$

Композиција две релације може се посматрати као израчунавање нове релације  $R_1 \circ R_2$  на основу датих релација  $R_1$  и  $R_2$ .

Најпрепознатљивији и најчешће употребљавани принцип фази композиције је тзв. *max-min* композиција. У том случају, композиција релација  $R_1$  и  $R_2$ , за дате опште услове, дефинисана је на следећи начин:

$$R_1 \circ R_2 = \{(x, z); \max_y (\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z)) \mid x \in X; y \in Y; z \in Z\}.$$

Односно за конкретна израчунавања:

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x, z) = \bigvee_y [(\mu_{R_1}(x, y) \wedge \mu_{R_2}(y, z)) \mid x \in X; y \in Y; z \in Z],$$

где су оператори:  $\vee = \max$  и  $\wedge = \min$ .

Када се  $R_1$  и  $R_2$  представе у матричном облику, израчунавање веома личи на матрично множење само што се множење и сабирање мењају са  $\vee$  и  $\wedge$ , респективно. Из тог разлога се *max-min* композиција често назива и *max-min* производ.

Нека су  $R_1, R_2, R_3$  бинарне релације на  $X \times Y$  и  $Y \times Z$  и  $Z \times W$ . Тада важе следеће особине *max-min* композиције:

- асоцијативност:  $R_1 \circ (R_2 \circ R_3) = (R_1 \circ R_2) \circ R_3$ ;
- дистрибутивност у односу на унију:  $R_1 \circ (R_2 \cup R_3) = (R_1 \circ R_2) \cup (R_1 \circ R_3)$ ;
- слаба дистрибутивносту односу на пресек:  $R_1 \circ (R_2 \cap R_3) \subseteq (R_1 \circ R_2) \cap (R_1 \circ R_3)$ ;
- монотоност:  $R_2 \subseteq R_3 \Rightarrow (R_1 \circ R_2) \subseteq (R_1 \circ R_3)$ .

Применом исте нотације као и код *max-min* композиција може да се дефинише још једна композиција, *max*-производ композиција:

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x, z) = \bigvee_y [\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z)]$$

#### 5.2.5. Могућност примене фази скупова и фази релација у процесу евалуације расположивости

Фази скупови се најчешће користе за моделирање разних феномена у сложеним система, где је применом других метода веома тешко утврдити међузависности које постоје између појединих променљивих. У анализи општег карактера животног века техничких система као што је дозер, као и анализи показатеља сигурности функционисања као најсвеобухватније перформансе употребног квалитета (или у ужем смислу техничког стања) датог техничког система, често се указивала потреба за математичким моделом који на квалитетан начина може да обухвати све релевантне показатеље понашања односно тренутног стања дозера. Велики део информација које дефинишу употребни квалитет дозера представља експертска мишљења запослених на одржавању или су информације једноставно такве да не могу да се искажу на други начин сем у лингвистичком облику, те је поменута потреба била још више изражена. Управо овакве лингвистичке информације, једино на бази теорије фази скупова могу квалитетно и потпуно да се пренесу у рачунски модел.

У другом кораку оцене техничког стања дозера, неопходно је извршити синтезу појединачних оцена компоненти кроз хијерархијску структуру конструкције до нивоа самог дозера. Односно, неопходно је да се уведе одговарајући модел синтезног закључивања. У том смислу представљен је ЕР алгоритам, који синтезно разматра појединачне хипотезе, односно у случају

дозера појединачне парцијалне оцене сигурности функционисања, у зависности од степена поверења хипотезе. Очигледно је да синтеза парцијалних оцена извршена на овај начин, свеобухватније сагледава међузависност између елемената система које се оцењују.

Наведени модели оцене и синтезе, присутни су у научним али и стручним радовима за различите сегментне области привреде. Карактеристично је присуство у проценама маркетинчких канала и канала логистике рецимо у трговини, али и у техници, нпр. у процени последица појаве отказе и сл. Суштински напор у дефинисању модела, односно у структурирању алгоритма одређене процене је фази пропозиција, тј. дефинисање броја, облика, назива и сл. фази скупова, као и модела композиције. Основни захтев у таквом евалуацијском процесу је квалитетна систематизација свих знања и искустава са посматраног система као и објективно сагледавање постојећих показатеља у циљу апсорпције наведених знања и искустава.

Евидентно је да аналитичар који спроводи фази пропозицију на примеру дозера, у циљу прикупљања информација, пре свега треба да познаје научне области: опште машинске конструкције и системске науке, као и експертне системе на нивоу синтезе информација.

### **5.3. Развој синтезног модела за процену расположивости**

Математички и концептуални модел расположивости је практично сажет у два корака: прво, фази пропозиција парцијалних показатеља расположивости: поузданост (R), погодност одржавања (M) и функционалност (F); друго, фази композиција наведених индикатора у једно – расположивост (A).

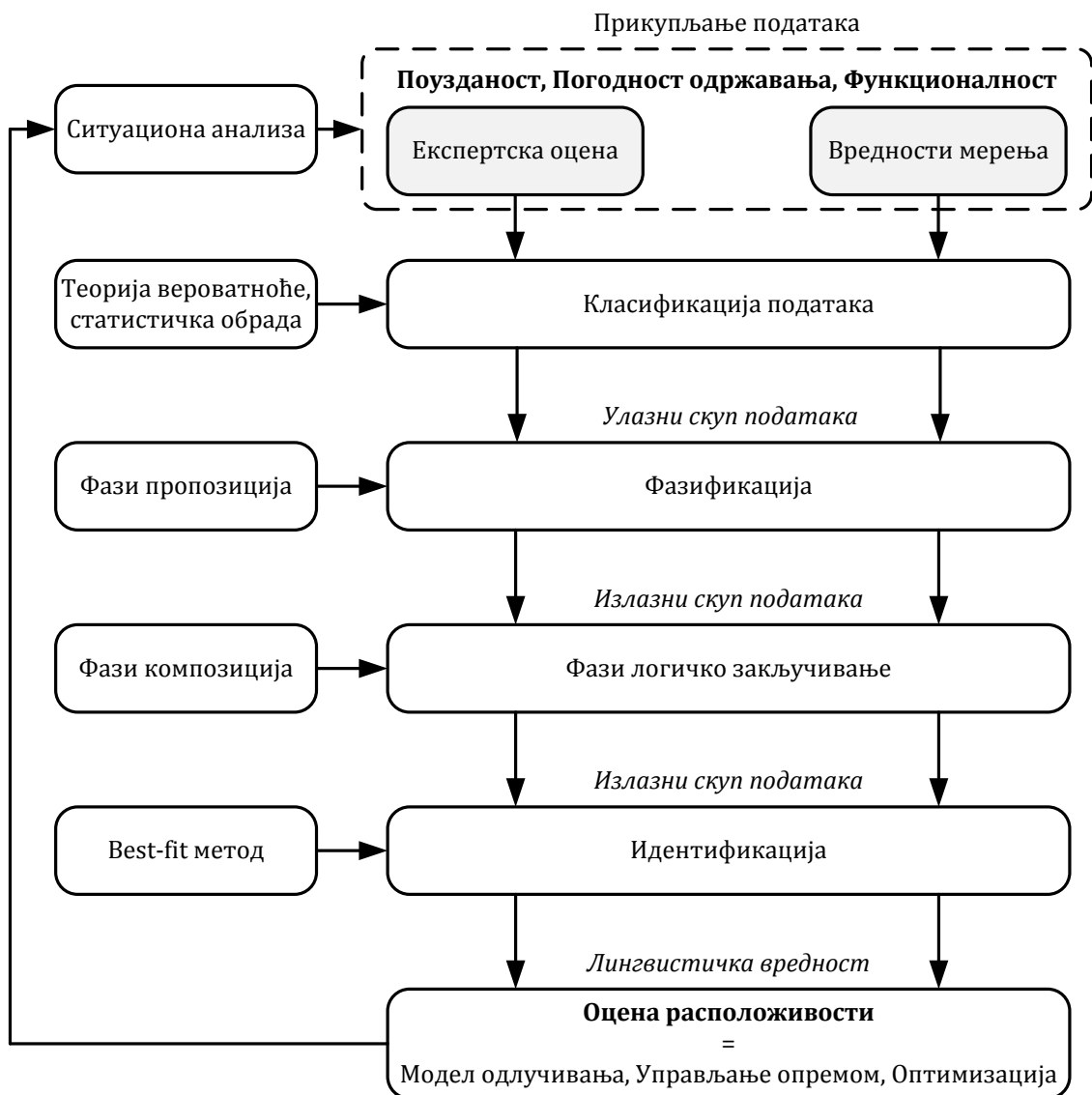
Фази пропозиција је поступак за представљање исказа који обухвата језичке променљиве на основу доступних информација о разматраном техничком систему. Дефиниција структуре и међузависности језичких променљивих се врши у односу на функцију координатног система – јединице мере посматраних појава. Информације могу бити различито измерене вредности или експертска просуђивања, статистички адекватно анализирани. Ако је информација о бројчаним подацима тачна или



временски зависна функција, неопходно је да се интегрише у фази форми са поступком фазификације.

Фази композиција је модел који обезбеђује структуру утицаја индикатора на перформансе расположивости  $A$ . Односно, ако се утицајни индикатори  $R$ ,  $M$  и  $F$  представе као фази бројеви, њиховом композицијом добија се фази број који представља укупну оцену расположивости. Max-min композиција се често користи у фази алгебри као синтетски модел [Ивезић и остали, 2008; Tanasijevic и остали, 2011; Tanasijević и остали, 2013; Wang и остали, 1995; Wang, 2000; Cai, 1996]. Идеја је да се укупна оцена ( $A$ ) делимично изједначи са стварном, репрезентативном оценом. Ова оцена је идентификована као најбоља могућа између најгоре очекиваних парцијалних оцена ( $R$ ,  $M$  или  $F$ ). Може се закључити да сви елементи ( $R$ ,  $M$  и  $F$ ) који праве  $E$  и имају подједнак утицај на  $A$ , тако да се користи max-min композиција, која третира на паралелан начин парцијалне синтетске индикаторе. У литератури [Ивезић и остали, 2008], [Wang и остали, 1995] max-min композиција помоћу оператора "AND" и "OR" даје предност одређеним елементима над другима у процесу синтезе. У литератури [Bowles & Peleaz, 1995] се користи min-max композиција за процену ризика. Може се констатовати да за феномене као што су ризик и слично, а који су сами по себи показатељи негативних феномена (односно боље је да су што нижих вредности јер су еквивалент опасности), идеја је да резултанта појмова који чине синтетски модел, представља најлошији међу најбољим представницима [Bowles & Peleaz, 1995]. Код феномена као што су ефективност и сигурност функционисања (што су виших вредности то боље за кориснике), требало би да буде најбољи међу најлошијим [Ивезић и остали, 2008; Tanasijevic и остали, 2011; Tanasijević и остали, 2013; Wang и остали, 1995; Wang, 2000]. У првом случају је min-max, а другом max-min композиција. Овакав модел композиције практично представља и оптимизациони модел.

На слици 5.14 приказан је концепцијски експертски модел за оцену расположивости ( $A$ ) на бази интерференције улазних података поузданости ( $R$ ), погодности одржавања ( $M$ ) и функционалности ( $F$ ).

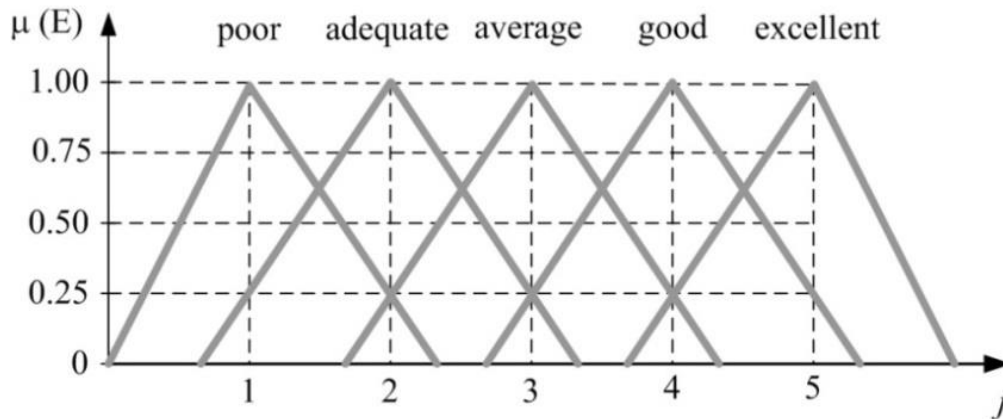


Слика 5.14. Дијаграм фази модела за оцену расположивости

### 5.3.1. Модел пропозиције

Први корак у креирању синтезног модела за процену расположивости (A) је дефинисање лингвистичких променљивих за R, M и F. На овај начин се прави окружење за фази синтезни модел (fuzzy inference engine – фази логичко закључивање). Дефинишу се пет лингвистичких променљивих тј. Фази скупова: лош (*poor*), довољан (*adequate*), просечан (*average*), добар (*good*) и одличан (*excellent*). Фази скупови су троугласти и приказани су на слици 5.15, у зависности од функције припадности ( $\mu$ ) и јединице мере којом се исказује A ( $j=1 \dots n$ ). Може се наћи у литератури да је седам максималан

број различитих појмова које људски ум може једновремено да разграничи [Wang и остали, 1995]. Због тога је усвојено пет лингвистичких променљивих (Слика 5.15) за презентацију саме расположивости и њених парцијалних индикатора.



Слика 5.15. Фази скупови расположивости

У зависности од  $\mu$ , фази скупови могу да се представе у следећој форми, за било коју лингвистичку променљиву ( $H$ ).

$$\mu_H = (\mu_{j=1}, \dots, \mu_{j=5})$$

Сваки дефинисани фази скуп (слика 5.15) може да се напише као:

$$\mu_{exc.} = (0, 0, 0, 0.25, 1); \mu_{good} = (0, 0, 0.25, 1, 0.25); \mu_{aver..} = (0, 0.25, 1, 0.25, 0);$$

$$\mu_{adeq.} = (0.25, 1, 0.25, 0, 0); \mu_{poor} = (1, 0.25, 0, 0, 0);$$

### 5.3.2. Модел за фазификацију

Фазификација представља процес превођења улазних података у фази број.

- Уколико је експертни систем постављен тако да су улазни подаци у лингвистичкој форми, неопходно је да се интеграција тих података преведе у фази број;

- Уколико су улазни подаци у нумеричкој форми, односно R и M су дефинисани на основу теорије поузданости, неопходно је да се фазификују функције поузданости  $R(t)$  и погодности одржавања  $M(t)$ . У случају F, неопходно је да се фазификује одговарајући показатељ радног капацитета који остварује машина, који је обично егзактна вредност са расипањем у зависности од радног окружења.

### 5.3.2.1. Експертни приступ – фазификација експертски понуђених упитника

Потребно је да се доставе упитници за сваку машину одређеном броју запослених у раду са машином (табеле 5.1-5.3). Упитник треба да садржи понуђене оцене (лингвистичке променљиве), за сваки показатељ R, M и F. Аналитичари могу да оцене припадност датој лингвистичкој оцени са 100%, или да своју оцену расподеле на више лингвистички променљивих [Liao, 2011; Liebowitz, 1988].

У анализу улазе три машине [Техничка документација Електропривреде ...]: Liebherr PR752lit (у даљем тексту означен са B1), Dressta TD25H (B2) и Caterpillar D8R (B3), које раде на три различита копа: Дрмно – Костолац (у даљем тексту означен са D), Тамнава Западно поље – Колубара (Т) и Поље Д – Колубара (F). У експертском истраживању учествује 20 аналитичара (5, 8, 7, за сваки површински коп респективно). Упитник је структуриран тако да сваки аналитичар оцењује сваку машину појединачно са становишта појединачних параметара расположивости (A): поузданости (R), погодности одржавања (M) и функционалности (F). Оцене се дају у смислу функције припадности унапред дефинисаних лингвистичких променљивих (одлично – лоше) у интервалу од 0 – 1. При томе, може се доделити припадност и за више лингвистичких променљивих једновремено за одређени параметар, али тако да збир оцена буде 1. Везано за ово, може се приметити (табела 5.1) да аналитичар бр. 1, поузданост машине B1-D оцењује добро са припадношћу од 0,4 и просечно са припадношћу од 0,6; погодност одржавања оцењује са просечно са припадношћу од 1; функционалност са довољно, са припадношћу од 1.

Када се комплетно сагледа машина B1-D кроз оцене свих пет аналитичара добија се коначна оцена у облику:

Поузданост (R) машине В1-D је оцењена са:

- "одлично" од стране једног аналитичара (на нивоу од 0,3) од укупно пет аналитичара:

$$(1 \times 0.3) / 5 = 0.06$$

- "добро" од стране свих пет аналитичара (на нивоу од: 0.4, 0.2, 1, 0.8 и 0,7 респективно за свих пет аналитичара):

$$((1 \times 0.4) + (1 \times 0.2) + (1 \times 1) + (1 \times 0.8) + (1 \times 0.7)) / 5 = 0.62$$

- "просечно" од стране три аналитичара (у припадајућој мери):

$$((1 \times 0.6) + (1 \times 0.8) + (1 \times 0.2)) / 5 = 0.32$$

- остале оцене "довољно" и "лоше" нису забележене у овом случају.

Коначно се поузданост за посматрану машину В1-D добија у облику:

$$RB1-D = (0.06/\text{одличан}, 0.62/\text{добар}, 0.32/\text{просечан}, 0/\text{довољан}, 0/\text{лош})$$

Погодност одржавања (M) машине В1-D је оцењена са:

- "добро" од стране три аналитичара од укупно пет (на нивоу од: 1, 0.8 и 1 респективно за другог, четвртог и петог аналитичара):

$$((2 \times 1) + (1 \times 0.8)) / 5 = 0.56$$

- "просечно" од стране три аналитичара од укупно пет (на нивоу од: 1, 1 и 0.2 респективно за првог, трећег и четвртог аналитичара):

$$((2 \times 1) + (1 \times 0.2)) / 5 = 0.44$$

- остале оцене "одлично", "довољно" и "лоше" нису забележене у овом случају.

Коначно се погодност одржавања за посматрану машину В1-D добија у облику:

$$MB1-D = (0/\text{одличан}, 0.56/\text{добар}, 0.44/\text{просечан}, 0/\text{довољан}, 0/\text{лоше})$$

Функционалност (F) машине В1-D је оцењена са:

- "добро" од стране два аналитичара од укупно пет (на највишем нивоу од стране четвртог и петог аналитичара):

$$(2 \times 1) / 5 = 0.4$$

- "просечно" од стране два аналитичара од укупно пет (на нивоу од 0.5 од стране другог и на највишем нивоу од стране трећег аналитичара):

$$((1 \times 0.5) + (1 \times 1)) / 5 = 0.3$$

- "довољно" од стране два аналитичара од укупно пет (на највишем нивоу од стране првог и на нивоу од 0.5 од стране другог аналитичара):

$$((1 \times 1) + (1 \times 0.5)) / 5 = 0.3$$

- остале оцене "одлично" и "лоше" нису забележене у овом случају.

Коначно се функционалност за посматрану машину В1-Д добија у облику:

$$F_{B1-D} = (0/\text{одличан}, 0.4/\text{добар}, 0.3/\text{просечан}, 0.3/\text{довољан}, 0/\text{лоше})$$

На овај начин се добијају и оцене за остале машине – табеле 5.1-5.3 (ред означен са 1-5).

**Табела 5.1.** Резултати експертског истраживања за површински коп Дрмно

Аналитичар	В1 - D					В2 - D					В3 - D					
	Одлично	Добро	Просечно	Довољно	Лоше	Одлично	Добро	Просечно	Довољно	Лоше	Одлично	Добро	Просечно	Довољно	Лоше	
1.	R		0.4	0.6				1				1				
	M			1				1			1					
	F				1			1			1					
2.	R		0.2	0.8				0.5	0.5		0.8	0.2				
	M		1					1			0.6	0.4				
	F			0.5	0.5			0.5	0.5		0.5	0.5				
3.	R		1				0.4	0.6			1					
	M			1					1		1					
	F			1					1		1					
4.	R		0.8	0.2			0.8	0.2				0.6	0.4			
	M		0.8	0.2			0.6	0.4				0.6	0.4			
	F		1					0.5	0.5		0.7	0.3				
5.	R	0.3	0.7				0.5	0.5			0.8	0.2				
	M		1					1				0.7	0.3			
	F		1					0.8	0.2			1				
1-5	R	0,06	0,62	0,32	0	0	0	0,34	0,56	0,1	0	0,52	0,4	0,08	0	0
	M	0	0,56	0,44	0	0	0	0,12	0,68	0,2	0	0,4	0,38	0,22	0	0
	F	0	0,4	0,3	0,3	0	0	0	0,56	0,44	0	0,14	0,76	0,1	0	0

Табела 5.2. Резултати експертског истраживања за коп Тамнава Западно поље

Аналитичар	В1-Т					В2-Т					В3-Т					
	Одлично	Добро	Просечно	Довољно	Лоше	Одлично	Добро	Просечно	Довољно	Лоше	Одлично	Добро	Просечно	Довољно	Лоше	
1.	R			1			0.2	0.8			0.8	0.2				
	M		0.2	0.8				1			1					
	F			1				1				1				
2.	R		1				1				1					
	M			1				1			1					
	F		1				1				1					
3.	R		1				1				1					
	M			1				1			1					
	F		0.25	0.75			0.2	0.8			1					
4.	R			1				1				1				
	M			1				1				1				
	F		1				1					1				
5.	R	1				1						1				
	M			1				1				1				
	F			1				1			0,5	0,5				
6.	R		1				1				1					
	M			1				1			1					
	F				1				1				1			
7.	R			1				1				1				
	M			1				1				1				
	F		0.5	0.5				1					1			
8.	R		1				1				1					
	M				1				1		1					
	F				1				1			1				
1-8	R	0,13	0,5	0,38	0	0	0,13	0,53	0,35	0	0	0,6	0,4	0	0	0
	M	0	0,03	0,85	0,13	0	0	0	0,88	0,13	0	0,5	0,5	0	0	0
	F	0	0,34	0,41	0,25	0	0	0,28	0,48	0,25	0	0,06	0,69	0,25	0	0

Табела 5.3. Резултати експертског истраживања за Поље Д

Аналитичар	B1-F					B2-F					B3-F					
	Одлично	Добро	Просечно	Довољно	Лоше	Одлично	Добро	Просечно	Довољно	Лоше	Одлично	Добро	Просечно	Довољно	Лоше	
1.	R		1					1				1				
	M		1					1			1					
	F	1						1				1				
2.	R	0.8	0.2				1				0.8	0.2				
	M			1			1				1					
	F			1			1				1					
3.	R		1				1				1					
	M		1			1					1					
	F		0.25	0.75			1				0.25	0.75				
4.	R	1					1				1					
	M		1			1					1					
	F			1		1						1				
5.	R		1				1				1					
	M		1				1				1					
	F		1				1				1					
6.	R		1				1				1					
	M			1			1				1					
	F			1			1				0.5	0.5				
7.	R	1					1				1					
	M		1				1				1					
	F			1			1				0,5	0,5				
1-7	R	0,4	0,6	0	0	0	0	0,57	0,43	0	0	0,54	0,46	0	0	0
	M	0	0,71	0,29	0	0	0,29	0,14	0,43	0,14	0	0,57	0,43	0	0	0
	F	0,14	0,18	0,68	0	0	0,14	0,29	0,43	0,14	0	0,18	0,68	0,14	0	0

Оцена расположивости (A) машина B1-D је на нивоу параметара дефинисана је горњим релацијама. У следећем кораку, ове парцијалне оцене се интегришу у синтезну оцену (слика 5.15).

Поузданост R за машину B1-D је дефинисана преко горње релације, односно са припадношћу оцени одлично (од) 0.06. При томе лингвистичка променљива одлично дефинисана је на следећи начин: мод = (0, 0, 0, 0.25, 1) (слика 5.15); на овај начин добија се специфича вредност фази скупа одлично за машину B1-D:

$$R \text{ B1-D од} 0.06 = \{1/(0 \times 0.06), 2/(0 \times 0.06), 3/(0 \times 0.06), 4/(0.25 \times 0.06), 5/(1.0 \times 0.06)\} = \{1/0, 2/0, 3/0, 4/0.015, 5/0.06\}$$



Лингвистичка променљива добар (дб) према горњој релацији, слика 5.15, дефинисана је као:  $\mu_{дб} = (0, 0, 0.25, 1, 0.25)$ ; функција припадности је 0.62; на овај начин добија се специфична вредност фази скупа добар за машину В1-D:

$$R_{В1-D} \text{ дб}0.62 = \{1/(0 \times 0.62), 2/(0 \times 0.62), 3/(0.25 \times 0.62), 4/(1 \times 0.62), 5/(0.25 \times 0.62)\} = \{1/0, 2/0, 3/0.155, 4/0.62, 5/0.155\}$$

Лингвистичка променљива просечан (пр) према горњој релацији, слика 5.15, дефинисана је као:  $\mu_{пр} = (0, 0.25, 1, 0.25, 0)$ ; функција припадности је 0.32; на овај начин добија се специфична вредност фази скупа просечан за машину В1-D:

$$R_{В1-D} \text{ пр}0.32 = \{1/(0 \times 0.32), 2/(0.25 \times 0.32), 3/(1 \times 0.32), 4/(0.25 \times 0.32), 5/(0 \times 0.32)\} = \{1/0, 2/0.08, 3/0.32, 4/0.8, 5/0\}$$

Лингвистичке променљиве довољан (дв) и лош (лш), имају специфичну вредност:

$$R_{В1-D} \text{ дв}0 = R_{В1-D} \text{ лш}0 = \{1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 5/0\}$$

Коначно се специфичне вредности сабирају међусобом за сваку вредност  $j = 1 \dots 5$ , те се добија оцена поузданости машине В1-D у фази форми:

$$RB_{1-D} = \{1/0, 2/0.08, 3/(0.155+0.32), 4/(0.015+0.62+0.8), 5/(0.06+0.155)\} = \\ = \{1/0, 2/0.08, 3/0.475, 4/0.715, 5/0.215\}$$

Погодност одржавања М за машину В1-D је дефинисана преко горњег израза, односно са припадношћу оцени добро 0,56. При томе лингвистичка променљива добро дефинисана је на следећи начин:  $\mu_{дб} = (0, 0, 0.25, 1, 0.25)$ ; на овај начин добија се специфична вредност фази скупа добро за машину В1-D:

$$M_{В1-D} \text{ дб}0.56 = \{1/(0 \times 0.56), 2/(0 \times 0.56), 3/(0.25 \times 0.56), 4/(1 \times 0.56), 5/(0.25 \times 0.56)\} = \{1/0, 2/0, 3/0.14, 4/0.56, 5/0.14\}$$

Лингвистичка променљива просечан према датој релацији, слика 5.15, дефинисана је као:  $\mu_{\text{пр}} = (0, 0.25, 1, 0.25, 0)$ ; функција припадности је 0.44; на овај начин добија се специфична вредност фази скупа просечан за машину В1-Д:

$$M_{\text{В1-Д пр}0.44} = \{1/(0 \times 0.44), 2/(0.25 \times 0.44), 3/(1 \times 0.44), 4/(0.25 \times 0.44), 5/(0 \times 0.44)\} = \{1/0, 2/0.11, 3/0.44, 4/0.11, 5/0\}$$

Лингвистичке променљиве одличан, довољан и лош, имају специфичну вредност:

$$M_{\text{В1-Д од}0} = M_{\text{В1-Д дв}0} = M_{\text{В1-Д лш}0} = \{1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 5/0\}$$

Коначна оцена погодности одржавања машине В1-Д у фази форми:

$$\begin{aligned} M_{\text{В1-Д}} &= \{1/0, 2/0.11, 3/(0.14+0.44), 4/(0.56+0.11), 5/0.14\} = \\ &= \{1/0, 2/0.11, 3/0.58, 4/0.67, 5/0.14\} \end{aligned}$$

Функционална погодност F за машину В1-Д је дефинисана преко горњег израза, односно са припадношћу оцени добар 0,4. При томе лингвистичка променљива добар дефинисана је на следећи начин:  $\mu_{\text{дб}} = (0, 0, 0.25, 1, 0.25)$ ; на овај начин добија се специфична вредност фази скупа добар за машину В1-Д:

$$\begin{aligned} F_{\text{В1-Д дб}0.4} &= \{1/(0 \times 0.4), 2/(0 \times 0.4), 3/(0.25 \times 0.4), 4/(1 \times 0.4), 5/(0.25 \times 0.4)\} = \\ &= \{1/0, 2/0, 3/0.1, 4/0.4, 5/0.1\} \end{aligned}$$

Лингвистичка променљива просечан према горњем изразу, слика 5.15, дефинисана је као:  $\mu_{\text{пр}} = (0, 0.25, 1, 0.25, 0)$ ; функција припадности је 0.3; на овај начин добија се специфична вредност фази скупа просечан за машину В1-Д:

$$\begin{aligned} F_{\text{В1-Д пр}0.3} &= \{1/(0 \times 0.3), 2/(0.25 \times 0.3), 3/(1 \times 0.3), 4/(0.25 \times 0.3), 5/(0 \times 0.3)\} = \\ &= \{1/0, 2/0.075, 3/0.3, 4/0.075, 5/0\} \end{aligned}$$

Лингвистичка променљива довољан према горњем изразу, слика 5.15, дефинисана је као:  $\mu_{\text{дв}} = (0.25, 1, 0.25, 0, 0)$ ; функција припадности је 0.3; на

овај начин добија се специфична вредност фази скупа довољан за машину В1-Д:

$$F_{B1-D \text{ дв.}0.3} = \{1/(0.25 \times 0.3), 2/(1 \times 0.3), 3/(0.25 \times 0.3), 4/(0 \times 0.3), 5/(0 \times 0.3)\} = \\ = \{1/0.075, 2/0.3, 3/0.075, 4/0, 5/0\}$$

Лингвистичке променљиве одличан, довољан и лош, имају специфичну вредност:

$$F_{B1-D \text{ од.}0} = F_{B1-D \text{ лш.}0} = \{1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 5/0\}$$

Коначна оцена погодности одржавања машине В1-Д у фази форми:

$$F_{B1-D} = \{1/0.075, 2/(0.075+0.3), 3/(0.1+0.3+0.075), 4/(0.4+0.075), 5/0.1\} = \\ = \{1/0.075, 2/0.375, 3/0.475, 4/0.475, 5/0.1\}$$

Поступак фазификације за машину В1-Д приказан је у табели 5.4. За остале машине фазификација је урађена по идентичном поступку и приказана је само табеларно (табеле 5.5-5.7).

**Табела 5.4.** Прорачун специфичних вредности на нивоу фази скупа машине В1-Д

j =	1.	2.	3.	4.	5.
0.06/одличан	0×0.06	0×0.06	0×0.06	0.25×0.06	1.0×0.06
0.62/добар	0×0.62	0×0.62	0.25×0.62	1.0×0.62	0.25×0.62
0.32 /просечан	0×0.32	0.25×0.32	1.0×0.32	0.25×0.32	0×0.32
0/довољан	0.25×0	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0
0/лош	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0	0×0
∑ R	0	0.08	0.475	0.715	0.215
0/одличан	0×0	0×0	0×0	0.25×0	1.0×0
0.56/добар	0×0.56	0×0.56	0.25×0.56	1.0×0.56	0.25×0.56
0.44/просечан	0×0.44	0.25×0.44	1.0×0.44	0.25×0.44	0×0.44
0/довољан	0.25×0	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0
0/лош	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0	0×0
∑ M	0	0.11	0.58	0.67	0.14
0/одличан	0×0	0×0	0×0	0.25×0	1.0×0
0.4/добар	0×0.4	0×0.4	0.25×0.4	1.0×0.4	0.25×0.4
0.3/просечан	0×0.3	0.25×0.3	1.0×0.3	0.25×0.3	0×0.3
0.3/довољан	0.25×0.3	1.0×0.3	0.25×0.3	0×0.3	0×0.3
0/лош	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0	0×0
∑ F	0,075	0,375	0,475	0,475	0,1

**Табела 5.5.** Прорачун специфичних вредности на нивоу фази скупа машине В2-Д

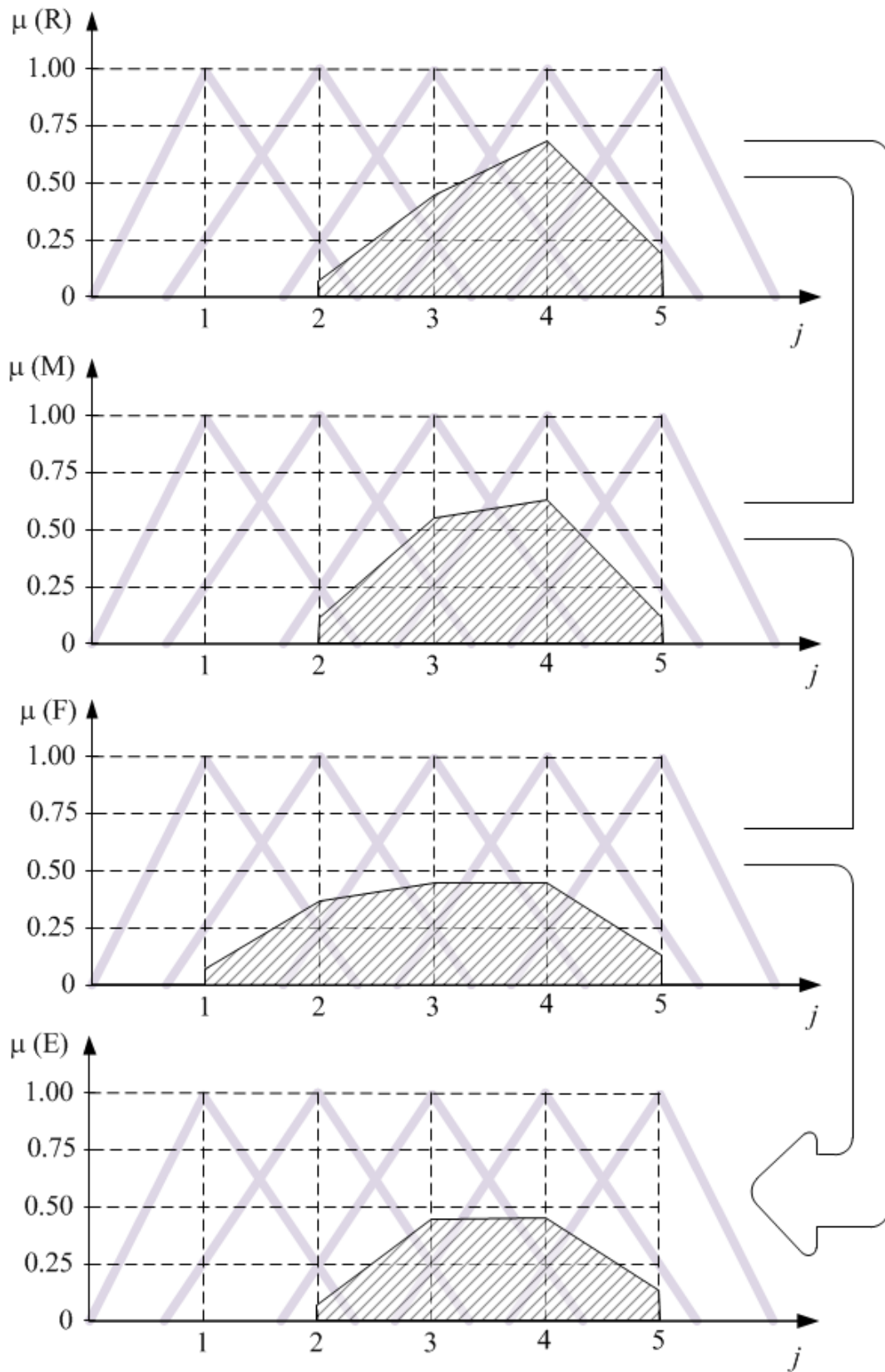
j =	1.	2.	3.	4.	5.
0/одличан	0×0	0×0	0×0	0.25×0	1.0×0
0.34/добар	0×0.34	0×0.34	0.25×0.34	1.0×0.34	0.25×0.34
0.56/просечан	0×0.56	0.25×0.56	1.0×0.56	0.25×0.56	0×0.56
0.1/довољан	0.25×0.1	1.0×0.1	0.25×0.1	0×0.1	0×0.1
0/лош	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0	0×0
∑ R	0.025	0.24	0.67	0.48	0.085
0/одличан	0×0	0×0	0×0	0.25×0	1.0×0
0.12/добар	0×0.12	0×0.12	0.25×0.12	1.0×0.12	0.25×0.12
0.68/просечан	0×0.68	0.25×0.68	1.0×0.68	0.25×0.68	0×0.68
0.2/довољан	0.25×0.2	1.0×0.2	0.25×0.2	0×0.2	0×0.2
0/лош	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0	0×0
∑ M	0.05	0.37	0.76	0.29	0.03
0/одличан	0×0	0×0	0×0	0.25×0	1.0×0
0/добар	0×0	0×0	0.25×0	1.0×0	0.25×0
0.56/просечан	0×0.56	0.25×0.56	1.0×0.56	0.25×0.56	0×0.56
0.44/довољан	0.25×0.44	1.0×0.44	0.25×0.44	0×0.44	0×0.44
0/лош	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0	0×0
∑ F	0,11	0,58	0,67	0,14	0

**Табела 5.6.** Прорачун специфичних вредности на нивоу фази скупа машине В3-Д

j =	1.	2.	3.	4.	5.
0.52/одличан	0×0.52	0×0.52	0×0.52	0.25×0.52	1.0×0.52
0.4/добар	0×0.4	0×0.4	0.25×0.4	1.0×0.4	0.25×0.4
0.08/просечан	0×0.08	0.25×0.08	1.0×0.08	0.25×0.08	0×0.08
0/довољан	0.25×0	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0
0/лош	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0	0×0
∑ R	0	0.02	0.18	0.55	0.62
0.4/одличан	0×0.4	0×0.4	0×0.4	0.25×0.4	1.0×0.4
0.38/добар	0×0.38	0×0.38	0.25×0.38	1.0×0.38	0.25×0.38
0.22/просечан	0×0.22	0.25×0.22	1.0×0.22	0.25×0.22	0×0.22
0/довољан	0.25×0	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0
0/лош	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0	0×0
∑ M	0	0.055	0.315	0.535	0.495
0.14/одличан	0×0.14	0×0.14	0×0.14	0.25×0.14	1.0×0.14
0.76/добар	0×0.76	0×0.76	0.25×0.76	1.0×0.76	0.25×0.76
0.1/просечан	0×0.1	0.25×0.1	1.0×0.1	0.25×0.1	0×0.1
0/довољан	0.25×0	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0
0/лош	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0	0×0
∑ F	0	0,025	0,29	0,82	0,33

**Табела 5.7.** Прорачун специфичних вредности на нивоу фази скупа машине В1-Т

j =	1.	2.	3.	4.	5.
0.13/одличан	0×0.13	0×0.52	0×0.52	0.25×0.52	1.0×0.52
0.5/добар	0×0.4	0×0.4	0.25×0.4	1.0×0.4	0.25×0.4
0.38/просечан	0×0.08	0.25×0.08	1.0×0.08	0.25×0.08	0×0.08
0/довољан	0.25×0	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0
0/лош	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0	0×0
∑ R	0	0.02	0.18	0.55	0.62
0/одличан	0×0.4	0×0.4	0×0.4	0.25×0.4	1.0×0.4
0.03/добар	0×0.38	0×0.38	0.25×0.38	1.0×0.38	0.25×0.38
0.85/просечан	0×0.22	0.25×0.22	1.0×0.22	0.25×0.22	0×0.22
0.13/довољан	0.25×0	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0
0/лош	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0	0×0
∑ M	0	0.055	0.315	0.535	0.495
0/одличан	0×0.14	0×0.14	0×0.14	0.25×0.14	1.0×0.14
0.34/добар	0×0.76	0×0.76	0.25×0.76	1.0×0.76	0.25×0.76
0.41/просечан	0×0.1	0.25×0.1	1.0×0.1	0.25×0.1	0×0.1
0.25довољан	0.25×0	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0
0/лош	1.0×0	0.25×0	0×0	0×0	0×0
∑ F	0	0,025	0,29	0,82	0,33

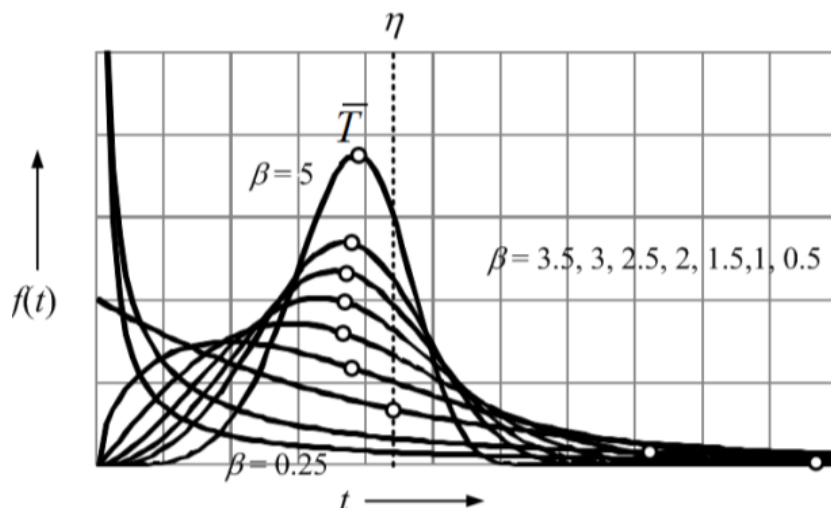


Слика 5.16. Графичка интерпретација резултата процене расположивости за B1-D

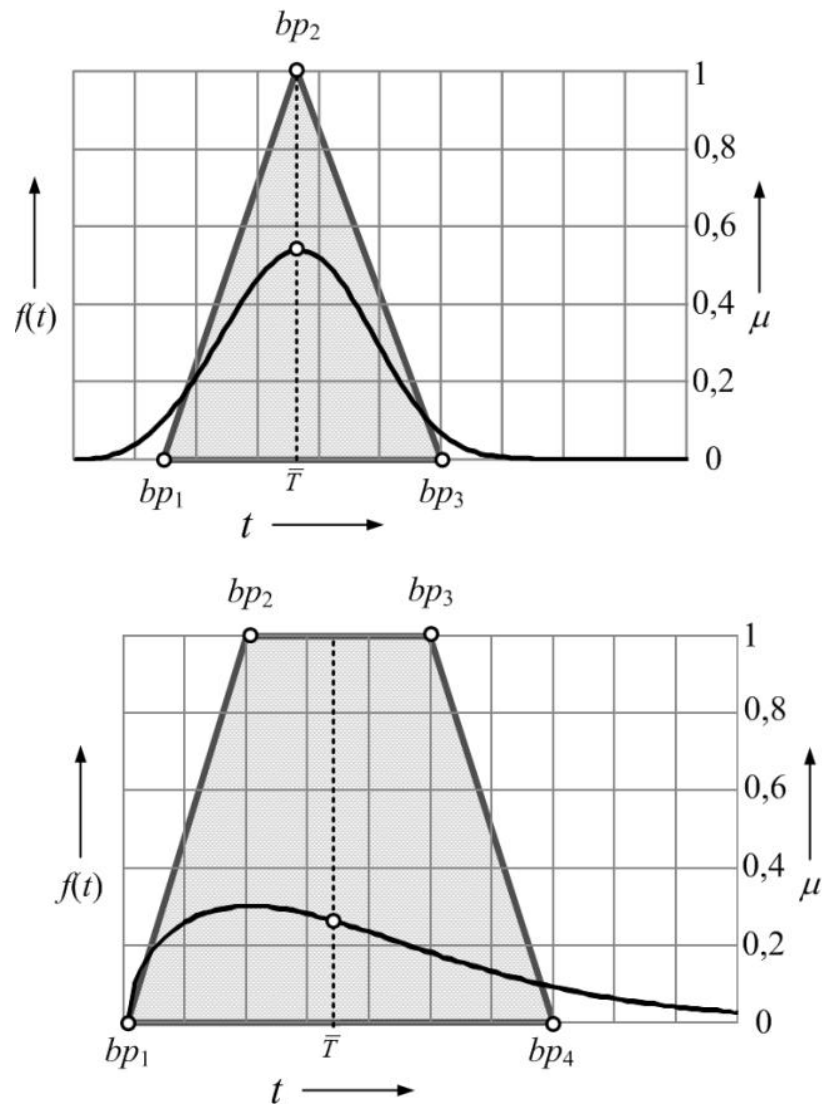
### 5.3.2.2. Нумерички приступ (приступ на бази измерених података и њихове статистичке обраде) – фазификација временски зависне функције

Вејбулова расподела је једна од најчешће коришћених теоријски развијених расподела у инжењерству поузданости и одржавања због тога што покрива већи број феномена односно покрива и друге расподеле захављујући свом параметарском облику тј. параметру облика ( $\beta$ ) и параметру размере ( $\eta$ ). Постоји велики број примера коришћења [Lei, 2008; Murthy и остали, 2004; O'Connor и остали, 2012; Ивковић, 1997; Зеленовић и остали, 1979; Weibull, 1951]. У другом поглављу ове дисертације дефинисани су: кумулативна функција расподеле отказа  $F(t)$ , функција густине отказа  $f(t)$  и средње време ( $\bar{T}$ ). Ове величине ће бити даље коришћене за приказ поступак фазификације, односно трансформације Вејбулове дво-параметрске расподеле у фази број.

Као улазни подаци у модел улазе измерена времена  $t = t_1 \dots t_n$ , према временској слици стања (слика 2.1). Слика 5.17 даје дијаграм функције густине отказа  $f(t)$  у случају Вејбулове дво-параметрске расподеле, за различите вредности  $\beta$ . На слици 5.17 је означена вредност  $\bar{T}$  и  $\eta$ . На слици 5.18 дат је дијаграм функције густине отказа  $f(t)$  за  $\beta = 3,5$  и  $\beta = 1,5$  која се фазификује са фази бројем правоугаоног и трапезоидног облика. У случајевима када је Вејбулова дво-параметрска расподела наклонена Нормалној расподели  $\beta > 3$ , оптималан фази број је правоугаоног облика. За остале случајеве фази број трапезоидног облика може се користити за апроксимацију.



**Слика 5.17.** Дијаграм функције густине отказа  $f(t)$  и средње време  $\bar{T}$  за Вејбулову дво-параметрску расподелу за различите вредности параметра облика  $\beta$  и константне вредности параметра размере  $\eta$



**Слика 5.18.** Фазификација функције густине отказа (за  $\beta=3.5$  и  $1$ ) у фази бројеве правоугаоног и трапезоидног облика

Правоугаони ( $FN1$ ) и трапезоидни ( $FN2$ ) фази бројеви могу да се представе у форми:

$$FN1 = (bp_1, bp_2, bp_3); FN2 = (bp_1, bp_2, bp_3, bp_4);$$

где  $bp$  представља тачке прелома и то су вредности са следећим координатама:

$$FN1: bp_1 = j(\mu = 0), bp_2 = j(\mu = 1), bp_3 = j(\mu = 0);$$

$$FN2: bp_1 = j(\mu = 0), bp_2 = j(\mu = 1), bp_3 = j(\mu = 1), bp_4 = j(\mu = 0);$$



Потребно је наћи зависност величина  $t$  и величине  $bp$ . Код  $FN1$ , очигледна је зависност  $\bar{T}$  и  $bp_2$  (слика 5.18). У случају тачке  $bp_1$  и  $bp_3$  најлогичније је да се тачка прелома повеже са минималном и максималном вредношћу забележених времена  $t$ .

$$bp_1 = t_1; bp_2 = \bar{T}; bp_3 = t_n;$$

У случају  $FN2$ , тачке прекида  $bp_1$  и  $bp_4$  се повезују са минималним и максималним забележеним временима  $t$ , као и за  $FN1$ . Растојања  $bp_2$  и  $bp_3$  од вредности  $\bar{T}$ , зависи од облика функције  $f(t)$ . У случају када је функција блиска експоненцијалној расподели ове тачке су више удаљене, у случају када се функција приближава нормалној расподели ове тачке су ближе (фази број конвергира ка правоугаоном облику). У том смислу уводи се правило скалирања за  $FN2$ :

$$bp_2 = \bar{T} - (x \cdot |\bar{T} - t_1|) \text{ AND } bp_3 = \bar{T} + (x \cdot |\bar{T} - t_n|)$$

где:  $x = 0$  за  $\beta = 3$ ,  $x = 1$  за  $\beta = 1$ ;

односно: IF  $\beta = 3$ , THEN  $bp_2 = bp_3 = \bar{T}$ ; IF  $\beta = 1$ , THEN  $bp_1 = bp_2 = t_1$  AND  $bp_3 = bp_4 = t_n$ ;

Вредности фактора скалирања  $x$  (за случај  $1 < \beta < 3$ ), могу да се добију из одговарајуће линеарне пропорције.

Генерално, у случају евидентираних времена  $t_i$ , и  $i = 1$  до  $n$ , може се написати:

$$FN1 = (t_1, \bar{T}, t_n),$$

$$FN2 = (t_1, \bar{T} - (x \cdot |\bar{T} - t_1|), \bar{T} + (x \cdot |\bar{T} - t_n|), t_n), \text{ где је } x = 0 \dots 1 \text{ фактор скале.}$$

На овај начин је дефинисан облик фази броја.

Овај метод је нека врста емпиријског скалирања [Hoos и остали, 2009], где скалирање достиже очекивани ниво вредности, која је и сама добијена на основу емпиријских истраживања [Wu, 1993]. У суштини модела, уводи се јединствени фази број кога карактерише минимална очекивана ширина вредности, добијен на основу анализе поузданости (погодности одржавања) фази скупа, који су коришћени у неком сличном примеру. Предложени емпиријски алгоритам скалирања за одређивање ширине члана фази функције може се сматрати прихватљивим, јер у раду са фази односима (фази састав), утицајем фази броја са највишим степеном члана ( $\mu(bp2) = 1$  за правоугаони и  $\mu(bp2) = \mu(bp2) = 1$  за трапезоидни) је најзначајнији [Tanasijević и остали, 2013].

Следећи проблем је дефинисање односа  $j$  и реалног времена  $t$ , односно дефинисање позиције фази бројева према  $j$  – вредности као мера поузданости и погодности одржавања. Евидентиране минималне и максималне периоде у раду треба користити као представнике пете (најлошији) и прве (најбољи)  $j$  – вредности  $R$ , респективно. На овај начин може да се потенцијално појави проблем. Код малог статистичког узорка ова времена могу да буду неадекватна. Теоретски би било исправно ако се најкраће и најдуже очекивано време узме у обзир, тј. време  $t$  за  $R(t) \rightarrow 0$ ,  $R(t) \rightarrow 1$ ; или  $M(t) \rightarrow 0$ ,  $M(t) \rightarrow 1$ . Међутим, ова времена обично су изузета из разматрања као нереална.

Треба напоменути код мерења  $M$ , најкраће време за отклањање отказа представља се са  $j = 5$ , а најдуже време са  $j = 1$ . Односно, оцена ће бити “excellent” ако је потребно што краће време за отклањање отказа и обрнуто.

Бележе се времена у раду и времена потребна за враћање машине у радно стање после застоја. У табели 5.8 су дате вредности забележених времена, кумулативне функције расподеле и средње време, у складу са Вејбуловом двопараметарском расподелом и случајем малог узорка (медијални ранг и апроксимација Бернарда).

Табела 5.8. Функција поузданости за различите булдозере

машина	Расположиво време [mh]	Функција поузданости	$\bar{T}$ [mh]
B1	D 187, 710, 822, 921	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{82443}\right)^{1.24}}$	773.43
	T 375, 522, 911, 1212, 1478, 1555	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{117922}\right)^{1.78}}$	1049.28
	F 298, 411, 755, 1050, 1320	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{89659}\right)^{1.63}}$	802.68
B2	D 80, 100, 214, 386, 421, 622, 831	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{43483}\right)^{1.18}}$	410.97
	T 340, 417, 744, 911, 1228, 1315, 1529	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{1107764}\right)^{1.81}}$	958.03
	F 277, 520, 655, 918, 1256	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{84343}\right)^{1.80}}$	750.14
B3	D 118, 480, 622, 710, 950	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{71554}\right)^{1.20}}$	670.23
	T 405, 696, 1302, 1588, 1627	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{133119}\right)^{1.65}}$	1190.13
	F 340, 598, 863, 1005, 1280, 1490	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{107913}\right)^{1.94}}$	956.97

Табела 5.9. Функција погодности одржавања за различите булдозере

машина	Нерасположиво време [h]	Функција погодности одржавања	$\bar{T}$ [h]
B1	D 6.1, 9.2, 10.5, 11.5	$M(\tau) = 1 - e^{-\left(\frac{\tau}{10.40}\right)^{3.50}}$	9.36
	T 3.3, 4.6, 6.1, 8.0, 8.7, 9.8	$M(\tau) = 1 - e^{-\left(\frac{\tau}{7.70}\right)^{2.51}}$	6.84
	F 4.0, 4.8, 7.2, 9.6, 11.1	$M(\tau) = 1 - e^{-\left(\frac{\tau}{8.43}\right)^{2.32}}$	7.47
B2	D 8.0, 10.2, 10.9, 11.4, 12.0, 13.7, 15.0	$M(\tau) = 1 - e^{-\left(\frac{\tau}{12.57}\right)^{5.20}}$	11.57
	T 5.4, 7.2, 8.3, 10.6, 13.8, 16.3, 20.7	$M(\tau) = 1 - e^{-\left(\frac{\tau}{13.43}\right)^{2.23}}$	11.89
	F 5.6, 9.9, 13.6, 17.7, 21.9	$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{15.97}\right)^{1.94}}$	14.16
B3	D 2.1, 3.3, 4.3, 5.5, 6.9	$M(\tau) = 1 - e^{-\left(\frac{\tau}{5.08}\right)^{2.24}}$	4.50
	T 0.9, 1.6, 3.7, 5.2, 7	$M(\tau) = 1 - e^{-\left(\frac{\tau}{4.31}\right)^{1.20}}$	4.06
	F 1.1, 2.6, 4.2, 4.8, 5.7, 7.1	$M(\tau) = 1 - e^{-\left(\frac{\tau}{5.05}\right)^{1.53}}$	4.55

Код анализе R, узет је већи број машина, те се може сматрати да је  $j = 1$  за  $t = 80$  mh, а  $j = 5$  за  $t = 1627$  mh, с обзиром да је најкраће забележено време у раду 80 mh код машине B2-D, а најдуже је 1627 mh код машине B3-T. Остале вредности добијају се користећи линеарну интерполацију:  $j = 2, t = 467$  mh;  $j = 3, t = 854$  mh;  $j = 4, t = 1240$  mh. Код свих 9 машина израчунато је  $\beta = 1.18 \dots 1.94$ ; односно, оптимално је да се фазификација обави преко трапезоидног фази броја FN2.

Дефиниција R фази броја за svaku mašinu:

$$R_{B1-D} = FN2 = (t_1, \bar{T} - (x_{B1-D} \cdot (\bar{T} - t_1)), \bar{T} + (x_{B1-D} \cdot (t_4 - \bar{T})), t_4) = (187, 773.43 - (0,88 \cdot (773.43 - 187)), 773.43 + (0,88 \cdot (921 - 773.43)), 921) = (187, 257, 903, 921)$$

$$\text{- За пропорцију: } \frac{1 - x_{B1-D}}{x_{B1-D} - 0} = \frac{1,24 - 1}{3 - 1,24} \rightarrow x_{B1-D} = 0,88$$

Ако би овај фази број пренели у координатни систем  $j$ - $\mu$ , добија се:

$$R_{B1-D} = (\mu(j=1), \mu(j=2), \mu(j=3), \mu(j=4), \mu(j=5)) = (0, 1, 1, 0, 0)$$

За остале машине и басене:

$$R_{B1-T} = (375, 638, 1358, 1555) \rightarrow (0, 0.35, 1, 1, 0);$$

$$R_{B1-F} = (298, 457, 1157, 1320) \rightarrow (0, 1, 1, 0.49, 0);$$

$$R_{B2-D} = (80, 110, 793, 831) \rightarrow (0, 1, 0, 0, 0);$$

$$R_{B2-T} = (340, 590, 1298, 1529) \rightarrow (0, 0.49, 1, 1, 0);$$

$$R_{B2-F} = (277, 466, 1054, 1256) \rightarrow (0, 1, 1, 0.08, 0);$$

$$R_{B3-D} = (118, 173, 922, 950) \rightarrow (0, 1, 1, 0, 0);$$

$$R_{B3-T} = (405, 660, 1485, 1627) \rightarrow (0, 0.24, 1, 1, 0);$$

$$R_{B3-F} = (340, 630, 1239, 1490) \rightarrow (0, 0.44, 1, 1, 0);$$

У случају M, за  $j = 1$  биће усвојена вредност 21,9 сати, а за  $j = 5$  биће усвојена вредност од 0,9 сати потребних за отклањање отказа. Остале вредности су:  $j = 2, t = 16.7$  h;  $j = 3, t = 11.4$  h;  $j = 4, t = 6.2$  h.

Код машина В1-Д и В2-Д, фазификација ће бити остварена у FN1:

$$M_{B1-D} = (t_4, \bar{T}, t_1) = (11.5, 9.4, 6.1) \rightarrow (0, 0, 0.05, 0.03, 0) \text{ i}$$

$$M_{B2-D} = (15, 11.6, 8) \rightarrow (0, 0, 0.94, 0, 0);$$

Код осталих машина у FN2:

$$M_{B1-T} = FN2 = (t_4, \bar{T} + x_{B1-D} \cdot (t_4 - \bar{T}), \bar{T} - (x_{B1-D} \cdot (\bar{T} - t_1), t_1) = (9.8, 6.84 + (0.38 \cdot (9.8 - 6.84)), 6.84 - (0.38 \cdot (6.84 - 3.3)), 3.3) = (9.8, 8, 5.5, 3.3) \rightarrow (0, 0, 0, 1, 0);$$

$$\text{- За пропорцију: } \frac{1 - x_{B1-D}}{x_{B1-D} - 0} = \frac{2.51 - 1}{3 - 2.51} \rightarrow x_{B1-D} = 0.38$$

$$M_{B1-F} = (11.1, 8.7, 6.3, 4) \rightarrow (0, 0, 0, 0.96, 0);$$

$$M_{B2-T} = (20.7, 14.6, 9.9, 5.4) \rightarrow (0, 0.66, 1, 0.18, 0);$$

$$M_{B2-F} = (21.9, 16, 12.1, 5.6) \rightarrow (0, 0.88, 0.89, 0.09, 0);$$

$$M_{B3-D} = (6.9, 5.2, 3.8, 2.1) \rightarrow (0, 0, 0, 0.41, 0);$$

$$M_{B3-T} = (7, 4.2, 3.9, 0.9) \rightarrow (0, 0, 0, 0.29, 0);$$

$$M_{B3-F} = (7.1, 4.9, 4.1, 1.1) \rightarrow (0, 0, 0, 0.59, 0);$$

### 5.3.2.3. Фазификација нумеричких података са одступањем - случај дефинисања функционалности на бази капацитета

Функционалност у приступу на бази мерења и статистичке обраде измерених резултата оцењује се на основу радног учинка. У случају булдозера то је радни капацитет при откопавању и гурању материјала, који се рачуна као:

$$Q = \frac{3600 \cdot V_{vp} \cdot k_n \cdot k_g \cdot \eta_t \cdot T_{sm}}{T_c \cdot k_r} \cdot \frac{1}{60} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

где су:

$V_{vp}$  – запремина вучне призме (зависи од односа висине и дужине плуга)

$k_n$  – коефицијент који зависи од нагиба (нема нагиба – за све дозере исти податак = 1)

$k_g$  – коефицијент губитка материјала са стране плуга приликом транспорта истог (зависи од дужине копања и гурања материјала)

$\eta_t$  – коефицијент временског искоришћења (за све дозере исти податак = 0.8)

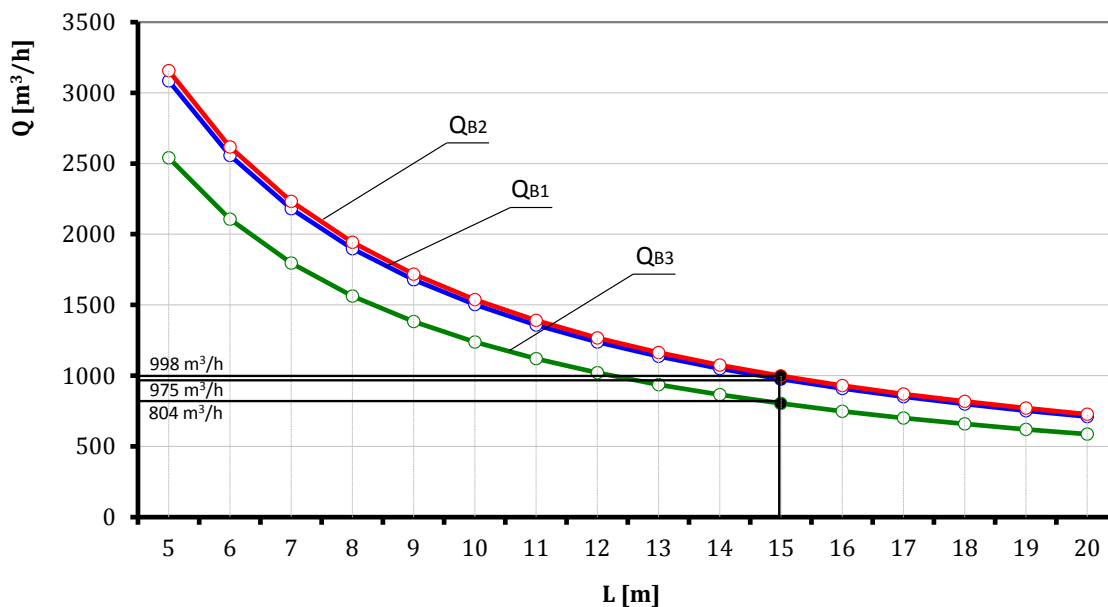
$T_{sm}$  – укупно трајање смене (за све дозере исти податак = 8 h)

$k_r$  – коефицијент растреситости (сви дозери копају исти материјал, за све дозере исти податак = 1.3)

$T_c$  – време трајања радног циклуса, у овом случају само процес копања и гурања материјала:

$t_k$  – време копања материјала и формирања вучне призме (зависи од дужине пута копања и гурања материјала, чија је вредност иста за све и зависи од брзине кретања дозера, у овом случају прве брзине која је променљива за све дозере)

Капацитет булдозера у зависности од дужине пута копања и гурања материјала дат је на дијаграму (слика 5.19).



Слика 5.19. Дијаграм теоретског капацитета

Параметри који карактеришу капацитет булдозера, са аспекта његових техничких карактеристика (табела 5.10):

- Параметри плуга: висина и дужина;
- Прва брзина кретања дозера – брзина копања.

**Табела 5.10.** Технички параметри капацитета

	B1	B2	B3
дужина x висина плуга, mm	4200 x 1650	4050 x 1760	3940 x 1690
Прва брзина, km/h	4.0	3.9	3.5

Теоријске вредности капацитета се рачунају за референтну дужину  $L = 15 \text{ m}$  (слика 5.19). За B1 добија се  $975 \text{ m}^3/\text{h}$ , за B2 добија се  $998 \text{ m}^3/\text{h}$  и за B3 добија се  $804 \text{ m}^3/\text{h}$ . У пракси ове вредности одступају у зависности од радног окружења. Мерењем на лицу неста је утврђено да стварни од теоретског одступа у границама како је приказано у табели 5.11.

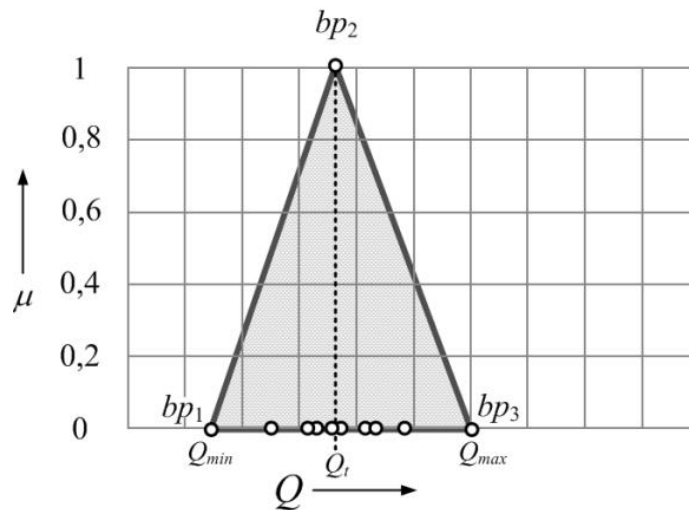
**Табела 5.11.** Одступање радног капацитета [Техничка документација Електропривреде ...]

	D	T	F
B1	810 - 1070	760 - 1120	785- 1050
B2	830 - 1110	750 - 1190	820 - 1065
B3	720 - 940	740 - 1050	690 - 980

На овај начин је дефинисана најмања вредност оствареног капацитета од  $Q_{B3-F} = 690 \text{ m}^3/\text{h}$  и која ће представљати вредност  $j = 1$ , односно највећа вредност  $Q_{B2-T} = 1190 \text{ m}^3/\text{h}$  која представља  $j = 5$  (слика 5.20). Остале вредности се добијају линеарном интерполацијом:  $j = 2$ ,  $Q = 815 \text{ m}^3/\text{h}$ ;  $j = 3$ ,  $Q = 940 \text{ m}^3/\text{h}$ ;  $j = 4$ ,  $Q = 1065 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Речено је да F представља еквивалент радног капацитета (Q), а то је тачна нумеричка вредност. Фазификација је у овом случају једноставнија. Потребно је идентификовати минималне и максималне вредности радног капацитета различитих машина и ове вредности скалирати према вредностима  $j = 1 \dots 5$  (слика 5.20). на тај начин се отвара могућности и дефинисања положаја фази броја F. С обзиром да Q може да варира у зависности од радних услова, отвара се могућност за дефинисање облика фази броја F. Ако за неку машину дефинишемо са највероватнијим теоретским капацитетом ( $Q_t$ ) и измеримо реални капацитет ( $Q_1, \dots, Q_n$ , где је  $n$  број мерења), фази број F имаће форму:

$$FN1 = (Q_{\min}, Q_t, Q_{\max})$$



Слика 5.20. Фазификација нумеричких података капацитета

Наведене вредности измерених остварених капацитета и референтна теоријска вредност капацитета биће коришћене за FN1, на следећи начин:

$$F_{B1-D} = (810, 975, 1070) \rightarrow (0, 0.03, 0.79, 0.05, 0);$$

$$F_{B1-T} = (760, 975, 1120) \rightarrow (0, 0.26, 0.84, 0.38, 0);$$

$$F_{B1-F} = (785, 975, 1050) \rightarrow (0, 0.16, 0.82, 0, 0);$$

$$F_{B2-D} = (830, 998, 1110) \rightarrow (0, 0, 0.65, 0.40, 0);$$

$$F_{B2-T} = (750, 998, 1190) \rightarrow (0, 0.26, 0.77, 0.65, 0);$$

$$F_{B2-F} = (820, 998, 1065) \rightarrow (0, 0, 0.67, 0, 0);$$

$$F_{B3-D} = (720, 804, 940) \rightarrow (0, 0.92, 0, 0, 0);$$

$$F_{B3-T} = (740, 804, 1050) \rightarrow (0, 0.96, 0.48, 0, 0);$$

$$F_{B3-F} = (690, 804, 980) \rightarrow (0, 0.94, 0.23, 0, 0);$$

### 5.3.3. Модел фази закључивања – модел max-min композиције

Парцијални показатељи расположивости: R, M и F, приказана као члан функције  $\mu$ :

$$R = (\mu_R^1, \dots, \mu_R^j, \dots, \mu_R^n); M = (\mu_M^1, \dots, \mu_M^j, \dots, \mu_M^n); F = (\mu_F^1, \dots, \mu_F^j, \dots, \mu_F^n);$$

Ако погледамо три парцијална показатеља, односно њихове чланове функције, могуће је направити  $C = j^3$  комбинације њихових функција



припадности. Свака од ових комбинација представља једну могућу процену синтезе расположивости А.

$$A = [\mu_R^{j=1, \dots, n}, \mu_M^{j=1, \dots, n}, \mu_F^{j=1, \dots, n}], \text{ за } c = 1 \text{ до } C$$

Ако у обзир узмемо само вредности  $\mu_{R,M,F}^{j=1, \dots, 5} \neq 0$ , добијамо комбинације именованих резултата ( $o = 1$  до  $O$ , ако  $O \subseteq C$ ).

Додатно, за сваки исход се израчунавају њене вредности ( $\Omega_c$ ). Исход који би одговарао комбинацији  $c$ , израчунавао би се једначином:

$$\Omega_c = \frac{\left[ \sum_{R,M,E} j \right]_c}{3}$$

Сви ови исходи су третирани са max-min композицијом:

- За сваки исход у потрази за *MINimum* вредности  $\mu_{R,M,F}$  у вектору  $A_c$ . Минималне би одговарале комбинацији  $o$ , и израчунавале би се једначинама:

$$MIN_o = \min\{\mu_R^{j=1, \dots, 5}, \mu_M^{j=1, \dots, 5}, \mu_F^{j=1, \dots, 5}\}, \text{ за } o = 1 \text{ до } O$$

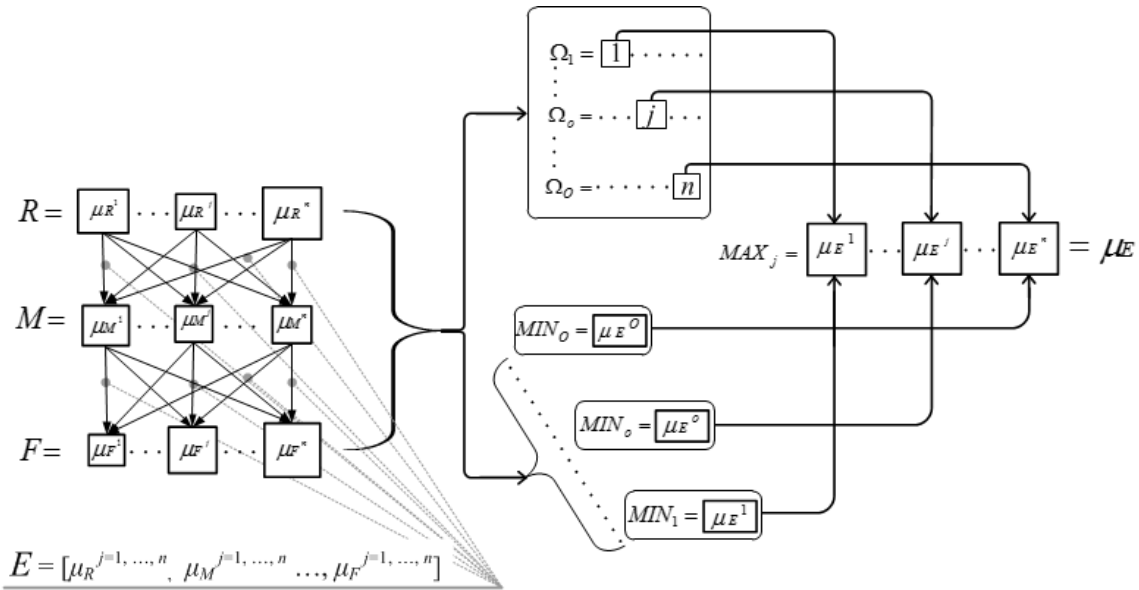
- Резултати су груписани у складу са својим вредностима  $\Omega_c$ , а то је величина  $j$ .
- *MAXimum* се налази на основу претходно утврђених минимума за сваку групу исхода. Максимуми који би одговарали вредностима  $j$ , израчунавали би се једначинама:

$$MAX_j = \max\{MIN_o\}, \text{ за свако } j$$

Процена расположивости А једног техничког система је добијено у облику:

$$\mu_E = (MAX_{j=1}, \dots, MAX_{j=5}) = (\mu_E^1, \dots, \mu_E^5)$$

На слици 5.21 дат је шематски приказ max-min композиције.



Слика 5.21. Структура max-min композиције

Посматра се машина В1-D. Процена фазификације  $\mu_{RB1-D}$ ,  $\mu_{MB1-D}$  и  $\mu_{FB1-D}$  су неопходне за синтезну процене расположивости А, коришћењем max-min композиције. У том случају је могуће направити  $C = 5^3 = 125$  комбинација, од чега 80 има исходе. Први исход би био за комбинацију 2-2-1:  $E_{2-2-1} = [0.08, 0.11, 0.075]$ , где је  $\Omega_{2-2-1} = (2+2+1)/3 = 2$  (заокружен на цео број). Најмања вредност исхода чланова ове функције је  $MIN_{2-2-1} = 0.075$ . Могу се издвојити плус још девет исхода за  $\Omega = 2$ , и за сваки се може одредити MIN вредност. У следећем кораку се издваја највећа вредност међу поменутих најмањим вредностима,  $MAX(MIN_{\Omega=2}) = 0.11$ . За остале вредности, резултати су дати у табели 5.12. MIN вредности су означене болдираним фонтом, MAX вредности оивичене. Сви ови резултати се могу груписати у величинама  $\Omega = 2, 3, 4$  и  $5$ . Коначно, добијамо израз за функцију расположивости А машине В1-D у форми:

$$\mu_{E(B1-D)} = (0, 0.11, 0.475, 0.475, 0.14)$$

Табела 5.12. Структура МАХ-МІН композиције за В1-Д машину

Ω	комбинација	μ			Ω	комбинација	μ		
2	2 2 1	0,08	0,11	<b>0,075</b>	3	4 5 1	0,715	0,14	<b>0,075</b>
	2 2 2	<b>0,08</b>	0,11	0,375		5 2 1	0,215	0,11	<b>0,075</b>
	2 2 3	<b>0,08</b>	0,11	0,475		5 2 2	0,215	<b>0,11</b>	0,375
	2 3 1	0,08	0,58	<b>0,075</b>		5 2 3	0,215	<b>0,11</b>	0,475
	2 3 2	<b>0,08</b>	0,58	0,375		5 3 1	0,215	0,58	<b>0,075</b>
	2 4 1	0,08	0,67	<b>0,075</b>		5 3 2	<b>0,215</b>	0,58	0,375
	3 2 1	0,475	0,11	<b>0,075</b>		5 4 1	0,215	0,67	<b>0,075</b>
	3 2 2	0,475	<b>0,11</b>	0,375	4	2 4 5	<b>0,08</b>	0,67	0,1
	3 3 1	0,475	0,58	<b>0,075</b>		2 5 4	<b>0,08</b>	0,14	0,475
	4 2 1	0,715	0,11	<b>0,075</b>		2 5 5	<b>0,08</b>	0,14	0,1
3	2 2 4	<b>0,08</b>	0,11	0,475		3 3 5	0,475	0,58	<b>0,1</b>
	2 2 5	<b>0,08</b>	0,11	0,1		3 4 4	0,475	0,67	<b>0,475</b>
	2 3 3	<b>0,08</b>	0,58	0,475		3 4 5	0,475	0,67	<b>0,1</b>
	2 3 4	<b>0,08</b>	0,58	0,475		3 5 3	0,475	<b>0,14</b>	0,475
	2 3 5	<b>0,08</b>	0,58	0,1		3 5 4	0,475	<b>0,14</b>	0,475
	2 4 2	<b>0,08</b>	0,67	0,375		3 5 5	0,475	0,14	<b>0,1</b>
	2 4 3	<b>0,08</b>	0,67	0,475		4 2 5	0,715	0,11	<b>0,1</b>
	2 4 4	<b>0,08</b>	0,67	0,475		4 3 4	0,715	0,58	<b>0,475</b>
	2 5 1	0,08	0,14	<b>0,075</b>		4 3 5	0,715	0,58	<b>0,1</b>
	2 5 2	<b>0,08</b>	0,14	0,375		4 4 3	0,715	0,67	<b>0,475</b>
	2 5 3	<b>0,08</b>	0,14	0,475		4 4 4	0,715	0,67	<b>0,475</b>
	3 2 3	0,475	<b>0,11</b>	0,475		4 4 5	0,715	0,67	<b>0,1</b>
	3 2 4	0,475	<b>0,11</b>	0,475		4 5 2	0,715	<b>0,14</b>	0,375
	3 2 5	0,475	0,11	<b>0,1</b>		4 5 3	0,715	<b>0,14</b>	0,475
	3 3 2	0,475	0,58	<b>0,375</b>		4 5 4	0,715	<b>0,14</b>	0,475
	3 3 3	0,475	0,58	<b>0,475</b>		5 2 4	0,215	<b>0,11</b>	0,475
	3 3 4	0,475	0,58	<b>0,475</b>	5 2 5	0,215	0,11	<b>0,1</b>	
	3 4 1	0,475	0,67	<b>0,075</b>	5 3 3	<b>0,215</b>	0,58	0,475	
	3 4 2	0,475	0,67	<b>0,375</b>	5 3 4	<b>0,215</b>	0,58	0,475	
	3 4 3	0,475	0,67	<b>0,475</b>	5 3 5	0,215	0,58	<b>0,1</b>	
	3 5 1	0,475	0,14	<b>0,075</b>	5 4 2	<b>0,215</b>	0,67	0,375	
	3 5 2	0,475	<b>0,14</b>	0,375	5 4 3	<b>0,215</b>	0,67	0,475	
	4 2 2	0,715	<b>0,11</b>	0,375	5 4 4	<b>0,215</b>	0,67	0,475	
	4 2 3	0,715	<b>0,11</b>	0,475	5 5 1	0,215	0,14	<b>0,075</b>	
	4 2 4	0,715	<b>0,11</b>	0,475	5 5 2	0,215	<b>0,14</b>	0,375	
	4 3 1	0,715	0,58	<b>0,075</b>	5 5 3	0,215	<b>0,14</b>	0,475	
	4 3 2	0,715	0,58	<b>0,375</b>	5	4 5 5	0,715	0,14	<b>0,1</b>
	4 3 3	0,715	0,58	<b>0,475</b>		5 4 5	0,215	0,67	<b>0,1</b>
4 4 1	0,715	0,67	<b>0,075</b>	5 5 4		0,215	<b>0,14</b>	0,475	
4 4 2	0,715	0,67	<b>0,375</b>	5 5 5		0,215	0,14	<b>0,1</b>	

У односу на претходно поглавље где су оцене индикатора добијене на бази експертске процене, у овој глави оцене се добијају фазификацијом нумеричких података. Даља обрада овако фазификованих оцена обавља се на исти начин који је детаљно описан у претходном делу текста. Овде се дају само коначне процене расположивости (табела 5.13).

**Табела 5.13.** Процене расположивости на основу измерених података

	одлично	добро	просечно	довољно	лоше
V1-D	0.199	0.199	0.204	0.199	0.199
V2-D	0.150	0.166	0.368	0.166	0.150
V3-D	0.174	0.185	0.281	0.185	0.174
V1-T	0.138	0.300	0.300	0.136	0.126
V2-T	0.128	0.217	0.349	0.180	0.126
V3-T	0.176	0.244	0.244	0.171	0.165
V1-F	0.125	0.205	0.423	0.129	0.117
V2-F	0.125	0.140	0.309	0.291	0.136
V3-F	0.148	0.196	0.358	0.155	0.142

#### 5.3.4. Идентификација

Поступак идентификације има за циљ да преслика израз  $A$  према конфигурацији фази скупова (слика 5.15). "Best-fit" метод [Wang и остали, 1995], користи се за трансформацију  $A$  у форму која је дефинисана степеном припадности фази скуповима: лош, довољан, просечан, добар, одличан. "Best-fit" метод користи растојање ( $d$ ) између  $A$  добијено "max-min" композицијом и сваког од  $A$  израза (према слици 5.15), да прикаже степен поклапања у мери  $\mu_A$  са сваким фази скупом (слика 5.15).

$$d_i(A_i, H_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^5 (\mu_{A_i}^j - \mu_{H_i}^j)^2}, \quad j = 1, \dots, 5; H_i = \{\text{одличан}, \dots, \text{лош}\}$$

где је  $\mu_{H_i}^j$  дефинисано у складу са раније наведеним изразом.

Растојање  $d$  има вредност једналу нули, уколико је степен припадности, добијен "max-min" методом, некој класи једнак вредности за ту класу према вредностима  $\mu_{\text{ex.}} \dots \mu_{\text{poor}}$ , за дати фази скуп: одличан, ..., лош.

Даље се уводи величина  $\alpha_{ij}$ , која представља релативно растојање, релативизирано у односу на најмање  $d_{ij}$ , односно једнака је јединици

уколико је одговарајуће растојање  $d_{ij}$  једнако најмањем од наведена четири растојања у сваком фази скупу.

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{d_{ij}/d_{ij \min}}, \quad j = 1, \dots, 5$$

где је  $d_{ij \min}$  најмање растојање међу  $d_{ij}$ .

Релативна растојања се даље нормализују на следећи начин:

$$\beta_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sum_{m=1}^5 \alpha_{im}}, \quad j = 1, \dots, 5.$$

На овај начин добијен је степен прападности наведеним фази скуповима (лош, ..., одличан), у распону  $0 \leq \beta \leq 1$ , и при томе је:

$$\sum_{j=1}^n \beta_{ij} = 1.$$

На основу изложеног модела, добија се расположивост у складу са лингвистичким променљивама (слика 5.15):

$$A_i = \{(\beta_{i=1}, \text{"лош"}), (\beta_{i=2}, \text{"довољан"}), (\beta_{i=3}, \text{"добар"}), (\beta_{i=4}, \text{"просечан"}), (\beta_{i=5}, \text{"одличан"})\}$$

У случају машине са ознаком Б1-Д, оцена расположивости према фази скупу *одличан* добија се као:

$$\begin{aligned} d_1(A_{(B1-D)}, \text{одл}) &= \sqrt{\sum_{j=1}^5 (\mu^j_{A(B1-D)} - \mu^j_{\text{одл}})^2} = \\ &= \sqrt{(0-0)^2 + (0.11-0)^2 + (0.475-0)^2 + (0.475-0.25)^2 + (0.14-1)^2} = 1.014 \end{aligned}$$

где је:  $\mu_{A(B1-D)}$  и  $\mu_{\text{одл}}$  према раније наведеним изразима.

За остале фази скупове:

$$\begin{aligned} d_2(A_{(B1-D)}, \text{доб.}) &= 0.592, \quad d_3(A_{(B1-D)}, \text{прос.}) = 0.605, \\ d_4(A_{(B1-D)}, \text{дов.}) &= 1.073, \quad d_5(A_{(B1-D)}, \text{лош}) = 1.221. \end{aligned}$$

- за  $d_{\min} = d_2$ :

$$\alpha_1 = \frac{1}{d_1/d_2} = \frac{1}{1.014/0.592} = 0.584, \alpha_2 = 1, \alpha_3 = 0.979, \alpha_4 = 0.552, \alpha_5 = 0.485.$$

$$\beta_1 = \frac{\alpha_1}{\sum_{i=1}^5 \alpha_i} = \frac{0.584}{0.584+1+0.979+0.552+0.485} = 0.162, \beta_2 = 0.278, \beta_3 = 0.272, \beta_4 = 0.153,$$

$$\beta_5 = 0.135.$$

Коначно, добија се оцена расположивости за машину В1-D, у форми:

$$A_{(B1-D)} = \{0,162 /одл.; 0,278/доб.; 0,272/прос.; 0,153/дов.; 0,135/ лош\}$$

На исти начин добијају се и оцене за остала два булдозера и за остале басене (табела 5.14):

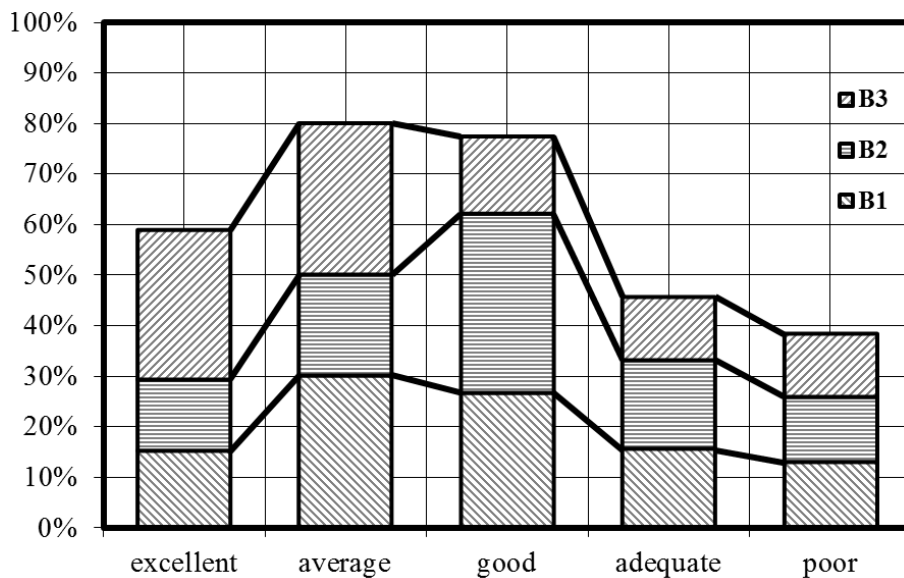
**Табела 5.14.** Процена расположивости на основу експертских процена

	одлично	добро	просечно	довољно	лоше
В1-D	0,162	0,278	0,272	0,153	0,135
В2-D	0,121	0,160	0,417	0,179	0,124
В3-D	0,253	0,312	0,175	0,132	0,127
В1-Т	0,142	0,220	0,322	0,183	0,134
В2-Т	0,134	0,196	0,361	0,180	0,130
В3-Т	0,306	0,306	0,143	0,122	0,122
В1-F	0,148	0,404	0,206	0,126	0,116
В2-F	0,166	0,242	0,284	0,172	0,137
В3-F	0,334	0,281	0,141	0,122	0,122

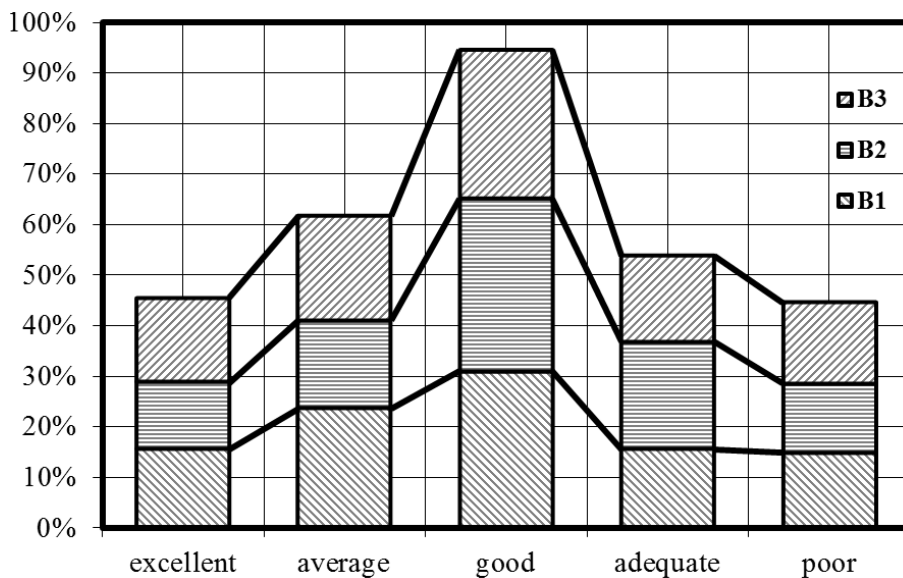
#### 5.4. Упоредна анализа добијених резултата

Уколико се упореде коначни резултати (табеле 5.13 и 5.14), може се уочити да постоји иста тенденција резултата за машине В1 и В2. У случају машине В3, која је по правилу увек добијала вишу оцену функционалности на основу експертске процене него мерењем оствареног радног учинка, постоји разлика у добијеним резултатима. На слици 5.22 дата је просечна оцена по лингвистичким промељивама за све три машине, упоредно за обе методе. Концентрација оцена расположивости код В1 је око “добра” до “просечна” за експертски приступ, односно око “просечна” до “добра” за

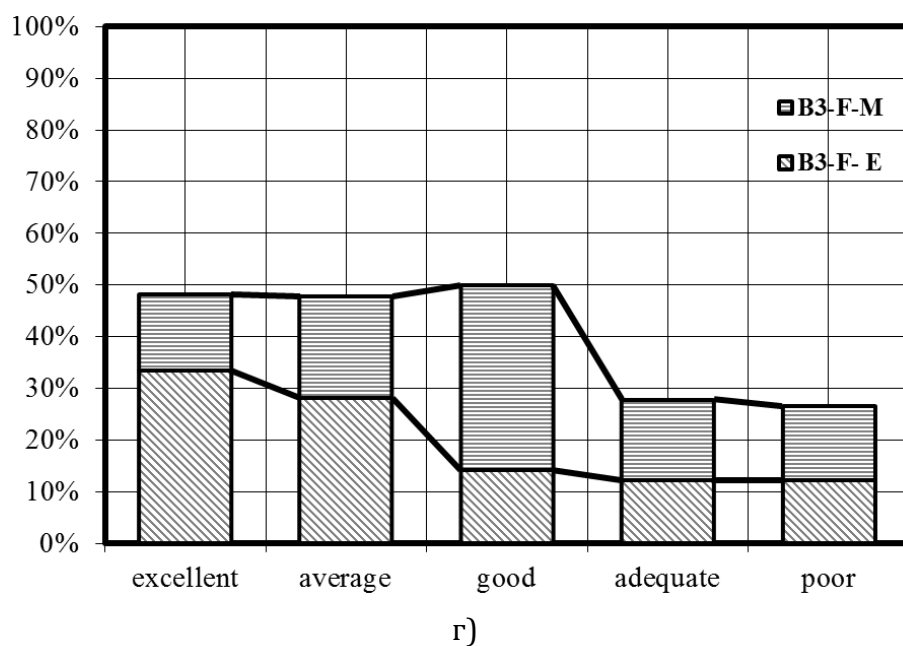
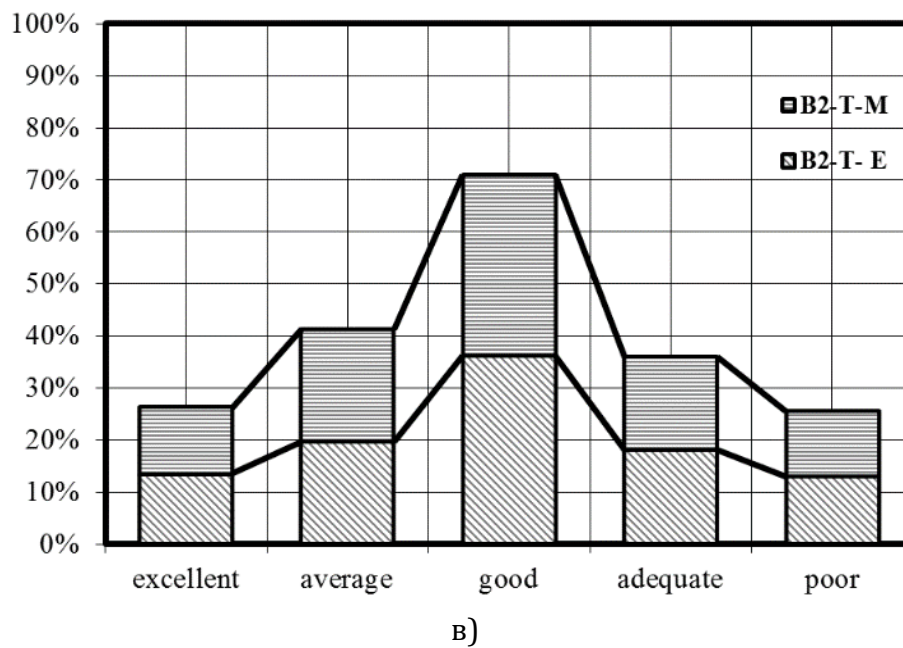
прилаз на бази мерења. Код В2 је “просечна” у оба приступа. Код В3 је “одлична” и “добра” код експертног, “просечна” код приступа на бази мерења. Највеће слагање између два приступа је код машине В2-Т, а највеће неслагање је у случају (слика 5.22). Просечно неслагање на нивоу  $\Delta\mu(j) = 0.06$ .



a)



б)



**Слика 5.22.** Поређење добијених резултата: а) просечна оцена за експертски приступ; б) просечна оцена машина за приступ на бази мерења; в) машина В2-Т за оба приступа; г) машина В3-Ф за оба приступа



## 6. ЗАКЉУЧАК

Помоћна механизација на површинским коповима представља један од најкомплекснијих система, како у процесу експлоатације тако и у процесу одржавања. Основна улога машина помоћне механизације је да обезбеди логистичку подршку раду површинских копова, такозваној основној механизацији, кроз ангажовање радних јединица, у првом реду булдозера.

Да би се квалитетно и ефикасно обавила производња минералне сусптанце на површинским коповима, неопходно је извршити и контролисати низ операција, основних и помоћних. Због тога, рад помоћне механизације на површинским коповима никако нема мањи значај у укупном радном билансу.

Ради што бољег и квалитетнијег обављања помоћних, а самим тим и основних операција, уз што мањи број застоја, потребно је располагати одређеним бројем машина помоћне механизације. Увек је био проблем предвидети када је време за отпис машина јер услови у којима раде су веома тешки и не постоје копови са истим радним условима. Зато се мора посветити велика пажња праћењу рада машина помоћне механизације ради утврђивања њиховог стања, односно извршити оптимизацију система одржавања.

Машине помоћне механизације раде у изузетно тешким условима на етажама површинских копова, са изузетно променљивим режимима рада, од максималних вучних до транспортних режима. Из тих разлога век ових машина на површинским коповима је релативно кратак и обично траје неколико година. Због тога њихова поузданост веома брзо опада, а трошкови експлоатације и одржавања изузетно брзо расту. Из тих разлога неопходно је перманентно праћење показатеља расположивости ових машина, како би се имао сталан увид у показатеље њиховог рада.

Циљ израде ове дисертације представља формирање математичког и концепцијског модела за подршку доношењу одлука у процесу одржавања опреме, пре свега у области рударске механизације која ради на површинским коповима угља, на бази показатеља расположивости. У том смислу извршена је анализа постојећих концепција одржавања, пре свега

одржавања према поузданости као најзначајнијег парцијалног показатеља расположивости и предложен је модел унапрађења показатеља поузданости показатељима који осликавају употребни квалитет кроз ниво одржавања и кроз функционалну адаптивност система у односу на радно окружење. Као огледни пример у овом истраживању коришћени су булдозери који раде на површинским коповима ЕПС-а. Посматране су следеће машине: Liebherr PR752lit, Dressta TD25H и Caterpillar D8R (B3), које раде на три различита копа: Дрмно – Костолачки басен, Тамнава Западно поље – Колубарски басен и Поље Д – Колубарски басен. Одржавање према поузданости посматрано је кроз формирање модела зависности функције поузданости и интензитета трошења горњих ролни на гусеничном механизму ових машина. Интензитет трошења доведен је у корелацију са процентуалним садржајем песка у тлу којим се креће булдозер.

На овај начин добијен је образац искуственог карактера који даје очекивано време превентивне замене горњих ролни како не би дошло до непланираних застоја услед њиховог трошења.

Одржавање према расположивости посматра употребни квалитет булдозера кроз три компоненте, односно кроз три парцијална показатеља, кроз поузданост, погодност одржавања (конструкцијску и логистичку) и кроз функционалност (функционалну погодност). На овај начин је створена могућност за синтезним моделом.

За развој математичког апарата коришћена је теорија фази скупова у циљу идентификације наведена три показатеља и теорија фази закључивања, односно  $\max$ - $\min$  композиција у циљу њихове композиције (синтезе). При томе су паралелно развијена два приступа, на бази експертских процена и на бази измерених улазних података.

Први приступ је као улаз имао лингвистичке променљиве, а други нумеричке вредности. Фази теорија се овде показала као погодан модел јер даје могућност рачунања са речима, због лингвистичких променљивих, а при томе избегава поступак квантификације или скалирања истих.

Код другог приступа, поузданост и погодност одржавања дефинисане су преко одговарајућих временски зависних функција које су резултат анализе временске слике стања, док је за функционалност развијен модел мерења и статистичке обраде података везаних за радни учинак, односно

капацитет булдозера. Коришћење паралелно два модела, пружа могућност и верификацију наведеног модела што је овде и учињено.

Предложени модел је универзалан и прихватљив за процену расположивости свих машина које се примењују у индустрији и рударству. Добијени резултати указали су на постојање великог броја могућности за корекцију одлука које се доносе у сегменту управљања имовином, управљања процесом одржавања па и самом експлоатацијом.

На основу реченог може се резимирати:

- Предложеним моделом обухваћена је анализа међуодноса времена у раду, времена у отказу (застоју) и функционалних карактеристика техничког система, односно његовој прилагодљивости радном окружењу.
- Предложени фази концепцијски модел процене расположивости техничких система пружа могућност рачунања са хибридном подацима.
- Парцијални показатељи расположивости за које не постоје нумерички подаци уведени су у модел процене расположивости укључујући експертска мишљења, односно знање и искуство запослених радника на одржавању и експлоатацији.
- Предложени модел процене расположивости омогућује увођење показатеља који до сада нису анализирани, а пре свега се мисли на радни учинак.

## ЛИТЕРАТУРА

Ивковић, С., 1997. Откази елемената рударских машина. Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, Београд

Тодоровић, Ј., 1993. Инжењерство одржавања техничких система. Југословенско друштво за моторе и возила, Београд,

Ивковић С., Игњатовић Д., Јованчић П., Танасијевић, М., 2008. Пројектовање одржавања опреме површинских копова угља. Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, Београд,

Танасијевић, М., 2007. Сигурност функционисања механичких компоненти роторног багера, Докторска дисертација, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, Београд

Канарчук, В.Е., 1982. Основы надежности машин, Наук. думка, Киев

Strandberg, K., 1991. IEC 300: The Dependability Counterpart of ISO 9000. Reliability and Maintainability Symposium, Orlando, FL, 463-467

International Electrotechnical Commission. International standard – Dependability management ISO-IEC 300. <http://www.iec.ch/>

Јовичић, С., Тодоровић, Ј., 1996. Сигурност функционисања – Стандард ИЕС ТС 56, Београд

Тодоровић, Ј., Зеленовић, Д., 1978. Ефективност система у машинству, Нови Сад, Београд

Papic, L., Milovanovic, Z.N., 2007. Systems Maintainability and Reliability, The Research Center of Dependability and Quality management DQM

Lei, Y., 2008. Evaluation of three methods for estimating the Weibull distribution parameters of Chinese pine. Journal of Forest Science; 54(12): 566–571.

Murthy, D.N.P., Xie, M., Jiang, R., 2004. Weibull Models, John Wiley & Sons, Inc.

O'Connor, P.D.T., Kleyner, A., 2012. Practical Reliability Engineering – Fifth edition. John Wiley & Sons Ltd.

Зеленовић, Д., Станивуковић, Д., 1979. Поузданост система, Факултет техничких наука, Нови Сад

Weibull, W. 1951. A statistical distribution function of wide applicability. Journal of Applied Mechanics – Transaction ASME, 18(3), 293–297

Freeman, L.J., Vining, G.G., 2013. Reliability data analysis for life test designed experiments with sub-sampling. Quality and Reliability Engineering International; 29(4): 509-519, <http://dx.doi.org/10.1002/qre.1398>.

Вујановић, Н., 1990. Теорија поузданости техничких система, Војноиздавачки и новински центар, Београд

Reliability edge, 2002. ReliaSoft Corporation, Vol. 3, Issue 2, Tuscon Arizona, USA

Ђурић, Р., 2008. Евалуација расположивости помоћне механизације на површинским коповима лигнита, Магистарски рад, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, Београд

Игњатовић, Д., 1997. Методологија избора помоћне механизације за површинске копове лигнита, Докторска дисертација, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, Београд

Јованчић, П., 2014. Одржавање рударских машина, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, Београд

Chateauneuf, A., Cocheteux, F., Deffarges, F., Sourget, F., 2011. Reliability analysis of screwed connections in high-speed trains, considering fatigue, corrosion, and imperfect maintenance operations. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability, September 2011; 225: 293-306, <http://dx.doi.org/10.1177/1748006x11402738>.

Wang, Z., Huang, H.Z., Du, X., 2009. Reliability - based design incorporating several maintenance policies. Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability; 44(4): 37-44

Peng, W., Huang, H., Zhang, X., Liu, Y., Li, Y., 2009. Reliability based optimal preventive maintenance policy of series-parallel systems. *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*; 42(2): 4-7

Jaarsveld, W.V., Dekker, R., 2011. Spare parts stock control for redundant systems using reliability centered maintenance data. *Reliability Engineering and System Safety*; 96(11): 1576–1586, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2011.06.015>.

Zhou, X., Xi, L., Lee, J., 2007. Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation. *Reliability Engineering and System Safety*; 92(4): 530-534, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2006.01.006>.

Bugaric, U., Tanasijevic, M., Polovina, D., Ignjatovic, D., Jovancic, P., 2012. Lost production costs of the overburden excavation system caused by rubber belt failure. *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*; 14(4): 333-341

Tanasijevic, M., Bugaric, U., Jovancic, P., Ignjatovic, D., Polovina, D., 2012. Relationship between the reliability and the length of conveyor rubber belt. *Proceedings of the 29th Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, 26th-29th September. Beograd*; 274-277. ISBN 978-86-7083-762-1

Thies, P.R., Johanning, L., Smith, G.H., 2012. Assessing mechanical loading regimes and fatigue life of marine power cables in marine energy applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*; 226: 18-32, <http://dx.doi.org/10.1177/1748006x11413533>.

Abo-Alkheer, A.K., El-Hami, A., Kharmanda, M.G., Mouazen, A.M., 2011. Reliability-based design for soil tillage machines. *Journal of Terramechanics*; 48(1): 57–64, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2010.06.001>.

NASA Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment, February 2000

Barabady, J., Kumar, U., 2008. Reliability analysis of mining equipment: A case study of a crushing plant at Jajarm Bauxite Mine in Iran. *Reliability Engineering and System Safety*; 93(4): 647-653, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2007.10.006>.

Uzgoren, N., Eelevli, S., Eelevli, B., Uysal, O., 2010. Reliability analysis of draglines' mechanical failures. *Eksploatacja i Niezawodnosc- Maintenance and Reliability*; 4(48): 23-28

Muro, T., 1985. Abrasive wear resistance of surface coatings on an excavating tip against a rock mass. *Journal of Terramechanics*; 22(2): 87-109, [http://dx.doi.org/10.1016/0022-4898\(85\)90145-4](http://dx.doi.org/10.1016/0022-4898(85)90145-4).

Ivanov, V., Shyrokau, B., Augsburg, K., Algin, V., 2010. Fuzzy evaluation of tyre-surface interaction parameters. *Journal of Terramechanics*; 47(2): 113-130, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2009.08.003>.

Cerchar - Centre d' Etudes et Recherches de Charbonnages de France, The Cerchar Abrasiveness Index.- 12 S., 1986. Verneuil

Plinninger, R., Kasling, H., Thuro, K., 2004. Wear Prediction in Hardrock Excavation Using the Cerchar Abrasiveness Index (CAI); EUROCK 2004 & 53rd Geomechanics Colloquium. Schubert (ed.), VGE. Germany, Esse; 599-604

West, G., 1989. Technical Note - Rock Abrasiveness Testing for Tunnelling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics*. 26(2): 151-160, [http://dx.doi.org/10.1016/0148-9062\(89\)90003-X](http://dx.doi.org/10.1016/0148-9062(89)90003-X).

Yarali, O., Yasar, E., Bacak, G., Ranjith, P.G., 2008. A study of rock abrasivity and tool wear in Coal Measures Rocks, *International Journal of Coal Geology*; 74: 53-66, <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2007.09.007>.

Lei, Y., 2008. Evaluation of three methods for estimating the Weibull distribution parameters of Chinese pine. *Journal of Forest Science*; 54(12): 566-571

Chen, S.L., Wood, R.J.K., Wang, L., Callan, R., Powrie, H.E.G., 2008. Wear detection of rolling element bearings using multiple-sensing technologies and mixture-model-based clustering method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*; 222: 207-218, <http://dx.doi.org/10.1243/1748006xjrr89>.

Пројекат "Актуелизовани инвестициони програм изградње површинског копа Тамнава - Западно поље, Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет, Београд, октобар 2007.

Студија "Иновирани дугорочни програм развоја експлоатације угља у костолачком угљеном басену, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, Београд, децембар 2006.

Djurić, R., Milisavljević, V., 2016. Investigation of the relationship between reliability of track mechanism and mineral dust content in rocks of lignite open pits. *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*; 18 (1): 142–150, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2016.1.19>.

Половина, Д., 2010. Методе утврђивања преосталих могућности роторних багера у експлоатацији и ревитализацији, Докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Београд

Miodragović, R., Tanasijević, M., Mileusnić, Z., Jovančić, P., 2012. Effectiveness Assessment of Agricultural Machinery Based on Fuzzy Sets Theory, *Expert Systems with Applications*, 39(10), 8940–8946

Петровић, Д., 2014. Развој алгорита процене ефеката ризика рада рударских машина на бази фази алгебре, Докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Београд

Wang, J., 2000. A subjective modelling tool applied to formal ship safety assessment. *Ocean Engineering*, 27(10), 1019-1035

Wang, J., Yang, J.B., Sen, P., 1995. Safety analyses and synthesis using fuzzy sets and evidential reasoning. *Reliability Engineering and System Safety*, 47(2), 103-118

Wang, J., Yang, J.B., Sen, P., 1996. Multy person and multy-attribute design evaluations using evidential reasoning based on subjective safety and coast analyses. *Reliability Engineering and System Safety*, 52(2), 113-128

Ivezić, D., Tanasijević, M., Ignjatović, D., 2008. Fuzzy Approach to Dependability Performance Evaluation. *Quality and Reliability Engineering International*, 24(7), 779-792

Zadeh, L.A., 1996. Fuzzy Logic = Computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4(2), 103-111

Zadeh, L.A., 2008. Is there a need for fuzzy logic?. *Information Sciences*, 178(13); 2751-2779



Zadeh, L.A., 1999. From computing with numbers to computing with words - from manipulation of measurements to manipulation of perceptions, IEEE Transactions on Circuits and Systems, 45, 105-119

Техничка документација Електропривреде Србије и ПД "ТЕ-КО Костолац"

Субашић, П., 1997. Фази логика и неуронске мреже, Техничка књига, Београд

Теодоровић, Д., Kikuchi, S., 1991. Fuzzy skupovi i primene u saobraćaju, Saobraćajni fakultet Beograd

Teodorovic, D., Vukadinovic, K., 1998. Traffic Control and Transport Planning A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach, Kluwer Academic Publishers Boston

Tanasijevic, M., Ivezic, D., Ignjatovic, D., Polovina, D., 2011. Dependability as criteria for bucket wheel excavator revitalization, Journal of Scientific & Industrial Research, 70(1), 13-19

Tanasijević, M., Ivezić, D., Jovančić, P., Ignjatović, D., Bugarić, U., 2013. Dependability assessment of open-pit mines equipment – study on the bases of fuzzy algebra rules, Eksploatacija i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability, 15(1), 66–74

Tanasijević, M., Ivezić, D., Jovančić, P., Ćatić, D., Zlatanović, D., 2013. Study of Dependability Evaluation for Multi-hierarchical Systems Based on Max–Min Composition, Quality and Reliability Engineering International, 29(3), 317–326

Cai, K.Y., 1996. System failure engineering and fuzzy methodology An introductory overview. Fuzzy Sets and Systems, 83(2), 113-133

Bowles, J.B., Pelaez, C.E., 1995. Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode effects and criticality analysis. Reliability Engineering and System Safety, 50(2); 203-213

Liao, S.H., 2011. Expert system methodologies and applications-a decade review from 1995 to 2004, Expert Systems with Applications, 28(1), 93-103

Liebowitz, J., 1988. Introduction to Expert Systems, Mitchell Publishing/McGraw Hill, Watsonsville, CA

Hoos, H.H., Stutzle, T., 2009. On the Empirical Scaling of Run-time for Finding Optimal Solutions to the Traveling Salesman Problem. University of British Columbia, Department of Computer Science. Technical Report TR-2009-17

Wu, Y., 1993. Scale, Factor Intensity and Efficiency: An Empirical Study of the Chinese Coal Industry. Applied Economics, Taylor and Francis Journals, 25(3), 325-334

---

**Радиша Д. Ђурић, дипл.маш.инж.**

## **БИОГРАФИЈА**

Радиша Ђурић је рођен 29.04.1957. године у Дрмну. Средњу школу је завршио у Пожаревцу 1975. године. Школске године 1975/76. уписао је Вишу техничку школу у Земуну, а завршио је 1978. године. Машински факултет у Универзитета у Марибору уписао је 1979. године, а дипломирао је 1982. године на Смеру за Производну технологију.

Запослио се 1978. године у тадашњи ИЕК "Костолац", на површинском копу "Ђуриковац", где је радио на пословима инжењера за машинску конструкцију и израду техничке документације. По завршетку факултета наставио је са радом на површинском копу "Ђуриковац" на радном месту одговорни инжењер техничке припреме за машинску конструкцију и израду техничке документације. Након тога је радио у ИЕК "Костолац" – "Георад", на пословима главног инжењера за одржавање механизације, у периоду од 1985. до 1990. године. Од 1990. године до 1991. године радио је на површинском копу "Дрмно" на месту руководиоца помоћне механизације. Од 1991. године до 1993. године радио је на месту инжењера за планирање инвестиција помоћне механизације. Затим, од 1993. године до 1994. године био је помоћник управника за експлоатацију помоћне механизације, а од 1994. до 2000. године је био помоћник управника за одржавање помоћне механизације у оквиру копова "Костолац". Од 2000. до 2001. године био је управник помоћне механизације у оквиру копова "Костолац". Од 2001. до 2002. године био је помоћник управника помоћне механизације за одржавање копа "Дрмно", а од 2002. до 2006. године радио је на месту главног инжењера техничко-технолошке припреме помоћне механизације у оквиру Дирекције за производњу угља компаније "Костолац". Од 2006. па до данас ради на месту главног инжењера помоћне механизације Дирекције за производњу угља у оквиру Привредног друштва "ТЕ-КО Костолац" (менаџер за помоћну механизацију), односно као Шеф службе за помоћну механизацију у сектору за оперативну подршку производње дирекције за производњу угља у огранку "ТЕ-КО Костолац".

---

---

Поседује сертификате о положеним специјалистичким курсевима код реномираног произвођача мотора *Cummins – Daventry* из Енглеске (три сертификата) и један сертификат код реномираног произвођача машина помоћне механизације *Dressta Huta Stalowa Wola* из Пољске. Има положен стручни испит из Рударства, који је положио 17.12.1986. године. Поседује регистроване иновације и техничко-технолошка унапређења у оквиру компаније "Костолац" из области помоћне механизације.

Магистарски рад наслова „Евалуација расположивости помоћне механизације на површинским коповима лигнита“, кандидат Радиша Ђурић је одбранио 29.09.2008. године на Универзитету у Београду – Рударско-геолошком факултету, на смеру за механизацију у рударству. Тиме је стекао звање магистра техничких наука у области рударства – механизација у рударству.

Објавио је већи број стручних радова из области одржавања помоћне механизације, у међународним часописима као и на међународним и домаћим научно-стручним конференцијама. Такође, објавио је две монографије из области одржавања помоћном механизацијом: Управљање штетном последицом у механизацији (Damage control) и Рационално одржавање у рударству и енергетици (Maintenance rational).

---

Прилог 1.

## Изјава о ауторству

Потписани-а \_\_\_\_\_ Радиша Д. Ђурић \_\_\_\_\_

број уписа \_\_\_\_\_ Р-315 \_\_\_\_\_

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

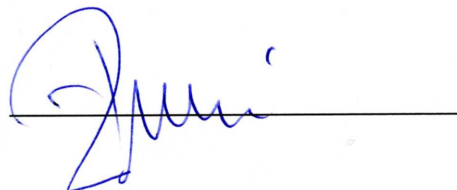
КОНЦЕПТ РАСПОЛОЖИВОСТИ ПРИ ДЕФИНИСАЊУ ЕФИКАСНОГ

ОДРЖАВАЊА ПОМОЋНЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 14.03.2016



Прилог 2.

**Изјава о истоветности штампане и електронске  
верзије докторског рада**

Име и презиме аутора Радиша Д. Ђурић  
Број уписа Р-315  
Студијски програм Рударско инжењерство  
Наслов рада Концепт расположивости при дефинисању ефикасног  
одржавања помоћне механизације на површинским коповима  
Ментор Проф. др Предраг Јованчић

Потписани Радиша Д. Ђурић



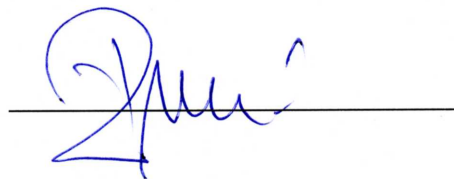
Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзијикоју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис докторанда**

У Београду, 14.03.2016



## Прилог 3.

### Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

КОНЦЕПТ РАСПОЛОЖИВОСТИ ПРИ ДЕФИНИСАЊУ ЕФИКАСНОГ

ОДРЖАВАЊА ПОМОЋНЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство – некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

Потпис докторанда

У Београду, 14.03.2016

