

# Развој алгоритма процене ефеката ризика рада рударских машина на бази фази алгебре; Development of algorithm for risk assessment of mining equipment operations based on fuzzy algebra

Dejan V. Petrović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Развој алгоритма процене ефеката ризика рада рударских машина на бази фази алгебре; Development of algorithm for risk assessment of mining equipment operations based on fuzzy algebra | Dejan V. Petrović | Универзитет у Београду | 2014-12-30 ||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0004012>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радovima запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

РУДАРСКО – ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Дејан В. Петровић

РАЗВОЈ АЛГОРИТМА ПРОЦЕНЕ  
ЕФЕКТА РИЗИКА РАДА РУДАРСКИХ  
МАШИНА НА БАЗИ ФАЗИ АЛГЕБРЕ

Докторска дисертација

Београд, 2014.

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Dejan V. Petrović

**DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR  
RISK ASSESSMENT OF MINING  
EQUIPMENT OPERATIONS BASED ON  
FUZZY ALGEBRA**

Doctoral dissertation

Belgrade, 2014.

---

**Ментор:**

др Милош Танасијевић, ванр. проф., Нафтно рударство, механизација и аутоматизација у рударству,  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет Београд

**Чланови комисије:**

др Никола Лилић, ред. проф., Рударство, безбедност и заштита на раду, заштита животне средине,  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

др Дејан Ивезић, ред. проф., Нафтно рударство, механизација и аутоматизација у рударству,  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

др Предраг Јованчић, ванр. проф., Нафтно рударство, механизација и аутоматизација у рударству,  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

др Витомир Милић, ред. проф., Рударство и геологија  
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

**Датум одбране:**

\_\_\_\_.\_\_\_\_.2014.

---

---

*Својој породици*

---

---

# РАЗВОЈ АЛГОРИТМА ПРОЦЕНЕ ЕФЕКТА РИЗИКА РАДА РУДАРСКИХ МАШИНА НА БАЗИ ФАЗИ АЛГЕБРЕ

## ИЗВОД

Појава изненадних отказа елемената техничких система у рударству је свакодневна појава. Опасност односно вероватноћа настанка или појаве ризичног догађаја и величина његових последица представља простор на коме треба стално радити, применити различите приступе и начине сагледавања утицајних чинилаца на појаву нежељеног ризичног догађаја. Посеба пажња се треба посветити сагледавању озбиљности последица ризичног догађаја као и њихов утицај на даље функционисање техничког система, запослене и радно окружење. Неопходно је спровести низ организационих и техничких мера на утврђивању слабих и критичних места у систему и изналажењу узрочника настанка отказа у циљу смањења негативних ефеката ризичног догађаја.

Докторска дисертација са наведеним насловом презентује резултате истраживања ризика отказа техничких система у рударству. Циљ овог истраживања јесте развој алгоритма за имплементацију ефеката ризика односно вероватноће настанка последице непланираног застоја, отказа, хаваријске ситуације у раду машине на: конструкцијску структуру саме машине, технолошки процес производње у коме учествује и радну и животну средину у синтезни модел оцене нивоа ризика рада одговарајуће машине која ради у рударској индустрији.

Резултат истраживања ове дисертације јесте теоријски дефинисан поступак анализе ефеката ризика отказа код машина и техничких система у рударству. Применом и комбинацијом постојећих статистичких и аналитичких метода и поступака за анализу ризика и одређивање нивоа поузданости, као циљ рада направљен је универзалан модел којим се одређује ниво ризика и поузданост техничких система. Применом теорије фази скупова и фази логике у комбинацији са статистичким методама обрађени су подаци о отказима, анализирани су озбиљности штетног деловања случајног догађаја, времена између отказа исте

---

---

врсте и предвиђене последице које се могу појавити као резултат негативног деловања хаварија на околину и запослене. Представљени модел процене ризика заснован на фазилогичком закључивању приказан је на примеру мобилне дробилице „Lokotrack LT1213S“, која ради на каменолому „Ладне воде“ код Петровца на Млави. Развијени модел представља нов методолошки приступ процене ризика отказа техничких система.

**Кључне речи:** ризик, поузданост, технички систем, рударство, рударске машине, отказ, фази скупови, фази логика

**Научна област:** Рударско инжењерство

**Ужа научна област:** нафтно рударство, механизација и аутоматизација у рударству

**УДК:**004.43:007.5  
510.64+512.53:519.237/.87  
614.8:621:622/.23.05  
669:681.3 (043.3)

---

---

# **DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR RISK ASSESSMENT OF MINING EQUIPMENT OPERATIONS BASED ON FUZZY ALGEBRA**

## **ABSTRACT**

Mining equipment failures are common and they occur on daily basis. Probability of failure occurrence, as well as its consequences, is the area that requires constant monitoring and research work, application of different approaches and analysis of influence factors. Special attention has to be paid to consequences of failures and their influence to further operations of technical systems, employees and working environment. It is necessary to establish a series of organizational and technical measures in order to determine critical points inside the systems and find causes of failures, with the aim to minimize negative effects of risky occurrences.

This PhD Dissertation presents the results of researches related to risk assessment of mining equipment failures. Research goal was to develop an algorithm for implementation of risky occurrence effects, i. e. to assess the consequences of equipment operation failure to equipment construction, technological process and environment, and create a synthesis model for risk assessment of any specific machine engaged in mining industry.

The result of researches is theoretically defined procedure for analysis of equipment failure risk for machines and technical systems utilized in mining industry. With application and combination of existing statistical and analytical methods and procedures for risk analysis and determination of system reliability, the dissertation provides universal model for risk assessment and reliability evaluation of technical systems. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic theories, combined with statistical methods, were used for processing data on equipment failures in mining. Also, the consequences of risky occurrences were analyzed, as well as period of time between failures, in order to predict the consequence of a failure to working environment and employees. Model of risk assessment was then applied to mobile crusher "Lokotrack LT1213S", engaged in "Ladnovec" quarry, situated near Petrovac na Mlavi, Eastern Serbia. Such developed

---



---

model represents a new methodological approach to risk assessment of equipment failure.

**Key words:** risk, reliability, technical system, mining, mining equipment, failure, fuzzy sets, fuzzy logic.

**Scientific field:** Mining engineering

**Narrow scientific field:** oil mining, mechanization and automation in mining

**UDC:** 004.43:007.5  
510.64+512.53:519.237/.87  
614.8:621:622/.23.05  
669:681.3 (043.3)

---

---

## САДРЖАЈ

<b>1.УВОДНА РАЗМАТРАЊА</b>	<b>1</b>
<b>1.1.Увод</b>	<b>1</b>
<b>1.2.Предмет и циљ истраживања</b>	<b>2</b>
<b>1.3.Полазне хипотезе</b>	<b>3</b>
<b>1.4.Примењене методе истраживања</b>	<b>4</b>
<b>2. ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА ФЕНОМЕНА РИЗИКА И ПОУЗДАНОСТИ</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Теорија ризика</b>	<b>6</b>
2.1.1. Дефиниција ризика	6
2.1.2. Анализа ризика	8
2.1.3. Процена ризика	9
2.1.4. Управљање ризиком	9
<b>2.2. Поузданост техничких система</b>	<b>12</b>
2.2.1. Поузданост техничких система у рударству	15
2.2.2. Показатељи поузданости и одређивање поузданости	16
2.2.2.1. Показатељи поузданости	21
2.2.2.2. Структуре система у погледу поузданости	25
<b>2.3. Конвенционалне методе за праћење и процену ризика и његових парцијалних чиниоца (поузданост, ефекат, детектабилност)</b>	<b>27</b>
2.3.1. FMEA. Анализа начина отказа и њихових ефеката	29
2.3.2. FMESCA. Анализа начина отказа, последица и критичности отказа	31
2.3.3. FTA. Анализа стабла отказа	32
2.3.4. ETA. Анализа стабла догађаја	32
2.3.5. Критички осврт на стандардне методе за процену ризика	33
<b>2.4. Анализа актуелних стандарда из теорије ризика</b>	<b>33</b>

---

---

2.4.1. Међународни стандарди _____	34
2.4.2. Српски стандарди из области управљања ризиком _____	37
<b>2.5. Анализа досадашњих истраживања из области процене ризика и поузданости _____</b>	<b>38</b>
<b>3. РУДАРСКЕ МАШИНЕ И РИЗИК _____</b>	<b>42</b>
<b>3.1. Технолошки развој машина у рударству _____</b>	<b>43</b>
<b>3.2. Машине за експлоатацију минералних сировина _____</b>	<b>45</b>
3.2.1. Машине за израду рудничких просторија _____	47
3.2.2. Машине за бушење _____	48
3.2.3. Машине за откопавање и утовар _____	48
3.2.4. Машине за транспорт ископина _____	51
3.2.5. Помоћне машине _____	53
3.2.6. Стационарне машине и уређаји _____	53
3.2.6.1. <i>Извозне машине</i> _____	53
3.2.6.2. <i>Вентилационо постројење</i> _____	54
3.2.6.3. <i>Пумпно постројење</i> _____	55
3.2.6.4. <i>Компресори</i> _____	55
3.2.6.5. <i>Дробилице</i> _____	55
3.2.6.6. <i>Мобилна постројења за дробљење</i> _____	57
<b>3.3. Приказ технолошког процеса добијања каменог агрегата на каменолому „Ладне воде“ _____</b>	<b>58</b>
3.3.1. Општи подаци о каменолому _____	58
3.3.2. Опис процеса експлоатације и прераде _____	59
3.3.2.1. <i>Експлоатација камена</i> _____	59
3.3.2.2. <i>Процес прераде каменог агрегата</i> _____	61
3.3.2. Опис дробилице _____	66
3.3.2.1. <i>Улога у процесу експлоатације и прераде</i> _____	66
3.3.2.2. <i>Принцип рада</i> _____	67

---

---

3.3.2.3. <i>Опис дробилице</i>	68
<b>4. ТЕОРИЈА ФАЗИ СКУПОВА И ФАЗИ ЛОГИКЕ</b>	<b>73</b>
<b>4.1. Теорија фази скупова</b>	<b>75</b>
4.1.1. Својства и операције на фази скуповима	79
4.1.2. Операције на фази скуповима	80
4.1.3. Фази број	81
4.1.4. Различити облици функције припадности	82
4.1.5. Релације фази скупова	84
4.1.5.1. <i>Особине фази релација</i>	85
4.1.5.2. <i>Основне операције на фази релацијама</i>	85
4.1.5.3. <i>Композиција фази релација</i>	87
<b>4.2. Теорија фази логике</b>	<b>88</b>
4.2.1. Лингвистичке променљиве	92
<b>4.3. Фази релације</b>	<b>96</b>
4.3.1. Композиција фази релација	96
4.3.2. Фази пропозиције	98
4.3.3. Фази закључивање	98
4.3.4. Фази правила	99
<b>4.4. Дефазификација</b>	<b>99</b>
<b>4.5. Алтернативне методе за рад са непрецизним подацима</b>	<b>104</b>
4.5.1. Метод чињеничног закључивања	104
4.5.2. Вишеатрибутивна оцена	106
<b>5. ДЕФИНИСАЊЕ ПРОЦЕДУРА И АЛГОРИТМА ПРИМЕНЕ МОДЕЛА ПРОЦЕНЕ РИЗИКА НА РУДАРСКИМ МАШИНАМА</b>	<b>109</b>
<b>5.1. Примена теорије фази логике и фази скупова за одређивање нивоа ризика</b>	<b>109</b>
5.1.1. Фази пропозиција	116

---

---

5.1.2. Фазификација_____	117
5.1.2.1 Фазификација кумулативне функције _____	119
5.1.2.2. Фазификација података добијених на основу експертске оцене	120
5.1.2.3. Фазификација нумеричких података	123
5.1.3. Фази композиција при процени нивоа ризика _____	123
5.1.4. Идентификација - дефазификација _____	125
<b>5.2. Хијерархијска композиција показатеља ризика отказа елемената у функцији процене ризика отказа система _____</b>	<b>126</b>
5.2.1. Декомпозиција система _____	128
5.2.2. Прикупљање података _____	130
5.2.2.1. Евидентирање података о отказима дроблице Lokotrack 1213S130	
5.2.2.2. Класификација и анализа података _____	131
5.2.3. Процена нивоа ризика отказа елемената подсистема дроблице _____	135
5.2.3.1. Одређивање показатеља озбиљности отказа _____	136
5.2.3.2. Фазификација учесталости појављивања отказа _____	143
5.2.3.3. Фазификација могућности откривања отказа _____	144
5.2.3.4. Оцена нивоа ризика отказа елемената подсистема применом <i>min – max</i> композиције _____	147
5.2.3.5. Фази идентификација – декомпозиција при процени нивоа ризика елемената подсистема _____	148
5.2.4. Оцена нивоа ризика отказа подсистема _____	150
5.2.5. Оцена нивоа ризика отказа система _____	152
5.2.5.1. Фази композиција при процени нивоа ризика отказа система _	152
5.2.5.2. Идентификација –декомпозиција при процени нивоа ризика отказа система _____	154
<b>6. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА И ДИСКУСИЈА _____</b>	<b>157</b>
<b>6.1 Резултати оцене нивоа ризика отказа дроблице _____</b>	<b>157</b>
6.1.1 Резултати оцене нивоа ризика отказа елемената дроблице _____	157
6.1.2 Резултати оцене нивоа ризика отказа подсистема дроблице _____	168

---

---

6.1.3 Резултати оцене нивоа ризика отказа дробилице _____	170
<b>6.2 Дискусија резултата процене ризика отказа дробилице _____</b>	<b>171</b>
<b>7. ЗАКЉУЧАК _____</b>	<b>173</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА _____</b>	<b>177</b>
<b>ПРИЛОЗИ _____</b>	<b>188</b>

---

---

## СПИСАК СЛИКА

<i>Слика број 2.1.</i> Временска слика стања _____	18
<i>Слика број 2.2</i> Понашање Вејбулове расподеле релативних фреквенци $f(t)$ у зависности од вредности параметра _____	24
<i>Слика број 2.3</i> Утицај параметра облика $\beta$ на функцију поузданости _____	24
<i>Слика број 2.4</i> Утицај параметра облика $\beta$ на функцију интензитета отказа _____	24
<i>Слика број 2.5</i> Понашање Вејбулове расподеле релативних фреквенци $f(t)$ у зависности од вредности параметра $\eta$ _____	24
<i>Слика број 2.6</i> Систем са редном везом елемената _____	25
<i>Слика број 2.7</i> Систем са паралелном везом елемената _____	26
<i>Слика број 2.8</i> Пример система са комбинованом везом елемената _____	26
<i>Слика број 2.9</i> Пример система са квазиредном везом елемената _____	27
<i>Слика број 2.10</i> Пример система са квазипаралелном везом елемената _____	27
<i>Слика број 2.11</i> Графички приказа вредности $RPN$ – а _____	30
<i>Слика број 2.12</i> Процес управљања ризиком према ISO 31000 _____	36
<i>Слика број 3.1</i> Бушилица „Rock L – 6“ _____	60
<i>Слика број 3.2</i> Хидраулични багер _____	60
<i>Слика број 3.3</i> Утоварно – транспортна машина „Cat 980“ _____	61
<i>Слика број 3.4</i> Шематски приказ процеса уситњавања и класирања каменог агрегата _____	62
<i>Слика број 3.5</i> Дроблица „Lokotrack LT 110“ _____	63

---

---

<i>Слика број 3.6</i> Дроблица „Lokotrack LT 1213S“(а, б).	64
<i>Слика број 3.7</i> Стационарно постројење за просејавање	65
<i>Слика број 3.8</i> Скициран приказ дробилице „Lokotrack LT 1213S“	66
<i>Слика број 3.9</i> Саставни делови мобилне дробилице „Lokotrack LT 1213S“	68
<i>Слика број 3.10</i> Шематски приказ ударне дробилице „NP 1213M“	69
<i>Слика број 3.11</i> Могућности усмеравања просева вибро додавача	71
<i>Слика број 3.12</i> Централни дисплеј дробилице „Lokotrack LT 1213S“	71
<i>Слика број 3.13</i> Приказ мобилне дробилице „Lokotrack LT 1213S“ у раду	72
<i>Слика број 4.1</i> Фази скуп I категорије врло чврстих стена	77
<i>Слика број 4.2</i> Дискретни скупови, фази скупови	78
<i>Слика број 4.3</i> Фази скупови који јесу (А и В) и који нису фази бројеви	82
<i>Слика број 4.4</i> Троугаони облик функције припадности	83
<i>Слика број 4.5</i> Трапезни облик функције припадности	83
<i>Слика број 4.6</i> Функција припадности у облику параболе	84
<i>Слика број 4.7</i> Унија фази скупова А и В	86
<i>Слика број 4.8</i> Пресек фази скупова А и В	86
<i>Слика број 4.9</i> Комплемент фази скупа А	87
<i>Слика број 4.10</i> Троугаони и трапезни облик фази скупа	95
<i>Слика број 4.11</i> Оператори модификације	95
<i>Слика број 4.12</i> Принцип максималне функције припадности	100
<i>Слика број 4.13</i> Метод тежишта	100
<i>Слика број 4.14</i> Средња пондерисана вредност	101

---



---

<i>Слика број 4.15</i> Метод средње вредности максимума_____	102
<i>Слика број 4.16</i> Центар суме: а) прва функција припадности, б) друга функција припадности и ц) дефазификација_____	102
<i>Слика број 4.17</i> Метод првог или последњег максимума_____	103
<i>Слика број 5.1</i> Алгоритам процене ризика отказа техничких система_____	112
<i>Слика број 5.2</i> <i>Min – max</i> композиција I_____	113
<i>Слика број 5.3</i> <i>Min – max</i> композиција II_____	114
<i>Слика број 5.4</i> <i>Min – max</i> композиција III_____	114
<i>Слика број 5.5</i> Фази скупови показатеља нивоа ризика_____	116
<i>Слика број 5.6</i> Троугаони и трапезни фази скуп_____	119
<i>Слика број 5.7</i> Функција припадности показатеља ризика класама_____	122
<i>Слика број 5.8</i> Фази модел процене ризика_____	127
<i>Слика број 5.9</i> Декомпозиција техничког система_____	129
<i>Слика број 5.10</i> Фази скупови озбиљности отказа_____	136
<i>Слика број 5.11</i> Графички приказ проширења класа_____	137
<i>Слика број 5.12</i> Фази скупови времена у отказу за проширени број класа_____	137
<i>Слика број 5.13</i> Зависност између времена у отказу и класа фази скупова_____	137
<i>Слика број 5.14</i> Функција припадности времена у отказу за главну хидропумпу одговарајућим класама _____	138
<i>Слика број 5.15</i> Функција припадности утицаја отказа на запослене раднике за отказ главне хидропумпе_____	140

---

---

<b>Слика број 5.16</b> Функција припадности утицаја отказа на животно окружење за отказ главне хидропумпе_____	141
<b>Слика број 5.17</b> Функција припадности озбиљности отказа_____	142
<b>Слика број 5.18</b> Графички приказ смањења броја класа_____	142
<b>Слика број 5.19</b> Коначан изглед функције припадности озбиљности отказа за главну хидропумпу_____	143
<b>Слика број 5.20</b> Зависност између времена у раду и класа фази скупова_____	143
<b>Слика број 5.21</b> Функција припадности учесталости појављивања отказа за главну хидропумпу_____	144
<b>Слика број 5.22</b> Функција припадности могућности благовременог откривања отказа_____	146
<b>Слика број 5.23</b> Фази скуп ризика отказа за главну хидропумпу_____	147
<b>Слика број 5.24</b> Фази скуп ризика отказа за подсистем „хидраулика“_____	151
<b>Слика број 5.25</b> Графички приказ процене нивоа ризика подсистема хидраулика _____	151
<b>Слика број 5.26</b> Графички приказ процене нивоа ризика за подсистеме дробилице_____	152
<b>Слика број 5.27</b> Поступак смањења броја класа_____	154
<b>Слика број 5.28</b> Фази скуп ризика отказа техничког система – мобилне дробилице „Lokotrack 1213S“_____	154
<b>Слика број 5.29</b> Графички приказ процене нивоа ризика техничког система – мобилне дробилице_____	156
<b>Слика број 6.1</b> Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Хидраулика“_____	158

---

---

<b>Слика број 6.2</b> Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Мотор“ _____	159
<b>Слика број 6.3</b> Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Електро“ _____	160
<b>Слика број 6.4</b> Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Дробљење“ _____	161
<b>Слика број 6.5</b> Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Просејавање“ _____	164
<b>Слика број 6.6</b> Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Транспорт“ _____	165
<b>Слика број 6.7</b> Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Конструкција“ _____	166
<b>Слика број 6.8</b> Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Дозатор“ _____	167
<b>Слика број 6.9</b> Графички приказ фази процене нивоа ризика за подсистеме дробилице _____	170
<b>Слика број 6.10</b> Графички приказ процене нивоа ризика мобилне дробилице	170

---

---

## СПИСАК ТАБЕЛА

<i>Табела број 3.1</i> Пројектовани годишњи капацитет по класама крупноће _____	59
<i>Табела број 3.2</i> Саставни делови дробилице, „ <i>Lokotrack LT 1213S</i> ” _____	68
<i>Табела број 5.1</i> Степен припадности фази скупова на основу експертске оцене _____	121
<i>Табела број 5.2</i> Одређивање функција припадности показатеља ризика одређеним класама _____	122
<i>Табела број 5.3</i> Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због отказа за подсистем <i>хидраулика</i> _____	131
<i>Табела број 5.4</i> Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због отказа за подсистем <i>мотор</i> _____	131
<i>Табела број 5.5</i> Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због отказа за подсистем <i>електро</i> _____	132
<i>Табела број 5.6</i> Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због отказа за подсистем <i>дробљење</i> _____	132
<i>Табела број 5.7</i> Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због отказа за подсистем <i>просејавање</i> _____	132
<i>Табела број 5.8</i> Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због отказа за подсистем <i>транспорт</i> _____	133
<i>Табела број 5.9</i> Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због отказа за подсистем <i>конструкција</i> _____	133
<i>Табела број 5.10</i> Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због отказа за подсистем <i>дозатор</i> _____	134

---

---

<b>Табела број 5.11</b> Фазификација времена у отказу за елементе подсистема хидраулика _____	138
<b>Табела број 5.12</b> Упитник утицаја на радно окружење и животну редину за хидромоторе _____	139
<b>Табела број 5.13</b> Фазификација времена у раду система до појаве одређених отказа за подсистем „хидраулика“ _____	144
<b>Табела број 5.14</b> Упитник могућности откривања отказа _____	145
<b>Табела број 5.15</b> Фазификација могућности благовременог откривања отказа _____	146
<b>Табела број 6.1</b> Оцена нивоа ризика отказа елементарна подсистема хидраулика _____	157
<b>Табела број 6.2</b> Оцена нивоа ризика отказа елементарна подсистема мотор _____	159
<b>Табела број 6.3</b> Оцена нивоа ризика отказа елементарна подсистема електро _____	160
<b>Табела број 6.4</b> Оцена нивоа ризика отказа елементарна подсистема дробљење _____	161
<b>Табела број 6.5</b> Оцена нивоа ризика отказа елементарна подсистема просејавање _____	162
<b>Табела број 6.6</b> Оцена нивоа ризика отказа елементарна подсистема транспорт _____	164
<b>Табела број 6.7</b> Оцена нивоа ризика отказа елементарна подсистема конструкција _____	165
<b>Табела број 6.8</b> Оцена нивоа ризика отказа елементарна подсистема дозатор _____	167
<b>Табела број 6.9</b> Оцена нивоа ризика отказа подсистема дробилице _____	168

---

---

## СПИСАК ПРИЛОГА

*Прилог број 1* Алгоритам процене ризика отказа техничких система\_\_\_\_\_189

*Прилог број 2* Приказ дела табеле *min – max* композиције I\_\_\_\_\_190

*Прилог број 3* Приказ дела табеле *min – max* композиције II\_\_\_\_\_204

*Прилог број 4* Приказ дела табеле *min – max* композиције III\_\_\_\_\_214

---

---

## СПИСАК ОЗНАКА

ГОСТ – ознака за руски стандард

MIL – ознака за амерички војни стандард

DIN – ознака за немачки стандард

$t$  – времена рада система

$\theta$  - временски период машине у застоју

$\tau$  - време застоја због превентивног одржавања

$N$  – број испитаних елемената

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

$R(t)$  - функција поузданости

$F(t)$  - функција отказа

$f(t)$  - функција густине отказа

$\lambda(t)$  - функција интензитета отказа

$\beta$  – параметар облика Вејбулове расподеле

$\eta$  – параметар размере Вејбулове расподеле

$\Gamma$  – гама функција

$K_f$  – фактор смањења перорманси система

FMEA - Анализа начина отказа и њихових ефеката

RPN (Risk Priority Number) – степен ризичности отказа

S – озбиљност отказа (severity)

O – учесталост појављивања отказа (occurrence)

D – могућност благовременог откривања отказа (detectability)

FMECA – Анализа начина отказа, последица и критичности отказа

---

---

*FTA* – Анализа стабла отказа

*ETA* – Анализа стабла догађаја

$f(x)$  – функција припадности

$A$  – фази скуп

$B$  – Фази скуп

$x$  – елемент фази скупа

$X$  – надскуп или универзални скуп

$\mu_A(x)$  функција припадности

$R$  - скупу реалних бројева,

$a, b, c$  и  $d$ , - параметри дефинисања облика функције припадности

$R_1$  и  $R_2$  – Фази релације

$K(x_i)$  - језгро фазификације

$P$  – фази пропозиција.

$Z$  - скуп могућих решења

$\mu_C$  – функција припадности решења фази скупу  $C$

$\bar{z}$  - геометријска средина сваке симетричне функције припадности

$j$  – редни број отказа сређених по растућем редоследу

$n$  – укупан број отказа

$N$  – скуп лингвистички променљивих којима се описује ниво ризика

$S_t$  – време које машина проведе у застоју потребно за отклањање квара,

$S_{ro}$  – утицај отказа на запослене, тј. штетни утицај отказа на безбедност и здравље запослених

$S_{zs}$ . – утицај отказа на животну средину

$x$  – фактор размере

---



# 1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

## 1.1. Увод

Експлоатација лежишта минералних сировина без употребе савремених машина и опреме је готово незамислива. Рударске машине представљају један од најсложенијих техничких система у индустрији уопште. Одликују се великом инвестиционом вредношћу, раде у сложеним условима и скупим технолошким процесима, носе доста велики ризик по радну и животну околину. Процена нивоа ризика непланираних застоја, односно хаваријских ситуација, један је од најбитнијих системских задатака при експлоатацији и одржавању ових техничких система.

Управљање, контрола и праћење ризика отказа техничких система у рударству јесте веома сложен и комплексан задатак. Да би се уопште могло приступити управљању ризицима напоходно је предузети опсежне системске и организационе мере како би се упознали са свим могућим негативним и деструктивним чиниоцима који утичу на квалитетно функционисање техничког система. Само добро познавање система у техничком и технолошком смислу, начин функционисања и узајамне везе са другим системима, може допринети квалитетној оцени ризика од отказа појединих компоненти система. Посебну пажњу треба посветити чиниоцима који доводе до ризичног догађаја, као и последицама као негативни ефекти који се манифестују након отказа. Последице отказа могу имати негативан утицај по сам технички систем, на запослене раднике и животну околину. Негативан утицај отказа појединих компоненти на технички систем огледа се у смислу смањења пројектованих функционалних способности система или тоталног престанка рада. Последице отказа дела или целог техничког система негативно утичу на запослене раднике повећавајући шансу да се угрози њихова безбедност на радном месту, да дође до физичког повређивања или појаве штетности које могу утицати на њихово здравље. Појава

акцидентних ситуација, као последица отказа, често има негативан утицај на животну средину у близини рударских комплекса. Бука, вибрације, цурење отровних гасова, течности и загађених вода јесу најзаступљенији видови штетног утицаја отказа на животно окружење.

Дефинисање политике управљања ризиком у рударству треба да допринесе квалитетнијем радном окружењу, безбеднијим условима за рад и сигурнијем и поузданијем функционисању техничког система. С тим у вези, неходна је детаљна анализа техничког система са аспекта ризика и поузданости кроз примену постојећих метода и модела за њихову процену или развој и имплементацију нових алгоритама.

## **1.2. Предмет и циљ истраживања**

Предмет истраживања ове дисертације је дефинисање поступка анализе ефеката ризика отказа код машина и техничких система у рударству. Идеја је да се применом и комбинацијом постојећих статистичких и аналитичких метода и поступака за анализу ризика и одређивање нивоа поузданости, као циљ рада направи модел и утврди ниво ризика и поузданост мобилне дробилице „Lokotrack LT 1213S“, која се користи на каменолому „Ладне воде“ код Петровца на Млави. Применом теорије фази логике могуће је да се обраде подаци о отказима на дробилици, анализирају озбиљности штетног деловања случајног догађаја, времена између отказа исте врсте и предвиде последице које се могу појавити као резултат негативног деловања хаварија на околинду и запослене.

Предмет истраживања ове дисертације обухвата три јасно изражена сегмента:

- Рударске машине тј. значај ових машина у процесу експлоатације минералних сировина;
- Појам ризика и његових сегмената и
- Системски приступ одржавању и експлоатацији техничких система.

Циљ истраживања ове дисертације јесте развој алгоритма за имплементацију ефеката ризика односно вероватноће настанка последице непланираног застоја, отказа, хаваријске ситуације у раду машине на: конструкцијску структуру саме машине, технолошки процес производње у коме учествује, радну и животну средину у синтезни модел оцене нивоа ризика рада одговарајуће машине која ради у рударској индустрији.

### 1.3. Полазне хипотезе

Истраживање које је реализовано овом дисертацијом, заснива се на неколико поставки:

- Рударске машине носе саме по себи велики ризик с обзиром на индустрију чији су неодвојиви сегмент.

- Појава непредвиђених отказа, хаваријске ситуације и слично, изазивају физичко пропадање техничког система, застој производње – експлоатације минералних сировина и негативан утицај на радну и животну средину.

- Концепцијска и математичка спрега феномена поузданости – непоузданости и ефекта – последица у алгоритам процене ризика, као синтезног показатеља наведених феномена, представља врло значајан елемент доношења одлука везано за управљање рударском производњом.

Синтеза наведених поставки даје полазну хипотезу која гласи:

За поуздан рад машина у рударству уз најмање могуће ризике, потребно је извршити детаљну анализу техничког система познатим методама, утврдити слаба места, штетне утицаје и њихове ефекте и дефинисати мере које треба предузети да би се систем што дуже задржао у оперативном стању и обављао функцију за коју је намењен, без негативних последица по функционалну целину коју чини као и радну и животну околину.

#### 1.4. Примењене методе истраживања

Избор научних метода које су коришћене у дисертацији је директно везано и условљено постављеним циљевима, односно решавањем постављених проблема, пре свега у смислу одређивања нивоа ризика и:

- Структуре међусобне зависности утицајних чинилаца на ризик, који су одређени на основу правила фази алгебре, конкретно коришћењем правила фази композиције и фази логике.

- Интензитета утицајних чинилаца на ризик, законитости расподеле отказа, поузданости техничких система у рударству, применом теорије фази скупова и теорије поузданости, односно теорије вероватноће и статистичких метода.

- Анализе ефеката ризика и отказа појединих делова на функционисање техничког система у целини, на раднике који опслужују машину и на животну средину.

Да би се приступило развоју употребљивог алгоритма процене ризика за сложене техничке системе као што су рударске машине, неопходно је било упознавање са постојећом литературом из области процене ризика и важећим стандардима који дефинишу процену ризика и управљање ризицима, теорије фази скупова и фази логике и досадашњим истраживањима која су се бавила проценом ризика отказа техничких система у рударству. Након детаљне анализе постојеће литературе и разматрања недостатака постојећих метода приступило се формирању синтезног модела процене ризика отказа техничких система у рударству. Функционалност предложеног модела доказана је на примеру мобилне дробилице, на основу прикупљених података о отказима поменуте дробилице за временски период од две године.

## 2. ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА ФЕНОМЕНА РИЗИКА И ПОУЗДАНОСТИ

Ризик и поузданост техничких система су узајамно повезани показатељи који третирају појаву и последице отказа елемената техничких система. Анализа ризика обухвата и поузданост, односно непоузданост система која је условљена појавом неисправности у систему. Ризик представља вероватноћу да ће се десити негативне последице на техничком систему или окружењу истог услед отказа, док је поузданост вероватноћа да ће технички систем радити без отказа у одређеном временском периоду. Озбиљност проблема отказа техничких система и ефеката – последица потврђује и чињеница да се истраживања на ову тему у континуитету спроводе од после Другог светског рата, а нека истраживања поузданости рађена су и за време самог рата за потребе војне индустрије. Прва стручна конференција на тему опасности и превенције губитака ресурса техничких система, према (Kletz 1999), одржана је 1960. године у Манчестеру, а на иницијативу Америчког института за хемијско инжењерство одржан је први симпозијум о превенцији губитака 1967. године и прва Европска конференција 1971. године у Њукаслу (Newcastle). Према (Keller i Modarres, 2005) прва стручна књига из ове области издата је почетком шездесетих година прошлог века под називом „Систем поузданости и анализа ризика“ (System reliability and risk analysis) аутора Ернеста Франкела (Ernst Frankel) професора са државног универзитета Северне Каролине. Даљи развој теорије ризика и поузданости пратио је развој нуклеарне, авио и свемирске индустрије, за чије потребе су рађена и прва послератна истраживања.

Досадашња истраживања из области теорије ризика и поузданости показују различите приступе, дају различите моделе али сва имају исти циљ, а то је: утврђивање критичних елемената система, подсистема и склопова, одређивање законитости појаве отказа, одређивање нивоа ризика и мера које треба предузети да систем задржи своје пројектоване функционалне карактеристике.

Неоаметан рад рударских машина без застоја захтева опсежне мере на истраживању, анализи и планирању квалитетног систематског одржавања да би машина задржала своје функционално стање дужи временски период. Прекид рада једног елемента или дела система најчешће је праћен прекидом рада производног процеса. Познато је да, код сложених техничких система, и поред квалитетно организованог система за праћење рада и одржавања, долази до отказа појединих елемената који могу имати негативне последице по машину, запослене и животно окружење. Теорија ризика и поузданости развијене су са циљем да се утврде критична и слаба места у систему, да се одреди ниво ризика и поузданости како би се на основу оцена деловало у циљу смањења броја отказа техничких система у рударству као и смањењу евентуалних последица.

## **2.1. Теорија ризика**

### **2.1.1. Дефиниција ризика**

Појава изненадних отказа делова техничких система са негативним последицама у рударству је свакодневна појава. Негативни утицаји отказа могу бити по сам технички систем, запослене или радно окружење. Догађаји такве природе, који у случају да се десе могу изазвати негативне последице, називају се ризичним догађајима. Ово се може уопштити, па може се рећи да догађај који има могућност утицаја на испуњење задатих циљева (спречавање, онемогућавање или успоравање постизања задатог циља) може се сматрати ризичним догађајем.

Ризик се може дефинисати као комбинација вероватноће неке појаве или догађаја и њихове последице у заокруженом систему у одређеном временском интервалу, што значи да је ризик стохастична појава. У најширем смислу ризик представља потенцијалну прилику да се деси догађај са негативним последицама. Негативне последице могу се сагледати у материјалном смислу као губитак добара и финансијском смислу кроз додатне финансијске издатке за откањање последица ризичног догађаја. Последице отказа делова техничких система негативно утичу на сам технички систем смањујући му функционалност и на запослене раднике који су изложени штетном утицају негативних дејстава отказа.

Поред тога, последице отказа могу имати негативан утицај и на животну средину па може доћи до контаминације воде, земљишта или ваздуха.

Ризик је неизбежан у сваком сегменту људске делатности као и неизвесност која је нераздвојива од ризика и представљају у извесном смислу апсолутну вредност. Међутим, на изложеност ризику могуће је утицати и контролисати је, то је променљива која утиче на ниво и степен ризика.

У последњих двадесетак година велика пажња посвећена је ризику од отказа техничких система. Донети су и међународни – европски стандарди, међу њима и интернационални стандард (IEC 300-3-9, 1995), који дефинише анализу ризика у технолошким системима. Према овом закону, ризик се дефинише као комбинација учесталости, вероватноће догађаја и последица одређене опасне ситуације или догађаја. Новији стандард о управљању ризицима је (ISO 31000, 2009) и према њему ризик се дефинише као шанса да ће се нешто десити и да ће то имати утицаја на објекат. Ризик се према истом стандарду приказује као комбинација потенцијалног догађаја и последица повезан са вероватноћом његове појаве.

Међународни приручник који обухвата дефиниције везане за ризике (ISO GUIDE 73, 2009) дефинише ризик као „ефекат неизвесности у односу на циљеве“. Овај приручник објашњава да ефекат може бити позитиван или негативан или да ефекат ризика представља одступање од очекиваног.

У пословном речнику (Business dictionary, URL) пише да ризик представља вероватноћу или опасност од оштећења, повреде, изложености, губитка или других негативних појава које настају услед спољашњих или унутрашњих слабости система, који се може неутралисати путем превентивног деловања.

У нашем стандарду о безбедности машина (SRPS EN ISO 12100, 2012) ризик се дефинише као комбинација вероватноће да се догоди повреда (штета) и озбиљност те повреде.

Наравно, постоји више дефиниција ризика према разним ауторима. Према (Radosavljević, 2010) вероватноћа настанка нежељених догађаја и очекивана

величина последица у заокруженом систему током утврђене дужине временског интервала се у анализи система разматра и дефинише као ризик. Аутор (Williams, 2000) ризик дефинише као вероватноћу одређеног нежељеног догађаја који се десио у наведеном периоду и при одређеним околностима. Ризик је, према (Starčević i dr., 2010), могућност губитка или повреде, односно могућност реализације нежељене последице неког догађаја.

Генерално све дефиниције ризика укључују вероватноћу настанка нежељеног догађаја и обим штете који се њиме изазива. Гледано са аспекта отказа техничких система у рударству може се рећи да се ризиком сматра вероватноћа појаве одређене врсте отказа унутар техничког система (технолошког процеса, машине, подскопа или елемента) и да ће таква врста отказа оставити негативне последице на процес експлоатације, животни век машине, запослене и животно окружење.

### 2.1.2. Анализа ризика

Основу за анализу ризика и поузданости чине емпиријски подаци праћења рада посматраних техничких система. На основу квалитетно прикупљених података могуће је извршити анализу и одредити нивое опасности и критична места у систему.

Системско коришћење информација како би се идентификовали извори и да би се проценио ниво ризика у (ISO GUIDE 73, 2009) дефинише се као анализа ризика. У објашњењу се каже да анализа ризика даје основе за оцену нивоа ризика, третман и прихватљивост ризика. Информације које се користе при анализи ризика могу бити статистички подаци, теоретска анализа, експертска мишљења итд.

Анализа ризика састоји се од одређивања последица и њихове вероватноће појављивања за идентификовани ризични догађај, узимајући у обзир постојање или непостојање ефикасне контроле. Последице и њихове вероватноће се затим комбинују да би се утврдио ниво ризика. Анализа ризика обухвата и разматрање узрока и извора ризика, последице ризичног догађаја и вероватноћу да може доћи



до те последице и фактора који утичу на догађај. Догађај може имати вишеструке последице и може да утиче на вишеструке циљеве. Анализа ризика обично укључује и процену опсега потенцијалних последица које могу настати из једног догађаја, ситуације или околности, као и њихових повезаних вероватноћа са циљем да се измери ниво ризика (IEC 31010/FDIS, 2009).

### **2.1.3. Процена ризика**

Суштина процене ризика јесте да се утврди ниво ризика и да се њиме управља. Ако је ниво ризика неприхватљив треба предузети одређене мере како би се ризик свео на ниво прихватљивог. Наравно, не постоји технички систем који функционише и у коме је ниво ризика услед отказа појединих делова система једнак нули. У свим техничким системима који су укључени у технолошки процес, постоји ризик од отказа дела или целог система, који може изазвати повреде запослених, губитке услед застоја и финансијске издатке за довођење система у радно стање. Такође, системи у којима се користе штетне и опасне материје, могу негативно утицати и на животну средину.

### **2.1.4. Управљање ризиком**

Квалитетно и стручно управљање ризицима обезбеђује јасан стратешки приступ идентификацији ризика, контроли и смањењу нивоа негативних ефеката ризичног догађаја. Таквим приступом стварају се услови да се одреди приоритет и предузму одговарајуће мере у одговарајућем делу система, како би се смањила штета и финансијски губици. Управљање ризиком има и друге предности за организације, укључујући чување ресурса, имовине, прихода и људи. Управљање и контрола ризика у техничким системима је сложен процес и садржи велики скуп мера и активности. Менаџмент ризиком је нова дисциплина развијена као потреба да се управља ризицима, не само у технолошким процесима, већ и у саобраћају, економији, финансијском сектору и др. Развијен је читав низ метода и поступака за оцену и управљање ризиком.

Према (Joy, 2004), за приступ управљања ризиком карактеристичне су четири фазе:

1. идентификација ризика – идентификовање опасности или ситуација које имају потенцијал да изазову штету или губитке. Понекад се зову и нежељени догађаји;
2. анализа ризика – анализа обима ризика који може проистећи из нежељеног догађаја;
3. управљање ризиком – одлучивање о одговарајућим мерама за смањење и контролу неприхватљивог ризика;
4. имплементација, контролна мерења и одржавање пројектованог нивоа ризика.

Аустралијски стандард о управљању ризиком (AS/NZS 4360, 1999) даје кораке које треба следити при управљању ризиком:

- дати објашњења проблема,
- идентификовати ризике,
- анализирати ризике,
- процена и приоритизација ризика,
- третирање ризика и
- мониторинг и контрола ризика.

Од горе наведених фаза управљања ризиком најбитније је препознати потенцијалне опасности, односно пронаћи критична места у систему, и утврдити њихов ниво ризика од отказа тог дела или целог техничког система. Од тога зависе и мере које ће се предузети за смањење ризика критичних делова.

Аутори (Radosavljević i dr., 2009) указују на потребу за управљањем ризицима у рударству, аналитичким и методолошким приступима третирања ризик у циљу идентификације, смањења и константног праћења параметара ризика. Циљ и потреба за истраживањем везано за анализу, смањење и праћење ризика, практично се за рударство препознаје кроз:

- Развој методологије за анализу процеса и система;

- Развој критеријума и процеса за увођење стандарда који би били од помоћи при оцени ризика техничких система;
- Развој методологије за оцену аспеката утицаја свих идентификованих деструктивних потенцијала технолошких комплекса и
- Оцену постојећих стања система или процеса, као и оцену потребе за делимичним или потпуним редизајнирањем и унапређењем система.

Према ([Radosavljević i dr., 2009](#)) резултати развоја и примена метода за оцену ризика у домаћој пракси, могу се окарактерисати тиме да постоје прописи који креирају добре услове за промену постојећег стања позиционирања, управљања и праћења ризика са аспекта рударске индустрије и примену стандардизованих метода и модела заједно са добрим искуством других.

При управљању ризиком треба се осврнути и проучавати ризик како са економског аспекта, тако и са аспекта заштите запослених од изложености опасностима ([Niczyporuk, 1997](#)). Према поменутиим ауторима, ризик се у основном облику разматра као комбинација веоватноће настанка догађаја и ефеката, односно последица, а ниво ризика рачуна као производ вероватноће догађаја и губитака приказаних кроз економску вредност. Ограничења ризика односно границе прихватљивог ризика за поједине врсте повреда и ниво ризика одређује се зависно од вероватноће појављивања односно од учесталости акцидентних ситуација за одређени временски период. За процес анализе ризика аутори предлажу следеће елементе: идентификација опасности, процена ризика (процена вероватноће појављивања и процена висине губитака), процена нивоа ризика, управљање ризиком (елиминација ризика, смањење ризика, задржавање нивоа ризика, пренос ризика) и праћење ризика – мониторинг. Према ([Grassi i dr., 2009](#)) најважнија активност при процени ризика јесте задатак оцене нивоа ризика, али упркос важности, ни националним ни међународним стандардима и регулативама није дефинисана стандардна процедура за оцену истог, остављајући компанијама слободу да усвоје приступе њима прихватљивим. Као последица, компаније се обично одлучују за примену једноставних метода, уз помоћу којих често не постоји могућност сагледавања свих важних аспеката, нити се дају прецизне оцене опасних ситуација.

Неминовно се може закључити да процес управљања ризиком представља незаобилазни поступак који мора паралелно да се позиционира са свим осталим активностима у једном предузећу. У зависности од делатности којом се предузеће бави, неопходно је да се развије читав низ процедура усаглашених са важећим стандардима из предметне области које чине алгоритам управљања ризиком.

У том смислу, рударство представља једну од најкомплекснијих грана индустрије с обзиром на сложеност технологије и коришћене механизације, трошкове непланираних застоја, радно окружење у којем је позициониран технолошки процес.

Специфичност радних услова у којима се у рударству ради и међуодноса између машине и радне и животне средине као и утицај нежељених отказа на даљу функционалност машине и целог техничког система намеће потребу за сталним праћењем и управљањем ризиком. Применом и комбинацијом постојећих и развојем нових метода за процену ризика и њиховом имплементацијом у рударске техничке системе ствара се повољна атмосфера за управљање ризицима.

## **2.2. Поузданост техничких система**

Поузданост је вероватноћа, на одређеном нивоу поверења, да ће систем успешно обавити функцију за коју је намењен, без отказа и у оквиру задатих граница функционисања, током траженог времена; када се при томе користи на прописан начин. Поузданост се изражава као број између 0 и 1 или између 0 и 100 %.

Поузданост се може представити као однос између броја успешно обављених задатака система у односу на укупан број задатака којима је систем изложен. У случају да за било који тренутак времена систем иза себе има све успешно обављене задатке, поузданост је 1, односно 100 %.

Машине и технички системи који се данас примењују у рударству након неког периода од увођења у процес губе своју функционалност, делимично или

потпуно, због отказа појединих елемената. Последице отказа су застоји у производњи, губици који се при томе јављају, трошкови замене и друго. Да би такав сложен технички систем радио дужи временски период без застоја, неопходно је предузети опсежне мере на истраживању, анализи и планирању квалитетног систематског одржавања да би се тај систем одржао у функционалном стању дужи временски период. Прекид рада једног елемента или дела система најчешће је праћен прекидом рада производног процеса. Сваки застој у производњи носи са собом одређене трошкове, који у већини случајева нису занемарљиви, због прекида у производњи и губитака услед кашњења са прозводним планом. Теорија поузданости развијена је са циљем да се повећа период времена за који ће машина бити у раду, тј. у функционалном стању, кроз анализу и праћење техничког система у раду и евидентирање података о отказима. Према (Milčić, 2005; Ivković, 1997; Majdandžić, 1999) прва испитивања поузданости започела су прикупљањем података о отказима појединих елемената авиона тридесетих година прошлог века.

Сви технички системи су пројектовани да успешно обављају своју функцију неки временски период без отказа. За систем који ради без отказа и застоја каже се да је поуздан систем. Уобичајна дефиниција поузданости која се може наћи у литератури гласи: поузданост је вероватноћа, на одређеном нивоу поверења, да ће систем успешно, без отказа, обавити функцију за коју је намењен, унутар специфицираних граница перформанси, у току специфицираног времена трајања задатака, када се користи на прописани начин и у сврху за коју је намењен, под специфицираним нивоима оптерећења, узимајући у обзир и претходно време коришћења система. Сличну, само краћу дефиницију, дао је и (Ivković, 1997): поузданост је вероватноћа, на одређеном нивоу поверења, да ће систем успешно обавити функцију за коју је намењен, без отказа и унутар спецификованих перформанси, узимајући у обзир претходно време коришћења.

Аутор (Ramović, 2005) даје дефиниције из стандарда појединих земаља. На пример:

- Према руском стандарду (ГОСТ) поузданост се дефинише као својство објекта да испуњава задате функције и одржава вредност

експлоатационих параметара током времена у задатим границама, које су одређене задатим режимима и условима коришћења, техничког опслуживања, ремонта, складиштења и транспорта.

- Према америчком MIL стандарду, под поузданошћу се подразумева вероватноћа да ће неки предмет своју наменску функцију обављати у датом временском интервалу, под задатим условима.

- Немачки стандард DIN дефинише поузданост као способност неког производа или робе да задовољи, у току примене, условљене захтеве који се постављају у погледу понашања или одржавања њихових особина за дужи временски период.

(Mijajlović i Milčić, 2009) посебну грану технике, која се бави поузданошћу називају инжењерством поузданости и према њима поузданост је:

- мера остварења намене неког система у односу на време;
- капацитет елемента или система да се понаша као што је пројектован;
- отпор система појави отказа;
- способност елемента или система да не откаже непоправљиво;
- вероватноћа безотказног рада елемента или система.

Према (Barabady, 2005) поузданост производа представља меру способности да изврши захтевану функцију у предвиђеном времену и окружењу. Поузданост је значајан фактор у планирању, дизајнирању и раду инжењерских система. Као што се број и комплексност рударске опреме повећава, утицај отказа опреме постаје све више критична, непланирани откази могу да проузрокују знатно више трошкове поправке од планираног одржавања или поправке. Од још веће важности је губитак производње повезан са отказом опреме. Један од начина да се ублажи утицај отказа је да се побољша поузданост опреме. Поузданост је показатељ учинка укупне опреме.

Поузданост се може дефинисати на више начина, а суштина је да поузданост представља вероватноћу да ће систем успешно обавити задату функцију, без отказа. Са економске тачке гледишта поузданост је мера за

смањење трошкова одржавања система. Основни циљ система поузданости, према (Distefano i Puliafito, 2009), јесте формирање модела који би представљао време до отказа посматраног система, заснован на расподели времена отказа делова, подсклопова и склопова из којих се систем састоји.

Потреба за одржавањем техничких система проистиче из њихове подложности отказивању у току њихове експлоатације, што у суштини представља реално обележје свих механичких система. Инжењерство одржавања техничких система у својој делатности посебно узима у обзир теорију поузданости.

Теорија поузданости развијена је за потребе војне индустрије током II светског рата. Важност теорије поузданости и инжењерства одржавања техничких система са система наменске индустрије (првенствено ваздухопловство и електронски системи) пренет је и на друга подручја технике (аутомобилска индустрија, енергетика и процесна техника, производни системи, транспортни системи, механизација у областима индустрије) (Papić i Milovanović, 2007).

### **2.2.1. Поузданост техничких система у рударству**

Техничким системом се може сматрати скуп елемената, уређаја или машина повезаних у логичку целину који обављају пројектовану функцију. У рударству се користи читав низ техничких система који своју примарну функцију обављају у домену експлоатације, прераде минералне сировине, транспорта итд. Машине које се данас примењују у рударству су доста сложене по својој конструкцији па се могу сматрати засебним техничким системима.

Отказом техничког система сматра се престанак обављања задате функције за коју је пројектован. Откази према (Ivković, 1997; Milčić, 2005), могу бити потпуни и делимични. Код потпуних отказа технички систем престаје са радом, док код делимичних отказа не долази тренутно до престанка са радом већ се постепено смањују пројектоване радне карактеристике система за обављање пројектоване функције. Потпуни и делимични откази техничких система према

брзини настајања могу бити изненадни и постепени, где се, према [Milčić \(2005\)](#), изненадни откази категоришу као катастрофални, а постепени као деградациони.

Технички систем или елемент техничког система који се након отказа не може поправити назива се непоправљивим, док делове техничког система којима се након отказа може вратити функционалност називамо поправљивим системима. Технички системи код којих функционалност опада са временом рада могу се категорисати као временски зависни системи. У колико систем обавља пројектовану функцију независно од дужине времена рада, такви системи се могу категорисати као временски независни системи.

Као један од основних захтева код рударских машина које раде у континуалним системима експлоатације поставља се што мањи број непланираних застоја. Овакве застоје обично изазивају откази критичних елемената у систему и у највећем броју случајева за последице имају изражену новчану димензију. У том смислу врло је битно да се постави квалитетан дијагностички систем надзора како би се идентификовали делимични откази који наговештавају застој и како би се формирала временска слика стања која даје зависност интензитета отказа и времена рада, односно дефинише вероватноћу да се појави отказ у догледном времену.

### **2.2.2. Показатељи поузданости и одређивање поузданости**

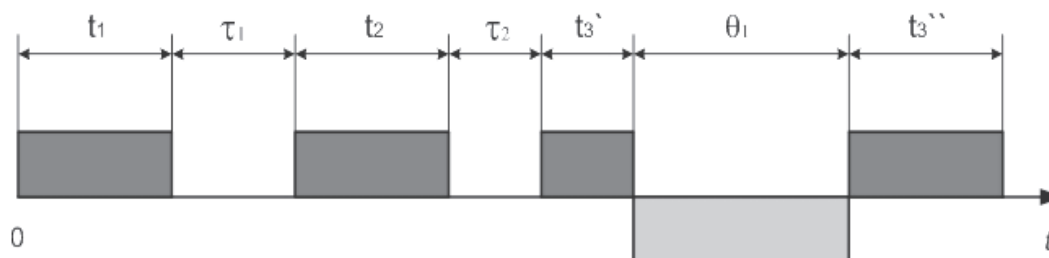
Одређивање поузданости се заснива на процени и истраживању најкритичнијег елемента, односно слабе тачке у том систему, кроз постављање утицајних основних и допунских критеријума истраживања и утврђивање ранга критичних елемената техничког система и њихово сумирање (утврђивање и упоређивање преко методе рангирања). Такође, одређивање поузданости се заснива на оптимизацији начина обезбеђења поузданости уз анализу њихових унутрашњих и спољашњих веза, анализи узајамне повезаности захтева за поузданошћу делова, односно система у целини и укупних трошкова за њихово обезбеђење, као и прогнози оптималне поузданости сложених техничких постројења.



Данашњу етапу развоја и експлоатације сложених техничких система карактерише повећан степен сложености како саме технолошке шеме тако и конструкције појединих склопова и елемената опреме, што има за последицу појаву већег броја питања везаних за обезбеђење и пораст поузданости система у целини. Од рада и понашања при експлоатацији сваког од елемената система зависи и крајња радна повезаност и способност система у целини. Полазећи од применљивих метода за ове анализе и критеријума једноструких отказа, могуће је поузданост сложених техничких система одредити кроз њихово рашчлањивање на саставне елементе, уз одређивање одговарајућих параметара поузданости и расположивости коришћењем статистичке анализе и уочавањем и дефинисањем међусобних веза или утицаја појединих елемената на систем у целини.

Према (Mijajlović i Milčić, 2009), теорија поузданости се базира на теорији вероватноће и математичке статистике и третира бинарно стање у коме елементи могу да се нађу – у стању рада или у стању отказа. Међутим, код поузданости машина не може се сагледавати само бинарно стање, већ треба укључити и међустања за које је најбољи пример делимичан отказ система. Према томе, одређивање поузданости како елемената, тако и система, захтева експлицитне вредности почетка рада, времена у раду, тренутак отказа итд., односно теорија поузданости даје онолико прецизне вредности колико су прецизни подаци који се користе. Проблем који се инжењерима поузданости намеће, јесте „статистички материјал“ – односно недостатак података неопходних за одређивање поузданости.

Анализа понашања техничког система у погледу поузданости најбоље се приказује временском сликом стања (Слика 2.1.), 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, нпр. због радова превентивног одржавања.



Слика број 2.1 Временска слика стања (Ivković, 1997)

Теорија поузданости се бави интердисциплинарном применом вероватноће, статистике и стохастичког моделирања, у комбинацији са инжењерском проницљивошћу у конструисању и научним схватањем механизма грешака, а у циљу изучавања различитих аспеката поузданости (Lazarević, 2006). Према (Lazarević, 2006; Mijajlović i Milčić, 2009), задаци теорије поузданости су:

- моделирање поузданости,
- анализа и оптимизација поузданости,
- инжењеринг поузданости,
- наука о поузданости,
- технологија поузданости и
- управљање поузданошћу.

Аутори (Kumar i dr., 1989) радили су на истраживању и одређивању поузданости дизел утоварно – транспортних машина у подземној експлоатацији. Према ауторима, на поузданост рударске опреме утичу различити фактори, међу којима истичу:

- стварни дизајн опреме, поузданост која се може постићи условљена је одговарајућим дизајном примењене опреме;
- колико добро се опрема одржава, свака планска или непланска оправка, квалитет оправке има утицаја колико ће машина радити пре следеће оправке. Овде се узима у обзир и квалитет израде и замене резервних делова;
- радни услови, укључују окружење и оперативне задатке.

Аутор (Barabady, 2005) у свом раду испитује поузданост и погодност одржавања дробиличног постројења и као главне предмете истраживања наводи:

- повећање разумевања модела природе отказа комплексне рударске опреме и
- процену поузданост и погодност одржавања дробиличног постројења у квантитативном смислу и откривање критичних подсистема који захтевају даље унапређење кроз ефективно одржавање.

Сврха истраживања поменутог аутора је побољшање поузданости рударских машина и формирање политике поузданости која је заснована на одржавању. Аутор предлаже да, пре анализе података о отказима, постојећи систем подели на подсистеме да би се откази могли категорисати. Такође наводи да се поузданост и карактеристике погодности одржавања делова система могу респективно одредити кроз анализу времена између отказа и времена потребног за отклањање квара. Одређивање поузданости и погодности одржавања дробиличног постројења врши кроз: разумевање система и идентификацију и кодирање подсистема и отказа у њима, сакупљање, сортирање и класификацију података између отказа за сваки подсистем и отказ. У следећој фази ради анализу података за верификацију и оцену расподеле, одабир одговарајуће функције расподеле случајне променљиве за теоретски срачунату вероватноћу, процену параметара поузданости и погодности одржавања сваког подсистема и одговарајућу функцију расподеле и идентификацију критичних подсистема и отказа.

У свом раду (Tang, 2001) истиче да је поузданост постала кључни фактор у дизајнирању и раду великих, сложених и скупих данашњих механичких система. Према аутору, највећу улогу у анализи поузданости система има процена поузданости компонената система.

Аутори (Saleh i Marais, 2006) наглашавају да су подаци о анализама поузданости и ризика постале важне информације при доношењу одлука у процесу пројектовања техничких система. Предвиђање поузданости се ради са циљем да се докаже да ли компонента или систем задовољава постављене захтеве поузданости система. На основу анализе поузданости могу се утврдити мање

поуздани делови система, и на основу тога деловати да би се остварили постављени критеријуми у погледу поузданости, односно како би се побољшала поузданост елемента као дела комплекса, а са тим и поузданост целог система. Проблеми поузданости система могу се, према њима, издвојити у две области: предвиђање поузданости и побољшање поузданости или компонената или целог система.

За потребе анализе поузданости као интегралне компоненте ризика развијене су бројне методе. Kim (2011) истиче да су најзаступљеније анализа стабла отказа (*FT*), блок дијаграм поузданости (*RBD*), графикони поузданости (*RG*), Марковљеви ланци, Монте Карло симулација и др. Све методе се генерално могу поделити на квантитативне и квалитативне. Квантитативне методе базирају се на поступцима математичке статистике и теорије вероватноће. Најзаступљеније су Булова теорија и теорија Маркова. Квалитативне методе имају другачији приступ и њиховом применом може се систематски приступити истраживању последица отказа. У ову групу спадају *FMEA*, *FMCEA* и анализа стабла отказа (*FTA*).

Као један од крајњих циљева анализе поузданости је утврђивање теоријског закона расподеле случајне променљиве, времена у раду техничког система. Прецизније речено, највиши циљ је да се установи који од познатих теоријских закона расподеле највише одговара емпиријским подацима. Неопходно је прикупити податке о понашању система у одређеном временском периоду, да ли је било отказа, колико често и каква је штета нанета систему, време трајања застоја итд. Основни параметри који су потребни за анализу поузданости јесу подаци о отказима техничких система, машина или склопа у оквиру машине, затим подаци о временима колико је машина била ван функције и време потребно да се машина доведе у претходно – радно стање након отказа. Карактеристике поузданости елемената или система у целини одређују се на основу емпиријских података о временима појављивања отказа. Основни показатељи ризика отказа машина су: учесталост појављивања отказа, вероватноћа појаве отказа, вероватноћа рада система без отказа и интензитет отказа. Сви ови показатељи су у функцији од времена. Прецизније речено, циљ је

да се установи који од познатих теоријских закона расподеле највише одговара емпиријским подацима. Неопходно је прикупити податке о понашању система у одређеном временском периоду, да ли је било отказа, колико често и каква је штета нанета систему и околини, време трајања застоја итд. На основу квалитетно прикупљених података могуће је извршити анализу и одредити нивое опасности и критична и опасна места у систему.

#### 2.2.2.1. Показатељи поузданости

Основни показатељи поузданости су функција поузданости, функција вероватноће отказа, функција густине отказа и функција интензитета отказа.

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

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (2.1)$$

Поузданост (вероватноћа рада без отказа) добија се експериментом који се врши над  $N$  једнаких елемената, под истим условима; после времена  $t$  у отказу ће бити  $N_1$  елемената, док ће осталих  $N_2 = N - N_1$  бити још у раду; поузданост се на основу тога изражава као:

$$R(t) = \frac{N - N_1(t)}{N} = \frac{N_2(t)}{N}, \quad (2.2)$$

а вероватноћа отказа, у виду функције отказа, као:

$$F(t) = \frac{N_1(t)}{N} \quad (2.3)$$

$$\text{односно: } F(t) + R(t) = \frac{N - N_1(t)}{N} + \frac{N_1(t)}{N} = 1 \quad (2.4)$$

Диференцирањем наведеног израза по времену, добија се:

$$\frac{dF(t)}{dt} + \frac{dR(t)}{dt} = 0 \quad (2.5)$$

- при чемуј е:  $\frac{dF(t)}{dt} = f(t)$  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.

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

$$f(t) \cong \frac{N_1(t)}{\Delta t \cdot N}, \quad p(t) \cong \frac{N_2(t)}{\Delta t \cdot N} \quad (2.6)$$

- где је  $\Delta t$  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:

$$R(t) = \int_0^{t_1} p(t) dt \quad (2.7)$$

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

$$F(t) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \quad (2.8)$$

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:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}, \quad \text{појава стања у отказу, } s^{-1} \quad (2.9)$$

За коначне промене стања биће:

$$\lambda(t) \cong \frac{N_2(t) - N_2(t + \Delta t)}{\Delta t \cdot N_2(t)} \quad (2.10)$$

Функција расподеле времена у отказу се одређује на основу теорије вероватноће.

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. Вејбулова двопараметарска расподела јесте једна од најзаступљенијих расподела у теорији поузданости при чему је:

$t$  – представља временски период за који се рачуна поузданост ,

$\beta$  – параметар облика, а

$\eta$  – параметар размере.

Параметре Вејбулове расподеле могуће је одредити графички, преко папира вероватноће ове расподеле, или аналитички.

Функција поузданости Вејбулове расподеле:

$$R_{(t)} = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.11)$$

Функција отказа Вејбулове расподеле:

$$F_{(t)} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - R_{(t)} \quad (2.12)$$

Функција густине отказа Вејбулове расподеле:

$$f_{(t)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.13)$$

Интензитет отказа Вејбулове расподеле:

$$\lambda_{(t)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.14)$$

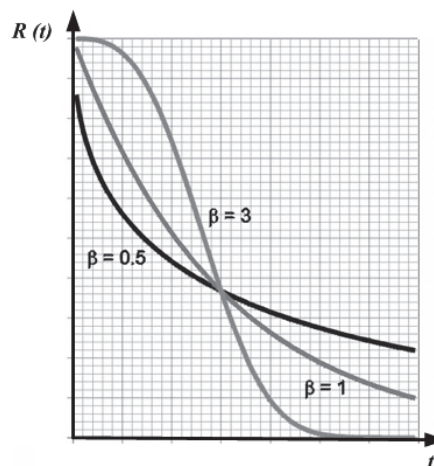
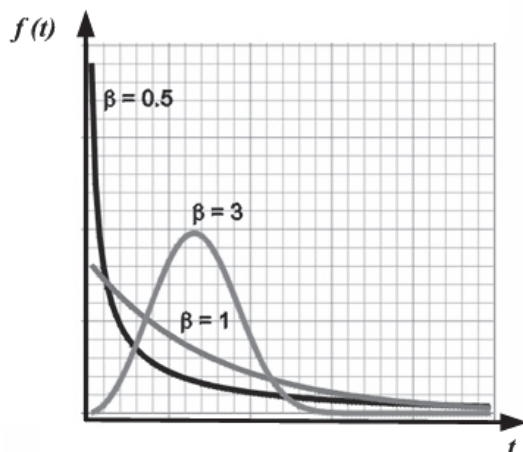
Средња вредност Вејбулове расподеле:

$$\bar{T} = \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.15)$$

где је:

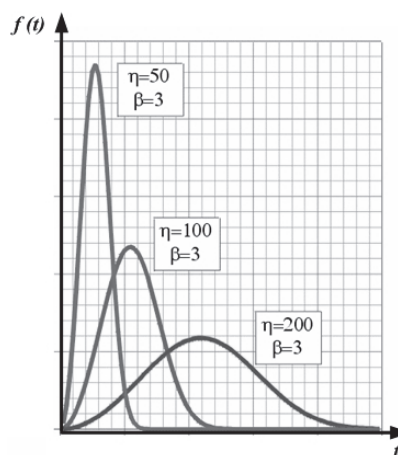
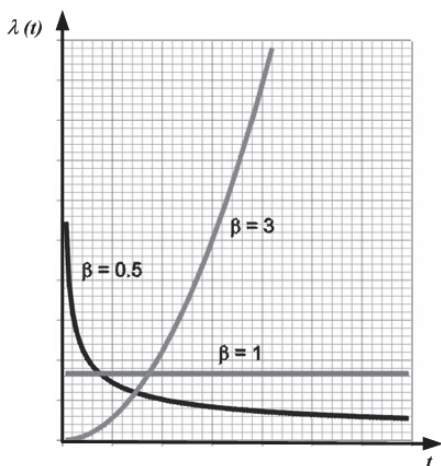
$\Gamma$ - гама функција .

Понашање тока криве Вејбулове расподеле у зависности од параметара расподеле  $\beta$  и  $\eta$  приказано је на сликама 2.2. до 2.5.



**Слика број 2.2** Понашање Вејбулове расподеле релативних фреквенци  $f(t)$  у зависности од вредности параметра  $\beta$  ([www.weibull.com](http://www.weibull.com))

**Слика број 2.3** Утицај параметра облика  $\beta$  на функцију поузданости  $R(t)=1-F(t)$  ([www.weibull.com](http://www.weibull.com))



**Слика број 2.4** Утицај параметра облика  $\beta$  на функцију интензитета отказа ([www.weibull.com](http://www.weibull.com))

**Слика број 2.5** Понашање Вејбулове расподеле релативних фреквенци  $f(t)$  у зависности од вредности параметра  $\eta$  ([www.weibull.com](http://www.weibull.com))



## 2.2.2.2. Структуре система у погледу поузданости

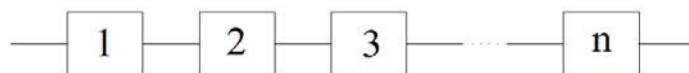
Елементи техничких система или цели технички системи могу бити узајамно повезани у функционалну целину. Веза може бити редна, паралелена и комбинована, што је најчешћи случај. Поред ових, везе могу бити и квази редне и квази паралелне када услед отказа не долази до прекида рада система већ систем наставља да ради са погоршаним радним карактеристикама (Milčić, 2005).

Код редне везе сви елементи морају да буду у функционалном стању да би систем радио, застој на једном елементу значи аутоматски застој целог система. Пример за редно везане системе може бити БТО систем откопавања, транспорта и одлагања на површинским коповима угља (Слика 2.6).

Код паралелне везе елементи система су независни (Слика 2.7). Овакав начин повезивања представља начин да се постигне висока поузданост (Ivković, 1997). Пример за паралелно повезане системе јесте пумпно постројење у коме су инсталирана три или четири пумпна агрегата. Ако су бар два у истовременом раду, застој на једном агрегату не утиче на рад друге пумпе. Паралелни системи су у највећем броју реалних случајева синоним за резервне елементе.

Поузданост  $n$  редно везаних система може се одредити, на следећи начин:

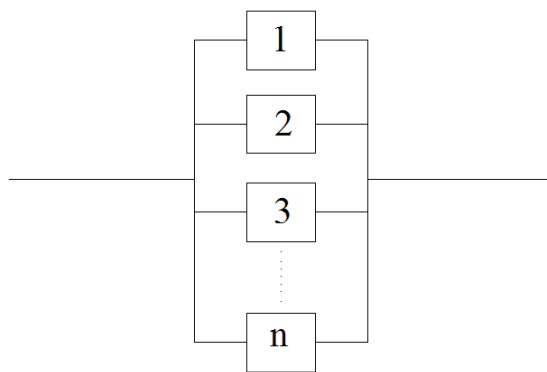
$$R_{(t)} = R_{1(t)} \cdot R_{2(t)} \cdot \dots \cdot R_{n(t)} \quad (2.16)$$



**Слика број 2.6** Систем са редном везом елемената (Milčić, 2005).

Поузданост  $n$  паралелно везаних система може се одредити на следећи начин:

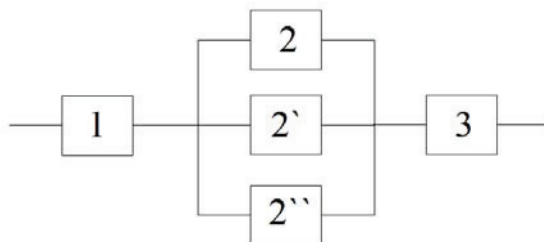
$$R_{(t)} = 1 - (1 - R_{1(t)}) \cdot (1 - R_{2(t)}) \cdot \dots \cdot (1 - R_{n(t)}) \quad (2.17)$$



Слика број 2.7 Систем са паралелном везом елемената (Milčić, 2005).

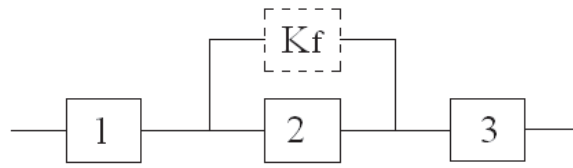
Поузданост код комбиноване везе се своди на редну везу, прво се одређује поузданост за паралелно везане елементе па се онда множи са поузданошћу редно везаних елемената, за пример на слици 2.8 поузданост се одређује према обрасцу:

$$R_{(t)} = R_{1(t)} \cdot [1 - (1 - R_{2(t)}) \cdot (1 - R_{2'(t)}) \cdot (1 - R_{2''(t)})] \cdot R_{3(t)} \quad (2.18)$$



Слика број 2.8 Пример система са комбинованом везом елемената (Milčić, 2005).

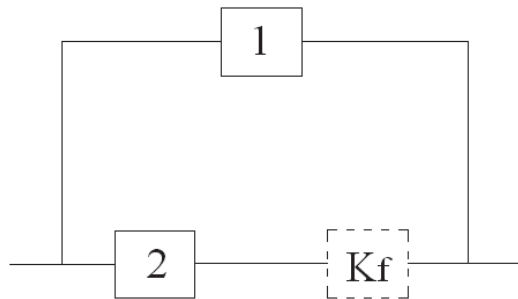
Квази редна и квази паралелна веза су као теоријски модели развијени у радовима професора Тодоровића (Todorović, 1993) и представљају врло честе случајеве у техничким системима. Код система са редном везом елемената чест је случај да отказ једног или више елемената не значи и аутоматски отказ система, већ систем наставља да ради са погоршаним функционалним карактеристикама. Таква стања система могу се описати квази редном везом елемената (Слика 2.9). Уводи се фиктивни елемент система  $K_f$  са становишта погоршања радних карактеристика (Milčić, 2005).



Слика број 2.9 Пример система са квазиредном везом елемената (Milčić, 2005).

Поузданост квазиредне везе елемената, за дати пример (Слика 2.9) може се написати у облику:

$$R_{(t)} = R_{1(t)} \cdot [1 - (1 - R_{2(t)}) \cdot (1 - K_f)] \cdot R_{3(t)} \quad (2.19)$$



Слика број 2.10 Пример система са квазипаралелном везом елемената (Milčić, 2005).

Као и код квазиредне везе елемената, након отказа једне гране систем не престаје са радом, већ ради са смањеним перформансама за фактор  $K_f$ . За пример на слици 2.10, поузданост система је:

$$R_{(t)} = 1 - (1 - R_{1(t)}) \cdot (1 - R_{2(t)} \cdot K_f) \quad (2.20)$$

### 2.3. Конвенционалне методе за праћење и процену ризика и његових парцијалних чиниоца (поузданост, ефекат, детектабилност)

Процена ризика је сложен задатак и захтева додатно ангажовање људских и финансијских ресурса. Циљ процене ризика јесте да се утврде слаба и критична места у систему кроз анализу показатеља ризика да би се на основу резултата

анализе спровеле корективне мере у функцији смањења ризика на прихватљив ниво или ублажиле негативне последице које могу бити изазване.

Методе које су развијене за процену ризика могу се разврстати на квалитативне и квантитативне. Квалитативне методе се примењују када су расположиви нумерички подаци по којима се врши процена ризика, док се квантитативне методе заснивају на подацима о понашању система у ранијем периоду рада. Велики проблем код примене квантитативних метода оцене јесте недостатак поузданих и прецизних података. Из тих разлога све чешћа је примена метода које укључују експертску оцену. Предност метода које се заснивају на експертској оцени јесте што омогућавају формирање модела оцене на основу постојећих непотпуних и непрецизних података.

Аутори ([Marhavidas i Koulouriotis, 2012](#)) дају основну класификацију метода за процену ризика на основу стручне литературе. Практично све методе процене ризика укључују детерминистички и стохастични приступ процени ризика. Према ауторима, детерминистичке методе су подељене у три категорије: квалитативне, квантитативне и хибридне (квалитативне – квантитативне, полу – квантитативне), стохастичне методе укључују класични статистички приступ и моделирање прогнозе акцидента. ([Grayson i dr., 2009](#)) деле методе за процену ризика на квалитативне и квантитативне. Према овим ауторима, квалитативне захтевају добро оцену искусних људи и често је субјективна оцена појединаца, док квантитативна анализа има предност због коришћења постојећих статистичких података за идентификацију могућности појављивања отказа и оцену последица отказа на објективнији начин. Оцену ризика сагледавају са аспекта финансијских последица које изазивају откази.

Генерално не постоји конвенционална методологија приступа процени ризика за рударске техничке системе. Избор модела процене ризика зависи од склоности лица која се баве овом проблематиком одређеним поступцима. Према ([Radosavljević, 2010](#)), најзаступљеније методе за процену ризика у свету су: FMEA-Failure Mode and Effects Analysis (13%), RA-Risk Assessment (19%), PHA Preliminary Hazard Analysis (12%), WI-what if (6%), FTA-Fault tree Analysis (15%),

HAZOP-Hazardous Operations (7%), MORT-Management Oversight Risk Tree (8%), CL-Checklists (4%), S/Kstandards/ Codes (2%), OM-Other methods (1%).

У овом делу биће укратко поменуће неке од стандардних процедура за оцену ризика и поузданости.

### 2.3.1. FMEA. Анализа начина отказа и њихових ефеката

Анализа начина отказа и њихових ефеката *FMEA* (Failure mode and effects analysis) представља методу квантитативне анализе начина отказа. *FMEA* представља системски процес за идентификацију потенцијалних деструктивних стања система са тежњом да се потенцијални откази уоче и да се елиминишу или пак да се минимизирају њихове последице које могу изазвати. Циљ примене *FMEA* анализе у управљању ризицима огледа се у превентивном деловању како би се спречила појава отказа и развој адекватног поступка деловања уколико отказ, без обзира на предузете мере, ипак настане.

Ова методологија развијена је за потребе америчке војне индустрије. Први пут метода се спомиње у документу MIL-P-1629 1949. године под називом „Процедура за извођење анализе начина, последица и критичности отказа“ (*Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis*) (Milčić, 2005).

Према (Lipol i Naq, 2011) *FMEA* методологија дизајнирана је са циљем да се њеном применом:

- препознају потенцијални режими и врсте отказа,
- процени ризик повезан са постојећим врстама отказа и приоритетним питањима за корективне акције и
- идентификују и спроведу корективне мере за решавање најтежих проблема.

Први корак код примене ове методе јесте идентификација свих могућих деструктивних стања узрока и утицајних фактора. Када су утврђени сви могући начини отказа приступа се идентификацији и анализи стварних и потенцијалних

ефеката отказа. Анализа критичности отказа, према (MIL – STD – 1629A, IEC 60812 1995; Bowles i Pelaez, 1995; Tay i Lim, 2010; Zhang i Chu, 2011; Yang i dr., 2011), обавља се на основу три показатеља: озбиљности отказа и величина последица (**S**), учесталости појављивања отказа (**O**) и могућности детекције потенцијалних отказа (**D**). Вредности ових показатеља дају се као бројчане вредности на скали од 1 до 10. На основу ова три показатеља рачуна се **RPN** (Risk Priority Number) који представља производ ова три показатеља.

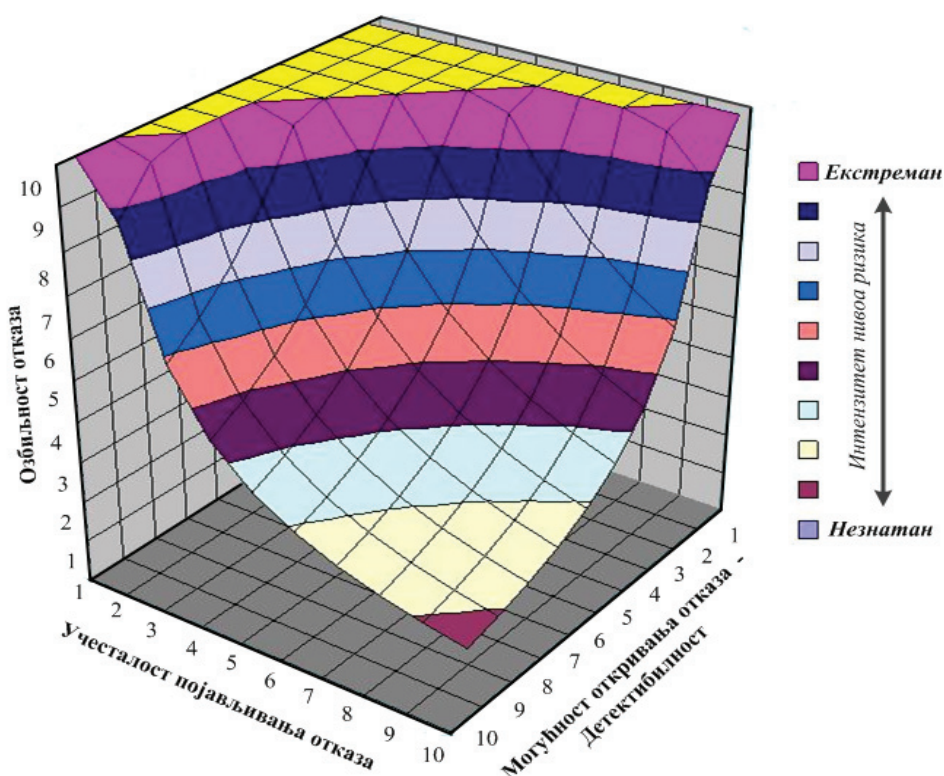
$$RPN = S \times O \times D \quad (2.21)$$

где је:

*S* – озбиљност отказа (severity)

*O* – учесталост појављивања отказа (occurrence)

*D* – могућност благовременог откривања отказа (detectability)



Слика број 2.11 Графички приказ вредности **RPN** – а (Phil Stunell's Blog, 2012)

Када се одреди **RPN** треба категорисати граничне вредности за степен нивоа ризичности отказа и на основу добијене вредности за **RPN** могу се

предузети неопходне мере за смањење нивоа ризика на прихватљиву вредност за сваку врсту отказа. На пример, за три показатеља ризика (**S**), (**O**) и (**D**), чије су вредности на скали од 1 до 10, за које су одређене граничне вредности ризика класама: 0-200 за незнатан, 201-400 за класу низак, 401-600 за класу умерен, 601-800 за класу висок и 801-1000 за класу екстреман, **RPN** се може графички приказати као на слици 2.11 где су различитим бојама обележени нивои ризика од незнатног до екстремног.

Ова метода је стандардизована најпре за потребе Америчке војне индустрије документом MIL-STD 1629A из 1974. године, а касније међународним ISO-IEC стандардима (IEC 60812) и (IEC 60300-3-9).

### **2.3.2. FMECA. Анализа начина отказа, последица и критичности отказа**

**FMECA** (Failure mode, effects and criticality analysis), у преводу Анализа начина отказа, последица и критичности отказа, представља детаљнију верзију **FMEA** методе. Поред начина и ефеката обухвата и анализу критичности. Представља најзаступљенију методу за анализу поузданости и ризика. Суштина методе **FMECA** састоји се у препознавању и спречавању познатих и потенцијалних проблема код техничких система у смислу смањења отказа. За анализу се узимају три показатеља при утврђивању приоритета повезаних са отказима техничких система као и код **FMEA** методе: вероватноћа појаве отказа, озбиљност отказа и могућност откривања отказа. На основу **FMECA** методе могуће је системски утврдити потенцијални утицај појединих отказа на успешно функционисање система, сигурност оператера, резултате као што су поузданост, погодност одржавања и ефективност.

За разлику од **FMEA** методе **FMECA** може се применити и као квалитативна и као квантитативна оцена ризика. Квалитативна оцена ризика креирањем матрица отказа и упоређивањем за сваку врсту отказа омогућава стварање јасне слике о нивоу ризика за сваку врсту отказа и указује на приоритет у спровођењу корективних мера за смањење ризика ([www.weibull.com](http://www.weibull.com); Lipol i Нај, 2011).

### 2.3.3. FTA. Анализа стабла отказа

Анализа стабла отказа –*FTA* (Fault Tree Analysis) представља једну од основних метода за анализу поузданости машинских система. У суштини, *FTA* представља систематску анализу догађаја који могу довести до отказа система (Ćatić, 2004). Насупрот методи *FMEA*, код које се полази од врсте отказа у равни конструкционих делова, код стабла отказа најпре се разматра могући отказ система, а овај отказ система синтетизује отказе из доњих равни система (Trifković i dr., 2010; Milčić, 2005). Ова метода погодна је за анализу сложених система који су састављени од више функционално повезаних подсистема. Применом ове методе могу се успоставити везе између отказа елемената и појаве отказа система. То се постиже израдом структурних блок дијаграма кроз које се систем рашчлањује хијерархијски на подсистеме, а подсистеми на склопове и елементе. На тај начин омогућује се да се утврде међусобне и узрочно последичне везе између отказа појединих делова и њихов утицај на отказ подсистема и техничких система у целини.

*FTA* анализа представља алат којим се може извршити систематска идентификација свих нежељених отказа и комбинација могућих узрока који су допринели да се отказ деси и као таква погодна ја за идентификацију ризика у систему. Детаљи ове методе дати су у стандарду (IEC 61025).

### 2.3.4. ETA. Анализа стабла догађаја

Анализа стабла догађаја *ETA* (Event Tree Analysis) се примењује за временску анализу развоја догађаја. Примењује се за идентификацију могућих последица и вероватноће настанка потенцијалног отказа.

Циљ примене *ETA* је да се одреди да ли ће се ризични догађај – отказ развити у озбиљан отказ система и да ли је догађај довољно контролисан, односно да ли је систем уређен безбедносним мерама. Уз примену *ETA* могу се анализирати различити могући исходи као последице почетног отказа. Такође служи и за идентификацију и вредновање вероватноће последица отказа у систему које су могуће после почетног отказа.



Стабло догађаја представља графички приказ могућих сценарија, где свака путања даје један од могућих исхода. У колико је исход могућ, рачуна се његова вероватноћа настанка.

### **2.3.5. Критички осврт на стандардне методе за процену ризика**

Стандардне методе за процену ризика које су описане у овом раду захтевају доста времена за израду процене ризика. Такође, потребно је доста времена да се стручни тим који ради оцену детаљно упозна са техничким системом за који се ради оцена. Недовољно познавање техничког система и међуодноса зависних подсистема или елемената може дати скроз погрешне резултате. Применом поменутих метода није могуће одредити утицај последица отказа елемената на виши структурни ниво подсистема и система. Поред тога, применом ових метода, није могуће одредити ниво ризика за цео систем већ се ради на нивоу елемената, односно на најнижем хијерархијском нивоу. Генерално, за све поменуте методе важи да од стручности тима који ради оцену и њиховог познавања техничког система за који се ради оцена, зависи тачност резултата, односно субјективност при оцени игра главну улогу.

### **2.4. Анализа актуелних стандарда из теорије ризика**

Управљање ризиком у технолошким процесима и прераде минералних сировина и техничким системима који се примењују приликом експлоатације и уопште у техничким системима, обухвата спектар деловања и активности са циљем процене, минимизирања, праћења, контроле појаве ризика. Стандарди који су усвојени из ове области базирају се на чињеници да се ризиком мора управљати како би се спречиле негативне последице отказа система у току рада, а тиме и смањење трошкова оправке, времена проведеног у застоју и губитак у производном процесу.

Управљање ризиком може се дефинисати као системски приступ идентификацији могућих догађаја, процени последица сваког негативног догађаја

и да се припреме мере за умањивање последица дешавања сваког нежељеног догађаја.

Процес управљања ризицима је стандардизован и постоје неколико европских стандарда који дефинишу поступке и начине, а у неким законима су дефинисани и модели процене ризика. Више ISO стандарда третира управљање ризицима, као нпр. OHSAS 18001 који дефинише управљање ризицима у области безбедности и здравља на раду, ISO/IEC 27001 који је из области безбедности информација, ISO 22000 је за област безбедности хране. Стандард ISO 31000 са својим захтевима на један свеобухватан начин дефинише елементе система управљања ризицима у било којој организацији, без обзира на њену величину, врсту делатности и друге битне карактеристике. У даљем тексту биће укратко описани само они стандарди који се односе на управљање ризиком у техничким системима и они који су претходили доношењу стандарда ISO 31000.

#### **2.4.1. Међународни стандарди**

У међународном стандарду из области поузданости ([IEC 300-3-9, 1995](#)) у делу 3-9 дају се практична упутства за анализу ризика технолошких система. Према овом закону анализа ризика представља процес идентификације вероватноће и обим нежељених последица које произилазе из активности, постројења или система. У делу 3-9 стандарда дате су основне дефиниције појмова везаних за процену ризика. Такође, дате су најзаступљеније методе за анализу ризика.

Аустралијски стандард из области управљања ризиком ([AS/NZS 4360,1999](#)) – Управљање ризиком (Risk management) дефинише поступак управљања ризиком кроз неколико фаза:

- Успостављање контекста проблема
- Идентификација ризика
- Анализа ризика
- Оцена ризика
- Третман ризика – смањење ризика.

Према овом стандарду циљеви анализе ризика су да се одвоје прихватљиви ризици од „главних“ ризика и да се добију основни подаци за евалуацију и третман ризика. Анализа ризика подразумева разматрање извора ризика, њихове последице и вероватноћу да те последице могу да се десе. Прва верзија овог закона објављена је 1995. године под ознаком (AS/NZS 4360,1995), а новија верзија 2004. године под ознаком (AS/NZS 4360, 2004). У најновијој верзији овог стандарда, објашњење термина и појмова усклађено је са ISO стандардима.

ISO стандардом (ISO 12100, 2010) дефинисана је основна терминологија, принципи и методологија за постизање сигурности у дизајну машина. У методологији се наводе принципи процене и смањења ризика како би се помогло дизајнерима у остваривању овог циља. Ови принципи су засновани на знању и искуству употребе машина и инцидента који су се десили у току рада. Основно начело овог закона јесте пребацивање ризика на конструктора.

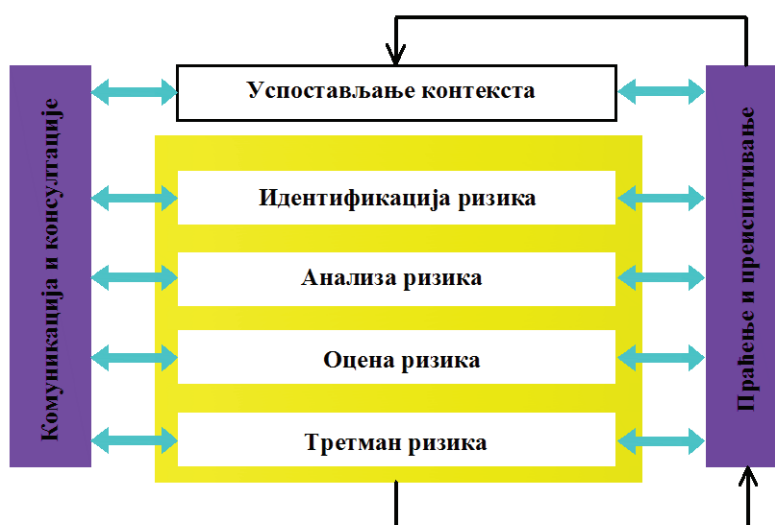
Европски стандард о управљању ризицима (ISO 31000, 2009) пружа принципе и опште смернице о управљању ризицима. Односи се на било коју врсту ризика, без обзира на његову природу, позитивне или негативне последице (ISO31000, 2009). Овај закон настао је као резултат искуства у области управљања ризиком базираног на претходно донетим законима из ове области. ISO 31000 заснован је на аустралијском – новозеландском стандарду AS/NZS 4360, 2004 (Šijaković i dr., 2013). Дефиниције појмова и термина у овом закону преузете су из упутства (ISO GUIDE 73, 2009) „Управљање ризиком – Појмови“ (Risk Management-Vocabulary). Основу овог закона чине јасно дефинисани принципи управљања ризиком и процес управљања ризиком. Такође, дефинисани су радни оквири управљања ризиком који се састоје од:

- посвећености ризику,
- дефинисања оквира управљања ризиком,
- имплементације управљања ризиком,
- мониторинга и ревизије и
- континуалног унапређења оквира.

Процес управљања ризиком, према стандарду (ISO 31000, 2009), обухвата следеће активности:

- комуникација и консултације са свим заинтересованим странама (државна политика, корисници, ...);
- успостављање контекста модела;
- процена ризика у оквиру кога треба радити на идентификацији ризичних догађаја и последица, анализи ризика и оцени нивоа ризика;
- третман ризика, предузимање мера за смањење ризика и
- мониторинг и ревизија.

Генерално, стандардом ISO 31000 нису дефинисане методологије процене ризика већ начин и приступ овом феномену. Технике за процену ризика дате су у оквиру стандарда (ISO 31010, 2009) у коме је објашњен процес процене ризика и методе за процену ризика. У њему су дате смернице за избор најадекватније методе у зависности од области где се примењује.



Слика број 2.12 Процес управљања ризиком према ISO 31000

Стандард ISO 31000 преузела је Велика Британија, Америка и Аустралија и Нови Зеланд, па је у Британији објављен под ознаком BS ISO 31000:2009, у Америци под ознаком ANSI/ASSE/ISO 31000, а у Аустралији и на Новом Зеланду под ознаком AS/NZS 31000:2009. Такође, у Британији 2011. године, објављен је

стандард BS 31100:2011 који даје савете и упутства о изради, спровођењу и одржавању пропорционалног и ефикасног управљања ризиком усклађен са ISO 31000. Британски стандард BS 31100 даје практичне и конкретне препоруке о томе како да се поставе кључни принципи ефикасног управљања ризицима и постизања задатог циља и посебно је применљив за:

- проактивно управљање ризицима у специфичним областима,
- надгледање управљања ризиком у организацији,
- пружање потврде о управљању ризицима организације,
- извештавање заинтересованих страна.

#### **2.4.2. Српски стандарди из области управљања ризиком**

Стандарди из области управљања ризиком у нашој земљи су преузети важећи европски стандарди из ове области, СРПС ЕН 60300-1:2008, СРПС ИСО 31000:2010, СРПС ЕН 60812:2011, па неће бити детаљно анализирани јер је већ било речи о њима.

У Службеном Гласнику Републике Србије број 25/2010 дат је списак Српских стандарда из области машина у рударству ([Kvalitet](#), [URL](#)). У наставку биће набројани стандарди које се односе на машине у рударству:

**СРПС ЕН 1552:2008** - Подземне рударске машине - Преносне машине за вађење руде на откопу - Сигурносни захтеви за секаче утоваривача и система раоника;

**СРПС ЕН 1710:2008** - Опрема и компоненте предвиђене за употребу у подземним рудницима у потенцијално експлозивној атмосфери

**СРПС ЕН 1804-1:2008** Машине за подземне руднике - Сигурносни захтеви за хидрауличне подграде - Део 1: Елементи подграде и општи захтеви

**СРПС ЕН 1804-2:2008** Машине за подземне руднике - Сигурносни захтеви за хидрауличне подграде - Део 2: Клипови и цилиндри погонске пумпе

**СРПС ЕН 1804-3:2008** Машине за подземне руднике - Сигурносни захтеви за хидрауличне подграде - Део 3: Хидраулични управљачки систем

**СРПС ЕН 1889-1:2008** Машине за подземне руднике - Преносне машине које раде под земљом - Сигурност - Део 1: Возила са гуменим точковима

**СРПС ЕН 1889-2:2008** Машине за подземне руднике - преносне машине које раде под земљом - Сигурност - Део 2: Локомотиве

**СРПС ЕН 12348:2008** Стабилне машине за бушење са вађењем језгра -Безбедност

**СРПС ЕН 618:2009** Опрема и системи за континуирани транспорт -Захтеви за безбедност и ЕМЦ за опрему за механичко руковање расипним материјалом осим стационарних (непокретних) транспортера са траком

**СРПС ЕН 619:2009** Опрема и системи за континуирани транспорт - Захтеви за безбедност и ЕМЦ за опрему за механичко руковање оптерећењима од појединачних комада

**СРПС ЕН 620:2009** Опрема и системи за континуирани транспорт - Захтеви за безбедност и ЕМЦ за стационарне (непокретне) транспортере са траком за расипни материјал

**СРПС ЕН 815:2009** Безбедност машина без штита за бушење тунела и машина без бушаћих шипки за бушење окна у стени - Захтеви за безбедност

**СРПС ЕН 14658:2009** Опрема и системи за континуални транспорт - Општи захтеви за безбедност за опрему за континуални транспорт код површинских копова рудника лигнита

## **2.5. Анализа досадашњих истраживања из области процене ризика и поузданости**

Откази компонената техничких система у рударству заузимају велику пажњу стручне јавности. Ризик, озбиљност отказа и величина и обим последица и начина да се квантификују, односно да се одреде величине последица били су главни субјекти истраживања на ову тему. У свом раду (Ivković, 2004) као најозбиљније последице отказа, поред хаварија машина, истиче повређивање

запослених радника и то ризичних ситуација при којима долази до повређивања радника са смртним исходом. То је посебно карактеристично за руднике угља са подземном експлоатацијом, где поред обрушавања угља и пратећих стена, постоји ризик од експлозије запаљиве угљене прашине и метана. Овакве ситуације се јављају као последице отказа елемената техничких система и примењене механизације. Није искључен и људски фактор, који је довео до погибије 90 рудара у руднику „Алексинац“ 1989. године када је погинуло 90 рудара. Према истраживањима (Ivković, 2004) највећи број повреда са смртним исходом, код нас и у свету, десиле су се у рудницима угља.

Код већине истраживања из предметне области, поузданост елемената машина јесте оно на шта је усмеравана пажња. У референци (Dhillon i Anude, 1992) дат је детаљан приказ истраживања из области поузданости опреме у рударству у периоду од 1965-1989. Приказ новијих истраживања на тему поузданости рударских машина дат је у раду (Hoseinie i dr., 2012). Наведена истраживања могу се сврстати у две категорије: прва која обухвата одржавање и исправност опреме у рударству и друга која обухвата анализу процене поузданости. Статистичка обрада постојећих података о временима између отказа и времена у отказу рударских машина у функцији одржавања дате су у референцама (Barabady i Kumar, 2008; Uzgoren i dr., 2010; Behera i dr., 2011; Hoseinie i dr., 2011; Hoseinie i dr., 2012). Применом теорије вероватноће, користећи најчешће Вејбулову (Weibull) расподелу, рачуната је функција густине отказа, функција поузданости и средње време између отказа.

Примена *FTA* методе за оцену ризика рударских техничких система прераде минералних сировина применили су (Radosavljević i dr., 2009; Gustafson i dr., 2013; Gharahasanlou i dr., 2014). На основу резултата добијених применом анализе стабла отказа одредили су мере за смањење ризика и поново проценили ниво ризика како би одредили степен смањења ризика након предузетих корективних мера.

Традиционални приступ процени ризика применом највише је заступљених *FMEA* и *FMECA* метода у скорије време имали су неколико аутора, међу њима (Radosavljević i dr., 2010; Pantelić i Papić, 2010). Недостаци примене ове методе,

који су наведени од стране многих аутора, најбоље су објашњени у прилогу прегледног рада (Liu i dr., 2013). Из тих разлога приступило се изналагању решења недостатака и побољшања *FMEA* модела за оцену ризика. Најзаступљенији приступ јесте увођење теорије фази скупова и фази чињеничног закључивања на бази експертске оцене.

Аутори (Wang i dr.,1995) применили су теорију фази скупова да би описали сваку врсту отказа и на основу чињеничног закључивања одредили сигурност функционисања система. (Bowles i Pelaez, 1995) описали су фази логички приступ одређивања критичности отказа при примени *FMECA*, где су користили лингвистичке термине за описивање појаве, озбиљности и могућности откривања отказа. Успостављање корелације између показатеља појаве отказа, озбиљности и могућности откривања отказа урађена је уз коришћење ако – онда базе фази правила, која је развијена на основу експертског познавања система. (Pillay i Wang, 2003) предложили су приступ на бази фази правила који не захтева помоћну функцију за дефинисање појаве, озбиљности и могућности откривања отказа. За предложени приступ потребно је за свака од три фактора ризика дати функцију припадности. Свака врста отказа оцењује се лингвистичким променљивама које представљају факторе ризика. Применом базе фази правила аутори су ове три променљиве интегрисали у производ лингвистичке променљиве које представљају рангирање ризика за сваку врсту отказа. (Gargama i Chaturvedi, 2011) предложили су фази *FMEA* модел за рангирање ризичности отказа заснован на степену идентичности и бази фази правила да би се превазишла нека ограничења традиционалне *FMEA* методе. Предложни модел укључује нормализацију фази бројева. (Braglia i dr., 2003) предложили су да се функција ризика повеже са нормализованим вредностима *RPN*-а, где нормализоване вредности *RPN*-а представљају вредност *RPN*/1000. (Guimaraes i Lapa, 2007) дефинисали су концепт фази логичког закључивања заснованог на ако – онда бази фази правила како би одредили фази *RPN* да би га упоређивали са традиционалним *RPN*-ом. (Petrović i dr., 2014) представили су модел процене ризика отказа машина у рударству. Предложени модел заснива се на примени теорије фази скупова и фазилогичког закључивања. Поменути аутори радили су паралелну процену ризика традиционалним рачунањем *RPN*-а и применом



теорије фази скупова. Надмоћ примене теорије фази скупова при процени ризика у односу на *RPN* дата је у овом раду. Такође у овом раду аутори (Petrović i dr., 2014) дали су критички осврт и истичу недостатке конвенционалног рачунања *RPN*-а код примене *FMEA* методе.

Liu i dr (2013) урадили су анализу 75 радова на тему процене ризика. Анализирани су радови који су писани у периоду од 1992. до 2012. године. У тим радовима фази логика и систем фази правила и закључивања је најзаступљенија методологија. То само потврђује могућности које ова методологија пружа, да се на основу непрецизних лингвистичких података добије оцена нивоа ризика отказа машине или техничког система.

Досадашња истраживања из области поузданости и процене ризика рударских машина указују на перманентну потребу за сталним усавршавањем приступа, методологија и начина сагледавања последица отказа као кључног фактора за одлучивање о предузимању активности за смањење нивоа ризика отказа техничких система.

### **3. РУДАРСКЕ МАШИНЕ И РИЗИК**

Ризик од отказа техничких система у рударству јесте чинилац који је неизбежан. Генерално, не постоје системи у којима је ризик од отказа на тако ниском нивоу да није потребно обраћати пажњу на његово постојање. Опасност, односно вероватноћа настанка или појаве ризичног догађаја и величина његових последица представља простор на коме треба стално радити, применити различите приступе и начине сагледавања утицајних чинилаца на појаву нежељеног ризичног догађаја. Посебну пажњу треба посветити сагледавању озбиљности последица ризичног догађаја као и њихов утицај на даље функционисање техничког система. Ризик од отказа је утолико већи ако се узме у обзир да постојеће машине на рудницима раде двадесетак и више година и да су исте одржаване према стању. Зато треба спровести низ организационих и техничких мера на утврђивању слабих и критичних места у систему и изналажењу узрочника настанка отказа у циљу смањења броја отказа, како би се систем задржао у функционалном – радном стању дужи временски период, а самим тим и на nižем нивоу ризика.

Последице отказа рударских машина код комплексних система, су далеко веће, код којих се последице застоја на коповима директно одражавају на количину откопане минералне сировине која представља улазну сировину у постројење флотације и касније постројење топионичке прераде. Тако да од застоја машина на копу зависи читава производња и прерада руде. Ако се узму у обзир трошкови за заустављање и поновно покретање система за флотирање и топионичку прераду због недостатка минералне сировине, онда се намеће закључак да се мора спровести низ организационих и техничких мера како би се машине на откопавању одржале што дужи временски период у радном стању, без непланираних застоја.

Мере које треба предузети у циљу смањења броја отказа и време застоја машина у рударству јесу пре свега свеобухватна анализа и процена ризика отказа и поузданости рада рударских машина и реорганизација система одржавања из инертног у активно одржавање према ризику у сваком његовом облику. Овакав приступ отказима машина у рударству допринеће повећању постојећих капацитета откопавања и прераде минералних сировина и смањењу трошкова експлоатације, прераде и одржавања.

### **3.1. Технолошки развој машина у рударству**

Механизација у рударству, као и у другим гранама индустрије, уведена је са циљем да замени ручни рад, смањи трошкове добијања минералних сировина, повећа производност и обезбеди боље и сигурније услове рада рудара. Изумом парне машине па надаље, ручни рад постепено су замениле машине у готово свим технолошким фазама откопавања, тако да се данас јаким малим бројем радних операција у рудницима обавља ручно. Прва механизација која се употребљавала у рудницима јесте опрема за транспорт ископина, тј. увођење шинског транспорта који је заменио употребу ручног превоза колицима. Данас се у рударству примењује савремена компјутеризована механизација и опрема која омогућује брже и лакше добијање минералних сировина уз смањење нивоа ризика.

Велика експанзија у рударству остварена је захваљујући интензивном технолошком развоју, почев од изума парне машине па надаље. Увођењем високопродуктивних машина за експлоатацију минералних сировина омогућена је економична експлоатација и минералних сировина које немају велику економску вредност. Примена парне машине је довела до брзог развоја многих рударских машина, као што су машине за извоз, проветравање, одводњавање и за вучу вагона. Развој машина је настављен са "проналаском" и употребом електричне енергије, која је омогућила коришћење компактних машина-електромотора.

Без обзира на то што је барут био познат још у старом веку, примена минирања није била уобичајена у јамама због тога што нису биле развијене методе за бушење минских бушотина. Тек је 1897. године, Ј. Г. Лејнер

конструисао први бушаћи чекић са аутоматском ротацијом, што се сматра почетком развоја машина за бушење (Žikić, 2003). Тек у другој половини 20. века, започело се са употребом првих машина за механичко бушење, тзв. бушаћа кола. Сличан развој су имале и друге машине и уређаји који се користе у рударству. То се односи, пре свега, на примену самоходних машина на дизел погон, које су интензивни развој доживеле задњих 30 година. При подземној експлоатацији, високи трошкови проветравања у случају примене самоходне дизел опреме су довели до примене електромоторног погона, при чему је "напајање" преко акумулатора, трола или каблова одговарајуће дужине. Транспорт по шинама је доживео потпуну аутоматизацију комплетног поступка пуњења и пражњења вагона, као и могућност аутоматског кретања.

Robbins (2000) наводи предности увођења механизације у рударству. Међу најбитнијима истиче смањење трошкова добијања минералних сировина. Повећање капацитета и добијање већих количина сировина за потребе тржишта је такође јако битан фактор. Заменом људског рада машинама, стварају се услови за сигурније и квалитетније радно окружење рудара, поготово при подземној експлоатацији. Механизовањем радних операција у рударству смањен је број повреда са смртним исходима. Резултат механизовања процеса откопавања јесте и смањење броја радне снаге ангажованих у рудницима, што утиче на смањење трошкова откопавања.

Захтеви које треба да задовоље машине и уређаји у рударству (Žikić, 2003; Ignjatović, 2009) су:

- да имају једноставну конструкцију која обезбеђује висок степен корисног дејства;
- да омогућују лако управљање и опслуживање;
- да имају погодан распоред уређаја са становишта монтаже, ремонта, одржавања и опслуживања;
- да им се укупна конструкција састоји од што више унифицираних- стандардних делова или склопова који се једноставно монтирају и демонтирају;
- да су стабилне и добро уравнотежене;
- да су јаке конструкције, трајне и довољно робусне;

- да обезбеђују високу продуктивност;
- да обезбеђују неопходну и прописану сигурност при раду.

Наведени захтеви недвосмислено воде ка смањењу нивоа ризика, односно повећању нивоа поузданости и погодности одржавања као и безбедности у односу на радну и животну средину.

### 3.2. Машине за експлоатацију минералних сировина

Савремена експлоатација минералних сировина захтева примену високо-продуктивних специјализованих машина за све фазе технолошког процеса експлоатације. Разноврсност услова рада у рударству условљава и примену различитих рударских машина и различитог рударског алата. Обим радова, врсте и услови рада диктирају степен механизованости појединих радова или технолошког процеса. У зависности од типова лежишта и начина на који се врши добијање минералне сировине, машине се могу поделити на две категорије: машине и уређаји који се примењују при површинској експлоатацији и машине које се користе за подземну експлоатацију минералних сировина. Према овој подели, разлика је у томе што су машине које се примењују у подземној експлоатацији знатно мањих димензија у односу на оне које се користе за површинско откопавање. То је условљено скученим простором у јама.

Машине које се примењују за експлоатацију лежишта минералних сировина могу да се класификују по више основа (Žikić, 2003), као што је према: намени, принципу дејства, конструкцији радног елемента, конструкцији погонског склопа, врсти уграђеног преносника, врсти примењених кочница, врсти уређаја за кретање, начину контроле рада, систему управљања, капацитету, инсталисаној снази итд.

Према режиму рада машина, може се направити подела на машине са дисконтинуалним – периодичним (цикличним) режимом, код којих се операције изводе једна за другом – наизменично, и континуалним–непрекидним режимом, код којих се све операције изводе истовремено.

Према степену покретљивости ([Žikić, 2003](#)) машине се деле на:

- стационарне (непокретне),
- полустационарне (полупокретне), и
- покретне (мобилне).

Према погонском агрегату, машине се деле на ([Žikić, 2003](#)):

- електричне,
- са моторима, СУС
- пнеуматске,
- хидрауличне,
- комбиноване.

Према уређајима за кретање, подела машина је следећа ([Žikić, 2003](#)):

- са пнеуматицима,
- са гусеницама,
- које користе шине,
- корачајуће.

Према броју радних елемената машине се деле на оне са ([Žikić, 2003](#)):

- једним радним елементом,
- више радних елемената.

Према намени, машине и уређаји се могу поделити на следеће класе ([Žikić, 2003](#)):

- машине за израду рудничких просторија,
- машине за бушење,
- машине за откопавање и утовар,
- машине и уређаји за транспорт,
- помоћне машине и уређаји.

У овом поглављу биће кратко приказане машине које се примењују у рударству подељене према намени.

### 3.2.1. Маchine за израду рудничких просторија

Израда рудничких просторија механизованим начином се најчешће примењује за израду просторија кроз мекше стене. Усавршавањем машина за израду просторија данас се ове машине примењују за израду просторија како у мекшим тако и у чврстим стенама.

Механизована израда рудничких просторија први пут је примењена 80-тих година XIX века у Великој Британији (Ђукановић, 2005).

Маchine за израду просторија, неки аутори их називају и комбинованим машинама за израду просторија јер поседују механизам за утовар резаног стенаког материјала и његов транспорт иза машине, омогућавају да се у потпуности механизује процес израда просторија. Маchine које се данас могу наћи на тржишту израђују се за различите услове рада и различите положаје просторија у простору. Генерално се маchine за израду просторија могу поделити према начину обраде чела радилишта на: маchine са селективним радом и маchine које обрађују читав профил просторије. Такође, једна од подела може бити према начину рада. Према овом критеријуму маchine за израду просторија могу бити (Milić i Milićević, 2005; Ђукановић, 2005):

- лучно ротационе,
- лучно ланчане и лучно бубњасте и
- ротационе.

Маchine за израду рудничких просторија примењују се како би се убрзао процес израде рудничких просторија. Према искуствима у Руднику „Рембас“ машином за израду просторија са лучно ротационом главом може се изадити и до 6 метара просторије за једну смену. Проблем приликом напредовања јесте што радови на подграђивању не могу да се обаве истим темпом. Такође, на једном руднику најчешће постоји само једна таква машина или чак једна машина за више рудника, па су негативни ефекти отказа далеко већи него што се на први поглед може закључити. Зато је потребно спровести процену ризика отказа елемената оваквих машина и одговарајућим мерама утицати на смањење броја ризичних догађаја.

### 3.2.2. Машине за бушење

Повећање производње рудника условило је конструисање опреме за бушење која ће задовољити потребне капацитете. Почев од почетне примене ручног пнеуматског бушаћег чекића, машине и опрема за бушење стално су усавршаване. Тако да данас у примени постоје самоходне машине тзв. бушаћа кола за бушење минских бушотина при подземној експлоатацији код израде просторија са једним или више бушаћих чекића, бушилице за бушење дубоких минских бушотина приликом експлоатације, бушилице за израду бушотина великог пречника (до 380 mm) (Pantović, 2008) при површинској експлоатацији. Такође, развијене су савремене машине и за истражно бушење. Хидраулични бушаћи чекићи су углавном заменили пнеуматске због високог степена преноса енергије на стену која се разара. Поред поменутих машина, развијени су системи за израду окана бушењем целог профила.

Ризик од отказа ситних елемената система, типа лежајева на круни за бушење минских бушотина, може изазвати велики штетан утицај на технички систем и цео процес производње. Примера ради, бушилица за бушење минских бушотина на површинском копу „Церово“, који ради у оквиру Рудника Бакра Бор, у току првих девет месеци 2014. године три пута је била у застоју због неисправне круне за бушење. Такав вид отказа изазвао је застој у раду бушилице у трајању од 48 до чак 90 часова (Технички извештај I-IX, 2014). Овакав тип застоја се сигурно може спречити благовременом набавком резервних круна за бушење, поготову када постоји дефинисан радни век круне од стране произвођача.

### 3.2.3. Машине за откопавање и утовар

Багери су самоходне машине намењене за откопавање и утовар откопаних маса у транспортна средства. При површинској експлоатацији минералне сировине мекших стена, што је карактеристично за лежишта угља, примењују се сложени технички системи – багери који истовремено врше копање и утовар ископина у транспортна средства. За откопавање у чврстим радним срединама



употребљавају се багери за утовар претходно изминирани руде или јаловине. На основу овога, багери се могу поделити на:

1. багери са једним радним органом (кашиком), односно багери са прекидним (цикличним, дисконтинуалним) радом, и
2. багери са више радних органа (ведрица), односно багери са непрекидним (континуалним) радом.

Код великих техничких система, као што су роторни багери на површинским коповима угља који се карактеришу великим бројем елемената, негативни ефекти отказа имају утицај не само на машину већ и на производњу угља на копу и шире. Поред израженог смањења капацитета на експлоатацији угља, ефекти отказа се манифестују и на производњу електричне енергије. Роторни багери представљају машине са екстремно високим нивоом ризика. Машине нису компактне конструкције, већ су статички уравнотежене машине, где лом једног елемента (уже, носач и сл.) изазива рушење целе машине. Капацитети су им јако велики, те непланирани застој изазива трошкове и 10.000 евра на сат.

Примера ради, роторни багер на површинском копу „Поље D“, због пожара који је настао као последица отказа превојног бубња, потпуно је хаварисан. За његову комплетну ревитализацију уложено је око 7 милиона евра, што износи око 60% од цене новог багера (Ivković i dr, 2008; Polovina, 2010). Радови на ревитализацији поменутог багера трајали су две године, што значи да је толико машина била ван употребе. Други пример отказа овако великих техничких система је роторни багер ознаке SchRs 630 25/6, на истом копу, код кога је дошло до прекида носећих ужади и потпуне хаварије као последица пожара који је изазван заваривањем и упалом мазива.

Аутор (Ivković, 2004) даје приказ података о хаваријама на багеру SRs 1200 22/2 површинском копу „Поље D“, одакле се може видети да поједини откази су изазвали вишемесечно искључење багера из система експлоатације угља. Примера ради 1973. године након заваривања дошло је до пожара и оштећења конструкције багера. Време застоја било је 60 дана. Такође исто толико багер није радио услед појаве пукотина на чворним везама носача констрикције.

Аутори (Ivković i dr, 2004) дају процентуално учешће појединих подсистема код БТО система на површинском копу Тамнава где откази багера SchRs 700 имају 60% учешћа у односу на укупан број отказа система. Други пример који исти аутори дају јесте роторни багер на „Пољу D“, код кога је број отказа система за транспорт двоструко већи у односу на број отказа багера.

Багер SchRs 1760 на површинском копу угља „Поље D“, неочекивано и без најаве, имао је катастрофалну хаварију 2004.г.,(Daničić i dr., 2013) након 17 година нормалног рада на површинском копу. Узрок је лом који је настао као последица замора материјала. Нагли лом ушица за ужад противтега се догодио када се површина попречног пресека која трпи оптерећење значајно смањила и услед мањих пукотина насталих због замора материјала на обе стране заварене греде. Према поменутиим ауторима, у фази пројектовања заварени спојеви се сматрају помоћним радним операцијама, па се због тога на њих и не примењује систем провере квалитета, ни приликом израде, ни приликом прегледа. Последице, приликом заваривања настају дефекти и неправилне структуре, које узрокују појаве концентрације напона, а критичан заварени спој није доступан за инспекцију током радног процеса. Уз то, дисбаланс оптерећења и смањење дебљине ушица са 40 на 20 мм предвиђено пројектом условило је неповољан распоред напона у конструкцији. Пукотине су дефинитивно могле бити откривене применом одговарајућег система инспекције, али такав систем није спроведен. Век експлоатације од 17 година указује да је уз бољу инспекцију и систем одржавања, животни век машине био продужен, а хаварија избегнута.

Екстремно високе последице отказа које се јављају код овако комплексних система захтевају опсежне мере за анализу и процену ризика отказа елемената багера у циљу смањења ризика и повећања поузданости. Највећи утицај на повећање поузданости може се постићи повећањем поузданости подсистема и елемената чија је поузданост најмања (Ivković i dr., 2008; Polovina, 2010). То се може постићи само систематском и свеобухватном анализом проценом ризика, дефинисањем политике одржавања према ризику, константним праћењем понашања система након предузетих корективних мера и поновном проценом ризика да би се видело да ли су предузете мере имале ефекта.

Поред ужадних и хидрауличних багера великих капацитета, на површинским коповима металичних лежишта данас се све више употребљавају утоварне машине на гуменим точковима – утоварачи, због њихове веће мобилности.

За утовар одминираних руде у рудницима, поред првобитних утоварних машина на компримирани ваздух и са уређајима за кретање по колосеку, примењују се утоварно транспортне машине великих капацитета, на дизел или електрични погон.

Код подземне експлоатације угља развијене су машине за откопавање са ротирајућим резним органима – комбајни који омогућавају остваривање великих капацитета у производњи. Примењују се најчешће за откопавање угља. Маchine за откопавање угља конструктивно су изведене тако да је омогућено и откопавање и утовар откопане минералне сировине.

Поред машина за утовар са цикличним радом, при подземној експлоатацији примењују се и машине за утовар са континуалним радом. Према конструкцији радног органа могу бити са згртајућим ручицама, ротирајућим ручицама и са ротирајућим назубљеним дисковима. Ови радни елементи омогућавају да се захваћени материјал пребаци на грабуљасти транспортер којим се стенска маса пребацује у транспортна средства.

#### **3.2.4. Маchine за транспорт ископина**

У зависности од начина и врсте минералне сировине која се откопава примењују се различити видови транспорта. Код експлоатације металичних минералних сировина површинским путем, најчешће се примењује дисконтинуални начин транспорта камионима велике носивости од преко 200 тона.

На површинском копу „Велики Кривељ“, који ради у оквиру Рудника Бакра Бор, одржавање машина се врши према стању. Осим редовних дневних прегледа и генералних ремонта, остали радови на одржавању машина се изводе

тек када дође до отказа. Одржавање машина према стању оставља своје последице. Примера ради, лежајеви на точковима камиона мењају се тек када дође до отказа. Поред отказа самог лежаја на предњем точку камиона „Белаз“, типа 75306, носивости 220 тона, дошло је и до оштећења главчине точка. Поред главчине, овакав тип отказа започиње серију отказа, након лежаја отказују амортизери, па чак и хидроцилиндри за управљање као директна последица отказа лежаја. Пред финансијских издатака за оправку и замену елемената који су отказали, велики су финансијски губици због искључења машине из процеса експлоатације у трајању од неколико дана. Наведени пример указује на хитну потребу за анализом ризика отказа и прелазак на други вид одржавања, одржавање према ризику.

Најзаступљенији вид транспорта код откопавања угља површинским начином је континуални транспорт транспортерима са траком. Најчешћи случај јесте да неколико транспортера раде у низу. Јако велики проблем код оваквих система који раде у редној вези јесте непланирани застој, због отказа на неком од транспортера који изазива застој целог система за транспорт.

На површинском копу „Велики Кривељ“, поред камиона, за транспорт јаловине примењују се и тракасти транспортери, од дробилице за јаловину на ободу копа до одлагалишта у старом „Борском копу“. Дужина транспортера је 2,8 km, а ширина гумене траке је 1,8m са четири погонске станице, једна на почетку и три бустер станице снаге 1 MW. Пре десетак година, откопавањем су захваћени подземни рударски радови па се део подграде који је доспело на транспортер заглавио се на пресипном месту и искидао траку по дужини. Дужина оштећеног дела гумене траке била је око 1,5 km. Овако озбиљан отказ настао је као последица људске грешке.

Поред поменутих видова транспорта на површинским коповима угља, за дуже транспортне релације примењује се и железнички транспорт.

Транспорт минералних сировина код подземне експлоатације у последње време се врши јамским камионима на дизел или електрични погон. Камиони су прилагођени скученом простору у јами па имају знатно изражену дужину у

односу на остале димензије. Такође, као и код површинске експлоатације, примењује се и железнички транспорт акумулаторским или тролним локомотивским погоном. Код подземне експлоатације угља најчешће се примењују грабуљасте и транспортери са траком.

### **3.2.5. Помоћне машине**

Маchine које се директно не користе у процесу експлоатације називамо помоћним машинама. У ову групу машина спадају: булдозери, грејдери, скрепери, сервисна возила код површинске експлоатације, машине за подграђивање и запуњавање и сервисна возила код подземне експлоатације минералних сировина.

Интересантан пример неадекватног одржавања машина, који је довео до озбиљних последица отказа, јесте случај булдозера „Komatsu“ типа D155AX, на површинском копу „Велики Кривељ“. Наиме, да би се уштедело, у редуктор трансмисије булдозера сипано је неадекватно уље које је изазвало перманентно страдање механичких компоненти електроventила за регулацију брзине кретања. Из тих разлога машина је била практично неупотребљива дужи временски период док се није прешло на коришћење уља које је препоручио произвођач.

### **3.2.6. Стационарне машине и уређаји**

У групу стационарних машина спадају оне које су постављене на једном месту, обично на бетонском постољу, и немају могућност померања, при чему су карактеристични примери: извозне машине, главни вентилатори, главне пумпе, главни компресор, трансформатори, агрегати за електричну енергију и дробилична постројења.

#### **3.2.6.1. Извозне машине**

Обим извоза зависи пре свега од капацитета јаме као и од примењене методе откопавања и може да се обавља окнима и косим просторијама.

За вертикални извоз се користе извозне машине, а за коси могу да се користе транспортне траке, јамска жичара са горњом и доњом шином, витлови и слично.

Постројење за извоз чини комплекс машина и уређаја који је повезан у један систем и синхронизовано функционише. Међутим, за ове потребе се разматрају само извозне машине које непосредно обезбеђују извоз.

Подела извозних машина може бити по више основа. Према врсти извозне посуде извоз може бити: извоз кошевима (једна посуда за све намене), извоз скиповима (посуда само за извоз ископина), извоз комбинованим извозним системом са кошевима и скиповима. Према врсти уређаја за намотавање извозног ужета издвајају се системи са класичним бубњевима, системи извоза са котуровима на трење ("Кепе" систем), извозне машине са бобинама, извозне машине са конусним бубњевима.

#### 3.2.6.2. Вентилационо постројење

Руднички вентилатори су уређаји за механичко проветравање јама. Главни вентилатори уграђују се у вентилационим станицама и то по два вентилатора са два независна извора напајања, ради сигурности. Основна подела вентилатора јесте према конструкцији, па према овој подели вентилатори могу бити центрифугални са једностраним или двостраним усисавањем, са или без спроводног кола, и аксијални, једностепени или вишестепени са фиксним или променљивим углом лопатица (Jovičić, 1989). Раније су се за главно проветравање користили центрифугални вентилатори због великих капацитета. Данас све већу примену имају аксијални вишестепени вентилатори који имају предност због мањих димензија.

Јако битна карактеристика вентилатора јесте поузданост у раду. Генерално, нису сложени по конструкцији али уколико дође до отказа, а резервни вентилатор се не може благовремено укључити, последице могу бити катастрофалне по запослене раднике у јама.

### 3.2.6.3. Пумпно постројење

Пумпно постројење, поред вентилационог, представља један од најважнијих дела рудничког комплекса. Одводњавањем се одстрањују воде које се сакупљају у просторијама рудника или на дну површинског копа. Пумпе које се користе у рударству разликују се по конструкцији, принципу рада, капацитетима. Пумпне станице у рудницама углавном су опремљене центрифугалним пумпама. Одликују се сигурношћу у раду, економичније су од клипних и мањи су им трошкови по јединици испумпане воде (Ignjatović i Miljković, 2004). Поред наведених, у рударству се примењују и мембранске пумпе. Притисак који пумпа мора да оствари треба да буде довољан да се савладају сви отпори и да се вода испумпа на површину. Уколико се ради о великој дубини јаме, односно великој висини испумпавања, оно може да се оствари и каскадно. То значи да се вода испумпава до једног или више међунивоа на којима су уграђене друге пумпе које воду даље потискују навише. Најчешће се код дубоких рудника уграђују вишестепене пумпе које могу да савладају велике висинске разлике.

### 3.2.6.4. Компресори

Компресор је стационарна машина која служи за "производњу" компримираног ваздуха који се пнеуматском инсталацијом разводи по читавој јами. При подземној експлоатацији, у знатној мери, користе се пнеуматске машине и уређаји, као што су машине за бушење, утовар и друге.

Према принципу рада компресори се деле на: клипне, центрифугалне-турбо и вијчане-завојне.

### 3.2.6.5. Дробилице

Дробилице су машине које се примењују у рударству за уситњавање откопане минералне сировине. Дробљење корисне ископине се обично врши због примене тракастих транспортера за њен даљи транспорт, као и због даље прераде. У случају јаловине дробљење се примењује само због транспорта. Дробилице које се примењују у рударству раде на принципу притиска и удара и тиме смањују величину комада минералне сировине за одређени степен дробљења.

Подела дробилица може да се изврши у односу на покретљивост и у односу на принцип рада. Према првој подели дробилице могу бити изведене као стационарна постројења и као покретне – мобилне машине. Према принципу рада дробилице се могу разврстати на чељусне, конусне, роторне и дробилице са ваљцима (Jevtić, 1995; Magdalinović, 1999). Стационарна постројења за дробљење се примењују код рудника са великим капацитетима, док се мобилне дробилице примењују код малих копова и у каменоломима.

Важна карактеристика машина за дробљење јесте степен дробљења који представља однос величине улазног и излазног комада минералне сировине.

Чељусне дробилице се користе за крупно дробљење (степен дробљења од 5 – 9) и ситно дробљење (степен дробљења од 3 – 5) (Jevtić, 1995). Радни простор чељусне дробилице чине покретна и непокретна чељуст и бочне стране. Покретање чељусту врши се уз помоћ ексцентри који је повезан са доњим делом покретне плоче преко кривајног механизма, док је горњи део плоче фиксиран осовином. Дробљење минералне сировине овом дробилицом остварује се притиском покретне плоче на комаде руде.

Конусне дробилице се примењују најчешће за примарно дробљење сировина. Процес дробљења обавља се у простору ограниченом двема супротно постављеним конусним површинама, између покретног и непокретног конуса. Процес дробљења се састоји од ексцентричног кретања покретног конуса који се у горњем делу ослања у покретном лежишту, док доњи крај осовине на коју је постављен конус кружи око тањирастог зупчаника. На тај начин се омогућује непрекидно међусобно приближавање и удаљавање конусних површина уз сталну ротацију покретног конуса.

Дробилице са ваљцима примењују се за дробљење мекшх сировина, најчешће угља. Овај тип дробилице састоји се из два паралелно постављена назубљена ваљка који се окрећу у супротним смеровима.

Роторне – ударне дробилице примењују се искључиво за секундарно дробљење (Stefanović, 1980; Mirković, 2005). Дробилице се састоје од непокретног



дела – кућишта и ротора на коме су постављени радни елементи. Према врсти радног органа, конструкцијски могу бити изведене са ударним чекићима и са ударним гредицама. Процес дробљења – уситњавања врши се ударом радног органа о комад минералне сировине. Услед удара радни орган баца комад сировине на облогу дробилице чиме се врши додатно уситњавање.

### 3.2.6.6. Мобилна постројења за дробљење

За производњу малих количина издробљеног материјала примењују се мобилне – покретне дробилице, најчешће у каменоломима који се баве експлоатацијом и прерадом грађевинског камена. Велика предност мобилних дробилица, поред покретљивости и лаког и брзог пребацивања на нову радну локацију, јесте што новије дробилице имају и систем за просејавање, па је производ дробљења одређене гранулације. Мобилна постројења за дробљење састоје се од истих делова као и стационарна постројења и постављени су на покретну шасију. Основни делови покрених дробилица су: шасија, погонски мотор, уређај за кретање, пријемни бункер, вибрододавач дробилице, систем вибросита и транспортера.

Мобилне дробилице могу бити изведене као самосталне машине са сопственим мотором и уређајима за кретање, и као полуприколице које померају камиони тегљачи. Погон мобилних дробилица најчешће је дизел мотор. Он покреће главну хидропумпу, која системом развода преноси енергију уља до потрошача (хидромотора елемената).

Пријемни бункер дробилице има улогу да прихвати стенски материјал који се убацује утоваривачем или багером и уз помоћ вибрододавача равномерно снабдева дробилицу стенским материјалом који се дроби.

Дробилица представља најважнији део ових машина. У зависности од врсте стенске масе која се дроби примењује се један од горе наведених видова дробљења. Систем за просејавање игра важну улогу у процесу уситњавања минералне сировине.

Претходним просејавањем одстрањују се нечистоће из стенског материјала као што су земља и друге нечистоће, док накнадно просејавање омогућује да се као продукт дробљења добије производ уједначене гранулације.

Систем транспортера омогућује манипулисање стенским материјалом унутар дробилице. Овим решењем омогућено је да се надрешетни производ просејавања врати на поновно дробљење. Трака за финални производ има улогу да транспортује продукт дробљења и депонује га испред дробилице, док јаловинска трака издвојене некорисне примесе, које су издвојене претходним просејавањем, депонује на посебну гомилу.

Већина мобилних дробилица има систем за аутоматско праћење рада и процеса уситњавања минералне сировине. Поред тога, мобилне дробилице имају велики опсег подешавања крупноће продукта дробљења, тако да могу да раде и као примарне и као дробилице за секундарно дробљење.

### **3.3. Приказ технолошког процеса добијања каменог агрегата на каменолому „Ладне воде“**

#### **3.3.1. Општи подаци о каменолому**

Експлоатација карбонатних стена из лежишта „Ланде воде“ траје још од 1947. године. У периоду од 1976–2002. године, каменолом је радио у саставу грађевинског предузећа „Дом“ из Петровца на Млави. Аустријска фирма „Alpine“ која је пословала у Србији под називом „Alpine – Dolomit“ 2002. године откупила је поменуто грађевинско предузеће, а с тим и каменолом. Од 2014. године каменолом је у власништву фирме „ТЕКО MINING“ Д. О. О.

Камени агрегат кречњака и доломита који се експлоатише и прерађује у каменолому „Ладне воде“ користи се при изради бетонских и армирано – бетонских конструкција, за производњу асфалтне масе и као подлога за путеве.

Према главном рударском пројекту од 2007. године пројектовани годишњи капацитет каменолома је  $140\,000\text{ m}^3$  са 170 радних дана и две радне смене у току

дана. Пројектовани ефективни часовни капацитет прераде каменог агрегата је 75 t/h. Величина фракција, односно крупноћа каменог агрегата зависи и усклађује се према потреби тржишта. Према пројекту (ГРП, 2007 б), однос добијених класа крупноће описаним поступком дробљења дато је у табели број 3.1.

**Табела број 3.1** Пројектовани годишњи капацитет по класама крупноће

Гранулација	Капацитет		
	часовни m <sup>3</sup> /h	учешће %	годишњи m <sup>3</sup>
0–4 mm	18,0	35	49 000
4–8 mm	10,3	20	28 000
8–16 mm	12,9	25	35 000
16–31,5 mm	10,3	20	28 000
Укупно:	51	100	140 000

### 3.3.2. Опис процеса експлоатације и прераде

#### 3.3.2.1. Експлоатација камена

Експлоатација кречњачко – доломитних стена на каменолому обавља се дисконтинуалним начином рада са фронталним развојем радова и истовременим радом на више етажа. Процес експлоатације, према пројекту (ГРП, 2007 а), састоји се из неколико фаза:

- бушење и минирање;
- припрема за утовар;
- утовар одминираних стенске масе и
- транспорт до прихватног бункера примарне дробилице.

Одвајање стенске масе обавља се бушачко – минерским радовима на етажама висине 20 метара и ширине 8,65 m. За бушење минских бушотина примењује се бушилица типа „Rock L – б“ шведског произвођача „Atlas Copco“ (Слика 3.1). Минске бушотине пречника 92 mm и дужине 22 m буше се на међусобном растојању од 3 × 3,75 m. За минирање се користе прашкасти

експлозивни типа „*Detonex*“ и „*Anfex*“. Да би се постигли што бољи ефекти разарања стенске масе раздвајају се експлозивна пуњења у бушотини са два међучепа. Иницирање експлозивног пуњења врши се „*NONEL*“ неелектричним системима са успорењем импулса између редова од 42 ms и 25 ms између бушотина у реду. Два минирања у току месеца од по 36 бушотина задовољавају пројектовани капацитет каменолома.

Припрема за утовар представља фазу експлоатације при којој се одминираних стенских маса прегурава након минирања како би се вршио ефикаснији утовар. За ову фазу експлоатације користи се булдозер типа „*Cat D9R*“



**Слика број 3.1** Бушилица „*Rock L – 6*“



**Слика број 3.2** Хидраулични багер

Утовар одминиране стенске масе обавља се директно у пријемни бункер примарне мобилне дробилице која се помера сукцесивно са напредовањем радова на експлоатацији. За утовар се користе хидраулични багери са обрнутом кашиком типа „Cat 325“ и „Cat 330“, запремине кашике од  $1,9 \text{ m}^3$  и  $2,3 \text{ m}^3$ , респективно (Слика 3.2).



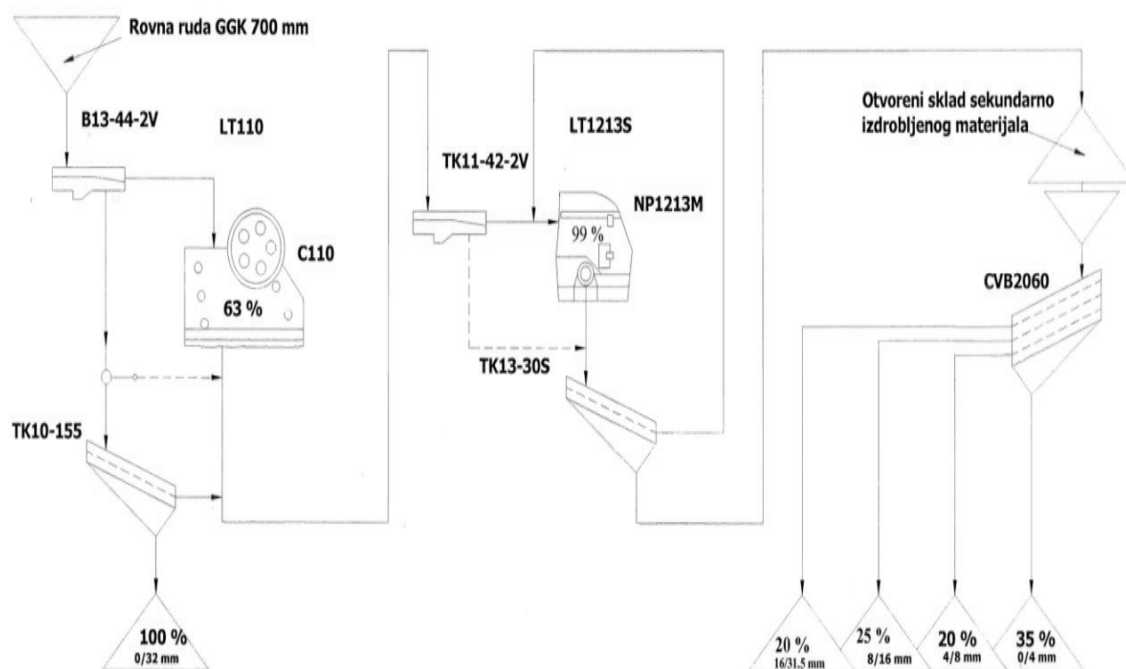
**Слика број 3.3** Утоварно – транспортна машина „Cat 980“

Транспорт одминиране стенске масе предложеним начином експлоатације обавља се тако што се стенска маса прегурава преко косина етажа и гравитацијски спушта на најнижу етажу која представља уједно и плато на коме су инсталирани системи за уситњавање стенске масе. За ову фазу експлоатације користи се булдозер типа „Cat D9R“

За транспорт издробљене стенске масе користи се утоварно – транспортна машина „Cat 980“ са запремином кашике од  $4,6 \text{ m}^3$  (Слика 3.3). Ова машина се примењује за утовар и транспорт продукта дробљења до постројења за просејавање. Такође се користи и за утовар готових производа у камионе.

### 3.3.2.2. Процес прераде каменог агрегата

Процес прераде каменог агрегата на каменолому „Ланде воде“ састоји се од двостепеног дробљења, просејавања и класирања стенске масе.



Слика број 3.4 Шематски приказ процеса уситњавања и класирања каменог агрегата (ГРП, 2007 а)

Примарно дробљење стенске масе обавља се мобилном чељусном дробилицом „Lokotrack LT 110“, а секундарно дробилицом „Lokotrack LT 1213S“. Просејавање и одвајање каменог агрегата на класе обавља се на стационарном постројењу за тростепено просејавање. Постојење за примарно и секундарно дробљење је мобилно, налази се на најнижој етажи каменолома и помера се са развојем радова на каменолому. Такође, на истом платоу, инсталирано је и стационарно постројење за просејавање.

Одминирана стенска маса крупноће -  $700 + 0\text{ mm}$  багером се убацује у прихватни бункер примарне мобилне дробилице *LT 110*, запремине  $10\text{ m}^3$ . Испод бункера налази се вибрододавач – решетка отвора  $90\text{ mm}$  преко које се крупнији комади усмеравају ка чељусној дробилици, а просев решетке –  $90 + 0\text{ mm}$ , уз помоћ дводелне сипке, може се усмеравати на транспортну траку којом се транспортује издробљени материјал на вибросито. На вибро ситу се издваја класа крупноће –  $90 + 31,5\text{ mm}$  која се преусмерава даље у процес. Просев вибросита –  $31,5 + 0\text{ mm}$  представља коначну јаловину која се тракастим транспортером одлаже на привремену депонију. Финални производ примарне дробилице

представља улаз у другу ударну дробилицу. Дробилице су позициониране тако да тракasti транспортер за финални производ примарне дробилице истоварује примарно издробљену стенску масу у пријемни кош дробилице за секундарно уситњавање.



Слика број 3.5 Дроблица „Lokotrack LT 110“

Испод пријемног коша дробилице за секундарно дробљење налази се вибро додавач са уздужном решетком отвора 63 mm. Одсев решетке крупноће – 150 + 63 mm усмерава се у ударну дробилицу. Просев вибро додавача – решетке – 63 + 0 mm пада на централни тракasti транспортер и заједно са издробљеним материјалом одлази на просејавање. Просејавање се врши на виброситу. Одсев вибросита отвора +31,5 mm пада на попречни тракasti транспортер и преко бочног повратног тракастог транспортера враћа се на поновно дробљење, чиме се затвара процес дробљења и просејавања. Просев вибро сита, класа крупноће – 31,5 + 0 mm, представља коначан производ дробљења и преко транспортера за финални производ депонује се на привремену депонију, одакле се утоварно транспортном машином транспортује до стационарног постројења за класирање.

Секундарно дробљење стенске масе обавља се применом ударне дробилице *LT 1213S*.



а)



б)

Слика број 3.6 Дроблица „Lokotrack LT 1213S“ (а, б).





**Слика број 3.7** Стационарно постројење за просејавање

Стационарно постројење за просејавање (Слика 3.7) састоји се од прихватног бункера запремине  $20 \text{ m}^3$ . Испод пријемног бункера издробљена стенска маса додавачем се дозира на коси транспортер са траком којим се одвози до вибросита са три сејне површине, отвора за просејавање 16, 8 и 4 mm. Одсев сваке просевне површине тракастим транспортерима се одлаже на привремене депоније, а просев на следећи стадијум просејавања. На крају се добија просев треће просевне површине крупноће  $- 4 + 0 \text{ mm}$ . Као коначан резултат просејавања добијају се четири фракције  $- 31,5 + 16 \text{ mm}$ ,  $- 16 + 8 \text{ mm}$ ,  $- 8 + 4 \text{ mm}$  и  $- 4 + 0 \text{ mm}$ . За ово постројење не постоје подаци о типу и произвођачу, оно је преузето у таквом стању од претходног власника каменолома.

Ризик од отказа рударских машина код система за откопавање и прераду минералних сировина где ради мали број машина, као што је случај на каменолому „Ладне воде“, далеко се више одражава на производњу и испуњење задатих циљева у односу на системе где постоји већи број машина за једну радну операцију. Код оваквих малих система израженија је потреба за изналажењем техничких, системских и организационих мера у циљу смањења ризика од отказа примењене механизације.

### 3.3.2. Опис дробилице

#### 3.3.2.1. Улога у процесу експлоатације и прераде

Примена мобилних дробиличних система за дробљење стенске масе показало се као погодан начин да се скрате транспортни путеви одминираних стенске масе на каменоломима. Посебно је значајна могућност мобилности и праћења фронта радова на експлоатацији.

Мобилна дробилица „Lokotrack LT 1213S“ примењује се на каменолому „Ладне воде“ за секундарно уситњавање стенске масе. Дробилица ради у пару са примарном чељусном дробилицом „Lokotrack LT 110“. Финални производ примарне дробилице представља улазну сировину секундарне дробилице без додатног утовара стенске масе јер се дробилице тако постављају да транспортна трака финалног производа примарне дробилице истовара стенску масу у пријемни кош секундарне дробилице. Дробилица „Lokotrack LT 1213S“ примењује се за дробљење стенске масе са  $- 150 + 0$  mm на  $- 31,5 + 0$  mm.



Слика број 3.8 Скициран приказ дробилице „Lokotrack LT 1213S“

Шематски приказ кретања стенске масе кроз дробилицу приказан је на слици 3.8. Дробилица ради у затвореном систему што значи да се крупније фракције стенске масе након дробљења и просејавања тракастим транспортерима враћају на поновно дробљење док се не добије потребна гранулација финалног производа.

Статистички подаци отказа дробилице од увођења у процес прераде и време проведено у застоју саме машине и целокупног процеса откопавања

представљају јасну слику о стању система одржавања машина на каменолому, тј. непостојању система одржавања.

Значај дробилице у процесу прераде минералне сировине на каменолому и директан утицај застоја на испуњење производног плана и задовољење потреба купаца намеће потребу за смањењем ризика отказа саме дробилице.

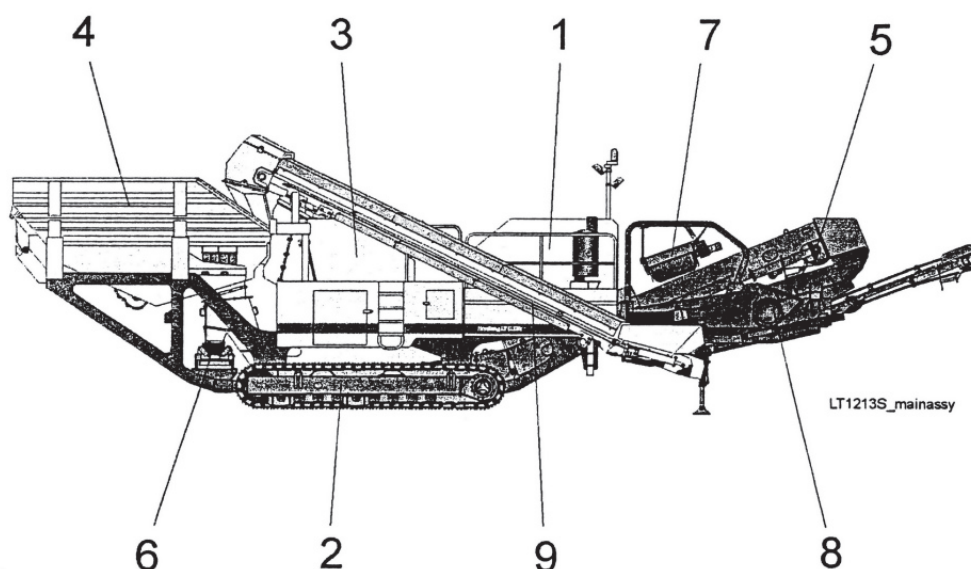
### 3.3.2.2. Принцип рада

Мобилна добилица „*Lokotrack LT 1213S*“, финског произвођача машина за рударство и грађевину „*METSO MINERALS*“, произведена у Француској, пројектована је за примарно и секундарно дробљење стенске масе. Ова дробилица представља савремен систем за дробљење и просејавање у затвореном циклусу рада. Погон дробилице је дизел мотор „*Cat C12*“, док се сви уређаји на дробилици покрећу хидромоторима преко главне хидропумпе, укључујући и уређај за кретање дробилице. Дробилица поседује бројне могућности подешавања величине комада финалног продукта дробљења и могућност издвајања две фракције производа. Прва фракција се може издвојити испод пријемног коша дробилице где се налази вибро додавач са уздужном решетком отвора 63 mm. Одсев решетке усмерава се у ударну дробилицу, а просев пада на виброситу где се одвајају класе крупноће – 31,5 + 0 mm и – 63 + 31,5 mm. Крупнија фракција – 63 + 31,5 mm, преко такозваног задњег тракастог транспортера, депонује се на привремену депонију, одакле се, као таква, продаје купцима. У колико дробилица ради као примарна, постоји могућност да се просев одлаже истом траком као јаловина, у колико у стенској маси постоје нечистоће типа земље и слично. Класа крупноће – 31,5 + 0 mm пада на главни централни тракасти транспортер и заједно са издробљеном стенском масом одвози се на просејавање. Дробљење стенског материјала врши се у ударној дробилици са гредицама. Просејавање се врши на виброситу. Одсев вибросита пада на попречни тракасти транспортер и преко бочног повратног тракастог транспортера враћа се на поновно дробљење иза решетке додавача тако да не може непрестано да кружи, чиме се затвара процес дробљења и просејавања. Такође, и овде постоји могућност да се одсев не враћа на поновно дробљење, већ се бочном повратном траком може депоновати као

готов производ. Просев представља коначан производ дробљења и преко таранспортера за финални производ депонује се на привремену депонију.

### 3.3.2.3. Опис дробилице

Мобилна дробилица „Lokotrack LT 1213S“ представља савремено постројење за дробљење и просејавање стенске масе. Основни саставни делови дробилице, са одговарајућим позицијама, приказани су на слици 3.9, а опис позиција дат је у табели број 3.2.



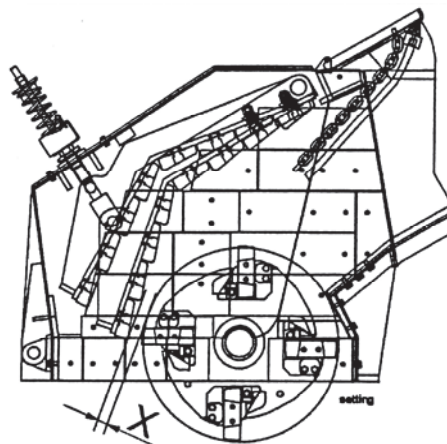
Слика број 3.9 Саставни делови мобилне дробилице „Lokotrack LT 1213S“, (Instruction manual, 2004)

Табела број 3.2 Саставни делови дробилице „Lokotrack LT 1213S“

Позиција	Опис позиције	Позиција	Опис позиције
1	Дизел мотор	6	Јаловиниски транспортер (опционално)
2	Уређај за кретање	7	Магнетни сепаратор (опционално)
3	Ударна дробилица	8	Систем за просејавање
4	Пријемни кош са додавачем	9	Бочна повратна трака
5	Главни тракасти транспортер		

Дроблица „Lokotrack LT 1213S“ поседује дизел мотор произвођача „Caterpillar“ типа „C – 12“ снаге 425 kW при 1600 o/min. Овај мотор служи за покретање главне хидро пумпе марке Rexroth, типа A 10 VEC 80, која ствара довољан притисак уља за рад хидромотора марке Danfoss, типа OMTW 400, којима се покрећу сви уређаји за дробљење, просејавање, транспорт маса унутар дробилице и уређаја за кретање.

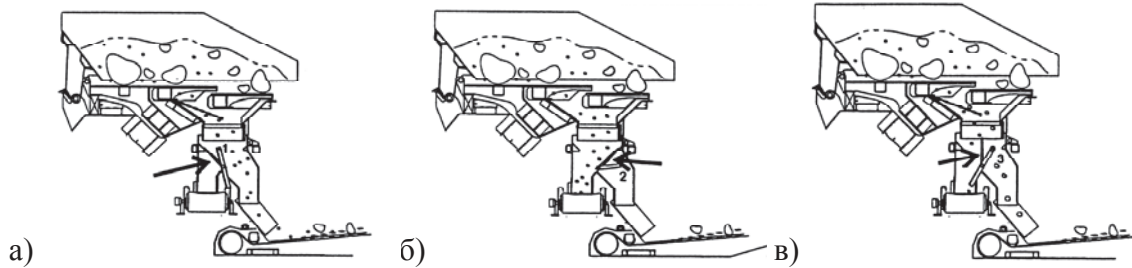
Уситњавање стенске масе врши се ударном дробилицом типа „NP 1213M“ која представља главни уређај на машини. Дробилица се састоји од кућишта по чијем ободу су постављене заштитне облоге отпорне на хабање и ротора на коме су постављене ударне греде. Дробљење стенске масе врши се ударом ударних гредица о комад стене. Услед удара, радни орган баца комад стене на облогу дробилице и тиме се врши додатно уситњавање стенске масе. Ротор дробилице покреће се преко ремених преносника који преносе снагу од хидромотора. Брзина обртаја ротора зависи од абразивности стенске масе и креће се у распону од 450 обртаја у минути, за јако абразивне стене, до 600 o/min за неабразивне стене. Крупноћа издробљене минералне сировине може се подешавати према потреби, померањем горњих покретних облога дробилице. Подешавање зазора дробилице приказано је на слици 3.10. Горња гранична крупноћа издробљене стенске масе, у зависности од величине улазног комада, може бити од 30 до 90 mm. Успешност обављања задате функције целе дробилице зависи од поузданости рада и степена уситњавања стенске масе подсистема за дробљење.



Слика број 3.10 Шематски приказ ударне дробилице „NP 1213M“,  
(Instruction manual, 2004)

Дробилица је опремљена са пет транспортера са траком. Први централни транспортер служи са одвоз издробљене стенске масе од дробилице до система за просејавање. Други тракасти транспортер користи се за транспорт и депоновање финалног производа, док трећи и четврти транспортер служи за враћање недовољно издробљене стенске масе на поновно дробљење. Краћи тракасти транспортер постављен је попречно на дробилицу, на њега пада просев система за просејавање и њиме се транспортује до бочног повратног транспортера којим се враћа на додатно уситњавање. За разлику од осталих транспортера, гумена трака бочног повратног транспортера није глатка, већ је ребраста како би се омогућио транспорт под већим нагибом под којим је транспортер постављен. Дужина бочног повратног тракастог транспортера је 9,4 m, брзина кретања гумене траке може се подешавати и креће се у распону од 2,4 – 2,6 m/s. Пети транспортер са траком може се користити за транспорт и одлагање јаловине или одређене фракције која се не дроби. Све тракасте транспортере покрећу хидромотори марке Danfoss, типа OMTW 400.

Просејавање издробљене минералне сировине врши се преко вибросита „Nordberg TK13-30S“ код кога се могу променити сејне површине различитих величина отвора у зависности од жељене гранулације финалног производа. Хидромотор преко хидрауличне спојнице преноси снагу на ексцентар и тиме се омогућује кретање сејне површине. Поред централног просејавања издробљене минералне сировине, просејавање минералне сировине се може вршити по потреби и на улазу у дробилицу. Пријемни кош опремљен је вибро додавачем решетком тзв. „гризли додавач“ где се одвајају ситније фракције које не иду у процес дробљења. Просев решетке вибро додавача може се додатно просејавати па просев усмерити на главно просејавање, а одсев издвојити као јаловину (Слика 3.11 в) или све усмерити на главно просејавање (Слика 3.11 б) или издвојити као посебан производ (Слика 3.11 а).



**Слика број 3.11** Могућности усмеравања просева вибро додавача  
([Instruction manual, 2004](#))

Систем за развод уља под притиском састоји се од главне хидро пумпе (која шаље уље под притиском на електроventиле који се отварају у зависности од тога који део система ради), резервоара запремине 520 l, црева за развођење уља под притиском и хидромотора који покрећу делове машине. Представља један од најбитнијих подсистема за успешан рад дробилице јер се сви остали подсистеми покрећу хидромоторима које покреће уље под притиском.

Рад дробилице прати се преко дисплеја који је на самој дробилици одакле се врши управљање и контрола рада дробилице (Слика 3.12). Управљање дробилицом може се вршити и преко даљинског управљача, нарочито приликом померања дробилице.



**Слика број 3.12** Централни дисплеј дробилице „Lokotrack LT 1213S“



**Слика број 3.13** Приказ мобилне дробилице „Lokotrack LT 1213S“ у раду

У циљу смањења габарита приликом транспорта, дробилица има могућност склапања пријемног бункера и повратних трака, без скидања са машине. Димензије мобилне дробилице „Lokotrack LT 1213S“ су :

	у раду:	за транспорт:
ширина	8 450 mm	3 000 mm
дужина	17 100 mm	17 200 mm
висина	4 900 mm	3 600 mm
маса дробилице	50 000 kg	

Сви подсистеми дробилице су узајамно редно повезани, тако да застој на било ком елементу описаних подсистема значи аутоматски застој читаве дробилице и процеса прераде минералне сировине на каменолому.

Значај саме дробилице у процесу експлоатације и прераде каменог агрегата намеће потребу да се приступи другачијем начину одржавања машине. Одржавање машине према ризику једно је од најбољих решења за смењење броја отказа.



## 4. ТЕОРИЈА ФАЗИ СКУПОВА И ФАЗИ ЛОГИКЕ

Теорија фази<sup>1</sup> скупова, представља математички приступ погодан за анализу и третирање процеса у којима преовладава неизвесност, вишезначност, субјективност, неодређеност итд. Развијена је за третирање недовољно прецизних појава које се не могу моделирати само теоријом вероватноће или интервалном математиком. Неодређеност као појам може да се посматра кроз следеће три категорије, у зависности од појава које се моделирају:

- Теоријом вероватноће, када дати услови који карактеришу појам не одређују јединствено очекивани резултат;
- Интервалном математиком, када није могуће, (а није ни потребно) прецизно знати посматране вредности;
- Теоријом фази скупова, када неодређеност потиче од непрецизности у комуникацији (нпр. висока или ниска поузданост, добро или лоше одржавање и сл.).

Аналитички 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, што не може да се каже за остале конвенционалне моделе из теорије одлучивања (Tanasijević, 2007). Конкретно код парцијалних индикатора ризика: поузданост као улазна променљива најчешће представља математички дефинисану величину али не увек; озбиљност последице 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 структуре машине при томе се

---

<sup>1</sup> У српском језику енглеске речи *fuzzy sets* преводе се као расути, расплинути, неизразити скупови. У научној литератури на српском језику уобичејено је да се пише *фази скупови*.

не губи, односно и резултат остаје у лингвистичком облику који је дефинисан функцијом припадности (Tanasijević, 2007).

Коришћење фази скупова, као и фази логике, често се симболично објашњава и као умеће стручњака (Subašić, 1997) или квалитативни опис умећа, или једноставно као рачунање речима.

Фази технологије представљају покушај да се непрецизне информације представљају и обрађују помоћу рачунара, чиме би се обезбедила приснија веза између човека, који по природи овакве информације користи, и рачунара, који манипулише искључиво бројевима и фиксним симболима. Због тога су фази технологије оријентисане ка човеку и често се називају хуманим технологијама (Subašić, 1997).

(Tanikić, 2009) сматра да је фази логика као концепт пуно природнији него што се то на први моменат мисли. Наиме, постоје ситуације у којима није могуће знање о систему репрезентовати на апсолутно прецизан начин бројкама. Чак је више ситуација у којима морамо да користимо непрецизне констатације. На пример, „Марко је *висок* човек“, „Онај аутомобил се приближава *јак* великом брзином“ су непрецизне реченице, а ипак се свакодневно користе. Фази логика, према наведеном аутору, представља савремени алат који се користи за успостављање правила пресликавања улазних у излазне величине, када је функција пресликавања непозната или веома компликована за разумевање. У свом раду системи са фази логиком користе низ правила (облика **АКО-ОНДА**) која се називају фази правилима (или лингвистичким правилима). Фази системи већ се успешно примењују у разним областима, као што су: класификација података, аутоматска контрола, експертни системи итд.

Примену теорије фази скупова и фази логике за отказе система у инжењерској пракси анализирао је Cai (Cai, 1996). Аутор у свом раду даје широк спектар могућности примене фази методологија међу којима издаваја могућност примене теорије фази скупова и фази логике код дијагностике отказа, поузданости машинских конструкција, процене ризика, безбедности на раду и др.

Chen (1994) даје могућности примене фази скупова и фази аритметике за одређивање поузданости система где поузданост сваке компоненте система представља троугаоним фази бројевима.

Да би се превазишли недостаци традиционалне *FMEA* методе, аутори (Keskin i Ozkan, 2009) уводе нов метод назван „Фази теорија адаптивног резонувања“ како би срачунали вредности за *RPN*.

Аутори (Ataei i dr, 2009) дају пример примене теорије фази логике и фази правила за избор механизације у подземним рудницима угља. Основни показатељи код избора опреме су геолошки услови у лежишту: угао залегања слоја и моћност, тектонски поремећаји слоја, састав кровине и подине слоја, могућност појаве воде на челу радилишта и димензије лежишта.

Из претходно наведених неколико истраживања може се видети ширина спектра могућности примене теорије фази скупова и фази логике.

Технички системи који се данас примењују у рударству су доста сложени и комплексни, а самим тим и њихово одржавање сложеније. Најчешће се сусрећемо са системима који раде двадесетак и више година, за које не постоје тачни подаци о начину и периодима одржавања, те је одређивање параметара ризика и поузданости на бази статистичке обраде података из историје рада машине често немогуће и једина је алтернатива коришћење експертског мишљења запослених у раду са машином које се по природи даје у лингвистичкој – фази форми.

#### 4.1. Теорија фази скупова

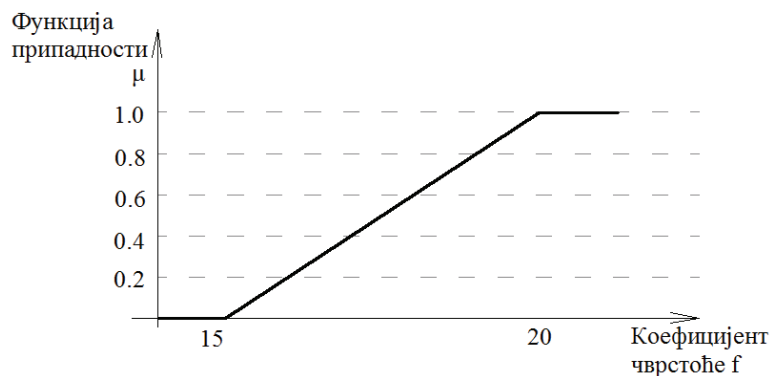
Фази скупови се разликују од обичних дискретних скупова, тачније фази скупови су проширени скупови. Елементи фази скупова могу припадати скупу потпуно и делимично, за разлику од обичних скупова. То је дефинисано функцијом припадности, чија вредност може бити између нуле и јединице. Управо флексибилност при избору облика функције припадности омогућава лакше прилагођавање фази система реалним ситуацијама и то је један од

основних разлога због којих фази системи у све већој мери постају замена класичним инжењерским системима.

Фази скупови су основни елементи којима описујемо непрецизност. Наиме, класичан дискретан скуп садржи елементе са истим својствима (скуп јабука, скуп крушака, скуп целих бројева итд.) док фази скупови садрже елементе са сличним својствима (скуп високих људи, скуп ниских људи, скуп брзих аутомобила итд.).

Код класичних скупова елемент или припада или не припада одређеном скупу. Ако то представимо математички кажемо да је степен припадности скупу 1 (ако припада) или 0 (ако не припада). Са друге стране, елементи у фази скуповима могу делимично да припадају, математички то можемо да представимо на следећи начин: 1 (100% припада), 0 (уопште не припада скупу), 0,7 (70% припада скупу). Овим приступом могу прецизније да се репрезентују непрецизни искази.

Интерсантан пример фази скупа може бити класификација стенске масе према коефицијенту чврстоће према Протођаконову. Иако се овај коефицијент рачуна на основу чврстоће на притисак, категорије стена дате су за тачно одређену вредност коефицијента и као такве се користе. Тако на пример, у прву категорију врло чврстих стена сврставају се стене чији коефицијент чврстоће има вредност 20, док за следећу нижу категорију „II категорију врло чврсте“ стене са коефицијентом чврстоће који има вредност 15. Поставља се питање у коју категорију спадају стене чији је коефицијент чврстоће рецимо 19. Настаје дилема да ли ове стене припадају скупу I или II категорије врло чврстих стена. Интуитивно би се ове стене сврстале у групи II категорије врло чврстих стена. Међутим, како да се то представи на систематичан начин, једноставно може се рећи да стенска маса чији коефицијент чврстоће има вредност 19 припада скупу „I категорије врло чврстих стена“ са степеном 0,95. На овај начин уводи се нов концепт, а то је функција припадности. Тако, на пример, „I категорије врло чврстих стена“ придружена је функција припадности која описује степен припадности сваког елемента том скупу. На слици 4.1 приказана је функција припадности скупу „I категорије врло чврстих стена“.



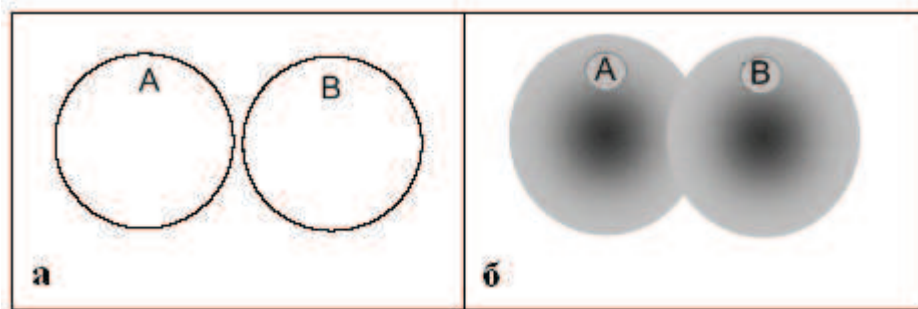
Слика број 4.1 Фази скуп I категорије врло чврстих стена

Главна карактеристика фази теорије је могућност груписања индивидуалних појава у скупове које немају јасно дефинисане границе. Овако дефинисани фази скупови су корисни за описивање неодређености и несигурности модела емпиријских појава. Теорија вероватноће претпоставља постојање само једне класе или скупа ентитета и изражава степен вероватноће присутности, где се скуп са највећом вероватноћом тумачи као стварни скуп. Применом теорије фази скупова даје се могућност да више скупова могу бити присутни на истој локацији истовремено и изражавају степен присутности кроз вредност функције припадности.

Теорију фази скупова развио је [Zadeh \(1965\)](#), кога многи аутори сматрају творцем теорије фази логике. Резултате свог истраживања дао је у раду „Фази скупови“. За фази скуп каже да је скуп објеката са непрекидним степеном припадности. Такав скуп се карактерише функцијом припадности која приписује сваком објекту степен припадности рангиран између нуле и јединице. Према овом аутору, дефиниција фази скупа гласи: „Фази скуп  $A$  се карактерише функцијом припадности  $f(x)$ , повезана са сваком тачком простора  $X$  реалним бројем из интервала  $[0,1]$ . Вредност функције  $f(x)$  представља степен припадности елемента  $x$  скупу  $A$ . Што је вредност карактеристичне функције - функције припадности ближа јединици, то је већи степен припадности елемента или објекта  $x$  скупу  $A$ “. Према истом аутору, идеја о фази скуповима представља погодну полазну тачку за конструкцију концептуалног оквира који парира у аспектима и оквирима коришћења обичних скупова али је општији од класичних скупова и потенцијално има много шири обим примене, нарочито у области класификације и обради

података. У суштини, такав систем пружа природан начин за бављење проблемима у којима је извор непрецизан и где не постоје оштро дефинисани критеријуми чланства одређеним класама. [Zimmerman \(1996\)](#) даје објашњење за непрецизност коју је описао [Zadeh \(1965\)](#), сматрајући да се непрецизност односи на неодређеност, а не на недостатак знања о вредностима посматраних параметара. Теорија фази скупова предвиђа строго математичке оквире у којима нејасни концептуални феномени могу бити прецизно и строго проучавани.

[Harris \(2006\)](#) је за фази скупове написао да су то скупови који имају непрецизне границе и да се могу приказати Веновим дијаграмима. Непрецизне зоне, дефинисане као границе скупа, представљају зоне са делимичном припадношћу, односно непотпуном припадношћу неког елемента скупу, а припадност има вредност између нуле и јединице,  $\mu[0,1]$ . Графички (Венов дијаграм) приказ скупова *A* и *B*, за случај када јесу и када нису фази скупови дат је на слици 4.2. У случају фази скупова интензитет сиве боје представља степен припадности скупу.



**Слика број 4.2** Дискретни скупови (а), фази скупови (б)

[Booker i Singphurwalla \(2003\)](#) истичу да је теорија фази скупова применљива када се ради о нејасним и недореченим врстама чињеница и њиховој класификацији унутар скупа и није као теорија вероватноће која захтева да сваки исход припада скупу или проширеном скупу. Код теорије фази скупова, степен припадности – колико члан припада скупу, задат је функцијом припадности.

[Subašić \(1997\)](#) је дефинисао фази скуп као скуп елемената са сличним својствима, за разлику од класичног скупа који је дефинисан као скуп елемената са истим својствима. Такође, дао је и дефиницију функције припадности, која

гласи: Нека је дат непразан скуп  $X$ . Фази скуп  $A$  и  $X$  се описује функцијом припадности:

$$\mu_A(u): X \rightarrow [0,1], \quad (4.1)$$

где  $\mu_A(x)$  представља степен припадности елемената  $x$  фази скупу  $A$  за свако  $x \in X$ ,  $X$  –назива се надскуп или универзални скуп.

Фази скуп се може представити скупом парова:

$$A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in X, 0 \leq \mu_A(x) \leq 1\} \quad (4.2)$$

Сличну дефиницију дали су и (Tadić i dr., 2006; Castillo i Melin, 2008) где је фази скуп дефинисан преко уређених парова:

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in X\} \quad (4.3)$$

где је  $\mu_A(x)$  функција припадности.

Носач фази скупа  $A$  јесте  $S(A)$  подскуп свих тачака  $x$  из универзалног скупа  $X$  таквих да је  $\mu_A(x) > 0$ :

$$S(A) = \{x, x \in X, \mu_A(x) > 0\} \quad (4.4)$$

Елеменат фази скупа  $x$  из  $X$  (Dubois i Prade, 2005) дефинисан је његовом придодатом функцијом  $a_x$  од  $L \setminus \{0\}$  до  $X$ , ако је  $X$  скуп и ако се  $L$  посматра као структура степена припадности са горњом границом 1 и доњом 0.

#### 4.1.1. Својства и операције на фази скуповима

Основна својства фази скупа су (Tadić i dr., 2006):

1. Фази скуп  $A$  је празан ако и само ако је  $\mu_A(x) = 0$
2. Висина фази скупа је највећа вредност степена припадности неког елемента  $x$  у скупу  $A$  који је подскуп универзалног скупа.

3. Фази скуп  $A$  је нормалан ако и само ако  $(\exists x_0) \in X$ , тако да  $\mu_A(x_0)=1$ , односно ако је

$$\sup_{x \in X} \mu_A(x) = 1 \quad (4.5)$$

4. Фази скуп  $A$  је субнормалан ако није нормалан. Непразан субнормалан фази скуп  $A$  може да се нормализује ако се  $\mu_A(x_0)$  подели са изразом 4.5.

#### 4.1.2. Операције на фази скуповима

Bojadziev i Bojadziev (2007) приказали су операције на фази скуповима. Ако се у разматрање узму два фази скупа, скуп  $A$  и скуп  $B$  из универзалног скупа  $X$ ,

$$A = \{x, \mu_A(x)\}, \mu_A(x) \in [0,1], \quad (4.6)$$

$$B = \{x, \mu_B(x)\}, \mu_B(x) \in [0,1], \quad (4.7)$$

операције на фази скуповима  $A$  и  $B$  представљене су операцијама на њиховим функцијама припадности. Према поменутиим ауторима операције на фази скуповима су:

- Једнакост фази скупова

Фази скупови  $A$  и  $B$  су једнаки, обележавамо их са  $A=B$ , ако и само ако су им једнаке функције припадности за свако  $x \in X$ ,

$$\mu_A(x) = \mu_B(x) \quad (4.8)$$

- Инклузија (укључење) фази скупова

Фази скуп  $A$  је укључен у фази скуп  $B$ , обележавамо их са  $A \subseteq B$ , ако за свако  $x \in X$ ,

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x), \quad (4.9)$$



тада је фази скуп  $A$  подскуп фази скупа  $B$ .

- Одговарајући подскуп

Фази скуп  $A$  зовемо одговарајући подскуп фази скупа  $B$  и обележава се са  $A \subset B$ , када је  $A$  подскуп скупа  $B$  и  $A \neq B$  и тада важи:

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x) \text{ за свако } x \in X \quad (4.10)$$

$$\mu_A(x) < \mu_B(x) \text{ за најмање једно } x \in X. \quad (4.11)$$

- Комплемент фази скупа

Скуп супротан фази скупу је комплемент фази скупа, обележен са  $\tilde{A}$  и представљен функцијом припадности:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \text{ или } \mu_{\tilde{A}}(x) + \mu_A(x) = 1 \quad (4.12)$$

- Збир два фази скупа је пресек фази скупова  $A$  и  $B$  је такође фази скуп, обележавамо га са  $A \cup B$ , представљен помоћу функције припадности

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \text{ за свако } x \in X. \quad (4.13)$$

- Пресек два фази скупа  $A$  и  $B$ , обележавамо са  $A \cap B$ , представља заједнички скуп два скупа  $A$  и  $B$ , дефинисан помоћу функције припадности:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \text{ за свако } x \in X. \quad (4.14)$$

### 4.1.3. Фази број

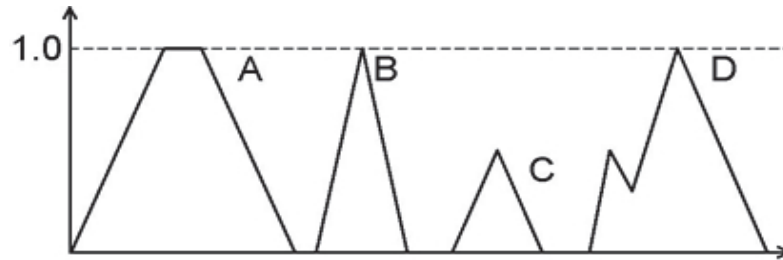
Фази број  $A$  је фази скуп представљен функцијом припадности  $\mu_A(x)$  са следећим особинама:

1.  $\mu_A(x)$  је дефинисана над скупом реалних бројева,
2.  $\mu_A(x)$  је конвексна,
3.  $\mu_A(x)$  је нормална, и
4.  $\mu_A(x)$  је део по део непрекидна функција (Subašić, 1997).

Сличну дефиницију дали су и (Tadić i dr., 2006), која гласи:

Фази број  $A$  је конвексан нормализован фази скуп који је дефинисан на скупу реалних бројева,  $R$ :

- а) ако егзистира тачно једно  $x_0 \in R$  за које је  $\mu_A(x_0)=1$
- б)  $\mu_A(x_0)$  је непрекидна функција за све остале вредности  $x \in X$ .

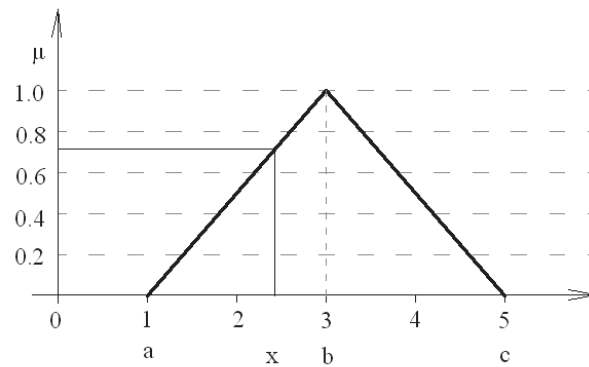


Слика број 4.3 Фази скупови који јесу (А и В) и који нису фази бројеви (С, D) (Subašić, 1997).

#### 4.1.4. Различити облици функције припадности

Функција припадности може имати различите облике. Постоје два основна облика функције припадности  $\mu_A(x_0)$ : дискретни и континуални. Код дискретне функције припадности, сваком елементу носача фази броја придружује се тачно једна дискретна вредност из интервала  $[0,1]$ . Континуална функција расподеле могућности дефинисана је на интервалу поверења помоћу параметара. Најједноставнији облик функције припадности јесте троугаони облик (Tadić i dr., 2006; Castillo i Melin, 2008; Siler i Buckley, 2005). Троугаони облик функције припадности задат је помоћу три параметара,  $a, b, c$  таквих да је  $a < b < c$ . Ови параметри представљају три тачке троугла. Функција припадности дата је на следећи начин (Tadić i dr., 2006; Castillo i Melin, 2008; Siler i Buckley, 2005):

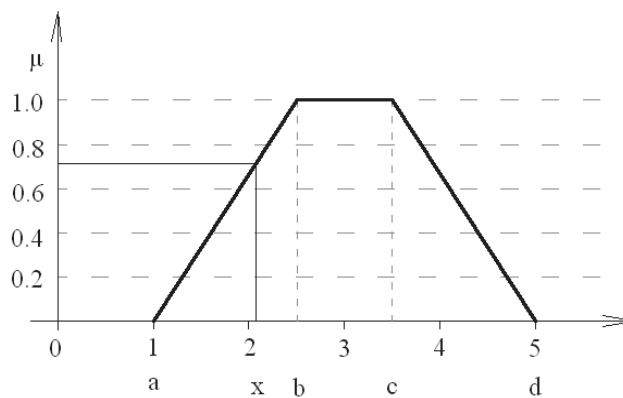
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (4.15)$$



Слика број 4.4 Троугаони облик функције припадности

Трапезни облик функције припадности дефинисан је помоћу четири параметра  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$ , таквих да је  $a < b < c < d$ . Функција припадности дата је у следећем облику (Tadić i dr., 2006, Castillo i Melin, 2008; Siler i Buckley, 2005):

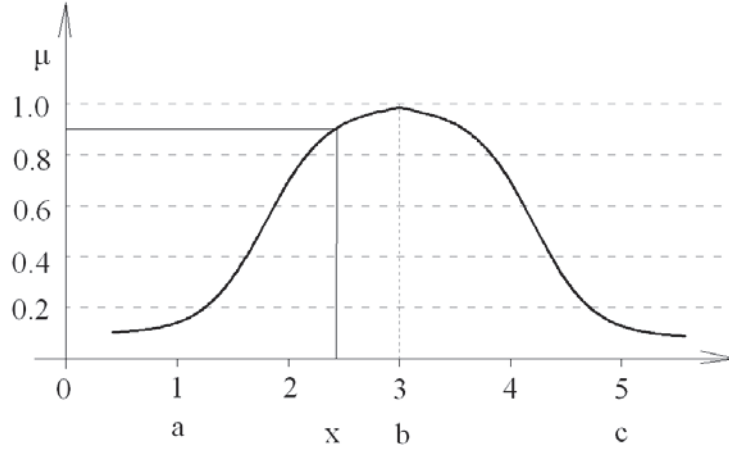
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (4.16)$$



Слика број 4.5 Трапезни облик функције припадности

Функција припадности у облику параболе (звона) дефинисана је помоћу три параметра  $a$ ,  $b$ , и  $c$ , на следећи начин (Tadić i dr., 2006, Castillo i Melin, 2008; Siler i Buckley, 2005):

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{x-c}{a} \right]^{2b}} \quad (4.17)$$



Слика број 4.6 Функција припадности у облику параболо

#### 4.1.5. Релације фази скупова

Фази релације представљају комбинацију свих елемената два фази скупа.

**Дефиниција 1:** (Zimmermann, 1996), Ако су  $X, Y \subseteq R$  универзални скупови, тада

$$\tilde{R} = \{((x, y), \mu_R(x, y)) | (x, y) \in X \times Y\} \quad (4.18)$$

зовемо фази релацијом  $X$  на  $Y$  и обележавамо  $X \times Y$ .

**Дефиниција 2:** (Zimmermann, 1996), Ако су  $X, Y \subseteq R$  и

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (4.19)$$

$$B = \{(y, \mu_B(y)) | y \in Y\} \quad (4.20)$$

два фази скупа, тада је релација (4.18) фази релација на скуповима  $A$  и  $B$  ако је

$$\mu_R(x, y) \leq \mu_A(x), \forall (x, y) \in X \times Y \quad (4.21)$$

$$\mu_R(x, y) \leq \mu_B(y), \forall (x, y) \in X \times Y. \quad (4.22)$$

Бинарна фази релација јесте фази скуп  $X \times Y$  која сваком елементу скупа  $X \times Y$  додаје степен припадности између 0 и 1 (Castillo i Melin, 2008).

#### 4.1.5.1. Особине фази релација

Према (Ross, 2004) особине фази релације дефинисане су на универзалном скупу  $X$ , такође и релација из  $X$  на  $X$ :

$$\text{Рефлексивност: } \mu_R(x_i, x_i) = 1 \quad (4.23)$$

$$\text{Симетричност: } \mu_R(x_i, x_j) = \mu_R(x_j, x_i) \quad (4.24)$$

$$\text{Транзитивност: } \mu_R(x_i, x_j) = \lambda_1 \text{ и } \mu_R(x_j, x_k) = \lambda_2 \rightarrow \mu_R(x_i, x_k) = \lambda \quad (4.25)$$

где је:  $\lambda \geq \min[\lambda_1, \lambda_2]$

#### 4.1.5.2. Основне операције на фази релацијама

Према (Bojadziew i Bojadziew, 2007), ако су  $R_1$  и  $R_2$  две фази релације дефинисане на  $A \times B$ , такве да је:

$$R_1 = \{(x, y), \mu_{R_1}(x, y)\} \quad (x, y) \in A \times B, \quad (4.26)$$

$$R_2 = \{(x, y), \mu_{R_2}(x, y)\} \quad (x, y) \in A \times B, \quad (4.27)$$

тада се могу издвојити следеће операције над фази релацијама:

- Једнакост фази релација

Фази релације  $R_1$  и  $R_2$  су једнке ако и само ако за сваки пар  $(x, y) \in A \times B$  важи:

$$\mu_{R_1}(x, y) = \mu_{R_2}(x, y). \quad (4.28)$$

- Инклузија

Ако за сваки пар  $(x, y) \in A \times B$  важи:

$$\mu_{R_1}(x, y) \leq \mu_{R_2}(x, y) \quad (4.29)$$

тада се фази релација  $R_1$  садржи у релацији  $R_2$  и обележава се са  $R_1 \subseteq R_2$ .

- **Комплементарност**

Релација која је комплементарна релацији  $R$  обележава се са  $\bar{R}$ , а дефинисана је као:

$$\mu_{\bar{R}}(x, y) = 1 - \mu_R(x, y), \text{ за свако } (x, y) \in A \times B. \quad (4.30)$$

- **Пресек**

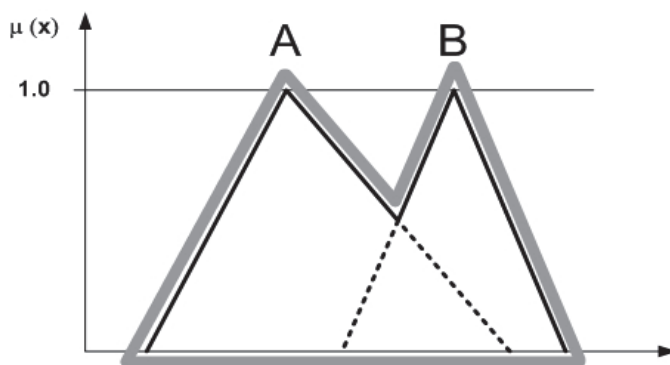
Пресек две фази релације обележавамо са  $R_1 \cap R_2$ , а дефинисано је помоћу следеће релације:

$$\mu_{R_1 \cap R_2}(x, y) = \min\{\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(x, y)\}, \quad (x, y) \in A \times B. \quad (4.31)$$

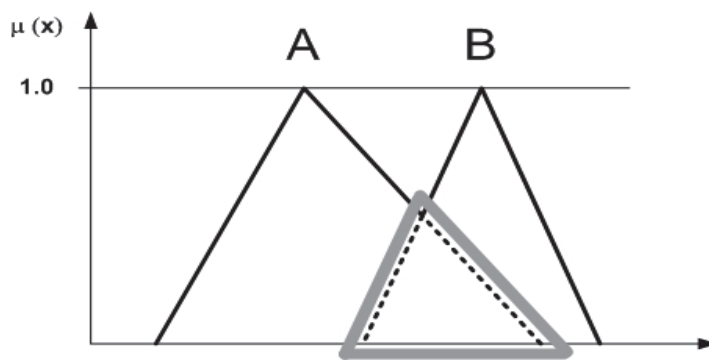
- **Унија фази релација**

Унија две фази релације обележавамо са  $R_1 \cup R_2$ , а дефинисана је на следећи начин:

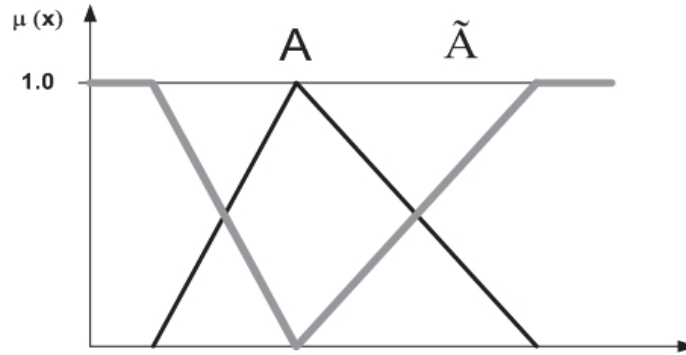
$$\mu_{R_1 \cup R_2}(x, y) = \max\{\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(x, y)\}, \quad (x, y) \in A \times B \quad (4.32)$$



Слика број 4.7 Унија фази скупова A и B (Tadić i dr., 2006)



Слика број 4.8 Пресек фази скупова A и B (Tadić i dr., 2006)



Слика број 4.9 Комплемент фази скупа A (Subašić, 1997)

#### 4.1.5.3. Композиција фази релација

Композиција фази релација се може посматрати као израчунавање нове релације на основу датих релација. У литератури се наводе неколико метода композиције фази релација међу којима су најзаступљеније *max-min*, *min-max* и *max-proizvod*.

Kundu (1998) дао је дефиниције за мах-мин и за мин-мах композиције и њихово упоређење, која гласи:

Ако су  $R_1 = [\mu_{ik}]$  и  $R_2 = [\nu_{kj}]$  две фази релације, где је  $R_1 \subseteq X_1 \times X_2$  и  $R_2 \subseteq X_2 \times X_3$ , тада *max-min* правило рачуна функцију припадности за фази релацију  $R_1 \cdot R_2 = R = [\tau_{ij}]$  на  $X_1 \times X_3$ .

*Max-min (Mm)* правило композиције:

$$\tau_{ij} = \max \{ \mu_{ik} \wedge \nu_{kj} \} \text{ за свако } i \text{ и } j. \quad (4.33)$$

*Min-max (mM)* правило композиције:

$$\tau_{ij} = \max \{ \mu_{ik} \vee \nu_{kj} \} \text{ за свако } i \text{ и } j. \quad (4.34)$$

## 4.2. Теорија фази логике

Теорија фази логике остварује импресиван успех у разним инжењерским апликацијама у распону од масовних потрошачких производа на тржишту до суфистицираних одлука и контроле проблема. Фази логика укључује људско искуство и опредељење за функцију припадности и фази правила.

Фази логика, као методологија за моделирање и анализу система је од посебног значаја, због своје способности да моделира квантитативно и квалитативно проблеме који укључују нејасноће и непрецизности. Према (Carvalho i Machado, 2006) процес фази логике у основи заснива се на концепту који омогућава рад са приближним вредностима, непотпуним или двосмисленим информацијама и њиховим утицајима на доношење одлука. Уз помоћ фази логике могу се решити неки неструктурални проблеми са непотпуним знањем, путем развоја закључка и приближних одговора, као што људска бића раде. Математичка концепција фази логике омогућава представљање неких карактеристика људског начина размишљања. При развоју фази модела у првој фази неопходно је идентификовати критичне променљиве и параметре система. Променљиве и параметри морају бити специфицирани одговарајућом функцијом припадности. Потребно је идентификовати активности на контроли система и описати их у смислу лингвистичких правила. У другој фази систем се контролише помоћу претходно дефинисаних правила. Омогућено је да се мерења вредности променљивих обављају током трајања процеса. Измерене вредности се након мерења трансформишу, на основу правила, у одговарајуће лингвистичке термине. Резултат примене фази логике у системима јесте тај да се дефинишу позиције на којима се може деловати и контролисати систем.

Фази логика пружа ефикасан начин да се од доступних података сачини математички модел као основа за анализу. Уз помоћ лингвистичких променљивих, којим се окарактерише фази скуп, омогућава се карактеризација комплексних или лоше дефинисаних феномена (Owens i Coppola, 2012). Када су фази скупови дефинисани на овај начин, истраживач формира функцију припадности која карактерише степен припадности елемента одређеном фази скупу. Другим



речима, прелазак из чланства у нечланство скупу је постепено, баш као што то доживљава стручњак који ради анализу. Процес моделовања на бази фази логики захтева постепено интерактивно ангажовање стручњака на обради историјских чињеница, са циљем да се процес побољша на основу резултата, аксиома или правила.

Brubaker (1994) даје пет категорија где је могуће применити фази логику, а по њему најчешће и неопходно:

1. Фази логика се треба применити код комплексних система, када је тешко или немогуће дефинисати систем на други начин.
2. Такође, треба се применити у случајевима када се систем контролише од стране експерата.
3. Фази логику треба применити у случајевима сложених и веома сложених система са континуалним улазима и излазима.
4. Системи код којих се врши праћење процеса од стране радника где се у раду врши промена улазних и излазних параметара
5. У системима у којима је нејасност уобичајена, пример економски системи, природне науке...

У фази логици није прецизно дефинисана припадност једног елемента одређеном скупу, већ се припадност мери у, рецимо, процентима. Ове мере припадности, скалиране, могу да узимају вредности од 0 до 1. Узмимо, као пример, дане у недељи и направимо два скупа. Скуп радних дана и скуп викенд. У бинарној логици се у скупу радних дана убрајају: понедељак, уторак, среда, четвртак и петак, а у скупу викенд дана: субота и недеља. Припадност елемента неком скупу би се изразила бројем 1, а неприпадање бројем 0. Међутим, у фази закључивању би ситуација била нешто другачија. Петак, као дан који је делом радни дан, а делом почетак викенда, био би негде на граници ова два скупа, тј. његова припадност првом скупу радних дана би се изражавала, рецимо бројем 0,62, док би припадност другом скупу викенд дана била цифра 0,38, ако се узме процентуално време од 24 часа. Слично би било и за недељу као дан који јесте

викенд, али не сасвим целим својим трајањем, јер ипак се недеља увече доживљава као припрема за нову радну недељу, односно многи људи ће га окарактерисати као не сасвим викенд дан, јер после њега долази понедељак. Види се да је фази логика јако блиска људској перцепцији о многим стварима у животу. Многе сличне ситуације које нису јасно развојене, које су мешавина више ствари, су свакодневно присутне око нас. Овде смо на прилично нестабилном терену, јер релевантно постаје субјективно мишљење о некој ствари или појави.

Фази логика је користан алат за контролу и управљање комплексним индустријским процесима, домаћинствима, експертским системима и за друге апликације (Hellmann, 2001). Фази логика омогућава другачији приступ управљању и класификацији проблема. Модел се фокусира на решавању проблема, а не на изнајлажењу математичког модела, у колико он постоји. Са друге стране, фази систем захтева довољно експертско знање за формирање база правила, комбинацију фази скупова и дефазификацију.

Примена фази логике јако је корисна за веома сложене процесе за које не постоји једноставан математички модел, за нелинеарне процесе или за обраду језичко формулисаног стручног знања (Hellmann, 2001).

Mechefske (1998) у свом раду даје могућности примене фази логике за дијагностику отказа машина. Аутор сматра да фази логика пружа модел за упрошћење и објашњење комплексних система. Фази логика ради са неодређеним и нејасним системима на начин који опонаша људско размишљање. Омогућава припадност променљиве групи у оквиру које се оцењује степен неизвесности. Представља параметре система као нормализоване између 0 и 1. Степен припадности дефинише лице или стручни тим који ради анализу.

Скупови фази логике су објекти који се користе за моделирање неодређености и неизвесности, као и оних који су присутни лингвистички када описујемо ствари, концепте и идеје без јасних граница (Hanovich, 2010). Теорија фази логике пружа методе за приближно резонување процеса на основу несигурних, непотпуних, непрецизних или неодређених информација. Алати фази логике пружају могућност да се дође до одређених закључака на основу нејасних,

двосмслених, непрецизних података или у случајевима када недостају информације. [Hanovich \(2010\)](#) у свом раду издваја три битне карактеристике фази логике:

- 1) све је ствар степена;
- 2) фази логика је погодна за неизвесна или приближна закључивања, поготову за системе са сложеним математичким моделима и
- 3) фази логика омогућава доношење одлука када се ради о нејасним или непотпуним подацима.

Према ([Hanovich, 2010](#)) фази логика је приступ променљивама који подржава тачније моделовање процеса одлучивања и бољег престављања интеракција реалног света наспрам бинарног приступа који има строго рационалистички поглед на свет.

[McGill i Ayyub \(2007\)](#) тврде да основу за израду модела фази логике чине лингвистичке променљиве описане фази бројевима. Насупрот јасним, класичним скуповима, чија је вредност јасно дефинисана, фази број је фази скуп дефинисан у скупу реалних бројева чије је нумеричко значење нејасно дефинисано. На пример, реч „вероватно“ као тврдња о вероватноћи и реч „катастрофално“ као тврдња о потенцијалним последицама су обе фази бројеви у смислу да изражавају величине без прецизне квантификације.

Основна предност концепта фази скупова јесте способност да моделује непоуздане и двосмслене информације. Разлика фази скупова у односу на класичне скупове ([Reveiz i León, 2009](#)) јесте функција припадности која није дискретна већ непрекидна, где различити степени припадности имају вредност између чињеница да и не, вредности 0 и 1, чињеница истинито и неистинито, итд. Функција припадности јесте, у суштини, линија која дефинише прелаз између скупова.

#### 4.2.1. Лингвистичке променљиве

Лингвистичка променљива је важан концепт у фази логици и игра кључну улогу у многим апликацијама, нарочито у домену фази експертских система и контролне фази логики. У основи, лингвистичка променљива узима вредности које су појмови природног језика. На пример, брзина је лингвистичка променљива ако њене вредности могу бити споро, брзо, веома брзо и тако даље. Овај концепт је уведен да би се карактеризовали феномени који су или сувише комплексни, или формално лоше дефинисани.

Subašić (1997) је дао дефиницију лингвистичке променљиве која гласи: „Лингвистичка променљива је променљива чије су дозвољене вредности речи природног језика“.

Лингвистички изрази представљају мост између бројчаних представљања информација у рачунару и човековог начина размишљања (Tadić i dr., 2006).

Пример лингвистичке променљиве може бити квалитет одржавања и може имати вредности: веома лоше, лоше, добар, веома добар, одличан...

По дефиницији, лингвистичка променљива је променљива чије су дозвољене вредности речи природног језика. 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 тако 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.

Оператори 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 према (Subašić, 1997) може се дефинисати на следећи начин

1. Множење скаларом:

$$\mu_{\alpha A}(x) = \alpha \mu_A(x); \quad \alpha > 0, \alpha \in Re \vee x \in X; \alpha \mu_A(x) \leq 1. \quad (4.35)$$

2. Степеновање:

$$\mu_A^\alpha(x) = (\mu_A(x))^\alpha; \quad \alpha > 0, \alpha \in Re \quad (4.36)$$

3. Нормализација:

$$NORM(A) = \frac{A}{\sup_x \mu_A(x)}; \quad \sup_x \mu_A(x) \neq 0 \quad (4.37)$$

4. Концентрисање:

$$CONC(A) = A^2; \quad \mu_{CONC(A)} = (\mu_A(x))^2 \quad (4.38)$$

5. Проширење:

$$DIL(A) = A^{0,5}; \quad \mu_{DIL(A)} = (\mu_A(x))^{0,5} \quad (4.39)$$

Друга група оператора модификације се може дефинисати на следећи начин:

1. Појачавање контраста:  $INT(A)$ ;

$$\mu_{INT(A)} = \left\{ \begin{array}{l} 2(\mu_A(x))^2 \text{ за } 0 \leq \mu_A(x) \leq 0,5 \\ 1 - 2(1 - \mu_A(x))^2 \text{ за } 0,5 \leq \mu_A(x) \leq 1 \end{array} \right\} \quad (4.40)$$

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

$$SF(A; K) = \sum_i \mu_A(x_i) K(x_i), \quad (4.41)$$

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

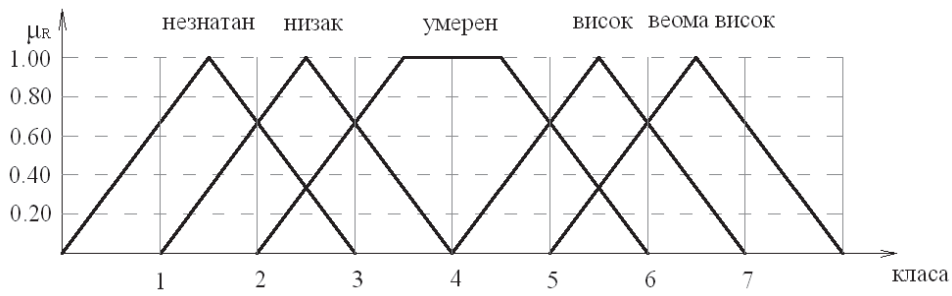
Наведени опште прихваћени модификатори лингвистичких вредности се придружују оператору модификације и то најчешће на следећи начин (Subašić, 1997):

- 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  $A = \text{NORM}(\text{INT}(A))$ .

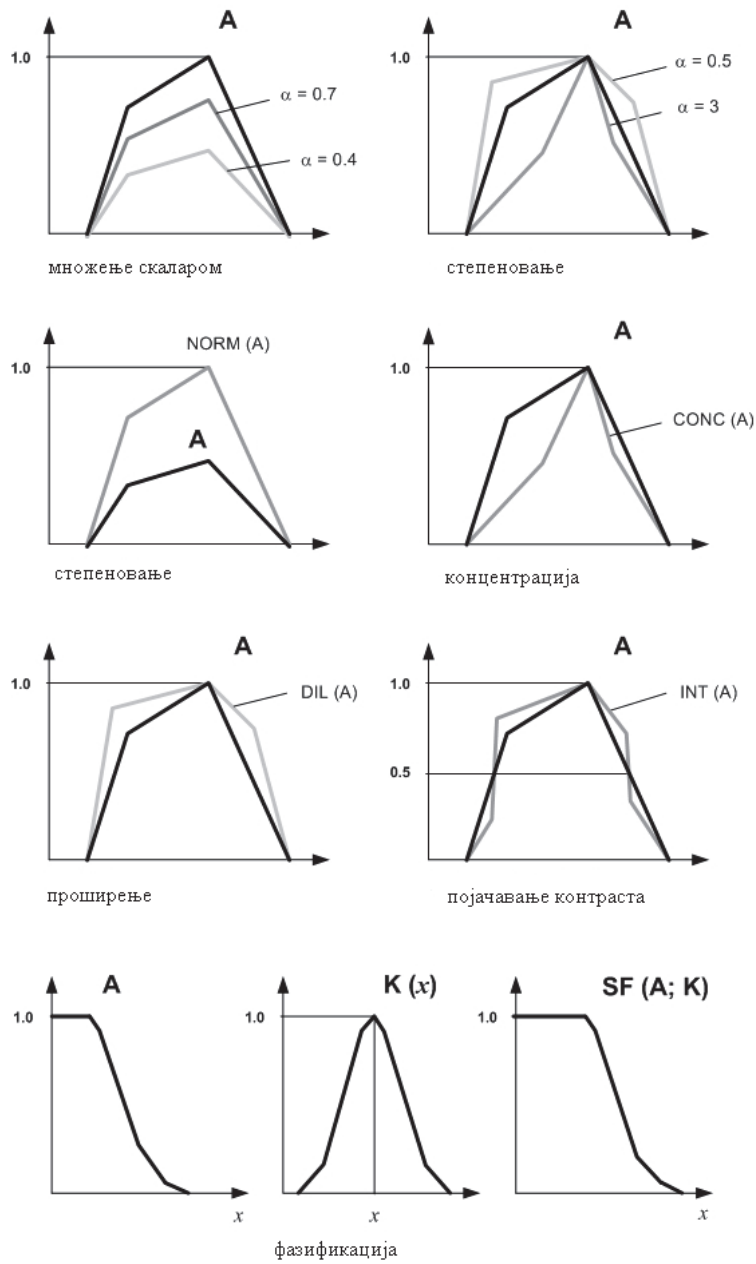
Фазификација представља поступак претварања улазних података у фази скуп или број. Улазни подаци могу бити дати као лингвистичке променљиве или бројчано. Такве податке је неопходно трансформисати у облик фази скупа са функцијама припадности датим скуповима. Фази скупови могу бити троугластог, трапезног иили звонастог облика. Троугаони облик фази скупа се примењује код лингвистички променљивих које прецизније дефинишу одређену појаву, док се трапезни облик примењује код појмова који имају шире значење, типа лингвистичке променљиве „умерен“ код процене ризика. Трапезни и троугаони облик фази скупова приказан је на слици 4.10.

Да би се фазификовали бројчани подаци, као што су времена између два отказа код процене ризика, неопходно је дефинисати класу припадности, односно свакој класи треба придодати одговарајуће бројчане вредности како би посматрана појава била дефинисана одговарајућим фази скупом. За пример времена у отказу, класи 1 треба придодати најдуже време проведено у раду, док класи 7 најкраће време у раду. На тај начин се најкраће време проведено у раду повезује са фази скупом који описује екстреман ниво ризика од отказа.

Код фазификације улазних података добијених на основу експертске оцене описно речима, неопходно је дефинисати фази скупове лингвистички променљивих којима је описана појава, на пример, ризик.



Слика број 4.10 Троугаони и трапезни облик фази скупа (Petrović i dr., 2014)



Слика број 4.11 Оператори модификације, (Subašić, 1997)

У општем случају могу да се дефинишу и везници (и, или, не) у лингвистичким изразима, који опет могу да се дефинишу на следећи начин (Subašić, 1997):

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

За представљање тврђења која садрже лингвистичке вредности користи се поступак фази пропозиције. Фази пропозиција 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.

### 4.3. 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 димензионална 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).

#### 4.3.1. 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  $X \times Z$ .



$$R_1 \circ R_2 = \{(x, z); (x, y) \in R_1, (y, z) \in R_2 \mid x \in X; y \in Y; z \in Z\}. \quad (4.42)$$

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:

$$R_1 \circ R_2 = \{(x, z); \max_y (\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z)) \mid x \in X; y \in Y; z \in Z\}. \quad (4.43)$$

Односно за конкретна израчунавања:

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x, z) = \{ \vee_y [(\mu_{R_1}(x, y) \wedge \mu_{R_2}(y, z))] \mid x \in X; y \in Y; z \in Z\}, \quad (4.44)$$

- 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 (Subašić, 1997):

- асоцијативност:

$$R_1 \circ (R_2 \circ R_3) = (R_1 \circ R_2) \circ R_3; \quad (4.45)$$

- дистрибутивност у односу на унију:

$$R_1 \circ (R_2 \cup R_3) = (R_1 \circ R_2) \cup (R_1 \circ R_3); \quad (4.46)$$

- слаба дистрибутивност у односу на пресек:

$$R_1 \circ (R_2 \cap R_3) \subseteq (R_1 \circ R_2) \cap (R_1 \circ R_3); \quad (4.47)$$

- мононост:

$$R_2 \subseteq R_3 \Rightarrow (R_1 \circ R_2) \subseteq (R_1 \circ R_3). \quad (4.48)$$

Применом исте нотације као и код *max-min* композиција, може да се

дефинише још једна композиција, мах-производ композиција

$$\mu_{R1 \circ R2}(x, z) = \bigvee_y [\mu_{R1}(x, y), \mu_{R2}(y, z)] \quad (4.49)$$

### 4.3.2. Фази пропозиције

Фази пропозиција се примењује за представљање тврђења која садрже лингвистичке вредности.

**Дефиниција:** (Subašić, 1997): Ако у тврђењу  $P = x$  је  $A$ ,  $A$  представља фази скуп, односно лингвистичку вредност којој се може доделити фази скуп, онда је  $P$  фази пропозиција.

Када је  $A$  фази скуп, онда су могуће вредности променљиве  $x$  фази скупови. Тада се променљива  $x$  зове фази променљива. Ако се  $A$  посматра као лингвистичка вредност, онда су могуће вредности променљиве  $x$  лингвистичке вредности.

### 4.3.3. Фази закључивање

Фази закључивање користи степен сагласности између чињенице и предуслова правила да би се на основу тога израчунао закључак. На основу познате чињенице  $A$ , различите од предуслова правила  $A$ ,  $A \rightarrow B$ , израчунава се закључак  $B$  који је у општем случају различит од закључка  $B$  правила.

Subašić (1997) је дао дефиницију фази закључивања која гласи: Ако је дати фази скуп  $A$  дефинисан над надскупом  $X$  и фази релација  $R$  над  $U \times V$ , на основу чега се рачуна нови фази скуп  $B$  над надскупом  $V$ .

Објашњење: Ово се може схватити на следећи начин:  $A$  је чињеница,  $R$  је правило, а  $B$  је закључак правила. То се може представити на следећи начин:

Чињеница:  $A$  ..... фази скуп дефинисан над  $U$

Правило:  $R$ ..... фази релација дефинисана над  $U \times V$

Закључак:  $B$ ..... фази скуп дефинисан над  $V$

#### 4.3.4. Фази правила

База фази правила дефинише резултат или излазну величину (ниво ризика система при процени ризика) за сваку комбинацију улазних променљивих. Та правила су обично више у употреби као лингвистички термини од математичких бројчаних вредности и изражавају се као „ако-онда“ правила. Ако – онда правила садрже два дела: хипотезе, односно претпоставке која се упоређује са улазним подацима, и закључка, што представља резултат.

Најједноставнији облик фази правила може се представити као:

АКО је  $x$   $A$  ОНДА је  $y$   $B$ .

АКО део представља улазно стање или премису, а ОНДА представља излазно стање или закључак. Већи број правила у којима се речима описује решење неког проблема представља базу правила. Наравно, можемо имати више улазних променљивих.

Важно је напоменути да фази правила проистичу из претходног искуства стручног тима који ради анализу као и од познавања система који се анализира.

#### 4.4. Дефазификација

Дефазификација је поступак којим се резултат фази закључивања претвара у реалан број. Према (Sivanandam i dr., 2007) резултати фази закључивања не могу се као такви користити, па је неопходно фази закључке претворити у јасне вредности за даљу примену. Према истим ауторима постоји седам метода за дефазификацију фази излазне функције, а то су:

1. Принцип максималне функције припадности,
2. Метод тежишта,
3. Средња пондерисана вредност,
4. Метод средње вредности максимума,
5. Центар суме,
6. Центар највеће области и

## 7. Метод првог максимума или последњег максимума.

Принцип максималне функције припадности (слика 4.12) , према (Sivanandam i dr., 2007), може се приказати изразом:

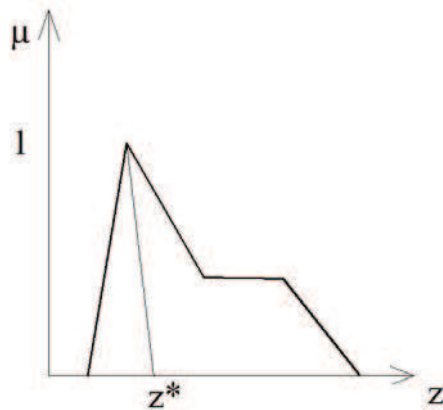
$$\mu_C(z^*) \geq \mu_C(z) \text{ za svako } z \in Z, \quad (4.50)$$

где је :

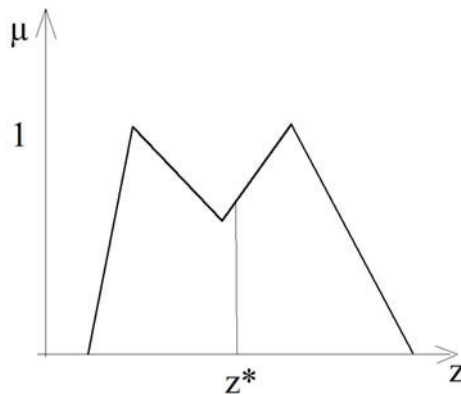
$Z$  - скуп могућих решења

$\mu_C$  – функција припадности решења фази скупу  $C$

Ова метода даје резултат са највећом функцијом припадности.



Слика број 4.12 Принцип максималне функције припадности



Слика број 4.13 Метод тежишта

Метод тежишта је најчешће примењен метод, слика 4.13. Овај метод назива се још и метод центра тежина или метод центра површи. Математички се може приказати релацијом (Ross, 2004; Sivanandam i dr., 2007):

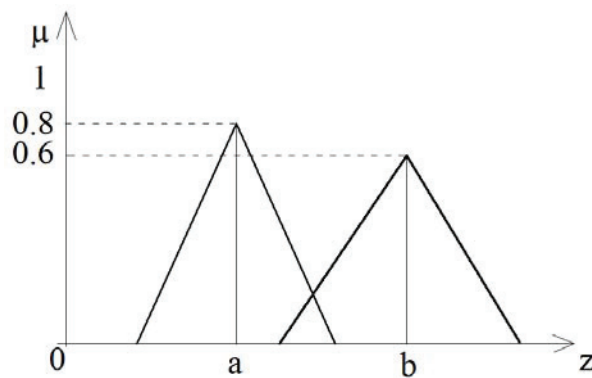
$$z^* = \int \frac{\mu_C(z)zdz}{\mu_C(z)dz} \quad (4.51)$$

Средња пондерисана вредност или средња вредност тежина (слика 4.14) не може се примењивати за асиметричне излазне функције припадности. Оцена функције припадности овом методом (Ross, 2004; Sivanandam i dr., 2007) може се добити следећим изразом:

$$z^* = \frac{\sum \mu_C(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu_C(\bar{z})}, \quad (4.52)$$

где је:

$\bar{z}$  - геометријска средина сваке симетричне функције припадности

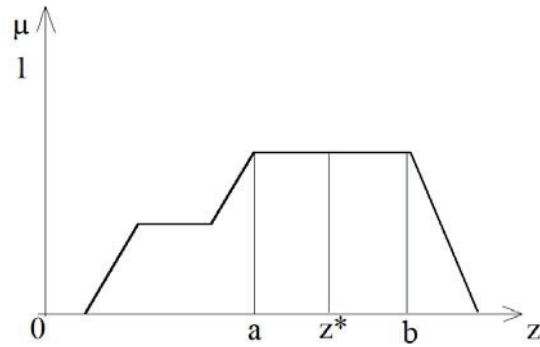


Слика број 4.14 Средња пондерисана вредност

Метод средње вредности максимума је повезан са принципом максималне вредности функције припадности. Није потребно да максимум функције припадности буде у једној тачки, већ може бити интервал на којем функција припадности има максималну вредност. Математички се може приказати (Ross, 2004; Sivanandam i dr., 2007):

$$z^* = \frac{a+b}{2}, \quad (4.53)$$

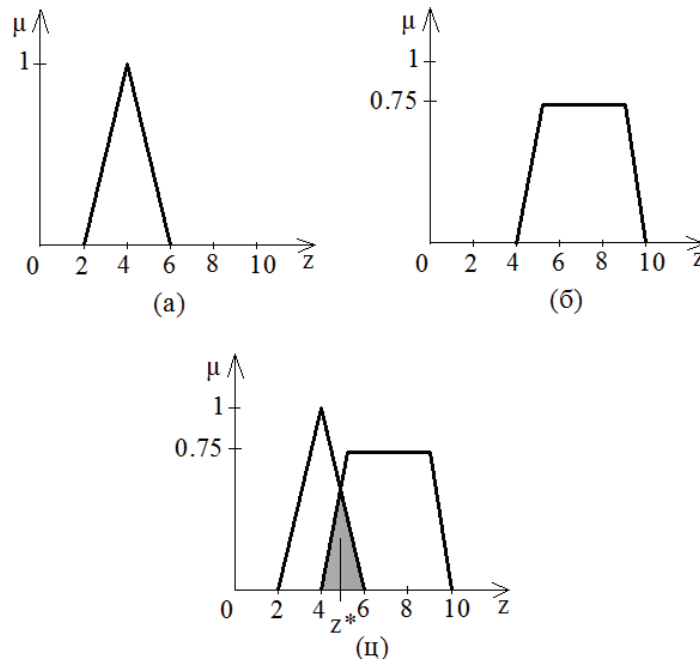
где су **a** и **b** почетак и крај интервала у коме функција припадности има максималну вредност.



Слика број 4.15 Метод средње вредности максимума

Центар суме обухвата алгебарску суму појединачних излаза фази скупова. Овај метод је сличан методу средње пондерисане вредности, али у центру суме тежине су области респективно одговарајућим функцијама припадности, док код средње пондерисане вредности тежине су појединачне вредности функције припадности. Дефазификована вредност може се добити преко израза (Ross, 2004; Sivanandam i dr., 2007):

$$z^* = \frac{\int_z \sum_{k=1}^n \mu_{C_k}(z) dz}{\int_z \sum_{k=1}^n \mu_{C_k}(z) dz} \tag{4.54}$$



Слика број 4.16 Центар суме: а) прва функција припадности, б) друга функција припадности и ц) дефазификација

Центар највеће области. Ако фази скуп има две конвексне подобласти, онда се за рачунање дефазификоване вредности узима тежинска вредност подобласти која има већу површину. Ова тврдња, према (Ross, 2004, Sivanandam i dr., 2007), дата је изразом:

$$z^* = \frac{\int \mu_{C_m}(z) z dz}{\int \mu_{C_m}(z) dz} \quad (4.55)$$

Код метода првог или последњег максимума, рачунање излаза свих појединачних излаза фази скупова узима се за рачунање најмањих вредности са максимизираним вредностима степена припадности. Највећа висина у унији престављена је помоћу  $hgt(C_k)$ , која се може одредити помоћу израза (Ross, 2004; Sivanandam i dr., 2007):

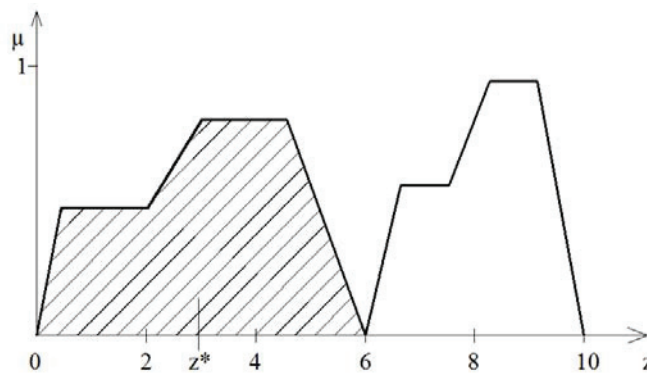
$$hgt(C_k) = \sup_{z \in Z} \mu_{C_k}(z) \quad (4.56)$$

Први од максимума одређује се по обрасцу:

$$z^* = \inf_{z \in Z} \{z \in Z | \mu_{C_k}(z) = hgt(C_k)\} \quad (4.57)$$

Последњи од максимума одређује се по обрасцу:

$$z^* = \sup_{z \in Z} \{z \in Z | \mu_{C_k}(z) = hgt(C_k)\} \quad (4.58)$$



Слика број 4.17 Метод првог или последњег максимума

Избор методе за оцену која се примењује зависи од проблема који се решава. За процену ризика отказа техничких система најчешће се користи метод средње пондерисане вредности.

#### 4.5. Алтернативне методе за рад са непрецизним подацима

Поред теорије фази скупова која представља универзални алат за доношење одлука када се ради са непрецизним и недовољно дефинисаним подацима, у пракси се користе и метода чињеничног закључивања (енг. Evidential Reasoning), *ER*- алгоритам, и вишеатрибутивна анализа (енг. Multy attribute desicion analysis), скраћено *MADA*.

##### 4.5.1. Метод чињеничног закључивања

*ER* – алгоритам користи се код синтезе фази појмова, као и фази композиција код теорије фази скупова, на нивоу хијерархијске синтезе до највишег хијерархијског нивоа. Примена *ER* – алгоритма омогућава истовремени рад са прецизним нумеричким подацима и подацима добијеним на основу експертске оцене (Tanasijević, 2007). За сваку лингвистичку променљиву којом се описују показатељи посматране појаве уводе се тежински фактори на основу експертске оцене који имају вредност између 0 и 1, што за случај фази скупова представља функцију припадности.

Синтезна оцена  $S$ , на одређеном хијерархјском нивоу  $l$  добија се у облику (Tanasijević, 2007):

$$S(l) = \{(m_l^j, H), \quad j = 1, 2, \dots, n\} \quad (4.59)$$

где је величина  $H$  скуп лингвистичких променљивих за опис оцене, која је дата као:

$$H = \{H_1, \dots, H_j, \dots, H_n\} \quad (4.60)$$

Величина  $m^j$  представља функцију припадности датом фази скупу синтезне оцене на датом нивоу (код фази скупова је означена са  $\mu$ ).



Рекурзивним **ER** алгоритмом дефинише се начин рачунања величине  $m^j$  у зависности од лингвистичке променљиве **H** и хијерархијског нивоа **l** (Tanasijević, 2007):

$$\{H_j\}: m^j_n = m^j_{l(i+1)} / (1 - m^j_{l(i+1)}), \quad j = 1, \dots, n \quad (4.61)$$

$$\{H\}: m^j_H = m^H_{l(i+1)} / (1 - m^H_{l(i+1)}) \quad (4.62)$$

где је:

$$\{H_j\}: m^j_{l(i+1)} = K_{l(i+1)} (m^j_{l(i)} m^j_{l(i+1)} + m^j_{l(i)} m^H_{l(i+1)} + m^H_{l(i)} m^H_{l(i+1)}), \quad j = 1, \dots, n \quad (4.63)$$

$$\{H\}: m^H_{l(i+1)} = K_{l(i+1)} m^H_{l(i)} m^H_{l(i+1)}, \quad j = 1, \dots, n \quad (4.64)$$

$$K_{l(i+1)} = \left[ 1 - \sum_{n=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq n}}^N m^n_{l(i)} m^j_{k(i+1)} \right]^{-1}, \quad i = 1, \dots, l \quad (4.65)$$

Величина  $m^j$  је ралан број који се односи на износ степена поверања и представља степен у коме добијена парцијална оцена *i*-тог елемента подржава хипотезу да је синтезна оцена на *j*-том хијерархијском нивоу сигурно **H<sub>j</sub>**. Онда се  $m^j_i$  добија као производ (Tanasijević, 2007):

$$m^j_i = \lambda_i \cdot \mu_{ij}, \quad j = 1, \dots, n, \quad i = 1, \dots, l \quad (4.66)$$

где је  $\lambda_i$  нормлизован тежински пондер који даје међузависност елемената или структурне целине техничког система са нижег на на виши хијерархијски ниво система.

Величина  $\lambda_i$  добија се на бази експертске оцене у интервалу  $0 \leq \lambda_i \leq 1$ . Према (Tanasijević, 2007) постоји могућност да се процењена вредност величине  $\lambda_i$  директно уноси у **ER** алгоритам. Други начин увођења пондера у синтезни процес, према истом аутору, је на бази модела експертске оцене где понуђене пондере ревитализује у односу на максималну вредност пондера на нивоу једног хијерархијског нивоа одређене целине **k** у хијерархијску структуру посматраног техничког система, на следећи начин:

$$\lambda_{kj} = \alpha_k \frac{\xi_k^j}{\xi_K^j}, \quad (4.67)$$

где је:

- $\alpha_k$  коефицијент који даје ранг важности улоге пондера највеће специфичне вредности одређене структурне целине  $k$  у односу на хијерархијски структурно вишу целину  $k+1$ ,
- $\xi_k^j$  тежински фактор на  $j$ -том хијерархијском нивоу значајности структурне целине  $k$  у односу на хијерархијски структурно вишу целину  $k+1$ ,
- $\xi_K^j$  највећа вредност тежинских фактора значајности структурне целине  $k$  у односу на хијерархијски структурно вишу целину  $k+1$ .

Овакав начин увођења пондера на основу експертске оцене је доста субјективан, па експертске оцена доста утиче на модел закључивања, поготову први начин. Други начин увођења пондера је у мањој мери субјективан јер практично рангира пондере елемената у посматраној структурној целини.

#### 4.5.2. Вишеатрибутивна оцена

Вишеатрибутивна оцена *MADA* заснива се на експертској оцени елемената система на основу више парцијалних показатеља. Суштина методе јесте да се сваком елементу на најнижем хијерархијском нивоу даје оцена од 1 до 10 на основу експертске оцене. За елементе који се могу разложити на елементе нижег хијерархијског нивоа оцена се добија на основу оцена елемената и придодатих пондерисаних тежинских фактора, које такође дају експерти, као сума производа оцене и одговарајућих тежинских фактора (Nikolić i Borović, 1996). Придодати тежински фактори се нормализују како би се добијене оцене налазиле у распону од 1 до 10.

Оцена  $i$ -тог елемента хијерархијског I нивоа  $e_i$ , уколико садржи елементе нижег хијерархијског нивоа, добија се као сума оцена  $n_i$  II нивоа  $e_{ij}$  помножени одговарајућим тежинским факторима (Nikolić i Borović, 1996):

$$e_i = \sum_{j=1}^{n_i} e_{ij} w_{ij}, \text{ при чему је } \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} = 1 \quad (4.68)$$

Уколико се елеменат  $e_i$  не разлаже на елементе нижег хијерархијског нивоа, онда му се оцена додељује на основу експертске процене.

Оцена  $j$ -тог елемента хијерархијског II нивоа  $e_{ij}$  који се у хијерархијској структури налази испод елемента  $e_i$  добија се као сума оцена  $n_{ij}$  III нивоа  $e_{ijk}$  који се у хијерархијској структури налазе испод елемента  $e_{ij}$  помножени одговарајућим тежинским факторима  $\omega^p_i$  (Nikolić i Borović, 1996):

$$e_{ij} = \sum_{k=1}^{n_{ij}} e_{ijk} w_{ijk}, \text{ при чему је } \sum_{k=1}^{n_{ij}} w_{ijk} = 1 \quad (4.69)$$

Уколико се елеменат  $e_i$  хијерархијског II нивоа не разлаже на елементе нижег хијерархијског нивоа, онда му се оцена додељује на основу експертске процене.

Вредност атрибута на основу којих се врши вишеатрибутивно рангирање формира се на основу оцене елемената I нивоа. Вредност  $p$ -тог атрибута  $\alpha_p$  добија се као сума оцена свих елемената I хијерархијског нивоа  $e_i$  помножених одговарајућим тежинским факторима  $\omega^p_i$  (Nikolić i Borović, 1996):

$$\alpha_p = \sum_{i=1}^{n_i} e_i \omega_i^p \text{ при чему је } \sum_{i=1}^{n_i} \omega_i^p = 1 \quad (4.70)$$

Вредности тежинских фактора  $\omega^p_i$  добијају се на основу експертске оцене.

Ако се са  $\alpha^q_p$  означи вредност  $p$ -тог атрибута за  $q$ -ти технички систем, а са  $\lambda_p$  вредност тежинског фактора атрибута  $\alpha_p$  добијеног од стране експерата, онда се као коначна нумеричка оцена сваког техничког система  $l_q$  формира као сума вредности атрибута  $\alpha^q_p$  помножених са одговарајућим тежинским факторима  $\lambda_p$  (Nikolić i Borović, 1996):

$$l_p = \sum_{i=1}^{n_i} \lambda_p \alpha_p^q \text{ при чему је } \sum_{i=1}^{n_i} \lambda_p = 1 \quad (4.71)$$

*MADA* метода при оцени користи нумеричке податке који добијени на основу експертске оцене. Овако добијени подаци могу бити мањој или већој мери субјективни што се може одразити на исход оцене, па се може сматрати највећим недостатком ове методе. Такође, недостатак *MADA* методе јесте у томе што се при оцени виших хијерархијских нивоа губи квалитативна вредност оцене када прелази у квантитативну.

## **5. ДЕФИНИСАЊЕ ПРОЦЕДУРА И АЛГОРИТМА ПРИМЕНЕ МОДЕЛА ПРОЦЕНЕ РИЗИКА НА РУДАРСКИМ МАШИНАМА**

### **5.1. Примена теорије фази логике и фази скупова за одређивање нивоа ризика**

Циљ овог истраживања јесте да се креира математички и концептуални модел за процену ризика на рударским машинама који би дао јасне и прецизне информације о критичним местима у систему са аспекта ризика у његовом функционисању као и о нивоу укупног ризика техничког система. У том смислу, даје се могућност превентивног елиминисања слабих места неком од мера, било да је то повећањем поузданости или могућности превентивног откривања отказа или елиминисањем могућности за настанак негативних ефеката услед отказа машине на нивоу застоја технолошког процеса, на нивоу угрожавања запослених или природног окружења.

Досадашња истраживања у свету су се ограничила на развијање модела одређивања вероватноће појаве отказа на датом нивоу поверења на бази теорије вероватноће и на формирању оцене нивоа ризика коришћењем вишеатрибутивне оцене. Применом ових уобичајених метода процене ризика не добија се оцена која у себи садржи структуру ризика, у смислу дефинисања јасне зависности непоузданости система и ефеката ризика. Проблем сагледавања свих утицајних чинилаца, без обзира на њихову форму и њихове интеракције, на ниво ризика, може се успешно решити применом теорије фази скупова и фази логичког закључивања. Примена теорије фази скупова и фази логике омогућује квалитативну оцену ризика техничких система кроз све сегменте истог и пружа могућност стварања егзактног модела који у себи садржи синергетски ефекат феномена самог ризика и његових парцијалних елемената. Фази алгебра такође омогућава рачунање са хибридним подацима, који су овде неизбежни део анализе.

Теорија фази логике и теорија фази скупова пружа ефикасан начин да се од доступних података сачини математички и концепцијски модел процене ефеката ризика за који не постоји конвенционални модел. Посебно је погодан код анализе података који нису дати као бројчане вредности већ описно, речима. Уз помоћ лингвистичких променљивих, којим се окарактерише фази скуп, омогућава се карактеризација комплексних или феномена за које не постоји конвенционалан начин мерења и квантификације. То је посебно карактеристично за теорију ризика и ефекте ризичног догађаја.

Фази логика преставља покушај да се непрецизне и несигурне информације престављају и обрађују помоћу нумеричких модела, чиме би се обезбедила приснија веза између човека који по природи овакве информације користи, и рачунара, који обрађује нумеричке вредности. Појам фази се односи на нешто нејасно, замућено, магловито, непрецизно. Њега је у свет науке и технологије увео професор Лофти Задех са Универзитета у Берклију, објављивањем рада „Фази скупови“ (Zadeh, 1965). Ова теорија представљала је генерализацију класичне теорије скупова. Професор Задех је, практично, први успоставио математички модел који ће описивати несигурност. Он је и творац принципа некомпатибилности, који гласи: *"Што се више приближавамо реалном проблему, његово решење постаје све више фази"* (Subašić, 1997).

Главна карактеристика фази теорије је могућност груписања индивидуалних појава у скупове који немају јасно дефинисане границе. Овако дефинисани фази скупови су корисни за описивање неодређености, несигурности и формирање модела емпиријских појава. Функција фази припадности наизглед је врло слична функцији вероватноће, али у основи, оне се разликују у интерпретацији. Теорија вероватноће претпоставља постојање само једне класе или скупа елемената и изражава степен вероватноће присутности, где се класа са највећом вероватноћом тумачи као стварна класа.

Основна предност концепта фази скупова јесте способност да моделује непоуздане и двосмислене информације. Разлика фази скупова у односу на класичне скупове (Reveiz i León, 2009) јесте функција припадности која није дискретна већ непрекидна, где различити степени припадности имају вредност

између чињеница да и не, вредности 0 и 1, чињеница истинито и неистинито итд. Када су фази скупови дефинисани на овај начин, могуће је дефинисати припадност посматраног феномена одређеном фази скупу. При томе, припадност одређеним фази скуповима је постепена и може бити дуална (Reveiz i León, 2009), тј. одређени показатељ нивоа ризика отказа елемента може се сврстати у два или више фази скупа са одговарајућом функцијом припадности, што је јако погодно када постоје двоумљења у коју категорију сврстати одређени показатељ ризика.

Процес моделовања процене ризика на бази фази логике захтева постепено интеративно ангажовање на обради постојећих података, са циљем да се побољша функционалност машина на основу резултата анализе ризика.

Применом теорије фази логике могуће је парцијално одредити негативне ефекте ризичног догађаја и онда их применити у синтезни модел оцене нивоа ризика елемента, подсистема или целог система. Формирање модела оцене ризика система на основу ризика отказа појединачних компоненти система и њихових парцијалних показатеља, омогућује стварање јасне слике о стању система на основу кога би се предузеле неопходне мере за квалитетно управљање ризицима и стварања повољне атмосфере за побољшање функционалности целокупног процеса експлоатације минералних сировина. Посебно је важна чињеница да се применом теорије фази логичког закључивања, добијају резултати који указују на тренд ризика и јасно недвосмислено указују на будуће развоје догађаја везаних за отказе система.

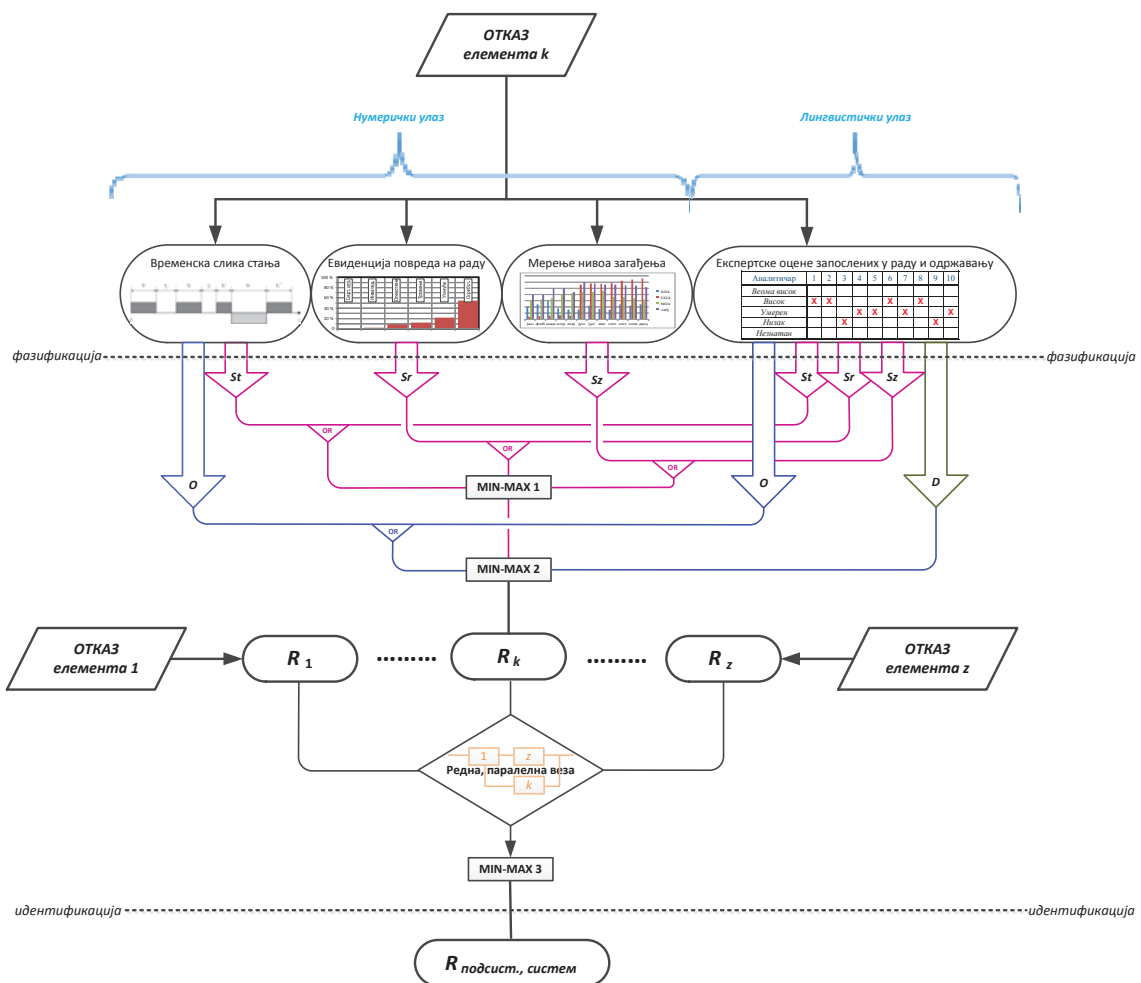
Процена ризика отказа техничких система на бази теорије фази логике састоји се из неколико корака:

-Прикупљање и сортирање постојећих података о раду система за који се ради оцена.

- Фазификација прикупљених података за парцијалне показатеље ризика.

-Композиција функција припадности парцијалних показатеља ризика применом *min – max* композиције.

-Идентификација, односно одређивање нивоа припадности дефинисаним фази скуповима ризика добијених оцена ризика применом *best – fit* методе.



Слика број 5.1 Алгоритам процене ризика отказа техничких система

Алгоритам процене ризика (Слика 5.1), развијен у овој дисертацији, обухвата два корака или фазе при процени нивоа ризика. Први корак модела процене ризика јесте да се одреди ниво ризика отказа  $k$ -тог елемента техничког система, где је  $k=1,2,\dots,n$ . Ниво ризика отказа елемента техничког система одређује се на основу показатеља ризика  $k$ -тог елемента. Показатељи ризика отказа елемента су: озбиљност отказа, вероватноћа појављивања отказа и могућност благовременог откривања отказа.

Озбиљност отказа предложеним алгоритмом сагледава се преко:

- функције погодности одржавања као мером времена проведеног у застоју,
- евиденције повреда на раду као мером утицаја отказа на запослене раднике и

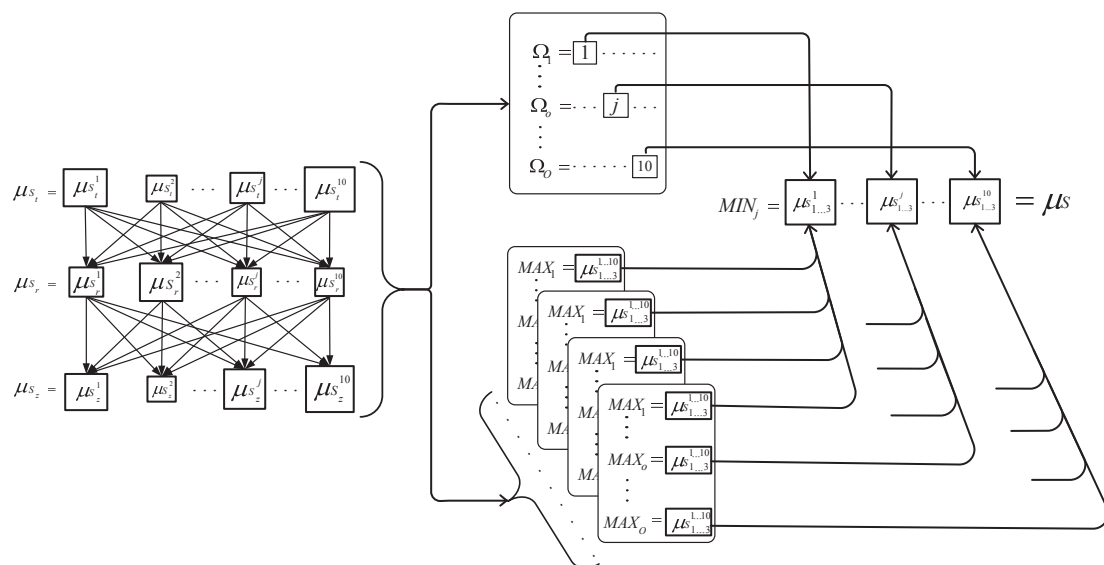


- измерених вредности нивоа загађења као мера утицаја отказа на животну средину.

Функција поузданости узима се као мера учесталости појаве отказа на основу временске слике стања техничког система.

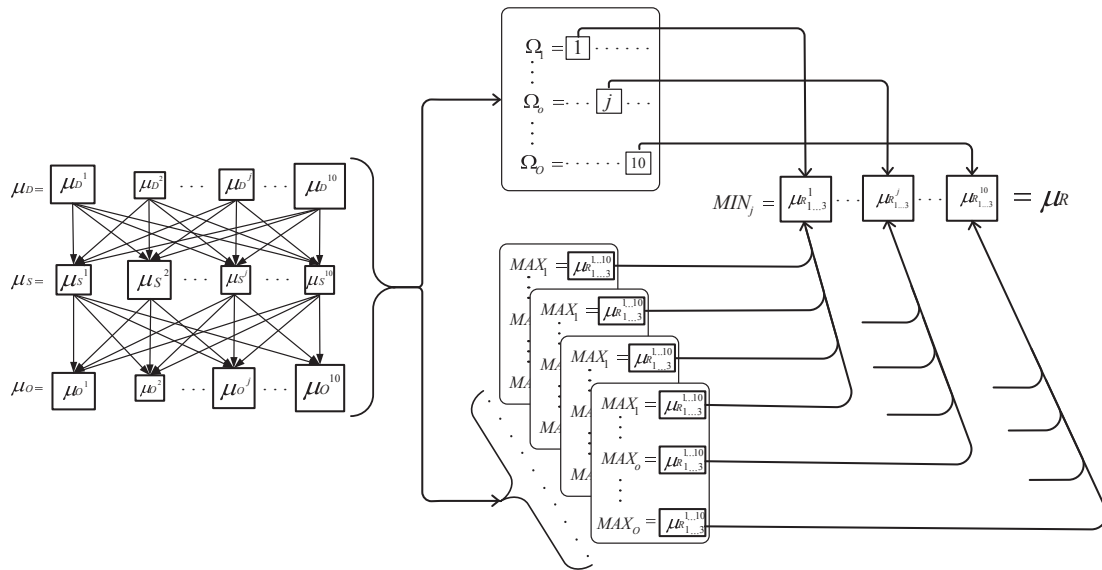
Могућност благовременог откривања отказа или детектибилност представља показатељ ризика којим се потврђује да ли је постојала вероватноћа да се редовним прегледима техничког система открије потенцијални отказ и да се на основу детектованог стања делује у смислу спречавања или минимизирања последица отказа.

Да би се могло приступити композицији показатеља озбиљности ризика отказа елемента техничког система неходна је фазификација улазних података. Поступак за фазификацију примењује се у зависности од врсте добијених података о отказима, детаљније о фазифкацији у поглављу 5.1.2. Подаци о отказима елемената техничког система могу се дати као нумерички (временска слика стања, забележени број повреда, мерење нивоа загађења) или лингвистички (експертска оцена запослених на раду и одржавању техничких система). Јако је битно нагласити да алгоритам омогућава рад и са једном и са другом врстом података, као и комбинацију истих.

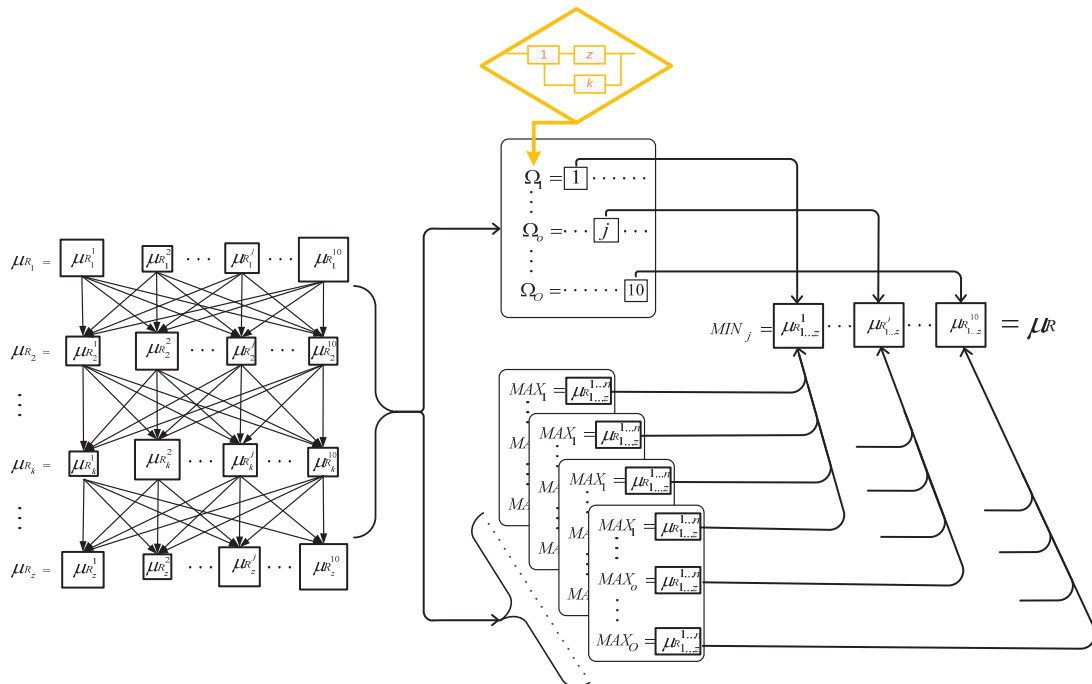


Слика број 5.2 Min – max композиција I

Након фазификације, приступа се композицији функција припадности прво показатеља озбиљности отказа применом *min – max* композиције I (слика 5.2) да би се на основу композиције добио фази скуп са функцијама припадности озбиљности отказа. Овај показатељ ризика отказа се заједно са друга два показатеља примењује за *min – max* композицију II (слика 5.3), при којој се добија процена нивоа ризика отказа *k*-тог елемента техничког система.



Слика број 5.3 *Min – max* композиција II



Слика број 5.4 *Min – max* композиција III

Оцена ниво аризика виших хијерархијских структура (подсистема, система) врши се на основу оцене нивоа ризика отказа елемената нижих хијерархијских структура применом *min – max* композиције III (слика 5.4).

Исход је код *min – max* композиције III дефинисан као очекивана (просечна вредност) оцена. Односно, коришћена је идеја RPN броја где сви парцијални показатељи ризика подједнако утичу на оцену ризика. У случају Min-max композиције 3. нивоа (слика 5.4) исход може да се дефинише на овај начин, при чему се се априори сматра да су ниже хијерархијске структуре у редној вези у смислу поузданости, односно подједнако утичу на поузданост виших структура чији су они саставни елементи. На овај начин је синтезна оцена ризика представљена као најлошија међу најбољима у односу на потенцијалне исходе ризичних ситуација. Ово јесте најчешћи случај у структури стабла отказа техничких система. У случају да је систем са резервом, односно када је нека друга структура везе (поглавље 2.2.2.2) исход се формира као логички закључак (IF-THEN форма) за било коју ризичну ситуацију изазвану отказом техничког система. Нпр., када се систем састоји од два елемента 1 и 2 од којих елемент 1 има резервни 1` који се укључује аутоматски када елемент 1 откаже, исход који би се односио на цео систем не може бити једнак за случај када откаже елемент 1 и када откаже елемент 2. неминовно је да је неопходно коришћење експертске процене која би садржала у себи квалитет система активирања резервног дела` исл. У случају да се користи релација 5.18 добили би у оба случаја исти исход, што овде не би било у реду. Тако да додатно укључење експертске оцене у модел у току саме оцене, у циљу добијања квалитетније процене ризика, доприноси квалитету добијених резултата.

Дефинисање степена припадности добијеног резултата, односно функције припадности одређеном фази скупу (незнатан, низак, умерен, висок, веома висок) врши се поступком дефазификације (поглавље 5.1.4). Поступак дефазификације може се применити на све хијерархијске нивое техничког система у зависности шта се жели постићи оценом.

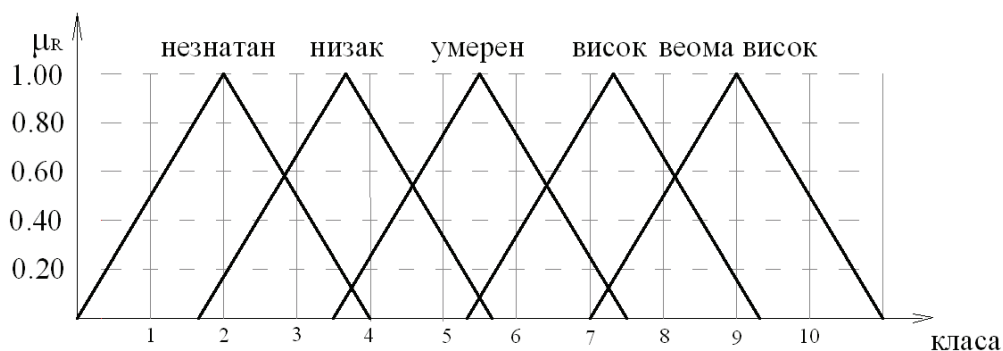
Детаљан приказ предложеног алгоритма процене ризика дат је у прилогу број 1.

### 5.1.1. Фази пропозиција

Фази пропозиција представља поступак дефинисања посматраног феномена лингвистичким променљивама, односно додељивање показатељима посматране појаве лингвистичке вредности.

Да би се приступило фази композицији и процени ризика, неопходно је дефинисати лингвистичке променљиве којима ће се описати посматрани показатељи. Лингвистичке променљиве које описују фази скупове показатеља нивоа ризика су: незнатан, низак, умерен, висок и веома висок. Фази скупови могу бити приказани са функцијом припадности у облику троугла и трапеза, или ређе звонастог облика. Облик функције припадности, које представљају наведене лингвистичке променљиве, у овом моделу су дате у облику троугла (Слика 5.5). Троугаони облик функције припадности примењује се за лингвистички прецизније термине (Ivezić i dr., 2008).

У практичној примени фази закључивања, за одређивање нивоа ризика, елиминише се потреба да се улазне вредности анализираних показатеља, одређеног феномена или појаве, изражавају прецизним математичким вредностима, већ лингвистичким променљивама. Потребно је водити рачуна да се при анализи не узме велики број лингвистички променљивих јер се могу јавити потешкоће приликом оцене. У колико постоји велики број лингвистички променљивих којима се описују показатељи одређеног феномена или појаве може се десити да експерт који ради оцену не може да се одлучи којом ће лингвистички променљивом да оцени посматрани феномен. Људски мозак није у стању да у једном тренутку сагледа више од седам различитих појмова (Wang i dr., 1995).



Слика број 5.5 Фази скупови показатеља нивоа ризика

Фази скупови се могу представити преко функције припадности  $\mu$  одређеним класама за сваку лингвистичку променљиву, где се појам класа уводи као јединица мере за показатеље ризика. Класа која има вредност 1 репрезентује најмање вредности показатеља за најбоље стање система, док класа 10 највише вредности показатеља ризика. Појам класе је довољно препознатљив појам који дефинише ниво квалитета. За предложени модел усвојено је пет лингвистички променљивих и 10 класа. Овако велики број класа усвојен је због проблема који се могу јавити приликом фазификације, тј може се десити да код показатеља временског стања машине у раду или застоју не дође до преклапања са фази скупа показатеља ни са једном класом. Фази скупови за сваку лингвистичку променљиву могу се представити у следећем облику:

$$\mu_j = (\mu_i = 1, \dots, \mu_i = 10) \quad (5.1)$$

Фази скупови показатеља ризика са одговарајућим функцијама припадности у облику троугла, према слици 5.5 биће:

$$\mu_{neznatan} = (0.5, 1, 0.5, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0); \quad (5.2)$$

$$\mu_{nizak} = (0, 0.165, 0.65, 0.83, 0.33, 0, 0, 0, 0, 0); \quad (5.3)$$

$$\mu_{umeren} = (0, 0, 0, 0.25, 0.75, 0.75, 0.25, 0, 0, 0); \quad (5.4)$$

$$\mu_{visok} = (0, 0, 0, 0, 0, 0.33, 0.83, 0.65, 0.16, 0); \quad (5.5)$$

$$\mu_{veoma\ visok} = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.5, 1, 0.5). \quad (5.6)$$

### 5.1.2. Фазификација

Фазификација представља процедуру претварања улазних података који су дати у нумеричкој или лингвистичкој форми у фази бројеве. Код оцене показатеља ризика и поузданости који су дати као нумеричке вредности, као што је време у раду или време проведено у застоју због отказа, неопходно је фазификовати кумулативне функције. Вејбулова двопараметарска расподела јесте једна од најзаступљенијих расподела у теорији поузданости. Применом ове

расподеле, према (Weibull, 1951) могуће је одредити функцију позданости, односно функцију отказа. Функција поузданости има облик:

$$R_{(t)} = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (5.7)$$

Вејбулову расподелу могуће је применити за одређивање функције погодности одржавању. Функција погодности одржавања има следећи облик:

$$M_{(t)} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (5.8)$$

У обрасцима 5.7 и 5.8:

$t$  – представља временски период за који се рачуна поузданост ,

$\beta$  – параметар облика, а

$\eta$  – параметар размере.

Параметре Вејбулове расподеле могуће је одредити графички, преко папира вероватноће ове расподеле, или аналитички.

За случај малог узорка, малог броја отказа  $n < 30$ , где је  $n$  број отказа, уместо функције расподеле отказа

$$F_{(t)} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (5.9)$$

рачуна се медијални ранг, према Бернарвој апроксимацији или се може узети из таблица које се могу наћи у литератури.

$$MR = \frac{j - 0.3}{n + 0.4} \quad (5.10)$$

где је:

$j$  – редни број отказа сређених по растућем редоследу

$n$  – укупан број отказа

За функцију поузданости и функцију погодности одржавања одређује се средња вредност расподеле и стандардна девијација, према обрасцима:

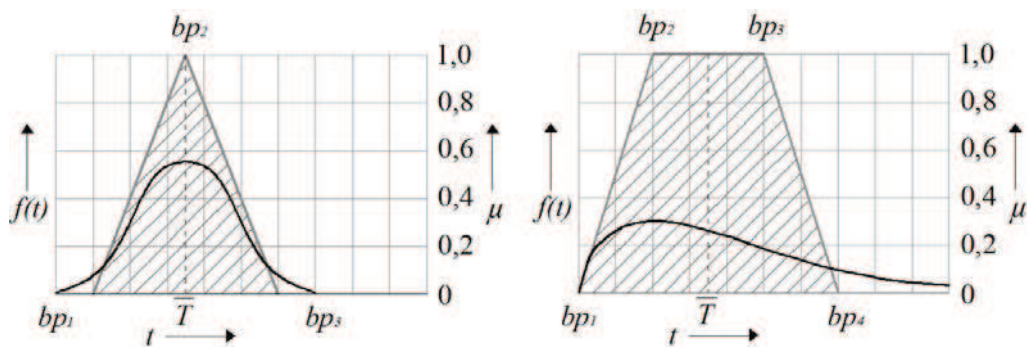
$$\bar{T} = \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (5.11)$$

$$\sigma = \sqrt{\eta^2 \cdot \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[ \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \right\}} \quad (5.12)$$

где  $\Gamma$ - представља гама функцију.

### 5.1.2.1 Фазификација кумулативне функције

Улазни подаци времена у раду и времена у отказу машине  $t=t_1, \dots, t_n$ , добијених на основу временске слике стања система, уз примену Вејбулове двопараметарске расподеле, фазификују се у фази бројеве трапезастог облика, за вредности параметра  $1 < \beta < 3$  (Слика 5.6). Вејбулова расподела за вредност параметра  $\beta=1$  прелази у Експоненцијалну, а за вредности  $\beta > 3$  прелази у Нормалну расподелу (Ivković, 1997), па за вредности  $1 < \beta < 3$  најпогодније је према (Tanasijević i dr., 2013) користити трапезни облика фази броја.



Слика број 5.6 Троугаони и трапезни фази скуп

Трапезни фази скуп може се представити преко тачака прекида у следећем облику:

$$Fb = (tp_1, tp_2, tp_3, tp_4) \quad (5.13)$$

Тачке прекида представљају вредности за које је  $\mu=0$  и  $\mu=1$ , што се може приказати у следећем облику:

$$tp_1 = i(\mu = 0); \quad tp_2 = i(\mu = 1); \quad tp_3 = i(\mu = 1); \quad tp_4 = i(\mu = 0). \quad (5.14)$$

Тачке прекида  $tp_1$ ,  $tp_4$ , узимају вредност минималног и максималног забележеног времена  $t$ . Времена за тачке прекида  $tp_2$ ,  $tp_3$ , рачунају се на основу средњег времена  $\bar{T}$  у зависности од параметра облика Вејбулове расподеле  $\beta$ .

$$tp_2 = \bar{T} - x(\bar{T} - t_1) \quad (5.15)$$

$$tp_3 = \bar{T} + x(t_n - \bar{T}) \quad (5.16)$$

где је:  $x=0$  за  $\beta=3$  и  $x=1$  за  $\beta=1$

За случај да је  $tp_2=tp_3$ , трапезни облик фази скупа прелази у троугаони.

Фактор размере  $x$  на основу параметра  $\beta$  може се одредити линеарном интерполацијом.

Треба такође повезати одређене класе са временима у раду, односно у застоју. Код времена у застоју, најкраће време застоја додаје се класи 1, а најдуже време класи 10, док се код времена у раду, најкраће време рада додаје класи 10, а најдуже класи 1.

#### 5.1.2.2. Фазификација података добијених на основу експертске оцене

Проблем фазификације података добијених на основу експертске оцене решава се увођењем степена припадности фази скуповима. Треба напоменути да се степен припадности разликује од функције припадности која је обележена са  $\mu$ . У суштини, степен припадности представља проценат припадања посматраног показатеља одређеном фази скупу.

За потребе фазификације формира се упитник у коме анкетирано лице према свом мишљењу даје степен припадности одређеном фази скупу, с тим да се може одредити за више фази скупова али збир степена припадности мора да



буде једнак 1. У табели 5.1 дат је показни пример резултата анкете на основу пет анкетираних лица.

**Табела број 5.1** Степен припадности фази скупова на основу експертске оцене

аналитичар		Фази скуп				
		незнатан	низак	умерен	висок	веома висок
1	Ro			1		
2	Ro		0.3	0.7		
3	Ro		0.7	0.3		
4	Ro		0.5	0.5		
5	Ro		0.2	0.8		
Σ	Ro		0.34	0.66		

Четири лица су дала одређени степен припадности класи низак (0.3; 0.7; 0.5; 0.2), док су свих пет анкетираних доделили тежинске факторе класи умерен (1; 0.7; 0.3; 0.5; 0.8).

Степен припадности за фази скуп низак:

$$\frac{((1 \times 0.3) + (1 \times 0.7) + (1 \times 0.5) + (1 \times 0.2))}{5} = 0.34$$

Степен припадности за фази скуп умерен:

$$\frac{((1 \times 1) + (1 \times 0.7) + (1 \times 0.3) + (1 \times 0.5) + (1 \times 0.8))}{5} = 0.66$$

Добијени степени припадности множе се са функцијама припадности одређеним класама, па за фази скупове *низак* и *умерен* према 5.3 и 5.4 биће:

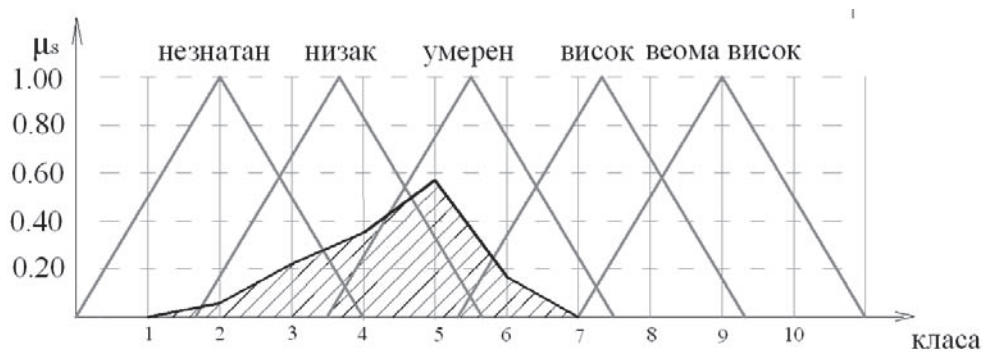
$$\mu_{\text{низак}} = (0 \times 0.34, 0.165 \times 0.34, 0.65 \times 0.34, 0.83 \times 0.34, 0.33 \times 0.34, 0 \times 0.34, 0 \times 0.34, 0 \times 0.34, 0 \times 0.34, 0 \times 0.34);$$

$$\mu_{\text{умерен}} = (0 \times 0.66, 0 \times 0.66, 0 \times 0.66, 0.25 \times 0.66, 0.75 \times 0.66, 0.75 \times 0.66, 0.25 \times 0.66, 0 \times 0.66, 0 \times 0.66, 0 \times 0.66);$$

На исти начин се одређују функције припадности за остале фази скупове, што је приказано у табели 5.2, док се функција припадности показатеља ризика одређеним класама ( $j=1, \dots, 10$ ) одређује као збир свих функција припадности тој класи, па за класу 5 биће:

$$(0 \times 0) + (0.33 \times 0.34) + (0.75 \times 0.66) + (0 \times 0) + (0 \times 0) = 0.569$$

На основу добијених функција припадности показатеља ризика може се приказати фази скуп показатеља ризика који се пресликава на претходно дефинисане фази скупове, да би се добила функција припадности класама. За наведени пример, фази скуп показатеља нивоа ризика приказан је на слици 5.7.



**Слика број 5.7** Функција припадности показатеља ризика класама

**Табела број 5.2** Одређивање функција припадности показатеља ризика одређеним класама

$j=$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0/незнатан	0.5×0	1×0	0.5×0	0×0	0×0	0×0	0×0	0×0	0×0	0×0
0.34/низак	0×0.34	0.165×0.34	0.65×0.34	0.83×0.34	0.33×0.34	0×0.34	0×0.34	0×0.34	0×0.34	0×0.34
0.66/умерен	0×0.66	0×0.66	0×0.66	0.25×0.66	0.75×0.66	0.25×0.66	0×0.66	0×0.66	0×0.66	0×0.66
0/висок	0×0	0×0	0×0	0×0	0×0	0.33×0	0.83×0	0.65×0	0.165×0	0×0
0/веома висок	0×0	0×0	0×0	0×0	0×0	0×0	0×0	0.5×0	1×0	0.5×0
□	0	0.0561	0.221	0.3512	0.569	0.165	0	0	0	0

Са добијеним функцијама припадности показатеља ризика одређеним класама приступа се композицији показатеља нивоа ризика у циљу оцене нивоа ризика.

### 5.1.2.3. Фазификација нумеричких података

Нумерички подаци о евентуалним повредама радника и загађењу животне средине проузрокованих отказима могу се такође увести у модел процене показатеља ризика поступком фазификације.

Утицај отказа на животну средину може се утврдити мерењем количина штетних и загађујућих материја у ваздуху, земљишту и води. На основу минималних и максималних забележених вредности и максимално дозвољених концентрација (МДК) загађујућих материја може се дефинисати облик фази скупа.

Повреде радника настале услед отказа техничког система или елемената истог, такође се могу приказати фази скуповима. Фазификација се може урадити на више начина у зависности од случаја до случаја на основу класификације. Класификација повреда може се извршити према степену инвалидитета, према броју дана проведених на боловању, према тежини итд.

Добијени фази скупови фазификованих нумеричких података имају облик као на слици 5.6.

### 5.1.3. Фази композиција при процени нивоа ризика

За оцену нивоа ризика отказа елемената техничких система потребно је урадити синтезу парцијалних показатеља ризика. Синтеза се врши на основу одговарајуће фази композиције. Код оцене ризика, према (Kundu, 1998), на бази математичке анализе доказано је да је *min-max* композиција прецизнија у односу на *max-min* у смислу концентрације резултата око коначне еквиваленције за успостављање релације. Код феномена који приказују негативне вредности, као што је ризик, резултанта појмова који чине синтезни модел представља најлошији међу најбољим исходима. На тај начин се добија релативно оштрија оцена, а код оцене ризика није грешка ако постоји већа обазривост. Супротно је са феноменима као што је сигурност, поузданост, и сл., када се може користити *max-min* композиција.

За три фази скупа показатеља ризика **S**, **O** и **D**, који су дефинисани са одговарајућим функцијама припадности и класама, биће приказан принцип *min-max* композиције. Фази скупове показатеља ризика могуће је представити преко скупова функција припадности на следећи начин (Petrović i dr., 2014):

$$\mu_S = (\mu_S^1, \mu_S^2, \dots, \mu_S^j), \mu_O = (\mu_O^1, \mu_O^2, \dots, \mu_O^j), \mu_D = (\mu_D^1, \mu_D^2, \dots, \mu_D^j), \quad (5.17)$$

- i) Први корак *min-max* композиције јесте да се, за дата три фази скупа, одреди максимални број комбинација функција припадности. За фази скупове (5.17) могуће је  $C = j^3$  комбинација.

Ако се за **j** узме мали број, могу се појавити проблеми приликом композиције јер се праве рупе (енг. gaps) у коначном резултату.

- ii) За анализу се узимају само оне комбинације чије су вредности функције припадности различите од 0,  $\mu_{S,O,D}^{j=1,\dots,10} \neq 0$ . Такве комбинације означимо са **O**, где је  $O \in C$ . За такве комбинације рачуна се исход (Miodragović i dr., 2012) према следећем обрасцу:

$$\Omega = \frac{\sum_{S,O,D} i}{3} \quad (5.18)$$

Исход може такође бити дефинисан и експертски, не мора бити преко формуле. На тај начин се даје флексибилност експертском систему.

- iii) Следећи корак јесте да се за добијене комбинације одреди максимум вредности комбинације  $\mu_{S,O,D}$  за оне комбинације чије су вредности функције припадности различите од 0.

$$MAX = \max \{ \mu_S^{j=1,\dots,10}, \mu_O^{j=1,\dots,10}, \mu_D^{j=1,\dots,10} \}, \text{ за свако } o=1 \text{ до } O \quad (5.19)$$

- iv) На крају, комбинације се разврставају према исходима и за сваки исход тражи се минимална вредност међу претходно одређеним максимумима.

$$MIN_j = \min \{ MAX_o \} \text{ за свако } j \quad (5.20)$$

На основу *min-max* композиције оцењених показатеља ризика одређује се ниво ризика за сваку варијанту. Оцена нивоа ризика добија се коначно у облику:

$$\mu_R = (MIN_j = 1, \dots, MIN_j = 10) \quad (5.21)$$

#### 5.1.4. Идентификација - дефазификација

Након *min - max* композиције потребно је добијени облик (5.21) претворити у облик који дефинише степен припадности, односно функцију припадности фази скуповима: незнатан, низак, умерен, висок и веома висок. Према (Wang i dr., 1995) *Best-fit* метода (метода најмањих квадрата) је одговарајући поступак за одређивање функције припадности одређеним фази скуповима. Овом методом одређује се растојање између добијене вредности функције припадности  $\mu$  методом *min - max* композиције и вредности  $\mu$  за унапред дефинисане фази скупове датих обрасцима 5.2 – 5.6.

$$d_i(R_i, H_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^{10} (\mu^j R - \mu^j H_i)^2} \quad (5.22)$$

$j=1, \dots, 10$ ;  $H_i = \{\text{незнатан, низак, умерен, висок, веома висок}\}$

где је:

$H$  – скуп лингвистички променљивих којима се описује ниво ризика

$$\alpha_i = \frac{1}{d_i / d_{i \min}}, \quad i=1, \dots, 5; \quad (5.23)$$

У обрасцу 5.23  $\alpha_i$  представља релативно растојање у односу на најмању вредност растојања  $d_{i \min}$  добијене вредности у односу на задате фази скупове. Затим се ради нормализација релативних растојања и на тај начин се добија степен припадности добијене оцене одређеном фази скупу чије су вредности  $0 \leq \beta \leq 1$ .

Нормализација релативних растојања ради се према следећем обрасцу:

$$\beta_i = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^5 \alpha_{im}} \quad i=1, \dots, 5; \quad \sum_{i=1}^5 \beta_i = 1 \quad (5.24)$$

На крају ниво ризика отказа елемената техничких система може се изразити на следећи начин:

$$R_i = \left\{ \begin{array}{l} (\beta_{i=1}, \text{незнатан}), (\beta_{i=2}, \text{низак}), (\beta_{i=3}, \text{умерен}), \\ (\beta_{i=4}, \text{висок}), (\beta_{i=5}, \text{веома висок}) \end{array} \right\}, \quad (5.25)$$

## 5.2. Хијерархијска композиција показатеља ризика отказа елемената у функцији процене ризика отказа система

Приступ процени ризика које носи отказ елемената техничких система који се примењују за експлоатацију и прераду минералних сировина, у овом истраживању, заснива се на чињеничном стању машина у посматраном тренутку. Стање машина сагледава се кроз анализу постојећих података о раду машине, односно отказима, у посматраном временском периоду. Подаци о забележеним хаваријским стањима, узроцима и последицама које су тиме изазване чине полазну основу за формирање квалитетног модела процене ризика.

Предложени модел процене ризика отказа техничких система у рударству и ефеката ризичног догађаја заснива се на чињеничном закључивању применом правила фази алгебре. Фази модел процене ризика отказа обухвата:

- процену парцијалних показатеља ризика отказа елемената система,
- синтезну оцену нивоа ризика отказа елемената,
- хијерархијску синтезу оцена ризика на ниво техничког система

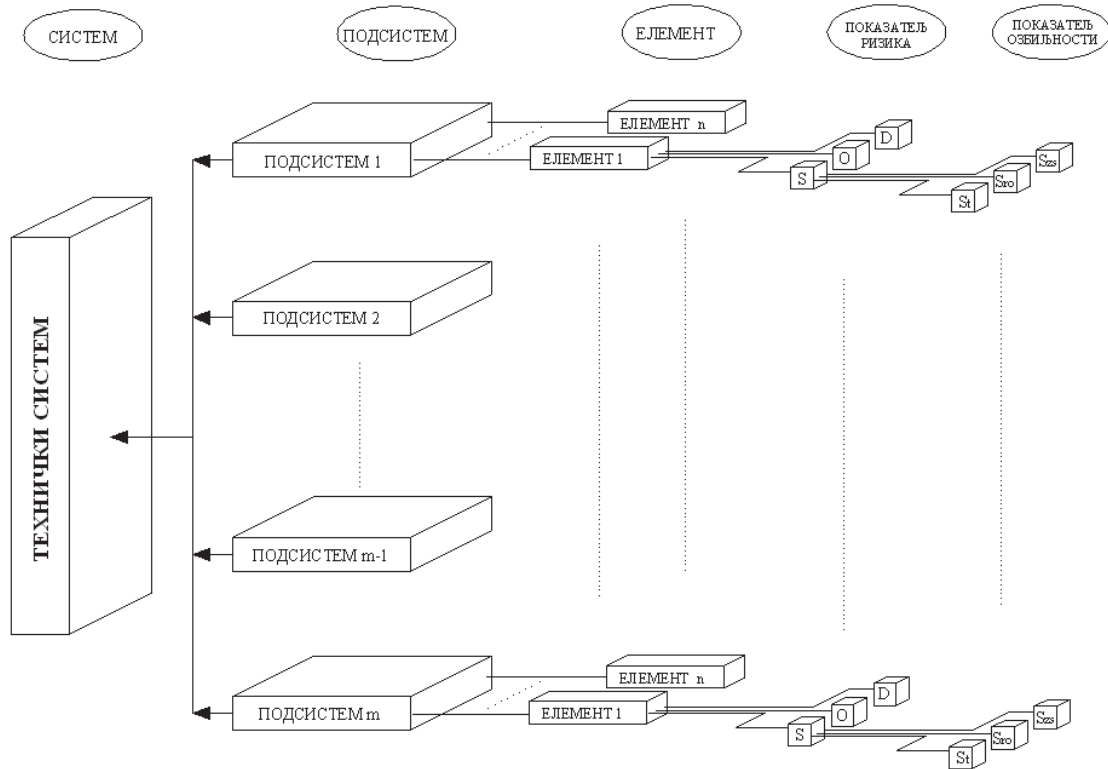
Суштина модела процене ризика јесте да се на основу дефинисаних показатеља ризика, применом статистичке обраде и фази логичким закључивањем одреди ниво ризика. За показатеље нивоа ризика у овом истраживању усвојени су:

- озбиљност отказа,
- учесталост појављивања отказа и
- могућност благовременог откривања пре него што се отказ деси.

Озбиљност отказа (*S*), сагледава се у односу на следеће аспекте:

- технички систем или машину и колику штету може изазвати, односно колико је времена поребно да се машина врати у функционално стање,

- на запослене раднике, да ли отказ може да угрози безбедност и здравље радника и
- како и у којој мери отказ, односно штетне последице отказа утичу на животно окружење.



Слика број 5.8 Фази модел процене ризика

Учесталост појављивања (**O**) отказа представља временски показатељ машине у раду, односно забележена времена у раду до појаве отказа. На основу статистичких података о временима између отказа одређује се математички закон расподеле, тј. функција отказа. Насупрот овом показатељу, позданост представља вероватноћу да ће систем радити без отказа у одређеном временском интервалу.

Могућност благовременог откривања отказа (**D**) пре него што се деси представља показатељ који приказује вероватноћу откривања потенцијалног отказа – детектибилност. Може се одредити само на основу експертске оцене лица која раде на одржавању машине.

Сви поменути показатељи улазе у синтезну оцену ниво ризика отказа елемената система – машине у конкретном случају.

Оцена нивоа ризика отказа подсистема представља синтезну оцену на основу оцене ризика елемената применом *min-max* композиције, а оцена нивоа ризика отказа целог техничког система се ради на основу добијених оцена нивоа ризика отказа за подсистеме, такође применом *min-max* композиције.

Модел примене теорије фази скупова и фази логике за одређивање нивоа ризика отказа биће приказан на примеру мобилне дробилице „Lokotrack 1213S“ произвођача „METSO MINERALS“. Дробилица се користи за секундарно млевење каменог агрегата на каменолому „Ладне воде“ код Петровца на Млави. Чињеница да дробилица ради у систему *багер – примарна дробилица – дробилица „Lokotrack 1213S“* представља још један разлог усвајања овог примера да се на њему прикаже предложени модел процене ризика. Застој због отказа на овој дробилици значи и застој процеса уситњавања каменог агрегата на каменолому. Значај ове машине у процесу експлоатације и прераде каменог агрегата један је од разлога што је изабрано да се на примеру отказа ове машине прикаже развијени модел процене ризика. Други разлог је тај што се на каменолому води квалитетна и систематизована евиденција података о отказима машина које се примењују.

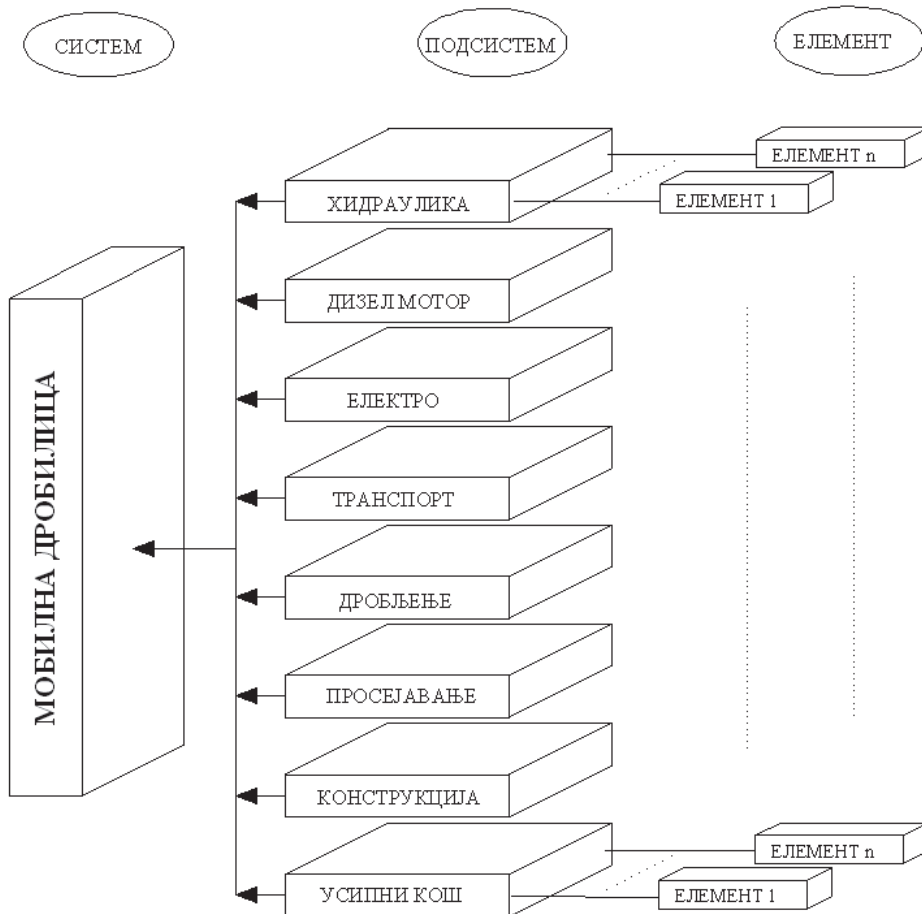
### **5.2.1. Декомпозиција система**

Системски приступ процени ризика отказа машина захтева стручну и систематичну декомпозицију система. Изостављање неког, на први поглед небитног подсистема или саставног дела машине, могло би се негативно одразити на функционалност модела процене ризика као и на коначан резултат. Из тих разлога овом задатку треба приступити стручно са добрим познавањем функционисања техничког система и међуодноса елемената система. Да би се урадила анализа и проценио ниво ризика отказа техничких система овом методологијом потребно је систем рационално рашчланити на подсистеме, а подсистеме на елементе, тј. до функционалних целина које целовито утичу на



индикаторе ризика. Технички систем – дробилица подељена је на осам подсистема, и то:

- систем хидраулике,
- главни дизел мотор,
- електросистем,
- систем за транспорт масе транспортерима са траком унутар машине
- систем за дробљење,
- систем за просејавање,
- конструкција дробилице и
- усипни кош – дозатор.



Слика број 5.9 Декомпозиција техничког система

За сваки подсистем дробилице, на основу обрађених података о врстама отказа и елемента система на коме се појавио отказ, анализирају се показатељи и процењује ниво ризика за пет карактеристичних отказа.

## **5.2.2. Прикупљање података**

### **5.2.2.1. Евидентирање података о отказима дробилице „Lokotrack 1213S“**

Евиденција података о отказима и застојима машина на каменолому води се свакодневно кроз више интерних докумената. Први документ који се води јесте сменски извештај о раду машине тзв. „радни налог“ који се попуњава у току смене, а попуњава га руковалац машине. У радном налогу уписују се следећи подаци: број моточасова мотора и система за дробљење на почетку и на крају смене, недостаци уочени редовним прегледом на почетку смене, радни задатак машине, позиција на којој машина ради, гранулација финалног производа, и евиденције о типовима застоја и отказа машине, као и евентуалне интервенције на машини ради отклањања отказа. Поред радног налога пословођа каменолома води „Књигу сменских извештаја рада на каменолому“. У сменским извештајима такође се води евиденција о отказима и раду свих машина на каменолому. Трећи акт који се попуњава на крају смене јесте „Сменски извештај бравара“ где се наводе радови и мере за отклањање отказа за све машине на каменолому.

Из претходног се може закључити да се на каменолому врши квалитетно и систематично вођење евиденције о појавама отказа на одређеном техничком систему – машини, што је битан предуслов за формирање модела процене ризика. У дисертацији су узети подаци о отказима дробилице за период од 01. 01. 2009. – 31. 12. 2010. године. На основу прегледане документације закључено је да у периоду пре наведеног није константно вођена евиденција о раду машине, па се сматрало да подаци из ранијег периода нису релевантни за предложени модел. Почетком 2011. године на дробилици је рађен велики сервис, тако да ни подаци после ремонта не би осликавали право стање машине. Из тих разлога усвојено је да се анализирају откази који су се десили у периоду од две године.

### 5.2.2.2. Класификација и анализа података

Подаци везани за врсту и времена између отказа, који су добијени на основу детаљне анализе документације на каменолому, сврстани су према претходној подели дробилице на подсистеме. Утврђено је да је у посматраном периоду било око 330 отказа, што представља забрињавајућу цифру.

За сваки од осам подсистема анализирано је по пет карактеристичних и најчешћих врста отказа. Подаци о временима у раду и времена потребна да се отклоне откази приказани су у табелама 5.3 до 5.11.

**Табела број 5.3** Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због отказа за подсистем *хидраулика*

Подсистем	Део у отказу	Број отказа	Време у раду (h)	Време застоја (h)
Хидраулика	Цурење уља	13	24, 85, 97, 131, 198, 247, 287, 300, 366, 530, 610, 1136, 1347	0.5, 0.5, 0.6, 0.6, 0.8, 0.9, 1, 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2.5
	Цурење резервоара	2	995, 3432	4, 8
	Црева хидраулике	16	37, 97, 137, 140, 151, 176, 205, 219, 263, 304, 327, 448, 469, 877, 1069	1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 2.1, 2.2, 2.5, 3.0, 3.2, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 4.0, 4.1, 4.2
	Главна хидро пумпа	2	1113, 3489	12, 38
	Хидромотори	8	302, 463, 587, 635, 718, 956, 1452, 2692	4, 4.5, 8, 12, 17, 19.5, 25, 30

**Табела број 5.4** Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због отказа за подсистем *мотор*

Подсистем	Део у отказу	Број отказа	Време у раду (h)	Време застоја (h)
Мотор	Алтернатор	4	237, 739, 942, 2569	2.5, 4, 6.5, 8.2
	Цурење црева расхладне течности	5	270, 410, 1487, 1736, 2056	1, 1.2, 3.5, 4.5, 6.8,
	Лежајеви на елиси хладњака	3	1363, 2019, 2583	2.5, 3.5, 4.8
	Прекид довода горива	4	183, 336, 649, 670	0.5, 0.5, 0.8, 2.2
	Ремени преносници	10	58, 89, 146, 152, 259, 375, 456, 573, 1401, 1428	0.3, 0.5, 0.5, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 1.2, 1.2, 1.3

**Табела број 5.5** Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због  
отказа за подсистем *електро*

Подсистем	Део у отказу	Број отказа	Време у раду (h)	Време застоја (h)
<b>Електро</b>	Ел. вентили	6	83, 226, 527, 529, 690, 1092	2.2, 4.5, 8, 10.5, 11.6, 15.5
	компјутер	3	602, 871, 3105	22, 26, 40
	Прекид каблова, контакти	9	148, 173, 206, 219, 360, 385, 703, 807, 2428	0.5, 0.8, 1, 1, 1.2, 2.5, 3, 3.5, 4
	Релеј компјутера	3	538, 1732, 3462	2.2, 6.5, 14
	Сензори	10	26, 61, 87, 104, 147, 164, 232, 496, 667, 735	2, 3.5, 4, 5.6, 7, 8.5, 10, 12, 14.5, 16

**Табела број 5.6** Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због  
отказа за подсистем *дробљење*

Подсистем	Део у отказу	Број отказа	Време у раду (h)	Време застоја (h)
<b>Дробљење</b>	Доња врата млина	7	129, 144, 539, 749, 1051, 1442, 1558	3, 4, 4, 5.5, 7, 7.7, 8
	Лом облоге млина	16	35, 60, 69, 80, 84, 99, 100, 110, 266, 279, 279, 411, 439, 535, 679, 1864	1, 1, 1.5, 2, 2, 2, 2.3, 2.5, 2.5, 2.6, 2.8, 2.8, 3, 3, 3, 3.4
	Лом завртњева на облогама	26	13, 17, 18, 21, 24, 25, 28, 30, 34, 47, 49, 61, 82, 84, 91, 93, 100, 159, 164, 181, 190, 249, 395, 423, 443, 514	1, 1, 1, 1.2, 1.2, 1.3, 1.3, 1.5, 1.5, 1.5, 1.5, 1.5, 2, 2, 2, 2, 2.2, 2.2, 2.5, 2.5, 2.5, 3, 3.5, 4
	Рамени преносник	7	202, 226, 498, 678, 844, 1056, 2334	1, 1, 1, 1.5, 1.5, 1.5, 2.5
	Ротор млина	2	795, 2686	24, 40

**Табела број 5.7** Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због  
отказа за подсистем *просејавање*

Подсистем	Део у отказу	Број отказа	Време у раду (h)	Време застоја (h)
<b>Просејавање</b>	Амортизер гуме	3	891, 906, 3043	2.4, 3, 4.5
	Испадање сита из лежишта	13	20, 81, 133, 141, 158, 181, 206, 219, 228, 360, 766, 965, 1042	1.5, 1.5, 1.5, 2, 2.2, 2.4, 2.5, 2.5, 2.5, 3, 4, 4, 4,
	Осигурач вобросита	7	228, 252, 258, 825, 840, 1200, 2143	0.5, 0.5, 0.7, 0.9, 1, 1, 2
	Сејне површине	10	35, 192, 201, 215, 205, 589, 792, 851, 879, 997,	2, 3, 3.6, 4, 4.5, 4.5, 6, 7, 8, 8,
	Спојница хидромотора вибросита	25	27, 28, 33, 38, 39, 49, 53, 63, 63, 71, 72, 76, 76, 91, 129, 256, 278, 308,, 329, 345, 396, 408, 472, 486	1, 1, 1, 1, 1.5, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3.5, 4

**Табела број 5.8** Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због  
отказа за подсистем *транспорт*

Подсистем	Део у отказу	Број отказа	Време у раду (h)	Време застоја (h)
<b>Транспорт</b>	Делимично кидање траке	24	22, 25, 32, 48, 51, 74, 93, 101, 105, 111, 131, 139, 146, 169, 170, 216, 259, 283, 299, 359, 460, 760, 791, 1987	8, 8, 8, 10, 10, 10, 12, 12, 14, 14, 16, 17, 18, 18, 18, 18, 20, 24, 24, 24, 24, 24, 24, 24
	Кидање траке	20	30, 43, 48, 50, 73, 102, 117, 133, 138, 146, 207, 212, 257, 317, 358, 404, 497, 509, 877, 1282	14, 14, 14, 14, 16, 16, 16, 16, 20, 20, 26, 26, 28, 30, 32, 32, 32, 33, 34, 34
	Лежајеви на бубњевима	20	44, 47, 59, 60, 62, 96, 99, 119, 120, 160, 174, 189, 238, 304, 320, 348, 440, 446, 633, 747	2, 2, 3, 3, 3, 4, 4, 4, 4.5, 4.5, 5, 5, 5, 6, 8, 8, 8, 8.5, 10, 10
	Неправилан рад траке	15	31, 60, 79, 90, 105, 135, 217, 252, 255, 470, 500, 552, 782, 985, 1256	2, 3, 3, 3, 3, 4, 4, 4, 4.5, 4.5, 5, 6, 6, 7, 8
	Погонски бубањ	7	124, 192, 322, 477, 957, 1041, 2014	4, 4, 4, 5, 6.5, 8, 8,

**Табела број 5.9** Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због  
отказа за подсистем *конструкција*

Подсистем	Део у отказу	Број отказа	Време у раду (h)	Време застоја (h)
<b>Конструкција</b>	Кривљење делова конструкције трака	2	553, 1792	3, 7
	Лом делова конструкције трака	6	90, 192, 230, 295, 305, 1276	2, 4, 4, 5, 6, 8
	Лом држача сита	3	456, 485, 1014	3, 4, 7
	Лом усипних кошева трака	2	879, 2753	1.5, 3.2
	Помоћна конструкција	5	193, 336, 517, 1240, 2334	1, 1.5, 2, 3.5, 4

Из табела 5.3 до 5.10 може се закључити да је највећи број забележених отказа код подсистема за транспорт маса, чак 86 отказа за посматрани период од две године.

**Табела број 5.10** Забележена времена у раду између два отказа и време застоја због отказа за подсистем *дозатор*

Подсистем	Део у отказу	Број отказа	Време у раду (h)	Време застоја (h)
<b>Дозатор</b>	Цурење уља из дозатора	2	1201, 3046	1, 2
	Лом држача дозатора	2	1113, 3478	2, 4
	Лом осовине дозатора	2	2253, 3476	24, 40
	Лом заварених спојева коша	2	1240, 2951	2, 5
	Прегревање уља у дозатору	3	897, 1036, 3325	1, 1.5, 2.5

Од укупног броја отказа најчешћи откази су делимично или потпуно кидање трака и отказ лежајева на бубњевима. Најмањи број отказа забележен је код подсистема *дозатор*, свега 11. Интересантно је то да је број отказа распоређен према подсистемима који узимају највеће учешће у раду дробилице. Број отказа према подсистемима распоређен је на следећи начин:

- систем за транспорт масе транспортерима са траком унутар машине	86
- систем за дробљење	58
- систем за просејавање	58
- систем хидраулике	41
- електросистем	31
- главни дизел мотор	26
- конструкција дробилице	18
- усипни кош – дозатор	11

Поред података о врстама отказа и временима проведених у раду и у застоју дробилице, неопходно је да се опишу показатељи ризика које није могуће добити на основу статистичких података. Из тих разлога приступило се анкетирању радника који раде у служби одржавања машина из производног система на каменолому. За сваки тип отказа сачињен је упитник за следеће показатеље:

- утицај отказа на безбедност и здравље радника који раде поред дробилице,
- утицај отказа на угрожавање животне средине и
- могућност благовременог откривања отказа редовним прегледом машине.

### 5.2.3. Процена нивоа ризика отказа елемената подсистема дроблице

Модел процене ризика отказа елемената система заснива се на фази експертском закључивању на основу показатеља реалног стања техничког система – машине. Ефекти ризичног догађаја чине суштински битне показатеље формираног модела. Фази модел процене ризика представља синтезу статистичких података и података добијених на бази експертске оцене стања система на основу забележених отказа.

Предложеним моделом, на основу три показатеља ризика отказа, уз примену *min – max* композиције и фазилогичког закључивања добија се процена нивоа ризика отказа елемената подсистема. За сваку врсту отказа анализирани су следећи показатељи:

- озбиљност отказа (негативан утицај отказа на функционалност машине, угрожавање безбедности радника и угрожавање животне средине), *S*,
- учесталост појављивања отказа (време проведено у раду), *O* и
- могућност благовременог откривања потенцијалних отказа, *D*.

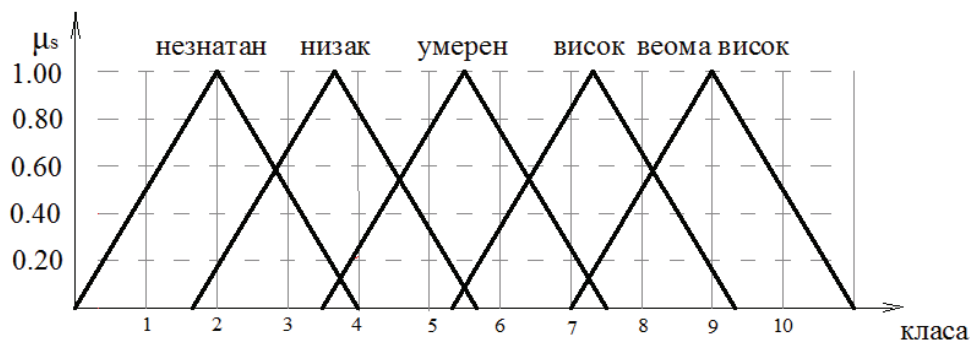
Због обимности резултата модела процене ризика, у овом делу биће приказане методе и технике процене ризика само једног елемента, подсистема и техничког система, док за остале елементе и подсистеме биће дати само резултати. На примеру *хидромотора* биће приказан модел оцене нивоа ризика за елементе подсистема, а оцена за подсистем биће приказана за подсистем „*систем хидраулике*“. Ови примери су узети са разлогом, јер је хидраулика један од најбитнијих саставних целина за неометано функционисање предметне дробилице као техничког система.

### 5.2.3.1. Одређивање показатеља озбиљности отказа

Озбиљност отказа представља негативан утицај на функционалност система и окружење. Озбиљност хаварије, односно утицај штете коју изазива отказ дела система на цео систем, сагледава се кроз три показатеља, а то су:

- време које машина проведе у застоју потребно за отклањање квара,  $S_t$
- утицај отказа на запослене, тј. штетни утицај отказа на безбедност и здравље запослених,  $S_{ro}$  и
- утицај на животну средину,  $S_{zs}$ .

Озбиљност отказа дефинисана је са следећим фази скуповима: незнатан, низак, умерен, висок и екстреман. Појам „незнатан“ представља могуће отказе који готово и немају неки утицај на рад система, док појам „веома висок“ описује потенцијалне отказе који изазивају огромну штету система, што је праћено трошковима оправке и застојем у производњи. Фази скуповима придружене су одговарајуће класе од 1 до 10, где се са класом 9 и 10 описује отказ који изазива екстремно високу штету у систему, целом технолошком процесу и окружењу, док класе 1 и 2 описују отказе који имају минималан утицај. Фази скупови озбиљности отказа, односно утицаја штете приказани су на слици 5.10.



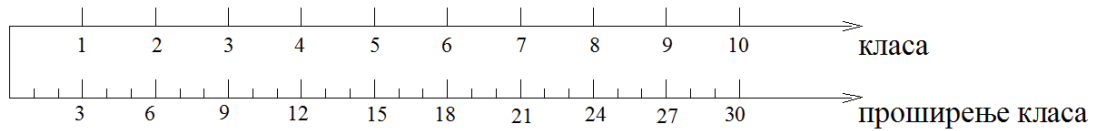
Слика број 5.10 Фази скупови озбиљности отказа

### Фазификација улазних података показатеља озбиљности отказа

Време које машина проведе у отказу узето је на основу статистичких података Службе одржавања на каменолому. Најкраће забележено време у застоју било је 0,5 часова, док најдуже време које је машина провела у застоју због отказа

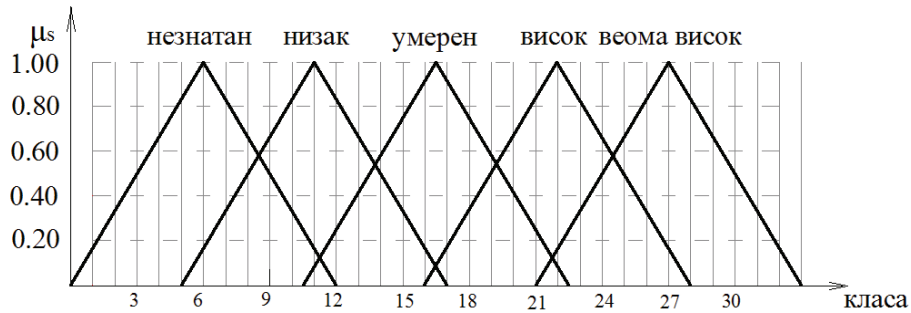


било је 40 часова. Време застоја код неких отказа јако је кратко што представља проблем приликом фазификације јер се добијени фази скуп налази између две класе и не може се очитати вредност функције припадности. Зато су фази скупови озбиљности отказа и показатеља озбиљности отказа проширени и укупан број класа је 30, слика 5.11.



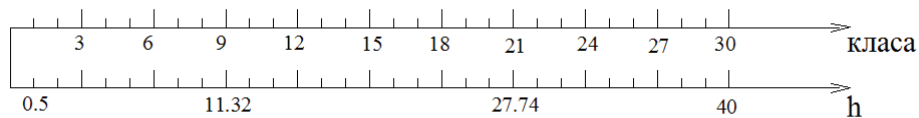
**Слика број 5.11** Графички приказ проширења класа

На основу слике 5.11 фази скупови (Слика 5.9) за проширени број класа добијају облик као на слици 5.12:



**Слика број 5.12** Фази скупови времена у отказу за проширени број класа

Када се фазификује време као показатељ неопходно је класама придружити времена проведена у отказу. Класи 1 придружено је најкраће време у застоју од 0,5 часова, док класи 30 придружено је најдуже време у застоју, а то је 40 радних часова (Слика 5.13). За остале класе времена се одређују линеарном интерполацијом.

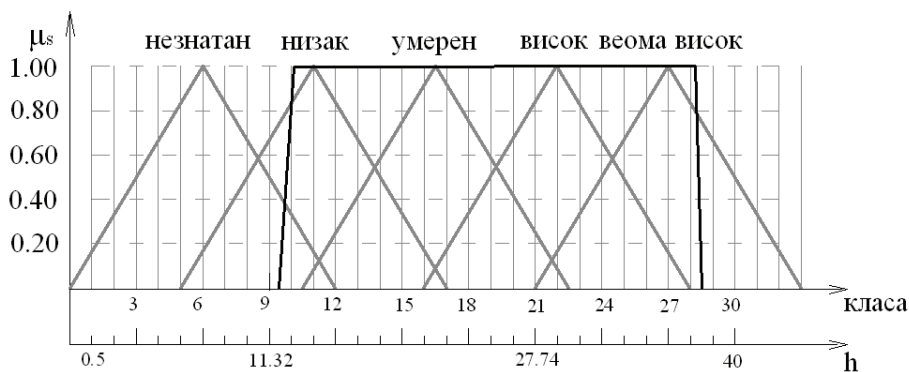


**Слика број 5.13** Зависност између времена у отказу и класа фази скупова

Време застоја до отклањања отказа фазификује се према поступку који је дат у тачки 5.1.2.1., а подаци о временима у отказу за елементе подсистема хидраулика дати су табели 5.11.

Табела број 5.11 Фазификација времена у отказу за елементе подсистема хидраулика

Елемент у отказу	Времена у отказу	Ф-ја отказа, $F(t)$	Параметри расподеле		Фактор размере, $x$	Фазификација времена у отказу				
			$\beta$	$\eta$		$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_{cp}$
Хидро – мотори	4, 4.5, 8, 12, 17, 19.5, 25, 30	$1 - e^{-\left(\frac{t}{17.32}\right)^{1.4}}$	1.4	17.32	0.8	4	6.358	27.16	30	15.79
Прева хидраулике	1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 2.1, 2.2, 2.5, 3.0, 3.2, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 4.0, 4.1, 4.2	$1 - e^{-\left(\frac{t}{3.24}\right)^{2.57}}$	2.57	3.24	0.215	1.2	2.375	3.022	4.2	2.7
Цурење резервоара за уље	4, 8	$1 - e^{-\left(\frac{t}{7.14}\right)^{1.84}}$	1.84	7.14	0.58	4	4.98	7.3	8	6.34
Цурење уља	0.5, 0.5, 0.6, 0.6, 0.8, 0.9, 1, 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2.5	$1 - e^{-\left(\frac{t}{1.17}\right)^{2.33}}$	2.33	1.17	0.335	0.5	0.86	1.53	2.5	1.04
Главна хидро - пумпа	12, 38	$1 - e^{-\left(\frac{t}{31.46}\right)^{1.1}}$	1.1	31.46	0.95	12	12.91	37,61	38	30.31



Слика број 5.14 Функција припадности времена у отказу за главну хидропумпу одговарајућим класама

Функција припадности времена у отказу може се написати на основу слике 5.14 у следећем облику:

$$S_i = (1, 2, \dots, 9/0, 10/0.83, 11/1, 12/0.83, 13/0.65, 14/0.58, 15/0.75, 16/0.91, 17/0.91, 18/0.75, 19/0.58, 20/0.65, 21/0.83, 22/1, 23/0.83, 24/0.65, 25/0.65, 26/0.83, 27/1, 28/0.83, 29, 30/0)$$

Штетни утицај отказа на раднике који опслужују машину и раде у њеној непосредној близини, као и утицај отказа на животну средину узет је на основу оцене радника који раде на одржавању машина на каменолому. Анкетирано је пет радника и они су дали процентуално припадност одређеном фази скупу или

скуповима. Упитник је дефинисан тако да укупна оцена припадности фази скуповима буде један, односно 100%.

Према упитнику из табеле број 5.12 може се видети да су два радника од пет анкетираних оценили да је утицај на радно окружење у класи „висок“ са степеном припадности од 0.3 и 0.1 што се може представити:

$$((1 \times 0.3) + (1 \times 0.1)) / 5 = 0.08.$$

Свих пет анкетираних радника сврстали су утицај отказа на запослене у категорији „умерен“ са одговарајућим степеном припадности. На основу табеле 5.12, степен припадности фази скупу „умерен“ има следећи облик:

$$((1 \times 0.8) + (1 \times 0.5) + (1 \times 0.5) + (1 \times 0.4) + (1 \times 0.6)) / 5 = 0.56$$

**Табела број 5.12** Упитник утицаја на радно окружење и животну средину за хидромоторе

		Негативан утицај отказа				
		незнатан	низак	умерен	висок	Веома висок
1	Радно окружење		0.2	0.8		
	Животна средина				1	
2	Радно окружење		0.2	0.5	0.3	
	Животна средина			0.8	0.2	
3	Радно окружење		0.5	0.5		
	Животна средина			1		
4	Радно окружење		0.5	0.4	0.1	
	Животна средина			1		
5	Радно окружење		0.4	0.6		
	Животна средина			1		
Σ	Радно окружење		0.36	0.56	0.08	
	Животна средина			0.76	0.24	

Сви пет анкетираних радника сматрају да утицај отказа на запослене припада и класи „низак“ са одговарајућим степеном припадности, па је:

$$((2 \times 0.2) + (2 \times 0.5) + (1 \times 0.4)) / 5 = 0.36$$

Утицај отказа на запослене који раде са машином може се изразити:

$$R_O = (0/\text{незнатан}, 0,36/\text{низак}, 0,56/\text{умерен}, 0,08/\text{висок}, 0/\text{веома висок}) \quad (5.26)$$

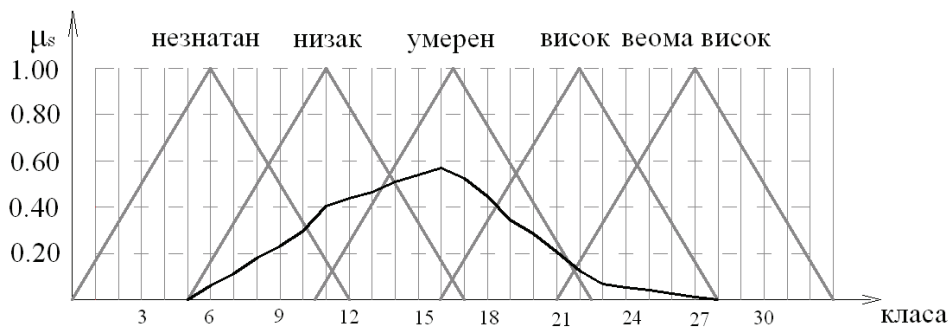
Добијене степене припадности треба помножити са функцијама припадности класама. За фази скупове умерен добија се да је:

$$S_{r(\text{умерен})} = (1,2,\dots,10/0 \times 0.7, 11/0.08 \times 0.7, 12/0.25 \times 0.7, 13/0.415 \times 0.7, \\ 14/0.58 \times 0.7, 15/0.75 \times 0.7, 16/0.91 \times 0.7, 17/0.91 \times 0.7, \\ 18/0.75 \times 0.7, 19/0.58 \times 0.7, 20/0.415 \times 0.7, 21/0.25 \times 0.7, \\ 22/0.8 \times 0.7, 23, 24, \dots, 30/0 \times 0.7). \quad (5.27)$$

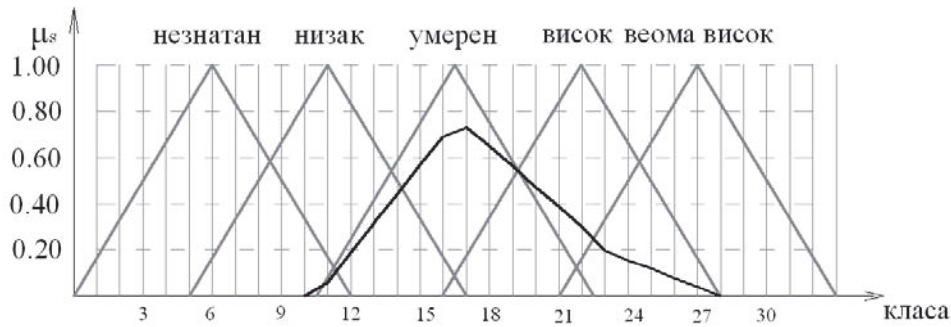
Исти поступак се примењује за све фази скупове који су дефинисани лингвистичким променљивама. На крају се за класу добија функција припадности као збир функција припадности свих лингвистички променљивих за ту класу према поступку који је дат у тачки 5.1.2.2. за број класа  $j=30$ . Тиме је извршена фазификација података који су добијени на основу експертске оцене, односно добијене су функције припадности утицаја отказа на запослене раднике и животну средину у следећем облику:

$$S_{ro} = (1, \dots, 5/0, 6/0.059, 7/0.119, 8/0.18, 9/0.234, 10/0.299, 11/0.405, \\ 12/0.439, 13/0.466, 14/0.505, 15/0.539, 16/0.569, 17/0.523, \\ 18/0.446, 19/0.345, 20/0.284, 21/0.206, 22/0.1248, 23/0.07, \\ 24/0.052, 25/0.04, 26/0.026, 27/0.013, 28, 29, 30/0) \quad (5.28)$$

$$S_{zs} = (1, \dots, 10/0, 11/0.061, 12/0.19, 13/0.315, 14/0.441, 15/0.57, \\ 16/0.692, 17/0.731, 18/0.649, 19/0.561, 20/0.471, 21/0.389, \\ 22/0.301, 23/0.199, 24/0.156, 25/0.12, 26/0.079, 27/0.04, \\ 28, 29, 30/0) \quad (5.29)$$



**Слика број 5.15** Функција припадности утицаја отказа на запослене раднике за отказ главне хидропумпе



Слика број 5.16 Функција припадности утицаја отказа на животно окружење за отказ главне хидропумпе

На сликама 5.15 и 5.16 приказане су функције припадности утицаја отказа на запослене раднике и животно средину које су добијене на основу добијених функција припадности поступком фазификације.

**Min – max композиција показатеља озбиљности отказа**

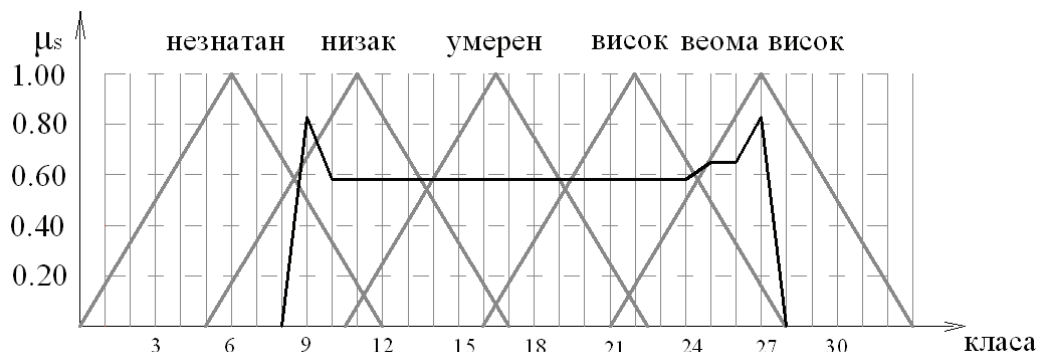
За добијена три фази скупа  $S_b$ ,  $S_{ro}$ , и  $S_{zs}$ , (5.27 – 5.29) показатеља озбиљности отказа ради се *min – max* композиција да би се добио фази скуп озбиљности отказа.

За овако дефинисане фази скупове комбинују се функције припадности, тако што се комбинује по један елемент из сваког скупа. Укупно оваквих комбинација има  $= j^3 = 30^3 = 27\ 000$ , где је  $j$  – број класа. Од ове цифре одузимају се оне комбинације код којих је бар једна функција припадности једнака 0. Број комбинација функција припадности код којих функције припадности имају вредности различите од 0 је 7 106. За ове комбинације тражи се исход и максимум по исходима према поступку описаном у тачки 5.1.3. Да би се добио фази скуп озбиљности отказа од добијених максимума узима се најмања вредност сваког исхода. Тиме је композиција завршена. Применом *min – max* композиције I добијене су вредности функција припадности озбиљности отказа:

$$S = (1, \dots, 8 / 0, 9 / 0.83, 10 / 0.58, 11 / 0.58, 12 / 0.58, 13 / 0.58, 14 / 0.58, 15 / 0.58, 16 / 0.58, 17 / 0.58, 18 / 0.58, 19 / 0.58, 20 / 0.58, 21 / 0.58, 22 / 0.58, 23 / 0.58, 24 / 0.58, 25 / 0.65, 26 / 0.65, 27 / 0.83, 28, 29, 30 / 0) \quad (5.30)$$

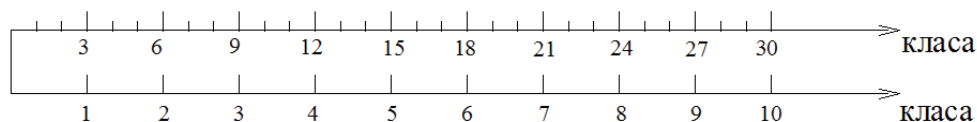
Приказ дела поступка рачунања функција припадности применом *min – max* композиције I дато је у прилогу број 2, док је цео поступак рачунања

функција припадности у MS Excel-у дато у електронској верзији прилога број 2 у pdf формату.



Слика број 5.17 Функција припадности озбиљности отказа

За оцену нивоа ризика отказа елемената подсистема узето је 10 класа, тако да је из тог разлога потребно оцену озбиљности отказа, која има 30 класа, пресликати на 10 класа. То се може урадити тако што се узима вредност сваке треће класе, односно за вредност функције припадности класе 1 узима се вредност класе 3, за вредност функције припадности класе 2 узима се вредност класе 6 и тд.

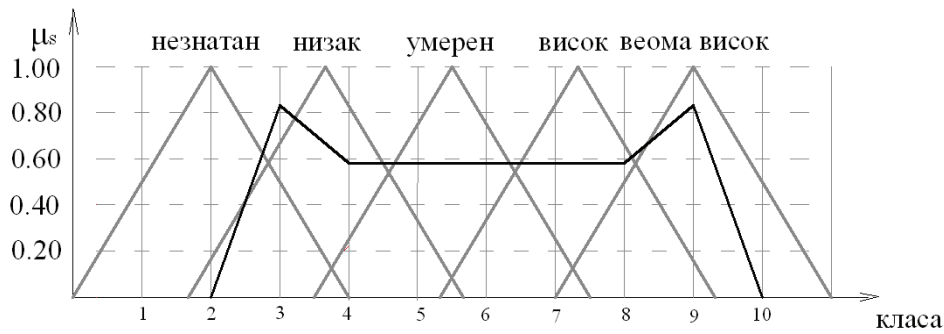


Слика број 5.18 Графички приказ смањења броја класа

На основу горе описаног поступка и графичког приказа на слици број 5.18 са кога се јасно може видети описани поступак, добија се коначан фази скуп озбиљности отказа који има следећи облик:

$$S = (1/0, 2/0, 3/0.83, 4/0.58, 5/0.58, 6/0.58, 7/0.58, 8/0.58, 9/0.83, 10/0) \quad (5.31)$$

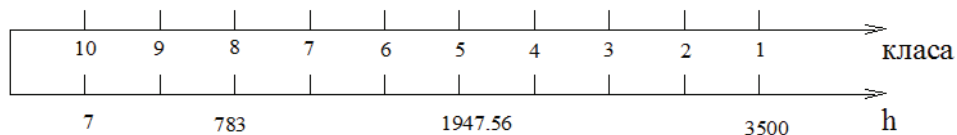
На слици 5.19 приказан је коначан изглед функције припадности озбиљности отказа за главну хидропумпу.



Слика број 5.19 Коначан изглед функције припадности озбиљности отказа за главну хидропумпу

### 5.2.3.2. Фазификација учесталости појављивања отказа

Други показатељ ризика јесте учесталост појављивања отказа. Може се одредити на основу забележених хаваријских стања за систем који се анализира. Такође, дефинисано је пет фази скупа учесталости појављивања хаваријских стања и то: веома ниска, ниска, умерена, висока и веома висока. Врло висока учесталост представља догађаје који се јављају скоро сваки дан или сваки дан, док откази који се јављају након 3000 радних сати припадају класи веома ниске учесталости. Вредност класа код фази скупова за овај показатељ имају вредност од 10 до 1. Редослед је обрнут из разлога да би се за сваку класу могло одредити време рада система до појаве отказа. Класи 10 придружено је време рада до отказа од 7 часова, то је уједно и најкраће време рада техничког система-дробилице до појаве отказа, док је класи 1 придружено време од 3500 часова и то време одговара најдужем времену рада машине између два отказа исте врсте.



Слика број 5.20 Зависност између времена у раду и класа фази скупова

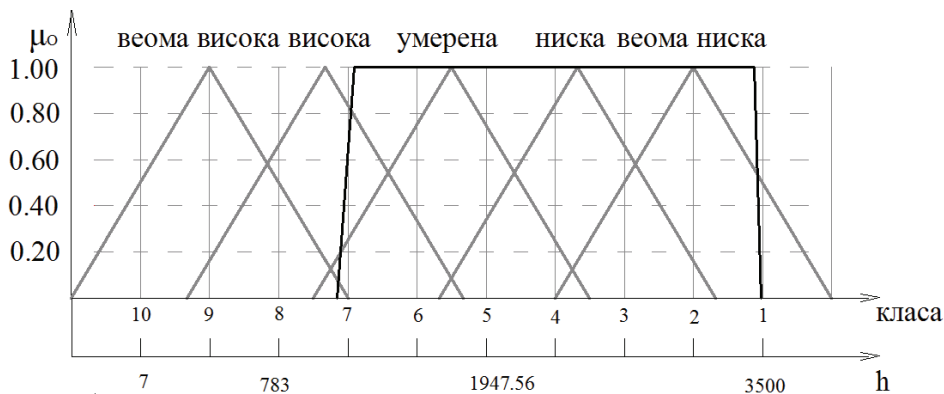
Време у раду система до отказа фазификује се према поступку који је дат у тачки 5.1.2.1, а подаци о временима у раду за елементе подсистема хидраулика дати су табели 5.13. На основу фазификације података функција припадности се може графички приказати (Слика 5.21).

На основу слике 5.19 добија се функција припадности учесталости појављивања отказа, који се приказује у следећем облику:

$$O = (1/0, 2/1, 3/0.65, 4/0.83, 5/0.75, 6/0.75, 7/0.6125, 8/0, 9/0, 10/0) \quad (5.32)$$

**Табела број 5.13** Фазификација времена у раду система до појаве одређених  
отказа за подсистем „хидраулика“

Елемент у отказу	Времена у раду између два отказа	Ф-ја поузданости, $R(t)$	Параметри расподеле		Фактор размере, $x$	Фазификација времена у раду				
			$\beta$	$\eta$		$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_{cp}$
Хидро - мотори	302, 463, 587, 635, 718, 956, 1452, 2692	$e^{-\left(\frac{t}{1097,96}\right)^{1,51}}$	1.51	1097.96	0.427	302	696.25	1716.79	2692	990.06
Црева хидраулике	37, 97, 137, 140, 151, 176, 205, 219, 263, 304, 327, 448, 469, 877, 1069	$e^{-\left(\frac{t}{369,32}\right)^{1,35}}$	1.35	369.32	0.825	37	89.825	941.225	1069	338.86
Цурење резервоара за уље	995, 3432	$e^{-\left(\frac{t}{2801,54}\right)^{1,03}}$	1.03	2801.54	0.99	995	1012.74	3425	3432	2769.66
Цурење уља	24, 85, 97, 131, 198, 247, 287, 300, 366, 530, 610, 1136, 1347	$e^{-\left(\frac{t}{430,90}\right)^{1,02}}$	1.02	430.90	0.99	24	28.03	1337.80	1347	427.66
Главна хидро - пумпа	1113, 3489	$e^{-\left(\frac{t}{2779,82}\right)^{1,11}}$	1.11	2779.82	0.945	1113	1205.45	3449.99	3489	2779.82



**Слика број 5.21** Функција припадности учесталости појављивања отказа за главну хидропумпу

### 5.2.3.3. Фазификација могућности откривања отказа

Откривање потенцијалних отказа система могуће је само уз вишегодишње радно искуство на одржавању система за који се ради анализа. Исто као и за



показатеље, формирају се фази скупови вероватноће откривања потенцијалних отказа са следећим лингвистичким променљивама: готово сигурна, могуће, умерена, тешко и немогуће. Фази скуп „*готово сигурна*“ обухвата отказе који се увек могу предвидети на основу понашања система при раду. Догађаји, односно откази које није могуће открити пре него што настају, групишу се у фази скуп „*веома тешко*“. Класе могућности откривања потенцијалних отказа дате су бројчаним вредностима од 1 до 10 (Слика 5.5).

Могућност откривања потенцијалних отказа пре него што се десе јесте показатељ који може да се одреди само на основу експертске оцене. Као и код показатеља озбиљности отказа рађена је анкета где су радници који су задужени за одржавање машине попуњавали упитник. Упитник је формулисан тако да су они могли да изразе проценат припадности показатеља за одређену лингвистичку променљиву. Анкетирано је пет радника који раде на одржавању машина на каменолому. У табели број 5.14 приказан је упитник могућности откривања отказа на примеру хидромотора.

**Табела број 5.14** Упитник могућности откривања отказа

		Могућност благовременог откривања отказа				
		готово сигурно	могуће	умерена	тешко	веома тешко
1	D				0.5	0.5
2	D				1	
3	D				0.5	0.5
4	D				0.8	0.2
5	D				0.6	0.4
$\Sigma$	D	0	0	0	0.68	0.32

Показатељ могућности откривања отказа се на исти начин фазификује и претвара у фази број као и показатељи утицаја отказа на запослене и животну средину. Добијене вредности степена припадности множе се функцијама припадности за сваку лингвистичку променљиву, као што је приказано у табели

5.15, и сабирањем функција припадности по класама добија се фази скуп могућности откривања отказа.

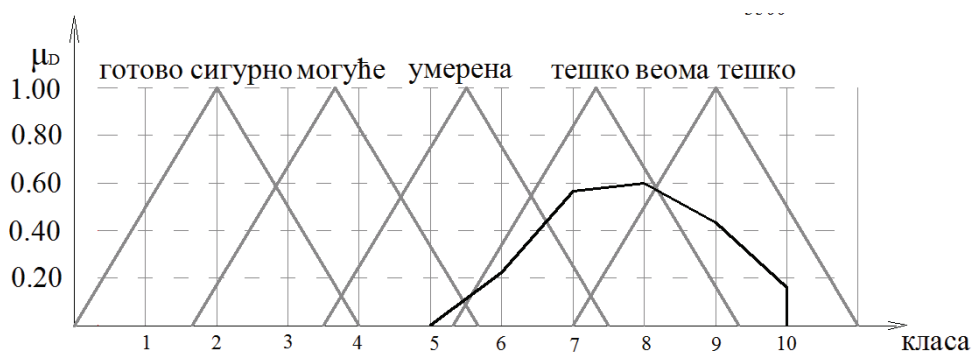
**Табела број 5.15** Фазификација могућности благовременог откривања отказа

j=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0/готово сигурно	0.5×0	1×0	0.5×0	0×0	0×0	0×0	0×0	0×0	0×0	0×0
0/могуће	0×0	0.165×0	0.65×0	0.83×0	0.33×0	0×0	0×0	0×0	0×0	0×0
0/умерена	0×0	0×0	0×0	0.25×0	0.75×0	0.25×0	0×0	0×0	0×0	0×0
0.68/тешко	0×0.68	0×0.68	0×0.68	0×0.68	0×0.68	0.33×0.68	0.83×0.68	0.65×0.68	0.165×0.68	0×0.68
0.32/веома тешко	0×0.32	0×0.32	0×0.32	0×0.32	0×0.32	0×0.32	0×0.32	0.5×0.32	1×0.32	0.5×0.32
□	0	0	0	0	0	0.2244	0.564	0.602	0.4322	0.16

На основу тежинских фактора који су добијени у табели 5.15 добија се фази скуп могућности благовременог откривања отказа у следећем облику:

$$D = (1/, 2/, 3/0, 4/0, 5/0, 6/0.2244, 7/0.564, 8/0.602, 9/0.4322, 10/0.16) \quad (5.33)$$

Пресликана добијена функција припадности на фази скупове показатеља ризика приказана је на слици 5.22.



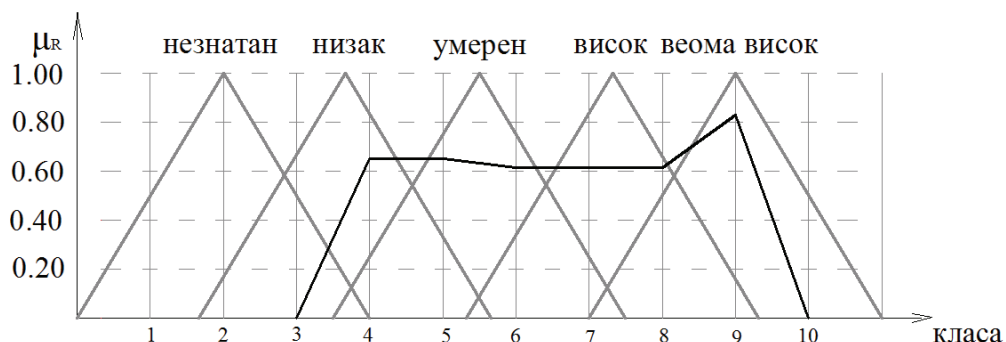
**Слика број 5.22** Функција припадности могућности благовременог откривања  
отказа

5.2.3.4. Оцена нивоа ризика отказа елемената подсистема применом *min – max* композиције

Оцена нивоа ризика отказа елемената подсистема рађена је на основу *min – max* композиције анализираних показатеља ризика, озбиљности отказа, учесталости појављивања и могућности откривања потенцијалних отказа. За добијена три скупа функција припадности (5.31, 5.32 и 5.33) примењује се поступак *min – max* композиције фази скупова. Први корак композиције јесте да се одреди максималан број комбинација функција припадности, таквих комбинација има  $j=10^3=1000$ , где је  $j$  – број класа. Од ове цифре одузимају се оне комбинације код којих је бар једна функција припадности једнака 0. Број комбинација функција припадности код којих су функције припадности различите од 0 је 210. За ове комбинације тражи се исход и максимум по исходима према постуку описаног у тачки 5.1.3. Да би се добио фази скуп ризика отказа елемената система, од добијених максимума узима се најмања вредност сваког исхода. Тиме је композиција завршена. Применом *min – max* композиције II (слика 5.3) добијене су вредности функција припадности ризика отказа елемената система за главну хидропумпу:

$$R_{(хидропумпа)} = (1/0, 2/0, 3/0, 4/0.65, 5/0.65, 6/0.6125, 7/0.6125, 8/0.6125, 9/0.83, 10/0) \quad (5.34)$$

На слици 5.23 дат је графички приказ фази скупа нивоа ризика за главну хидропумпу.



Слика број 5.23 Фази скуп ризика отказа за главну хидропумпу

Приказ дела поступка рачунања функција припадности применом *min – max* композиције II дато је у прилогу број 3, док је цео поступак рачунања функција припадности у MS Excel-у дато у електронској верзији прилога број 3 у pdf формату.

#### 5.2.3.5. Фази идентификација – декомпозиција при процени нивоа ризика елемената подсистема

Након *min - max* композиције потребно је добијени облик 5.34 претворити у облик 5.25, који дефинише степен припадности, односно даје одговор ком фази скупу (незнатан, низак, умерен, висок и веома висок) највише одговара добијени фази скуп оцене ризика, према поступку који је дат у поглављу 5.1.4. *Best-fit* метода (метода најмањих квадрата) је одговарајући поступак за одређивање степена припадности фази скупова ризика задатим фази скуповима.

За добијени фази скуп ризика:

$$R_{(хиџропума)} = (1/0, 2/0, 3/0, 4/0.65, 5/0.65, 6/0.6125, 7/0.6125, 8/0.6125, 9/0.83, 10/0)$$

$$d_i(R_i, H_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^{10} (\mu^j R - \mu^j H_i)^2},$$

$j=1, \dots, 10$ ;  $H_i = \{\text{незнатан, низак, умерен, висок, веома висок}\}$

$$d_1 = [(0-0.5)^2 + (0-1)^2 + (0-0.5)^2 + (0.65-0)^2 + (0.65-0)^2 + (0.6125-0)^2 + (0.6125-0)^2 + (0.6125-0)^2 + (0.83-0)^2 + (0-0)^2]^{0.5} = 2.03945$$

$$d_2 = [(0-0)^2 + (0-0.165)^2 + (0-0.65)^2 + (0.65-0.83)^2 + (0.65-0.33)^2 + (0.6125-0)^2 + (0.6125-0)^2 + (0.6125-0)^2 + (0.83-0)^2 + (0-0)^2]^{0.5} = 1.54884$$

$$d_3 = [(0-0)^2 + (0-0)^2 + (0-0)^2 + (0.65-0.25)^2 + (0.65-0.75)^2 + (0.6125-0.75)^2 + (0.6125-0.25)^2 + (0.6125-0)^2 + (0.83-0)^2 + (0-0)^2]^{0.5} = 1.17659$$

$$d_4 = [(0-0)^2 + (0-0)^2 + (0-0)^2 + (0.65-0)^2 + (0.65-0)^2 + (0.6125-0.33)^2 + (0.6125-0.83)^2 + (0.6125-0.65)^2 + (0.83-0.165)^2 + (0-0)^2]^{0.5} = 1.18985$$

$$d_5 = [(0-0)^2 + (0-0)^2 + (0-0)^2 + (0.65-0)^2 + (0.65-0)^2 + (0.6125-0)^2 + (0.6125-0)^2 + (0.6125-0.5)^2 + (0.83-1)^2 + (0-0.5)^2]^{0.5} = 1.37363$$

Релативно растојање у односу на најмању вредност растојања  $d_i \min$  одређује се према обрасцу:

$$\alpha_i = \frac{1}{d_i / d_{i \min}} \quad i=1, \dots, 5; \quad d_{i \min} = d_3 = 1.17659$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{d_1 / d_{i \min}} = \frac{1}{2.03945 / 1.17659} = 0.57692;$$

$$\alpha_2 = 0.75966; \alpha_3 = 1.000; \alpha_4 = 0.98886; \alpha_5 = 0.85655$$

Нормализација релативних растојања у односу на најмању вредност растојања  $d_i \min$  одређује се према обрасцу:

$$\beta_i = \frac{\alpha_i}{\sum_{m=1}^5 \alpha_{im}}, \quad i=1, \dots, 5; \quad \sum_{i=1}^5 \beta_i = 1$$

$$\beta_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5} = \frac{0.57692}{0.57692 + 0.75966 + 1.000 + 0.98886 + 0.85655} = 0.13795$$

$$\beta_2 = 0.18165; \beta_3 = 0.23912; \beta_4 = 0.23646; \beta_5 = 0.20482$$

На крају, ниво ризика отказа елемената техничких система у рударству може се, према обрасцу 5.25, изразити на следећи начин:

$$R_i = \left\{ \begin{array}{l} (0.13795 / \text{незнатан}), (0.18165 / \text{низак}), (0.23912 / \text{умерен}), \\ (0.23646 / \text{висок}), (0.20482 / \text{веома висок}) \end{array} \right\}$$

#### 5.2.4. Оцена нивоа ризика отказа подсистема

Оцена нивоа ризика отказа подсистема рађена је на основу оцене нивоа ризика отказа елемената. Фазификација улазних податка у овом случају није потребна јер су улазни подаци фази скупови ризика отказа елемената подсистема који су добијени оценом ризика елемената.

*Min – max* композиција је примењена и у овом случају из разлога што применом ове композиције могуће издвојити најлошији међу најбољим резултатима, односно добија се оцена за класу чији је ниво ризика највиши. Оцена ниво ризика подсистема има следећи облик:

$$R = (1/\mu_1, 2/\mu_2, 3/\mu_3, 4/\mu_4, 5/\mu_5, 6/\mu_6, 7/\mu_7, 8/\mu_8, 9/\mu_9, 10/\mu_{10})$$

За оцену нивоа ризика отказа подсистема *min – max* композиција III је рађена за пет фази скупа који представљају оцену нивоа ризика елемената подсистема. Поступак је исти као и код претходних композиција рађен у MS Excel-у. Део табеле је приказан у прилогу број 4, а цела табела композиције, због обимности података, дата је у електронском прилогу број 4. Поступак је исти као и за три фази скупа, од свих могућих комбинација функција припадности (100 000) у композицију улазе само оне комбинације за које су све функције припадности различите од 0 (5 040). За пет фази скупа резултати оцене нивоа ризика за елементе подсистема хидраулика имају следеће вредности:

$$R_1 = (1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 5/1, 6/0.65, 7/0.65, 8/0.65, 9/0, 10/0)$$

$$R_2 = (1/0, 2/0, 3/1, 4/0.65, 5/0.65, 6/0.65, 7/0.65, 8/0.75, 9/0, 10/0)$$

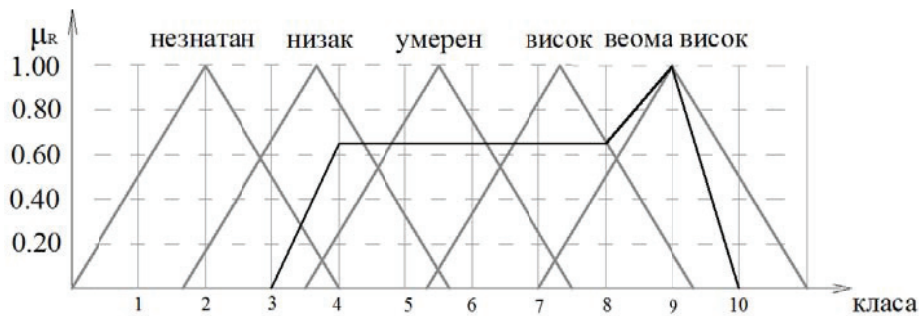
$$R_3 = (1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 5/0.65, 6/0.65, 7/0.65, 8/0.65, 9/1, 10/0)$$

$$R_4 = (1/0, 2/0, 3/0, 4/0.65, 5/0.6125, 6/0.6125, 7/0.6125, 8/0.65, 9/0.65, 10/0)$$

$$R_5 = (1/0, 2/0, 3/0.36, 4/0.36, 5/0.25, 6/0.25, 7/0.25, 8/0.25, 9/0.31, 10/0)$$

На основу *min – max* композиције добија се да је фази скуп оцене ризика отказа подсистема „хидраулика“:

$$R_{\text{hidraulika}} = (1/0, 2/0, 3/0, 4/0.65, 5/0.65, 6/0.65, 7/0.65, 8/0.65, 9/1, 10/0)$$

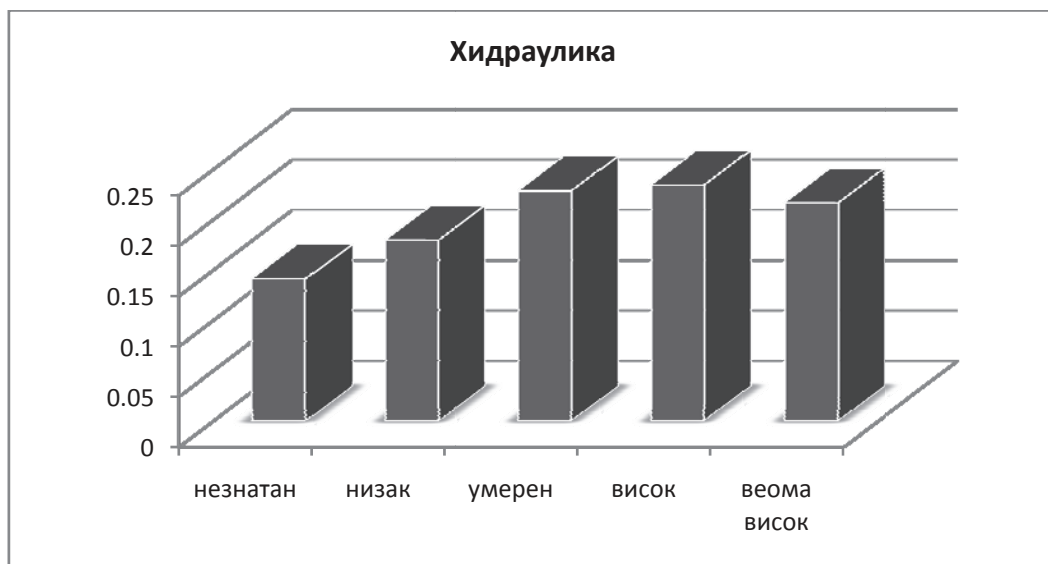


Слика број 5.24 Фази скуп ризика отказа за подсистем „хидраулика“

На слици 5.24 дат је графички приказ фази скупа нивоа ризика отказа подсистема „хидраулика“.

Применом поступка декомпозиције, који је исти као и код оцене ризика елемената, одређује се степен припадности ризика одређеном фази скупу. За подсистем „хидраулика“ оцена нивоа ризика има следећи облик:

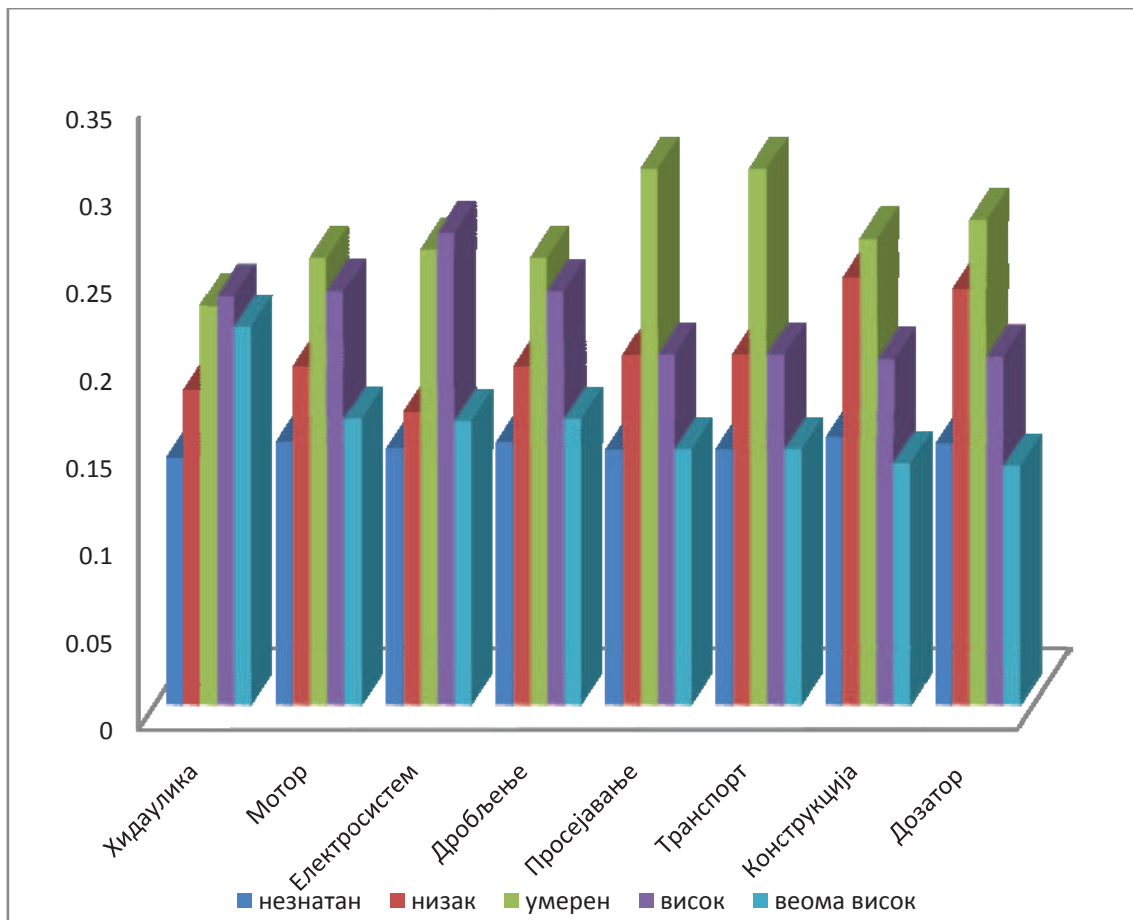
$$R_{\text{hidraulika}} = \left\{ \begin{array}{l} (0.14122 / \text{незнатан}), (0.1796 / \text{низак}), (0.22846 / \text{умерен}), \\ (0.23421 / \text{висок}), (0.21651 / \text{веома висок}) \end{array} \right\}$$



Слика број 5.25 Графички приказ процене нивоа ризика подсистема хидраулика

На слици 5.25 графички су приказани резултати процене нивоа ризика за све подсистеме дробилице, са које се може видети да ризик од отказа подсистема

хидраулика и електросистем припадају категорији „висок“, док за остале подсистеме ризик је у категорији умерен.



Слика број 5.26 Графички приказ процене нивоа ризика за подсистеме дробилице

## 5.2.5. Оцена нивоа ризика отказа система

### 5.2.5.1. Фази композиција при процени нивоа ризика отказа система

Оцена нивоа ризика отказа техничког система – дробилице рађена је као синтетна оцена нивоа ризика отказа подсистема. Улазни подаци за оцену нивоа ризика отказа техничког система – машине јесу фази скупови ризика отказа подсистема, па није потребно урадити фазификацију улазних података. *Min – max* композиција примењена је и за синтетну оцену нивоа ризика отказа система. Ралог за то објашњен је на почетку поглавља. Због великог броја комбинација функција припадности за осам подсистема дробилице  $C=j^8$ , где је  $j=10$ , укупно



100 000 000 комбинација, морало се приступити смањењу броја класа добијених фази скупова ризика отказа подсистема. Фази скупови оцене ризика отказа подсистема пресликани су са вредности  $j=10$  на вредност  $j=5$  тако што се узима свака друга вредност функције припадности, на пример за класу 1 узима се вредност класе 2, за вредност класе 2 узима се вредност класе 4 итд (Слика 5.27).

Фази скупови ризика отказа подсистема облика:

$$R_{\text{hidraulika}} = (1/0, 2/0, 3/0, 4/0.65, 5/0.65, 6/0.65, 7/0.65, 8/0.65, 9/1, 10/0)$$

$$R_{\text{motor}} = (1/0, 2/0, 3/0, 4/1, 5/1, 6/1, 7/1, 8/1, 9/0, 10/0)$$

$$R_{\text{elektrosistem}} = (1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 5/1, 6/1, 7/1, 8/1, 9/0, 10/0)$$

$$R_{\text{mlevenje}} = (1/0, 2/0, 3/0, 4/1, 5/1, 6/1, 7/1, 8/1, 9/0, 10/0)$$

$$R_{\text{prosejavanje}} = (1/0, 2/0, 3/0, 4/1, 5/1, 6/1, 7/1, 8/0, 9/0, 10/0)$$

$$R_{\text{transport}} = (1/0, 2/0, 3/0, 4/1, 5/1, 6/1, 7/1, 8/0, 9/0, 10/0)$$

$$R_{\text{dozator}} = (1/0, 2/0, 3/0.65, 4/0.65, 5/0.65, 6/0.65, 7/0.83, 8/0, 9/0, 10/0)$$

$$R_{\text{konstrukcija}} = (1/0, 2/0, 3/0.75, 4/0.65, 5/0.65, 6/0.65, 7/0.83, 8/0, 9/0, 10/0)$$

пресликавају се у фази скупове:

$$R_{\text{hidraulika}} = (1/0, 2/0.65, 3/0.65, 4/0.65, 5/0)$$

$$R_{\text{motor}} = (1/0, 2/1, 3/1, 4/1, 5/0)$$

$$R_{\text{elektrosistem}} = (1/0, 2/0, 3/1, 4/1, 5/0)$$

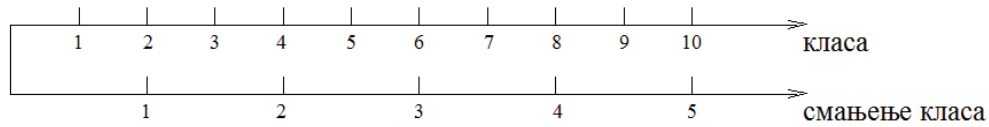
$$R_{\text{mlvenje}} = (1/0, 2/1, 3/1, 4/1, 5/0)$$

$$R_{\text{prosejavanje}} = (1/0, 2/1, 3/1, 4/0, 5/0)$$

$$R_{\text{transport}} = (1/0, 2/1, 3/1, 4/0, 5/0)$$

$$R_{\text{dozator}} = (1/0, 2/0.65, 3/0.65, 4/0, 5/0)$$

$$R_{\text{konstrukcija}} = (1/0, 2/0.65, 3/0.65, 4/0, 5/0)$$



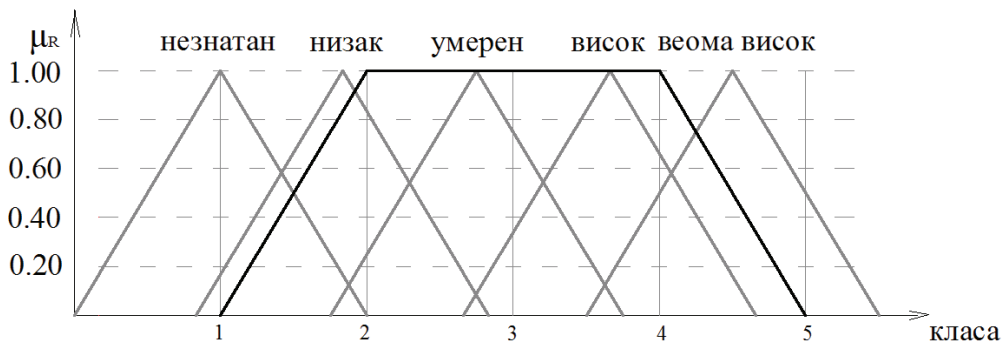
Слика број 5.27 Поступак смањења броја класа

За редефинисане фази скупове оцене ризика отказа сваког подсистема ради се *min – max* композиција за коју је укупан број комбинација  $C=j^8$ , тј. 390 625 комбинација, где је  $j=5$ . Од тог броја за оцену се узима 864 комбинација функција припадности чије су вредности различите од 0.

Код анализе показатеља ризика који имају исти утицај на ниво ризика није битан редослед којим ће се фази скупови показатеља појавити при оцени. На основу *min – max* композиције добија се да је фази скуп нивоа отказа техничког система – дробилице:

$$R = (1/0, 2/1, 3/1, 4/1, 5/0)$$

Графички приказ фази скупа ризика отказа техничког система – мобилне дробилице приказан је на слици 5.28



Слика број 5.28 Фази скуп ризика отказа техничког система – мобилне дробилице „Lokotrack 1213S“

#### 5.2.5.2. Идентификација –декомпозиција при процени нивоа ризика отказа система

Применом „best-fit“ добијени облик фази скупа оцене ризика отказа техничког система могуће је трансформисати у облик 5.25.

Овим поступком дефинише се степен припадности добијене оцене нивоа ризика система применом *min-max* композиције одређеном фази скупу (незнатан, низак, умерен, висок и веома висок).

Фази скупови ризика дати следећим функцијама припадности:

$$\mu_{R(\text{незнатан})} = (1, 0, 0, 0, 0);$$

$$\mu_{R(\text{низак})} = (0.165, 0.83, 0, 0, 0);$$

$$\mu_{R(\text{умерен})} = (0, 0.25, 0.75, 0, 0);$$

$$\mu_{R(\text{висок})} = (0, 0, 0.33, 0.65, 0);$$

$$\mu_{R(\text{веома висок})} = (0, 0, 0, 0.5, 0.5);$$

$$\begin{aligned} d_{1(R, \text{незнатан})} &= \sqrt{\sum_{j=1}^5 (\mu^j R - \mu^j_{(\text{незнатан})})^2} = \\ &= \sqrt{(0-1)^2 + (1-0)^2 + (1-0)^2 + (1-0)^2 + (0-0)^2} = 2.0 \end{aligned}$$

На исти начин одређују се вредности  $d_i$  за остале фази скупове

$$d_2 = 1,434; d_3 = 1,275; d_4 = 1,253; d_5 = 1,581;$$

Да би се урадила нормализација фази скупова потребно је одредити релативна растојања у односу на најмање растојање добијених вредности оцене у поређењу са задатим фази скуповима на следећи начин:

$$\alpha_i = \frac{1}{d_i / d_{i \min}} \quad i=1, \dots, 5; \quad d_{i \min} = d_4 = 1,253$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{d_1 / d_{i \min}} = \frac{1}{2.0 / 1.253} = 0.6265;$$

$$\alpha_2 = 0.873; \alpha_3 = 0.9827; \alpha_4 = 1; \alpha_5 = 0.792$$

Нормализација релативних растојања ради се према следећем обрасцу:

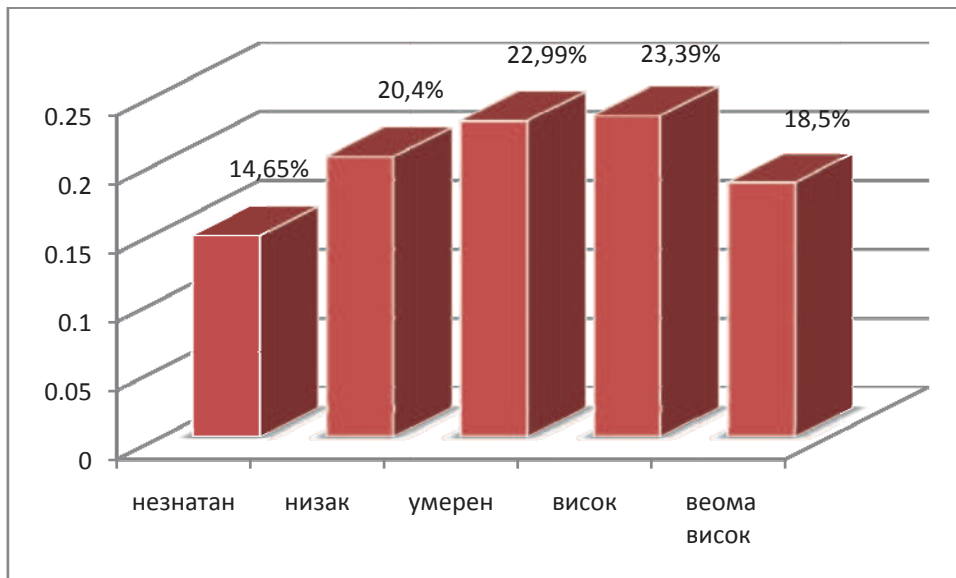
$$\beta_i = \frac{\alpha_i}{\sum_{m=1}^5 \alpha_{im}}, i=1, \dots, 5; \quad \sum_{i=1}^5 \beta_i = 1$$

$$\beta_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5} = \frac{0.6265}{0.6265 + 0.873 + 0.9827 + 1 + 0.792} = 0.1465$$

$$\beta_2 = 0.204; \beta_3 = 0.2299; \beta_4 = 0.2339; \beta_5 = 0.185$$

На крају, ниво ризика отказа техничког система може се изразити на следећи начин:

$$R = \left\{ \begin{array}{l} (0.1465 / \text{незнатан}), (0.204 / \text{низак}), (0.2299 / \text{умерен}), (0.2339 / \text{висок}), \\ (0.185 / \text{веома висок}) \end{array} \right\}$$



**Слика број 5.29** Графички приказ процене нивоа ризика техничког система – мобилне дробилице

Декомпозицијом фази скупа ризика отказа техничког система – дробилице добија се да ризик од отказа дробилице припада категорији висок са степеном припадности од 0,2339, односно 23,39 %.

## 6. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА И ДИСКУСИЈА

### 6.1 Резултати оцене нивоа ризика отказа дробилице

Приступ процени ризика отказа мобилне дробилице „Lokotrack LT 1213S“ применом предложеног синтезног модела оцене ризика даје могућност сагледавања резултата за појединачне елементе, као и синтезне оцене нивоа ризика отказа подсистема и техничког система у целини. Овакав начин интерпретације резултата омогућује анализу, сагледавање и издвајање најкритичнијих елемената у систему код којих је ниво ризика највећи. На основу тога могуће је издвојити елементе система који ће добити приоритет при предузимању корективних мера у циљу смањења нивоа ризика, што представља сврху процене ризика.

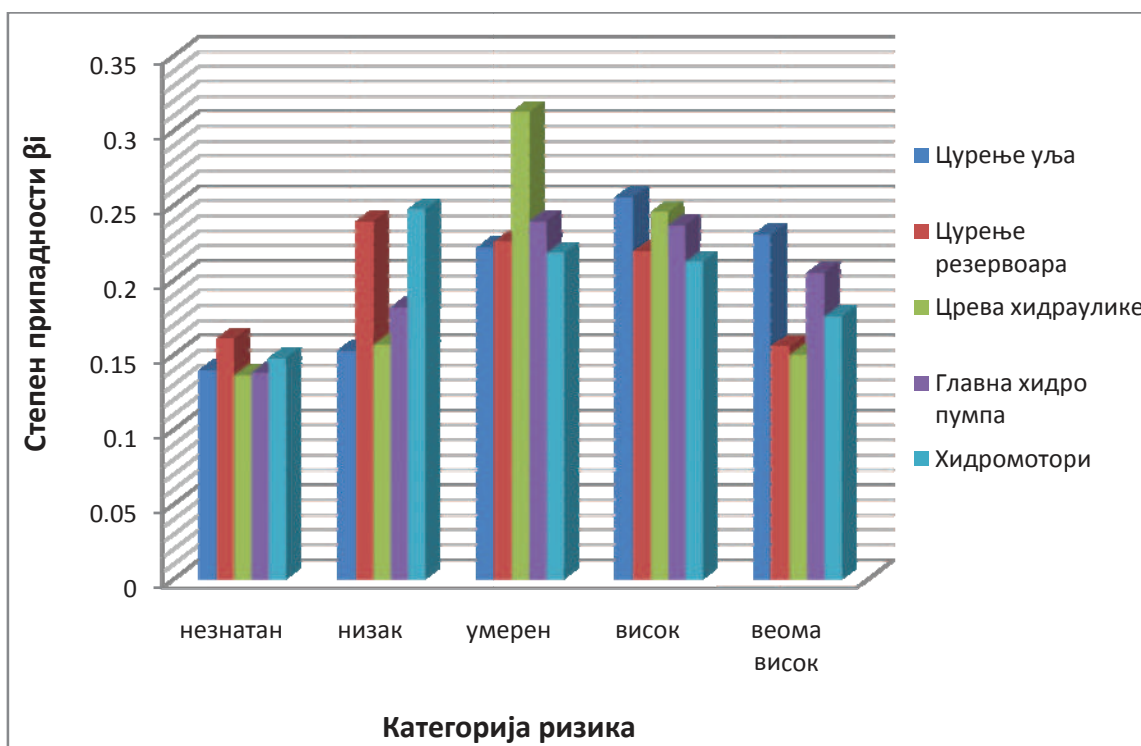
#### 6.1.1 Резултати оцене нивоа ризика отказа елемената дробилице

Резултати процене нивоа ризика отказа елемената подсистема применом предложеног модела заснованог на фази експертском одлучивању дати су у табелама 6.1-6.8. Резултати представљају степен припадности добијене оцене одређеном фази скупу којим се описује ниво ризика.

*Табела број 6.1* Оцена нивоа ризика отказа елемената подсистема хидраулика

Подсистем	Део у отказу	Степен припадности ( $\beta_i$ )				
		незнатан	низак	умерен	висок	веома висок
Хидраулика	Цурење уља	0,13974	0,15271	0,22168	<b>0,25538</b>	0,2305
	Цурење резервоара	0,16062	<b>0,2392</b>	0,22558	0,21908	0,15552
	Црева хидраулике	0,13624	0,1565	<b>0,31218</b>	0,24531	0,14977
	Главна хидро пумпа	0,13795	0,18165	<b>0,23912</b>	0,23646	0,20482
	Хидромотори	0,14756	<b>0,24713</b>	0,21791	0,212	0,1754

Табела 6.1 приказује резултате оцене нивоа ризика за пет карактеристичних врста отказа подсистема хидраулика. За отказ цурење уља на цревима за развођење уља под притиском, оценом је добијено да спада у категорију „висок“, са степеном припадности  $\beta=0,25538$ . То је и очекивана вредност нивоа ризика јер цурењем уља опада притисак у систему, што се одражава на лош рад хидромотора и целог процеса дробљења. Ризик од цурења резервоара за уље и ризик од отказа хидромотора спадају у категорију „низак“, док ризик од отказа главне хидропумпе и кидање црева хидраулике спада у категорију „умерен“. Међутим, степен припадности  $\beta_4$  да ризик од отказа главне хидропумпе спада у категорију висок јер је приближан степену припадности  $\beta_3$  за категорију умерен, разлика је на трећој децимали, па је и овој врсти отказа потребно посветити посебну пажњу у циљу смањења ризика од отказа.



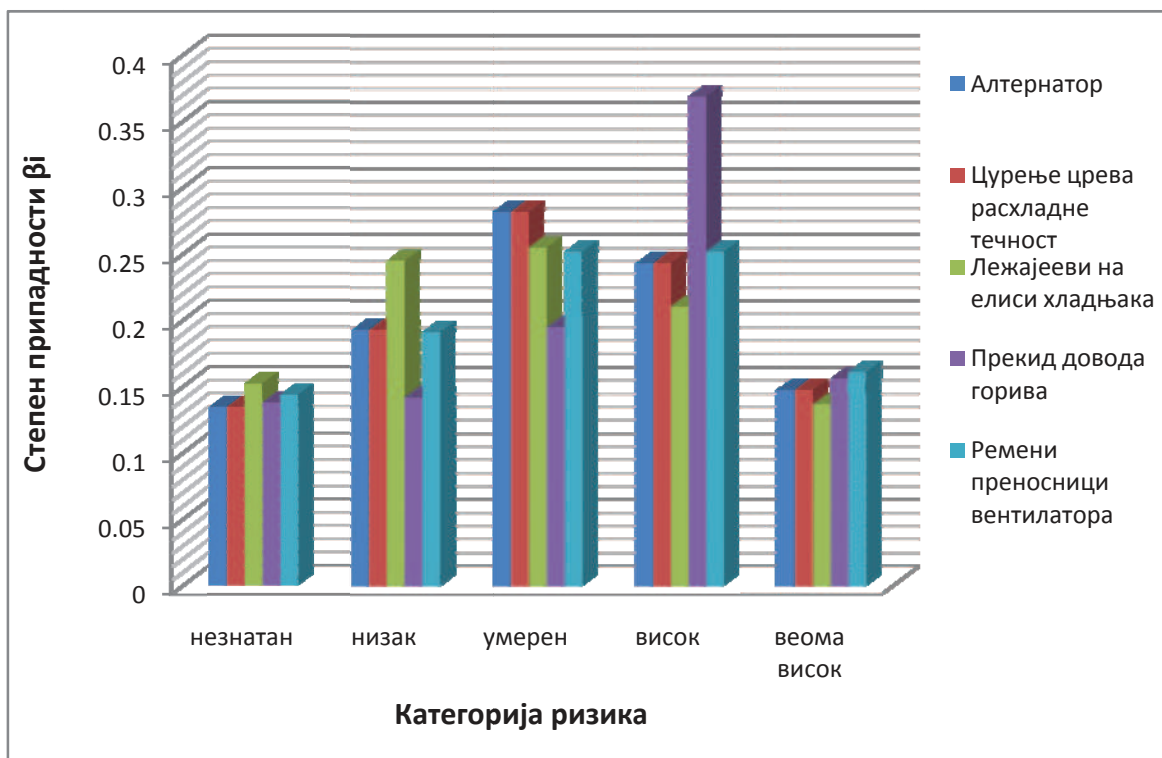
*Слика број 6.1* Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Хидраулика“

Прекид довода горива код главног дизел мотора дешава се углавном због лошег квалитета горива и доста је честа појава код предметне дробилице. Прекидом рада дизел мотора стаје цео процес дробљења и просејавања на

каменолому. На основу показатеља ризика добијено је да ризик од прекида довода горива дизел мотора спада у категорију „висок“ са доста високим степеном припадности од 0,36909, односно 36% (Табела 6.2). Ризик од отказа, односно кидања ремених преносника вентилатора хладњака, према оцени предложеним моделом, такође спада у категорију „висок“, али јако је мала разлика у степенима припадности за категорију „умерен“ и „висок“, свега 0,0002, односно 0,2%.

Табела број 6.2 Оцена нивоа ризика отказа елементарна подсистема мотор

Подсистем	Део у отказу	Степен припадности ( $\beta_i$ )				
		незнатан	низак	умерен	висок	веома висок
Мотор	Алтернатор	0,13441	0,19268	<b>0,28199</b>	0,24311	0,14782
	Цурење црева расхладне течност	0,13441	0,19268	<b>0,28199</b>	0,24311	0,14782
	Лежајееви на елиси хладњака	0,15226	0,24502	<b>0,25523</b>	0,21074	0,13675
	Прекид довода горива	0,13783	0,14187	0,19492	<b>0,36909</b>	0,15629
	Ремени преносници вентилатора	0,14366	0,19126	0,25187	<b>0,25207</b>	0,16113

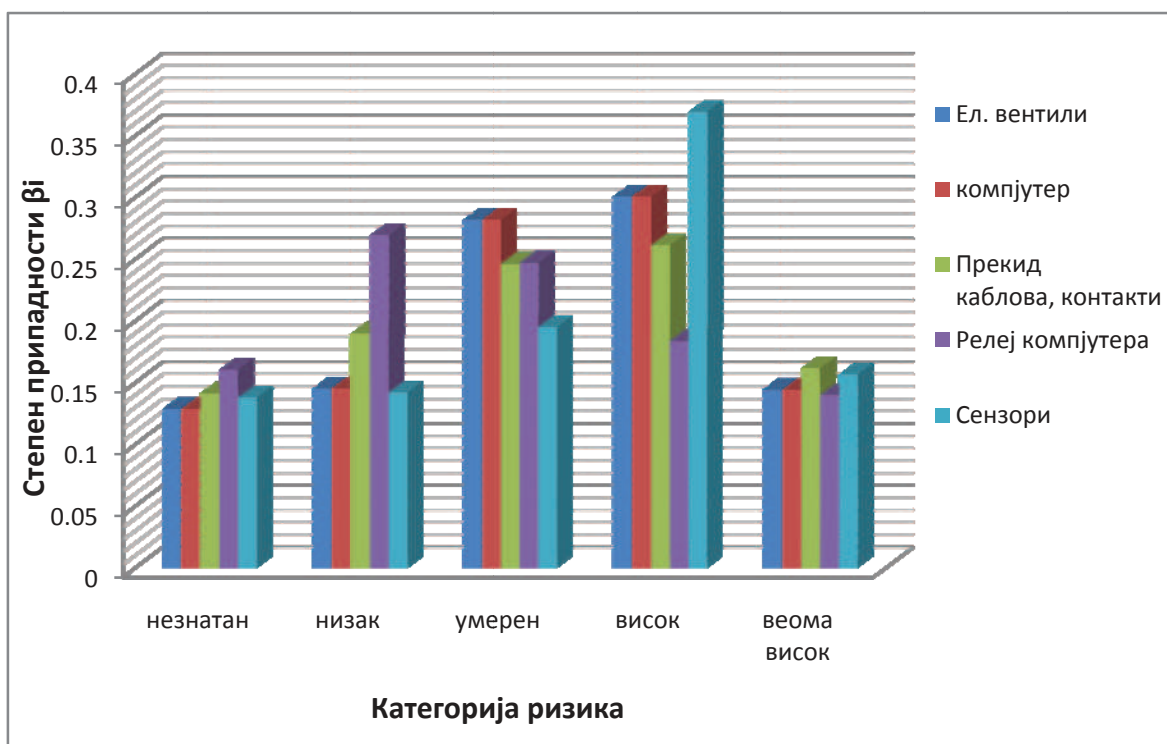


Слика број 6.2 Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема

„Мотор“

Табела број 6.3 Оцена нивоа ризика отказа елемената подсистема електро

Подсистем	Део у отказу	Степен припадности ( $\beta_i$ )				
		незнатан	низак	умерен	висок	веома висок
Електро	Ел. вентили	0,12862	0,14505	0,28171	<b>0,30048</b>	0,14414
	Компјутер	0,12862	0,14505	0,28171	<b>0,30048</b>	0,14414
	Прекид каблова, контакти	0,14145	0,18986	0,24615	<b>0,26124</b>	0,1613
	Релеј компјутера	0,16021	<b>0,26924</b>	0,24719	0,18358	0,13979
	Сензори	0,13783	0,14187	0,19492	<b>0,36909</b>	0,15629



Слика број 6.3 Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Електро“

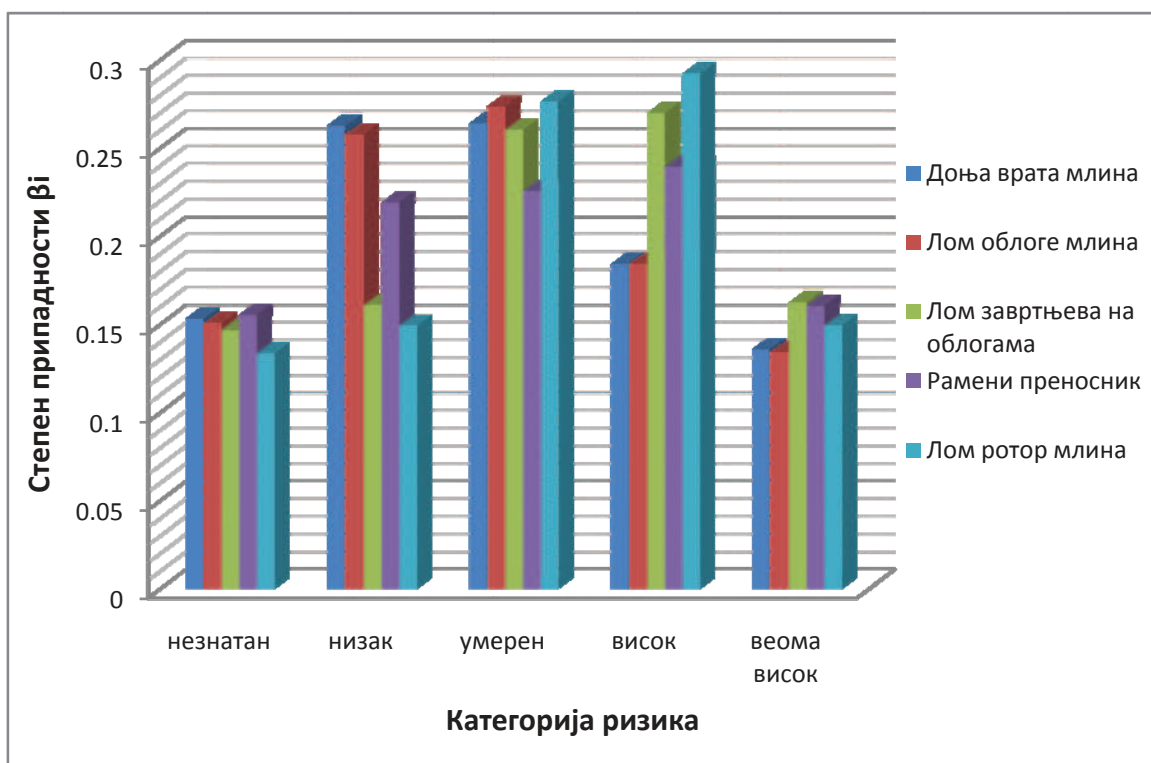
Код подсистема „електро“, за четири од пет карактеристичних врста отказа, добијено је да ризик од отказа спада у категорији „висок“ и то за отказ електровентила, главног компјутера, прекид каблова и контаката и за отказ сензора дробилице. Добијени резултати указују на потребу за детаљном анализом овог подсистема и изналагање и спровођење посебних мера превентивног одржавања у циљу смањења ризика. Ризик од отказа сензора има највећи степен припадности 0,36909 категорији „висок“ док степени припадности другим



категоријама имају мање вредности од 0,2, што јасно потврђује да не постоје двосмислености код добијене оцене. Ризик од отказа електроventила и главног компјутера је исти за оба случаја, и припада категорији „висок“, са истим степеном припадности од 0,30048. Прва нижа вредност степена припадности јесте за категорију „умерен“, што се може сматрати трендом ризика.

**Табела број 6.4** Оцена нивоа ризика отказа елемената подсистема *дробљење*

Подсистем	Део у отказу	Степен припадности ( $\beta_i$ )				
		незнатан	низак	умерен	висок	веома висок
Дробљење	Доња врата млина	0,15337	0,26267	<b>0,26401</b>	0,18399	0,13597
	Лом облоге млина	0,15065	0,25782	<b>0,27369</b>	0,18422	0,13422
	Лом завртњева на облогама	0,14681	0,16075	0,26026	<b>0,26988</b>	0,1623
	Рамени преносник	0,15552	0,21908	0,22558	<b>0,2392</b>	0,16062
	Лом ротор млина	0,13342	0,14911	0,27621	<b>0,29208</b>	0,14917



**Слика број 6.4** Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Дробљење“

Подсистем дробљења представља један од суштински важних подсистема. Од квалитета рада овог подсистема зависи и сама производња на каменолому. Резултати процене нивоа ризика отказа елемената подсистема за дробљење приказани су у табели 6.4.

Откази који имају највећи ниво ризика од отказа су лом ротора ударне дробилице, ремени преносници и лом завртњева на облогама дробилице. Ротор млина трпи највеће оптерећење приликом процеса дробљења стенске масе, прекидом рада подсистема за дробљење стаје цео процес дробљења и просејавања стенске масе на каменолому. Ризик од лома ротора ударне дробилице према резултатима предложеног модела спада у категорију „висок“ са степеном припадности од 0,292208, а прва нижа вредност степена припадности јесте за категорију „умерен“, што је добро јер ризик не тежи ка екстремној вредности. Ризик од отказа ремених преносника дробилице такође спада у категорију „висок“ са степеном припадности од 0,2392, односно 23,92%. За ову вредност нивоа ризика може се рећи да је очекивана с обзиром да је систем за дробљење тако пројектован да управо ремени преносници буду слаба тачка, тј. да се њиховим кидањем спрече веће хаварије на самој ударној дробилици. Поред ових врста отказа, и ризик од лома завртњева на облогама млина оцењен је категоријом „висок“. Лом завртњева облоге млина је врло честа појава због вибрација и удара које завртњеви трпе у току рада дробилице, а такође треба нагласити да и квалитет завртњева који се употребљавају није на задовољавајућем нивоу.

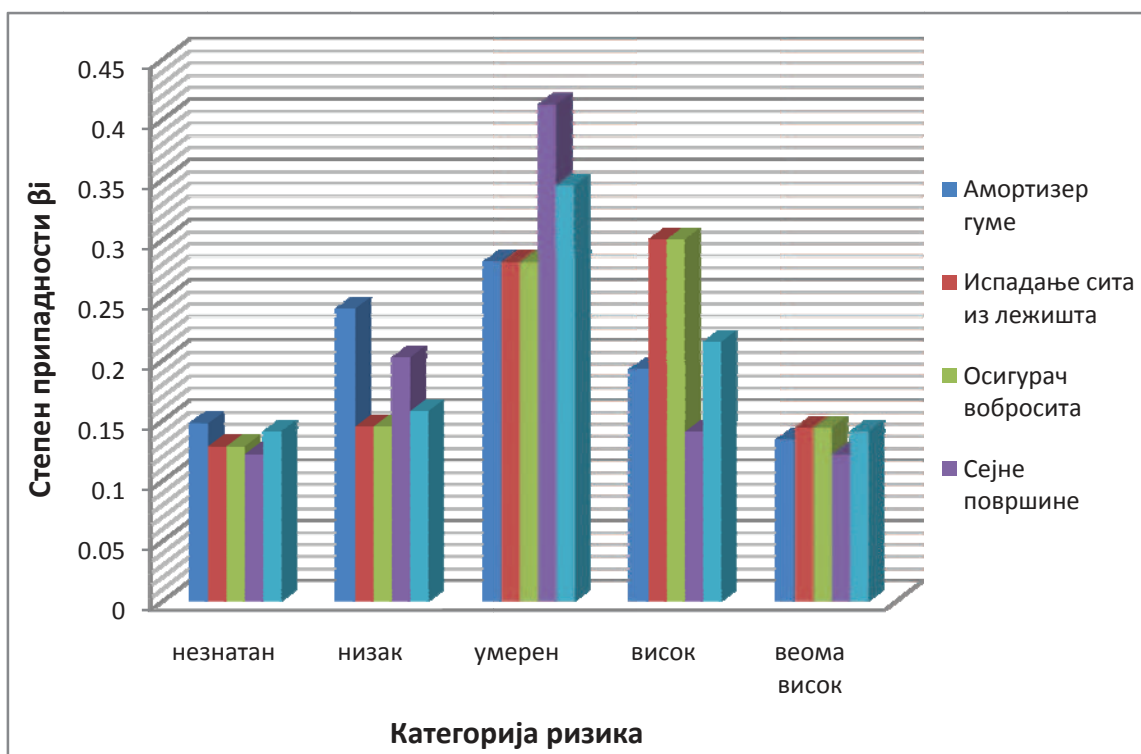
**Табела број 6.5** Оцена нивоа ризика отказа елемената подсистема просејавање

Подсистем	Део у отказу	Степен припадности ( $\beta_i$ )				
		незнатан	низак	умерен	висок	веома висок
Просејавање	Амортизер гуме	0,14782	0,24311	<b>0,28199</b>	0,19268	0,13441
	Испадање сита из лежишта	0,12862	0,14505	0,28171	<b>0,30048</b>	0,14414
	Осигурач вибросита	0,12862	0,14505	0,28171	<b>0,30048</b>	0,14414
	Сејне површине	0,12213	0,20247	<b>0,41259</b>	0,14067	0,12213
	Спојница хидромотора вибросита	0,1409	0,1578	<b>0,34512</b>	0,21528	0,1409

Предложеним моделом процене ризика за елементе подсистема за „просејавање“ издробљене стенске масе, добијено је да се ризици од отказа налазе у категоријама „умерен“ и „висок“ (Табела 6.5).

За амортизер гуме вибросита, сејне површине и спојницу хидромотора вибросита оцењени ниво ризика од отказа је у категорији „умерен“, док за отказе осигурача вибросита и испадање сита из лежишта, ниво ризика је у категорији „висок“. Овако добијени резултати оцене нивоа ризика могу се једноставно објаснити чињеницом да конструктори машина свесно остављају поједине слабе компоненте у систему, које је лако заменити и притом не коштају много, да би заштитили делове система чији су ефекти ризичног догађаја далеко већи. Наиме, осигурач вибросита сам по себи носи висок ризик од отказа, пројектован је тако да се његовим ломом спречава озбиљнији отказ на систему за просејавање. Такође, спојница хидромотора вибросита има исту улогу. За њу је предвиђена честа замена, па је конструкторским решењима омогућена брза замена исте без великих временских застоја. Кидање сејних површина зависи од абразивности стенске масе која се дроби и просејава. Иако је предвиђена честа замена због промене величине излазног комада, потребно време за замену није занемарљиво, па је моделом добијено да ризик од кидања сејних површина припада категорији „умерен“, са степеном припадности од 41,259%. Овај резултат указује да је потребно доста радити у циљу смањења броја отказа како би ниво ризика припадао нижој класи. Најједноставније решење јесте примена сита која су отпорнија на хабање од постојећих.

Подсистем транспортера са гуменом траком најчешће престаје са радом због делимичног или потпуног кидања гумене траке. Велики проблем код оваквог типа застоја јесте време потребно да се систем доведе у радно стање због времена потребног за очвршћавање лепка који се користи код хладног вулканизирања гумене траке. Произвођач предметне дробилице предвидео је спајање гумене траке копчама, али се у пракси показало да су овакви спојеви доста склони кидању, па се из тих разлога примењује вулканизирање иако је за вулканизирање потребно више времена за које дробилица проведе ван функције. Сви наведени фактори проузроковали су да ниво ризика од оваквог типа отказа буде у категорији „висок“.



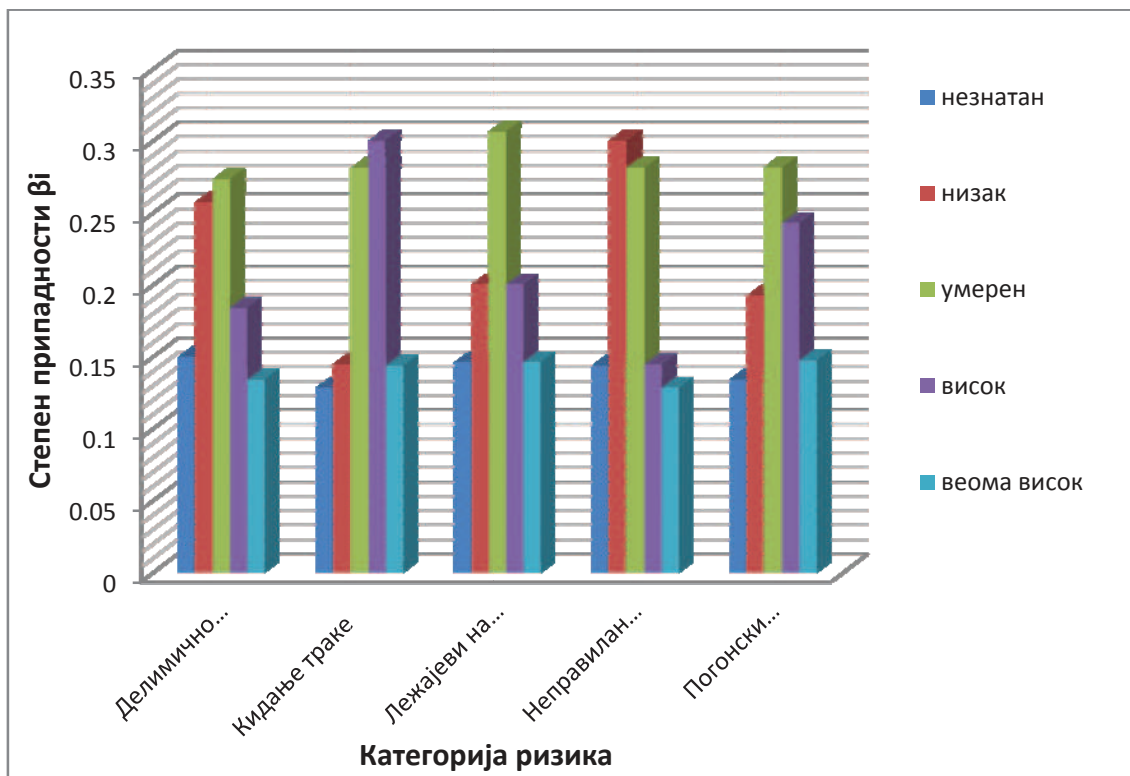
Слика број 6.5 Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Просејавање“

Табела број 6.6 Оцена нивоа ризика отказа елемената подсистема транспорт

Подсистем	Део у отказу	Степен припадности ( $\beta_i$ )				
		незнатан	низак	умерен	висок	веома висок
Транспорт	Делимично кидање траке	0,15005	0,25782	<b>0,27369</b>	0,18422	0,13422
	Кидање траке	0,12862	0,14505	0,28171	<b>0,30048</b>	0,14414
	Лежајеви на бубњевима	0,14622	0,20042	<b>0,30672</b>	0,20042	0,14622
	Неправилан рад траке	0,14414	<b>0,30048</b>	0,28171	0,14505	0,12862
	Погонски бубањ	0,13441	0,19268	<b>0,28199</b>	0,24311	0,14782

Ниво ризика од отказа за делимично кидање траке, отказ лежајева на погонским бубњевима и лом облоге погонских бубњева трака, јесте у категорији „умерен“. Неправилан рад транспортера са траком односи се на померање гумене траке у страну у односу на носеће ролне. Оваква врста отказа не изазива застој већ у знатној мери утиче на квалитет рада система, па добијени ниво ризика припада

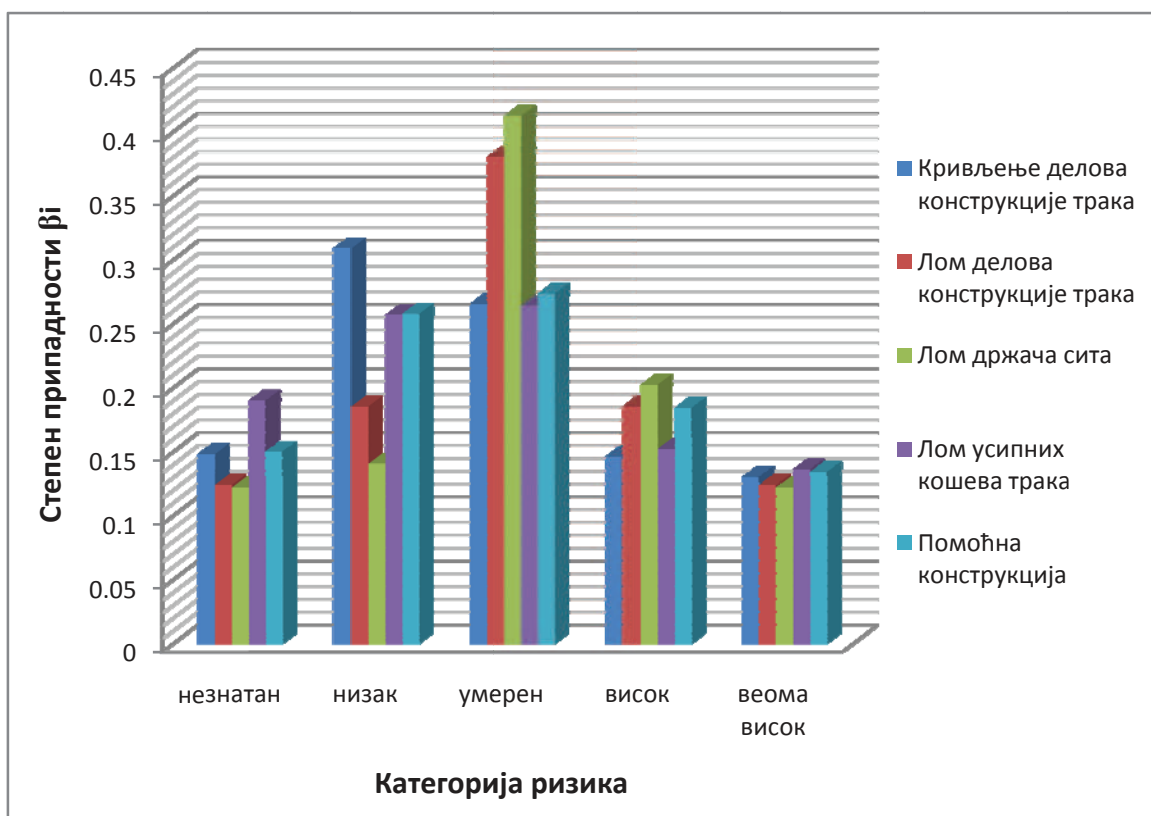
категорији „низак“. До оваквог типа отказа најчешће долази због дотрајалости гумене траке или због лошег вулканизирања. Резултати процене ниво ризика за елементе подсистема транспорт приказани су у табели 6.6.



Слика број 6.6 Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Транспорт“

Табела број 6.7 Оцена нивоа ризика отказа елемената подсистема конструкција

Подсистем	Део у отказу	Степен припадности (β <sub>i</sub> )				
		незнатан	низак	умерен	висок	веома висок
Конструкција	Кривљење делова конструкције трака	0,14835	<b>0,30905</b>	0,26559	0,14642	0,13058
	Лом делова конструкције трака	0,12421	0,18555	<b>0,38047</b>	0,18555	0,12421
	Лом држача сита	0,12213	0,14067	<b>0,41259</b>	0,20247	0,12213
	Лом усипних кошева трака	0,19017	0,25698	<b>0,26395</b>	0,15246	0,13644
	Помоћна конструкција	0,15005	0,25782	<b>0,27369</b>	0,18442	0,13442

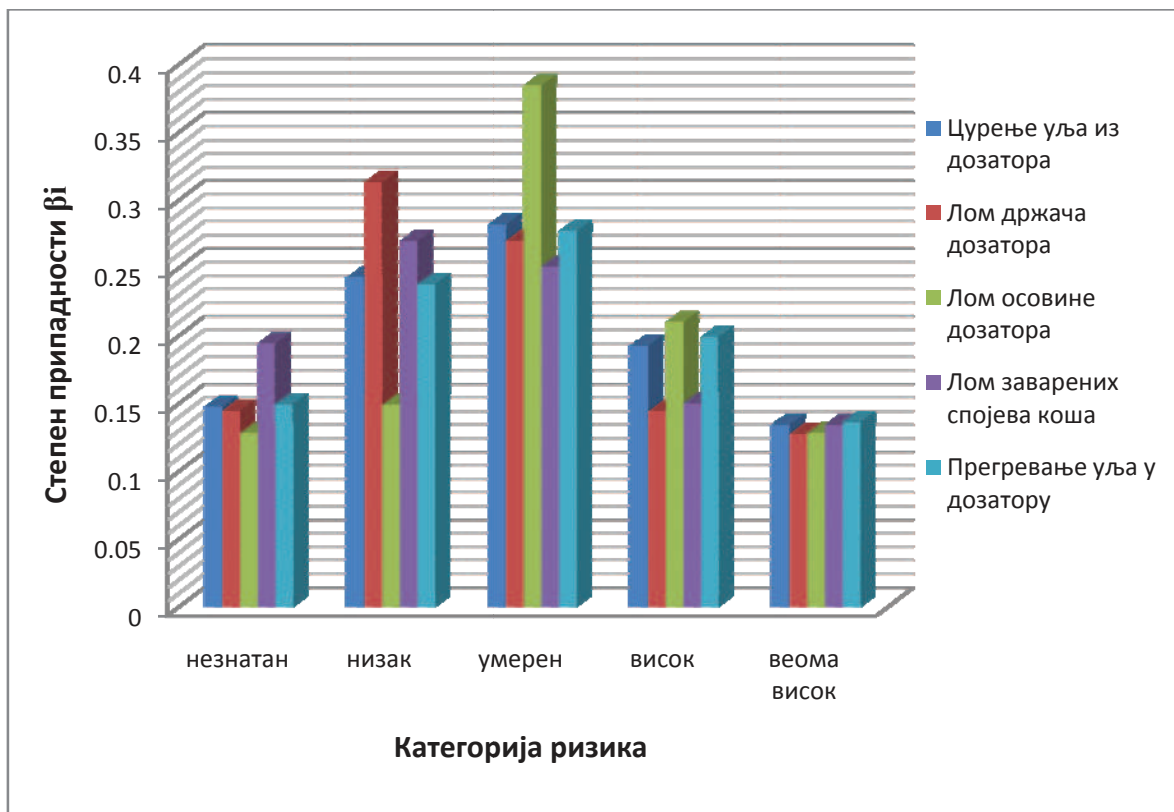


Слика број 6.7 Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Конструкција“

Резултати оцене нивоа ризика отказа делова конструкције мобилне дробилице (Табела 6.7) спадају у категорију „умерен“, осим за кривљење конструкција трака који је у категорији „низак“. Степен припадности ризика од лома усипних кошева и лома помоћне конструкције припада категорији „умерен“. Поред тога јако је мала разлика за степен припадности за категорију ризика „низак“. Генерално, ови подаци су битнији за самог произвођача опреме, јер се код овакве врсте отказа мало тога може учинити у процесу одржавања дробилице да се смањи ниво ризика.

Оцена нивоа ризика од отказа делова пријемног бункера - дозатора дата је у табели 6.8. Ризик од лома осовине дозатора, према оцени предложеним моделом, спада у категорију „умерен“, са доста високим степеном припадности од 0,38458. Такође, ризик од прегревања уља унутар кућишта дозатора спада у ову исту категорију. Оваква врста отказа указује на постојање неког већег проблема у овом делу система што се манифестује на овакав начин. Ризик од лома заварених

спојева усипног коша припада категорији „низак“, као и ризик од лома држача дозатора. Овакве врсте отказа настају као последица замора материјала услед појаве вибрација у току рада.



Слика број 6.8 Графички приказ процене нивоа ризика за елементе подсистема „Дозатор“

Табела број 6.8 Оцена нивоа ризика отказа елемената подсистема дозатор

Подсистем	Део у отказу	Степен припадности ( $\beta_i$ )				
		незнатан	низак	умерен	висок	веома висок
Дозатор	Цурење уља из дозатора	0,14782	0,24311	<b>0,28199</b>	0,19268	0,13441
	Лом држача дозатора	0,14477	<b>0,31336</b>	0,27003	0,14422	0,12763
	Лом осовине дозатора	0,12819	0,14891	<b>0,38458</b>	0,21012	0,12819
	Лом заварених спојева коша	0,19431	<b>0,2699</b>	0,25108	0,15035	0,13454
	Прегревање уља у дозатору	0,14945	0,23797	<b>0,27715</b>	0,19908	0,13635

### 6.1.2 Резултати оцене нивоа ризика отказа подсистема дробилице

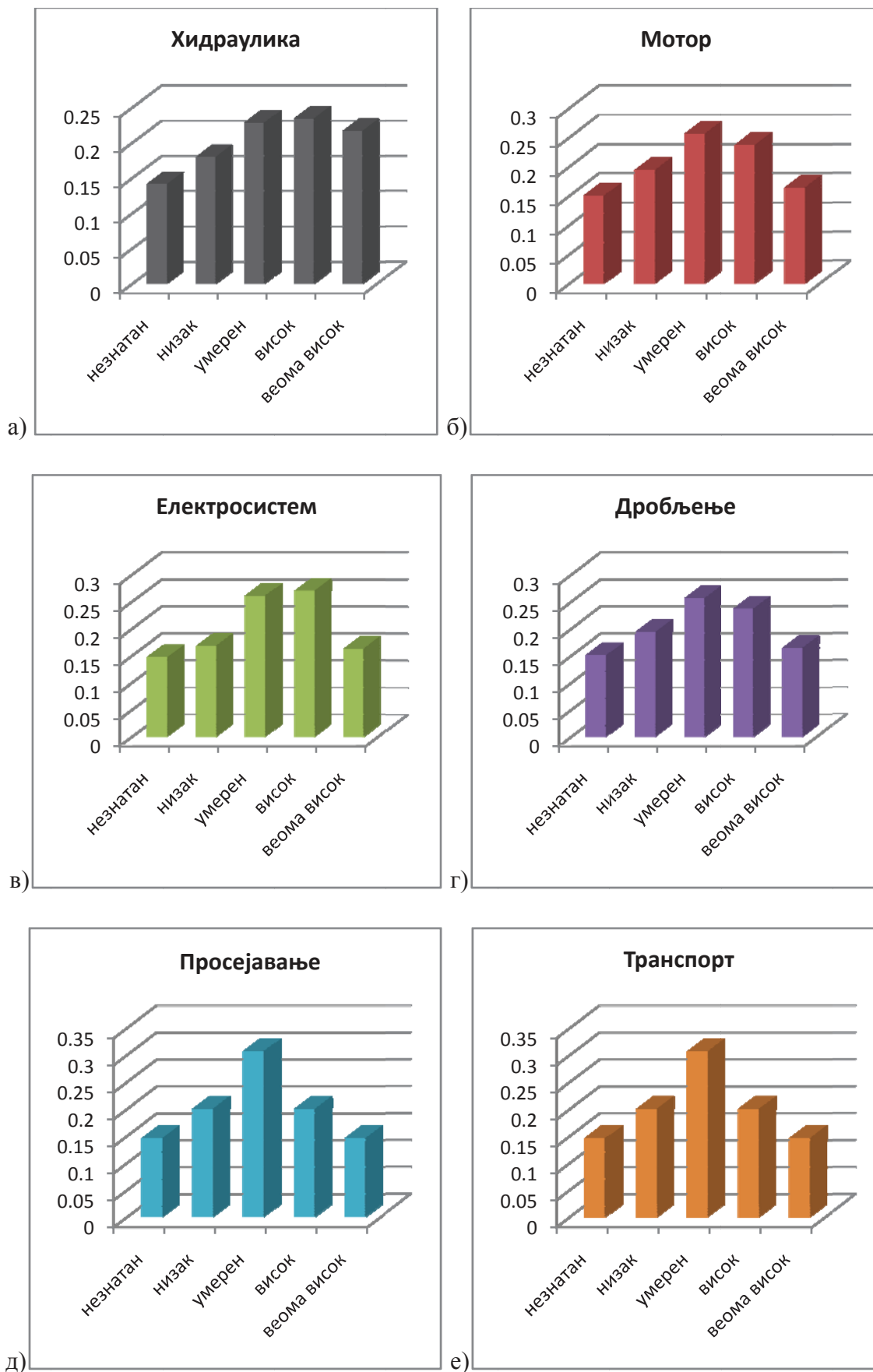
На основу оцене нивоа ризика отказа елемената подсистема одређен је ниво ризика отказа подсистема. За сваки од осам подсистема одређен је ниво ризика за по пет карактеристичних врста отказа. Резултати оцене нивоа ризика отказа подсистема мобилне дробилице приказани су у табели 6.9, и представљају резултат синтезне оцене на основу нивоа ризика од отказа елемената сваког подсистема појединачно.

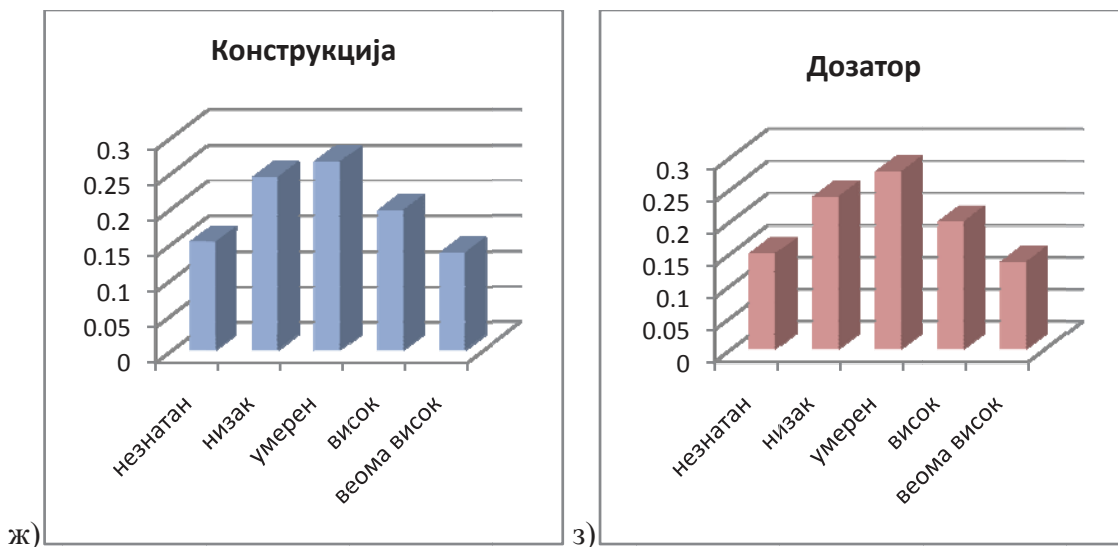
**Табела број 6.9** Оцена нивоа ризика отказа подсистема дробилице

Подсистем	Степен припадности ( $\beta_i$ )				
	незнатан	низак	умерен	висок	веома висок
Хидраулика	0,14122	0,1796	0,22846	<b>0,23421</b>	0,21651
Мотор	0,15046	0,19357	<b>0,25574</b>	0,23666	0,16357
Електросистем	0,14681	0,1675	0,26026	<b>0,26988</b>	0,1623
Дробљење	0,15046	0,19357	<b>0,25574</b>	0,23666	0,16357
Просејавање	0,14622	0,20042	<b>0,30672</b>	0,20042	0,14622
Транспорт	0,14622	0,20042	<b>0,30672</b>	0,20042	0,14622
Конструкција	0,15314	0,2444	<b>0,26656</b>	0,19779	0,13811
Дозатор	0,14945	0,23797	<b>0,27715</b>	0,19908	0,13635

Синтезна оцена нивоа ризика отказа подсистема рађена је на основу *min – max* композиције фази скупова ризика отказа елемената. Добијени резултати припадају категорији „умерен“ осим за подсистем „хидраулика“ и „електро“ који су у категорији „висок“. За подсистем „мотор“ прва нижа вредност степена поверења јесте за категорију „висок“, што је довољан показатељ тренда ризика. Подсистеми за просејавање и транспорт имају исти ниво ризика отказа, са истим степеном припадности од 0,30672, односно 30,67%.





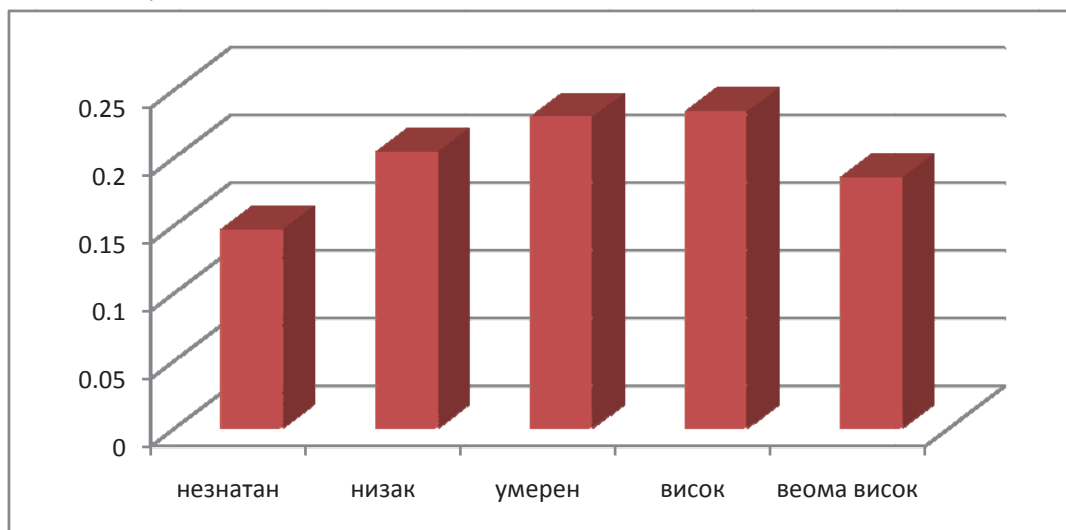


Слика број 6.9. Графички приказ фази процене нивоа ризика за подсистеме

### 6.1.3 Резултати оцене нивоа ризика отказа дробилице

Оцена нивоа ризика отказа техничког система – мобилне дробилице применом *min-max* композиције фази скупова ризика отказа подсистема приказана је на следећи начин:

$$R = \left\{ \begin{array}{l} (0.1465 / \text{незнатан}), (0.204 / \text{низак}), (0.2299 / \text{умерен}), (0.2339 / \text{висок}), \\ (0.185 / \text{веома висок}) \end{array} \right\}$$



Слика број 6.10 Графички приказ процене нивоа ризика мобилне дробилице

За оцену нивоа ризика усвојено је пет категорија ризика: незнатан, низак, умерен, висок и веома висок. За сваку категорију одређиван је степен припадности  $\beta$  којим се добијена оцена ризика сврстава у категорију нивоа ризика. Степен припадности одређује категорију ризика, па за предметну дробилицу, добијено је да је ризик у категорији „висок“ са степеном припадности од 0,2339, односно 23,39%. Прва нижа вредност степена припадности јесте за категорију ризика „умерен“, разлика је мања од 1%. Према резултатима оцене ризик од отказа дробилице је у категорији „висок“ али тежи ка категорији „умерен“ јер прва мања вредност степена припадности јесте управо за категорију „умерен“.

## **6.2 Дискусија резултата процене ризика отказа дробилице**

Резултати процене ризика отказа мобилне дробилице добијени применом предложеног модела представљају значајну основу за формирање стратегије одржавања машине у циљу смањења нивоа ризика. Одржавање дробилице засновано на ризику дало би значајне резултате на смањењу броја отказа, а самим тим смањили би се негативни ефекти ризика. Из анализе резултата добијених предложеним моделом може се видети да поједини саставни елементи дробилице имају висок ниво ризика од отказа, као на пример прекид довода горива код дизел мотора. Наизглед безазлена ствар али изазива велике проблеме у процесу дробљења и просејавања стенске масе. Ризик од појаве овакве врсте отказа може се једноставно смањити уградњом додатног филтера за пречишћавање горива. Слична ситуација је код лома завртњева на облогама млина. Набавка и уградња завртњева одговарајуће чврстоће сигурно би допринеле да се смање негативни ефекти ризика за ову врсту отказа, што представља минималну инвестицију која би смањила ефекте ризичног догађаја (испадање и лом облоге дробилице, лом ротора дробилице, кидање ремених преносника дробилице,...) Посебно треба истаћи забрињавајућу чињеницу да за четири од пет анализираних врста отказа за електро подсистем, ризик од отказа је у категорији „висок“. За овај подсистем, неопходно је израдити стратегију одржавања и предузети неопходне мере на превентивном одржавању и перманентној редовној провери свих узрочника који могу довести до овакве врсте отказа, како би се избегли или ублажили негативни

утицаји отказа. Утицај радне средине дробилице (прашина, утицај атмосферских падавина и друго) не може се контролисати, али се зато могу спровести мере на појачаном одржавању (редовно чишћење контаката од прашине и оксидације). Код система за транспорт издробљене стенске масе могућа је благовремена замена гумених трака како би се смањио број застоја, јер време за које је потребно да се систем доведе у радно стање је 20 и више часова, што представља озбиљан ударац на остваривање планиране производње. Ово су само неки примери отказа на које се може брзо и ефикасно утицати. Повећање поузданости система једна је од мера за смањење ризика.

На основу резултата процене нивоа ризика отказа елемената, подсистема и целог техничког система – дробилице, потребно је урадити детаљан план и развити стратегију блавременог деловања у смислу одржавања техничког система према ризику, како би се ниво ризика отказа свео на прихватљив ниво, поготову за врсте отказа чији је ниво ризика у класи висок.

Предложени модел процене ризика заснован на фази логичком закључивању омогућава сагледавање постојећих чинилаца који представљају негативан утицај ризичног догађаја, а оцењени су кроз парцијалне показатеље ризика. Модел процене ризика отказа техничких система у рударству, развијен у овој дисертацији, представља нови начин сагледавања показатеља ризика. Поред тога, предложени модел представља оригинално решење које омогућава синтезну оцену ризика отказа техничких система у рударству – машина на основу оцене нивоа ризика елемената система. Предложени модел је адаптиван и применљив код процене ризика за све техничке системе. Оцена нивоа ризика базирана на оцени нивоа ризика отказа елемената, кроз сагледавање негативних ефеката ризика техничког система, пружа јасне смернице за креирање политике одржавања машина у рударству према ризику.

## 7. ЗАКЉУЧАК

Циљ овог истраживања јесте формирање алгоритма процене ризика који би обухватио све негативне појаве које носи отказ техничког система првенствено са аспекта рударских машина, и то у односу на:

- функционалност и даљу способност техничког система да обавља пројектовану функцију,
- безбедност и здравље запослених радника и
- радно и животно окружење.

Приказани модел процене ризика представља хијерархијску композицију парцијалних показатеља ризика на нивоу елемента система, на основу:

- озбиљности отказа,
- учесталости појављивања отказа која је идентификована са функцијом поузданости и интензитета отказа,
- могућности благовременог откривања отказа, односно детектибилности.

Озбиљност отказа, као један од показатеља ризика, анализиран је кроз три утицајна фактора негативног деловања ризичног догађаја:

- утицај на функционалност машине који је идентификован са временом потребним да се машина врати у радно стање, односно са функцијом погодности одржавања,
- утицај отказа на безбедност и здравље запослених радника који је идентификован са бројем и врстом повреда радника који раде са машином,

-утицај на радну и животну средину који је идентификован са нивоом контаминације исте.

Други степен оцене нивоа ризика представља оцену нивоа ризика хијерархијски виших функционалних и конструкцијских целина у односу на елемент (подсистема, система) на основу претходно урађене процене ризика отказа скупа елемената који чине ту хијерархијски вишу целину.

Овакав начин одређивања нивоа ризика који је изазван отказом елемента техничког система омогућава сагледавање ризика за елементе, подсистеме и цео систем, анализу њихове интеракције, налажење слабих места у систему, добијање повратне информације у смислу приоритета за смањење ризика (са становишта поузданости, погодности одржавања, броја повреда, нивоа загађења, детектибилности). Такође, овакав начин процене ризика представља одличну полазну основу за формирање политике превентивног одржавања машина.

Један део истраживања усмерен је и на изналажење алата за обраду и интерперетацију непотпуних и непрецизних података, при чему се теорија фази скупова и фази логике показала се као најпогоднији „алат“. Потреба за рад са хибридном подацима настала је због саме природе феномена који се анализира. Део улазних података се добија на основу статистичке обраде података о отказима на основу временске слике стања техничког система или евиденције о разматраним негативним појавама а део на основу статистичке обраде прикуљених знања и искустава односно експертске процене запослених у раду и одржавању техничког система. У првом случају се добијају нумерички подаци у облику временски зависне функције, а у другом случају се добијају лингвистичке променљиве у прописаном квалитативном смислу. За разлику од првих егзактних података други су непотпуни и непрецизни. Композиција улазних података који су дати у форми функције припадности класама као јединичним мерама парцијалних показатеља ризика, урађена је применом „*min-max*“ фази композиције. На овај начин је синтетна оцена ризика представљена као најлошија међу најбољима у односу на потенцијалне исходе ризичних ситуација. Исход је овде формиран као логички закључак (IF-THEN форма) за било коју ризичну ситуацију изазвану отказом техничког система. При томе се априори сматра да су

елементи у редној вези у смислу поузданости, с тим што модел даје могућност и третирања паралелне везе уз корекцију разматраног исхода који је генерално дат за све случајеве отказа.

Основне карактеристике предложеног модела за процену ризика огледају се пре свега у оригиналности концепцијског приступа увођења показатеља ризичног догађаја односно отказа у процену ризика. Алгоритам процене ризика је унапређен стандардни модел процене ризика (Risk Priority Number), који даје ширу слику утицајних параметара на ризик (омогућава увођење у оцену показатеље који до сада нису били обухваћени при процени ризика машина), даје синтетички модел за сложене техничке системе и даје могућност рада са хибридним подацима. Коначна оцена нивоа ризика је у континуалној форми.

Приказани модел минимизира могућност утицаја аналитичара на исход оцене.

Предложеним моделом дата је могућност смањења броја итерација при дефинисању броја комбинација у поступку одређивања могућих исхода. На овај начин знатно се убрзава поступак рачунања „*min-max*“ композиције.

Предложени модел је универзалан и прихватљив за процену ризика отказа свих машина које се примењују у индустрији и рударству, а његово тестирање урађено је на примеру секундарне мобилне дробилице „*METSO MINERALS*“, тип „*LT 1213S*“ на површинском копу Ладне воде код Петровца на Малви. Добијени резултати указали су на постојање великог броја отказа који потенцијално носе висок ризик а на које се малим улагањем људских и финансијских ресурса, може утицати како би се смањио број или ублажили негативни ефекти отказа, што кориснику треба да послужи да модификује систем одржавања како би остварио значајне уштеде. Као конкретан пример се наводи осигурач вибросита дробилице. У колико дође до лома или испадања осигурача последице се манифестују на технички систем у смислу физичког оштећења система за просејавање, испадање и оштећење носача и сејних површина дробилице. Благовременом интервенцијом могу се спречити последице отказа оваквог типа.

---

На основу речног може се резимирати:

- Алгоритам процене ризика свеобухватно анализира парцијалне показатеље ризика: вероватноћу настанка отказа који идентификује са функцијом поузданости система; озбиљност последице коју идентификује са функцијом погодности одржавања као мером времена проведеног у застоју, евиденцијом повреда на раду као мером негативног утицаја на запослене и измереним нивоом загађења као мером негативног утицаја на животну средину; могућност благовременог односно превентивног идентификовања отказа или детектибилност.
- Фази концепцијски модел процене ризика техничких система пружа могућност рачунања са хибридном подацима. односно парцијални показатељи ризика могу да се прикажу као: временски зависне функције, хистограми статистички прикупљених података, експерска знања и искуства приказана у облику функције припадности одговарајућим лингвистичким променљивама. Алгоритам при томе даје могућност фазификације наведених података те њихове даље композиције на ниво ризика.
- Алгоритам процене ризика обухвата и синтезни модел на нивоу хијерархијске структуре техничког система који користи фази композицију. На овај начин ствара се могућност анализе међуодноса елемента система, међусобних утицаја отказа на квалитет рада, утицај отказа дела или компоненте система на технолошки процес, запослене и радно и животно окружење; као и идентификације слабих места у техничком систему са становишта ризика.
- Идентификован је значај праћења отказа за потенцијално најризичније елементе система на примеру мобилне дробилице „METSО MINERALS“, тип „LT 1213S“ на каменолому Ладне воде код Петровца на Малви.



## **ЛИТЕРАТУРА**

Ataei, M., Khalokakaie, R., Hossieni, M., 2009. Determination of coal mine mechanization using fuzzy logic. *Mining Science and Technology* 19 (2), 149–154.

Australian standard, Risk management AS/NZS 4360:1995.

Australian standard, Risk management AS/NZS 4360:1999.

Australian standard, Risk management AS/NZS 4360:2004.

Barabady, J., 2005. Reliability and maintainability analysis of crushing plants in Jajarm bauxite mine of Iran, *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp.109–115.

Barabady, J., Kumar, U., 2008. Reliability analysis of mining equipment: A case study of a crushing plant at the Jajarm Bauxite mine of Iran. *Reliability Engineering and System Safety* 93 (4), 647–653.

Behera, D.K., Sarkar, A., Behera, A., 2011. Reliability investigation for a fleet of load haul dump machines in a mine. *International Journal of Computer Science and Management Studies* 11 (2), 186–194.

Bojadziew, G., Bojadziew, M., 2007. *Fuzzy logic for business, finance and management*. Singapore: World Scientific Publishing.

Booker, J., Singphurwalla, N., 2003. Using probability and fuzzy set theory for reliability assessment. *Proceedings of XXI Conference IMAC*, pp. 3–8.

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.

Braglia, M., Frosolini, M., Montanari, R., 2003. Fuzzy criticality assessment model for failure modes and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management* 20 (4), 503–524.

Brubaker, D., 1994. Introduction to fuzzy logic. *Proceedings of the Second Annual Embedded Systems Conference East*, The Hunting Group.

Business dictionary.

URL: <http://www.businessdictionary.com/definition/risk.html>

Cai, K.Y., 1996. System failure engineering and fuzzy methodology An introductory overview. *Fuzzy Sets and Systems* 83 (2), 113–133.

Carvalho, H., Cruz-Machado, V., 2006. Fuzzy set theory to establish resilient production systems. *IIE Annual Conference 2006*, Orlando, USA.

Castillo, O., Melin, P., 2008. *Type 2 Fuzzy logic: Theory and application*.

Chen, S.–M., 1994. Fuzzy system reliability analysis using fuzzy number arithmetic operations. *Fuzzy Sets and Systems* 64 (1), 31–38.

Ćatić, D., Jovičić, S., Tomić, R., 2004. Analiza stabla otkaza hidrauličnog servoupravljača. *Mobility and Vehicle Mechanics* 30, 21–39.

Daničić, D., Sedmak, S., Blačić, I., Kirin, S., 2013. Scenario of fracture development in bucket wheel excavator. *Structural integrity and life* 13 (3), 189 – 196.

Distefano, S., Puliafito, A., 2009. Reliability and availability analysis of dependent–dynamic systems with DRBDs. *Reliability Engineering and System Safety* 94, 1381–1393.

Dhillon, B.S., Anude, O.C., 1992. Mining equipment reliability: A review. *Microelectronics reliability* 32 (8), 1137–1156.

Dubois, D., Prade, H., 2005. Fuzzy elements in a fuzzy set. *Fuzzy Logic, Soft Computing and Computational Intelligence: 11th IFSA World Congress*, volume 1, pages 55-60, Beijing, Tsinghua University Press/Springer.

Đukanović, D., 2005. Tehnologija izrade jamskih prostoriya kombinovanim mašinama, Savez energetičara, Beograd.

Gargama, H., Chaturvedi, S.K., 2011. Criticality assessment models for failure mode effects and criticality analysis using fuzzy logic. *IEEE Transactions on Reliability* 60 (1), 102–110.

Gharahasanlou, A.N., Mokhtarei, A., Khodayarei, A., Ataei, M., 2014. Fault tree analysis of failure cause of crushing plant and mixing bed hall at Khoy cement factory in Iran. *Case studies in engineering failure analysis* 2 (1), 33–38.

Glavni rudarski projekat eksploatacije karbonatnih stena ležišta „Ladne vode“ kod Petrovca na Mlavi – Knjiga 1: Rudarski deo (2007a), Expert Team DOO Beograd.

Glavni rudarski projekat eksploatacije karbonatnih stena ležišta „Ladne vode“ kod Petrovca na Mlavi – Knjiga 2: Tehnološko – mašinski projekat pripreme karbonatnih stena (2007b), Expert Team DOO Beograd.

Grassi, A., Gamberini, R., Mora, C., Rimini, B., 2009. A fuzzy multi-attribute model for risk evaluation in workplaces. *Safety Science* 47 (5), 707–716.

Grayson, R.L., Kinilakodi, H., Kecojević, V., 2009. Pilot sample risk analysis for underground coal mine fires and explosions using MSHA citation data. *Safety Science* 47, 1371–1378.

Guimaraes, A.C.F., Lapa, C.M.F., 2007. Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems. *Applied Soft Computing* 7 (1), 17–28.

Gustafson, A., Schunnesson, H., Galar, D., Kumar, U., 2013. The influence of the operating environment on manual and automated load-haul-dump machines: a fault tree analysis. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment* 27 (2), 75–87.

Hanovich, R.L., 2010. Fuzzy deterrence. Master thesis, Forces Staff College, Advanced Warfighting School, Norfolk Virginia.

Harris, J., 2006. Fuzzy Logic Application in Engineering Science. Springer Netherlands.

Helman, M., 2001. Fuzzy logic introduction.  
<http://epsilon.nought.de/tutorials/fuzzy/fuzzy.pdf>

Hoseinie, S.H., Ataei, M., Khalokakaie, R., Kumar, U., 2011. Reliability modeling of hydraulic system of drum shearer machine. *Journal of Coal Science and Engineering* 17 (4), 450–456.

Hoseinie, S.H., Ataei, M., Khalokakaie, R., Ghodrati, B., Kumar, U., 2012. Reliability analysis of drum shearer machine at mechanized longwall mines. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 18 (1), 98–119.

Huang, R.-H., Yang, C.-L., Kao, C.-S., 2012. Assessment model for equipment risk management: Petrochemical industry cases. *Safety Science* 50 (4), 1056–1066.

Ignjatović, M., Miljković, M., 2004. Rudarska hidrotehnika, IRM Bor, Bor.

Ignjatović, D., 2009. Rudarske mašine – skripta. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.

Instruction manual. NORTBERG LT 1213S. 2004. METSO Minerals.

International standard IEC 300-3-9. (1995). Dependability management – Part 3.

International standard ISO 12100:2010 – Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction.

International standard IEC 60812, 1995. Analysis techniques for system reliability – Procedures for failure mode and effect analysis (FMEA).

International standard IEC 61025, Fault tree analysis (FTA).

International standard IEC 60300-3-9, Dependability management — Part 3: Application guide — Section 9: Risk analysis of technological systems.

International standard ISO 31000. (2009) Risk management – Principles and guidelines.

International standard IEC 31010/FDIS (2009). Risk management – Risk assessment techniques.

International standard ISO GUIDE 73:2009. Risk management – Vocabulary.

Ivezić, D., Tanasijević, M., Ignjatović, D., 2008. Fuzzy approach to dependability performance evaluation. *Quality and Reliability Engineering International* 24 (7), 779–792.

Ivković, S., 1997. Otkazi elemenata rudarskih mašina. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.

Ivković, S., 2004. Rizici u rudarskoj delatnosti, uvodno izlaganje. 12. savetovanje sa međunarodnim učešćem “Upravljanje rizicima, preventiva i osiguranje u energetici”, Dunav PREVING a.d., Beograd, 2004. 5 – 11.

Ivković, S., 2004. Ignjatović D., Tanasijević M., Ivković D., Ponašanje rotornih bagera u eksploataciji na površinskim kopovima uglja u Srbiji i rizici, rad po pozivu, 12. savetovanje sa međunarodnim učešćem „Upravljanje rizicima, preventiva i osiguranje u energetici“, Dunav PREVING a.d., Beograd, 2004

Ivković, S., Ignjatović, D., Jovančić, P., Tanasijević M., 2008. Projektovanje održavanja opreme površinskih kopova uglja, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd.

Jevtić, V., 1995. Građevinske i rudarske mašine, II deo. Mašinski fakultet, Niš.

Jovičić, V., 1989. Ventilacija rudnika. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd.

Joy, J., 2004. Occupational safety risk management in Australian mining. *Occupational Medicine* 54 (5), 311–315.

Keller, W., Modarres, M., 2005. A historical overview of probabilistic risk assessment development and its use in the nuclear power industry: a tribute to the late

Professor Norman Carl Rasmussen. Reliability Engineering and System Safety 89 (3), 271–285.

Keskin, G.A., Ozkan, C., 2009. An alternative evaluation of FMEA: Fuzzy ART algorithm. Quality and Reliability Engineering International 25 (6), 647–661.

Kim, M.C., 2011. Reliability block diagram with general gates and its application to system reliability analysis. Annals of Nuclear Energy 38 (11), 2456–2461.

Kletz, T.A., 1999. The origins and history of loss prevention. Process Safety and Environmental Protection 77 (3), 109–116.

Kumar, U., Kelfsjo, B., Granholm, S., 1989. Reliability investigation for a fleet of load haul dump machines in a Swedish mine. Reliability Engineering and System Safety 26 (4), 341–361.

Kundu, S., 1998. The min-max composition rule and its superiority over the usual max-min composition rule. Fuzzy Sets and Systems 93 (3), 319–329.

Kvalitet.URL:

<http://www.kvalitet.co.rs/dokumenta/Spisak%20srpskih%20standarda%20-%20MAS%202012.06.pdf>

Lazarević, P., 2006. Pouzdanost – faktor kvaliteta zavisan od vremena. 33. Nacionalna konferencija o kvalitetu 10–12. 05. 2006, Kragujevac, Srbija.

Lipol, L.S., Haq, J., 2011. Risk analysis method: FMEA/FMECA in the organizations. International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS– IJENS 11 (5), 74–82.

Liu, H.–C., Liu, L., Liu, N., 2013. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. Expert Systems with Applications 40 (2), 828–838.

Magdalinović, N., 1999. Usitnjavanje i klasiranje, Nauka, Beograd.

Majdandžić, N., 1999. Strategije održavanja i informacijski sustavi održavanja. Strojarski fakultet, Slavonski Brod.

Marhavidas, P.K., Koulouriotis, D.E., 2012. Developing a new alternative risk assessment framework in the work sites by including a stochastic and a deterministic process: A case study for the Greek Public Electric Power Provider. *Safety Science* 50 (3), 448–462.

McGill, W.L, Ayyub, B.M, 2007. Multicriteria security system performance assessment using fuzzy logic. *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology* 4, 356–376.

Mechefske, C., 1998. Objective machinery fault diagnosis using fuzzy logic. *Mechanical Systems and Signal Processing* 12 (6), 855–862.

Mijajlović, M., Milčić, D., 2009. Analiza fazi pouzdanosti mašinskih sistema. *IMK 14 – Istraživanje i razvoj* 15 (1-2), 107–114.

Milčić, D., 2005. Pouzdanost mašinskih sistema. Mašinski fakultet, Niš.

Milić, V., Milićević Ž., 2005. Osnovi eksploatacije ležišta mineralnih sirovina. Tehnički fakultet, Bor.

Military standard procedures for performing a failure mode effects and criticality analysis. MIL ST 1629A.

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.

Mirković, S., 2005. Građevinska mehanizacija. Građevinska knjiga, Beograd.

Nikolić, I., Borović, S., 1996. Višekriterijumska optimizacija. Centar vojnih škola, Beograd.

Niczyporuk, Z.T., 1997. Risk assessment in mining technologies. *Archives of Mining Science* 42 (1), 163–175.

Owens, B., Coppola, E. A., 2012. Fuzzy Set Theory (or Fuzzy Logic) to Represent the Messy Data of Complex Human (and other) Systems. White paper.

Pantelić, M., Papić, Lj., Minimizacija rizika u procesu održavanja tehničkih sistema na površinskim ugljenokopima. Zbornik radova VIII međunarodnog simpozijuma „MAREN 2010“, Rudarsko geološki fakultet, Lazarevac, 2010,. str. 426–435.

Pantović, R., 2008. Tehnologija bušenja. Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet, Bor.

Papić, Lj., Milovanović, Z., 2007. Održavanje i pouzdanost tehničkih sistema. Istraživački centar DQM Čačak, Čačak.

Petrović, D.V., Tanasijević, M., Milić, V., Lilić, N., Stojadinović, S., Svrkota, I., 2014. Risk assessment model of mining equipment failure based on fuzzy logic. Expert Systems with Application 41 (18), 8157 – 8164.

Phil Stunell's Blog, 2012. URL: <http://stunell.wordpress.com/2012/01/10/3-dimensions-of-risk>

Pillay, A., Wang, J., 2003. Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. Reliability Engineering and System Safety 79 (1), 69–85.

Polovina, D., 2010. Metode utvrđivanja preostalih mogućnosti rotornih bagera u eksploataciji i revitalizaciji. Rudarsko–geološki fakultet, Beograd.

Radosavljević, S., Lilić, N., Ćurčić, S., Radosavljević, M., 2009. Risk assesment and managing technical system in case of mining industry. Strojniški vestnik 55 (2), 119–130.

Radosavljević, S., 2010. "Model procene rizika procesa zaštite na radu u pogonu suva separacija "Kolubara prerada", Vreoci". Doktorska disertacija, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd.



Ramović, R., 2005. Pouzdanost sistema elektronskih, telekomunikacionih i informacionih. Katedra za Mikroelektroniku i tehničku fiziku ETF Beograd, Beograd.

Reveiz, A., León, C., 2009. Operational risk management using a fuzzy logic inference system. Borradores de Economía 574, Banco de la Republica de Colombia.

Robbins, R.J., 2000. Mechanization of underground mining: a quick look backward and forward. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 37 (1–2), 413–421.

Ross, T.J., 2004. Fuzzy logic with engineering applications. Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd.

Saleh, J.H., Marais, K., 2006. Reliability: How much is it worth? Beyond its estimation or prediction, the (net) present value of reliability. Reliability Engineering and System Safety 91 (6), 665–673.

Siler, W., Buckley, J.J., 2005. Fuzzy expert systems and fuzzy reasoning. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Sivanandam, S.N., Sumathi, S., Deepa, S.N., 2007. Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB. Springer Verlag Berlin Heidelberg.

Srpski standard SRPS EN ISO 12100:2012 Bezbednost mašina – Opšti principi za projektovanje – Ocena rizika i smanjenje rizika.

Starčević, J., Ilić, M., Paunović-Pfaf, J., 2010. Priručnik za procenu rizika. Global dizajn, Beograd.

Stefanović, A., 1980. Građevinske mašine I. Građevinska knjiga, Beograd.

Subašić, P., 1997. Fazi logika i neuronske mreže, Tehnička knjiga Beograd, Beograd.

Šijaković, A., Savić, S., Nikolić, V., Taradi, J., 2013. Generički standardi za upravljanje rizicima. 9. Međunarodno savetovanje: Rizik i bezbednosni inženjering, Kopaonik. 2–6 februar 2013. str. 139–145.

Tadić, D., Stanojević, P., Aleksić, M., Mišković, V., Bukvić, V., 2006. Teorija fazi skupova – primene u rešavanju menadžment problema. Mašinski fakultet, Kragujevac.

Tanasijević, M., 2007. Sigurnost funkcionisanja mehaničkih komponenti rotornog bagera. Doktorska disertacija, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd.

Tanasijević, M., Ivezić, D., Jovančić, P., Čatić, D., Zlatanović, D., 2013. Study on dependability Evaluation for Multi-hierarchical Systems Based on Max–Min Composition. *Quality and Reliability Engineering International* 29, 317–326.

Tanikić, D., 2009. Modeliranje korelacija između parametara procesa obrade rezanjem primenom adaptivnih neuro-fazi sistema. Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Niš.

Tang, J., 2001. Mechanical system reliability analysis using a combination of graph theory and Boolean function. *Reliability Engineering and System Safety* 72 (1), 21 – 30.

Tay, K. M., & Lim, C. P. (2010). Enhancing the failure mode and effect analysis methodology with fuzzy inference techniques. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 21, 135–146.

Tehnički izveštaj: I – IX 2014, Površinski kop Cerovo.

Todorović, J. 1993. Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema. Jugoslovensko društvo za motorna vozila, Beograd.

Trifković, S., Krašnik, M, Radić, N., 2010. Analiza pouzdanosti podsistema za kopanje rotornog bagera ER – 1250 (Reliability analysis of bucket wheel drive on bucket-wheel excavator ER – 1250), *International Scientific – Professional Symposium INFOTEH®-JAHORINA 2010*, Vol. 9, Ref. C-12, p. 352 – 356.

Uzgoren, N., Eevli, S., Eevli, B., Uysal, O., 2010. Reliability analysis of draglaines mechanical failure. *Maintenance and Reliability* 4, 23 – 28.

Wang, J., Yang, J.B., Sen, P., 1995. Safety analysis and synthesis using fuzzy sets and evidential reasoning. *Reliability Engineering and System Safety* 47 (2), 103 – 118.

Weibull, W., 1951. A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics* 18, 293–297.

Weibull.com. <http://www.weibull.com>

Williams, M.J., 2000. Application of virtual reality for risk assessment and training in the minerals industry. PhD thesis. University of Nottingham.

Yang, J., Huang, H. Z., He, L. P., Zhu, S. P., Wen, D., 2011. Risk evaluation in failure mode and effects analysis of aircraft turbine rotor blades using Dempster–Shafer evidence theory under uncertainty. *Engineering Failure Analysis* 18 (8), 2084 – 2092.

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control* 8 (3), 338 – 353.

Zhang, Z., Chu, X., 2011. Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty. *Expert System with Applications* 38 (1), 206 – 214.

Zimmermann, H.J., 1996. Fuzzy set theory – and its application. Kluwer Academic Publisher, Boston/Dordrecht/London.

Žikić, M., 2003. *Mašine i uređaji u ELMS*. Autorizovana predavanja, Tehnički fakultet, Bor.

---

## **ПРИЛОЗИ**



**Прилог број 2 Приказ дела табеле *min* – *max* композиције I**

**Z= 18.09005**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.83	1	0.83
O	0	0	0	0	0	0.059	0.1188	0.18	0.234	0.299	0.405	0.439
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.061	0.19

		0			0			0				
S	O	D	$\mu_S$	$\mu_O$	$\mu_D$	max	MIN	MAX	Ishod	1	2	3
1	1	1	0	0	0	0	0	FALSE	1	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	2	0	0	0	0	0	FALSE	1	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	3	0	0	0	0	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	4	0	0	0	0	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	5	0	0	0	0	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	6	0	0	0	0	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	7	0	0	0	0	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	8	0	0	0	0	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	9	0	0	0	0	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	10	0	0	0	0	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	11	0	0	0.061	0.061	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	12	0	0	0.19	0.19	0	FALSE	5	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	13	0	0	0.3154	0.3154	0	FALSE	5	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	14	0	0	0.4408	0.4408	0	FALSE	5	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	15	0	0	0.57	0.57	0	FALSE	6	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	16	0	0	0.6916	0.6916	0	FALSE	6	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	17	0	0	0.731	0.731	0	FALSE	6	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	18	0	0	0.649	0.649	0	FALSE	7	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	19	0	0	0.561	0.561	0	FALSE	7	FALSE	FALSE	FALSE

1	1	20	0	0	0,471	0,471	0	0	0,471	0,471	0	FALSE	7	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	21	0	0	0,389	0,389	0	0	0,389	0,389	0	FALSE	8	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	22	0	0	0,3008	0,3008	0	0	0,3008	0,3008	0	FALSE	8	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	23	0	0	0,199	0,199	0	0	0,199	0,199	0	FALSE	8	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	24	0	0	0,156	0,156	0	0	0,156	0,156	0	FALSE	9	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	25	0	0	0,12	0,12	0	0	0,12	0,12	0	FALSE	9	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	26	0	0	0,079	0,079	0	0	0,079	0,079	0	FALSE	9	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	27	0	0	0,04	0,04	0	0	0,04	0,04	0	FALSE	10	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	10	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	10	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	11	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	1	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	11	0	0	0,061	0,061	0	0	0,061	0,061	0	FALSE	5	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	12	0	0	0,19	0,19	0	0	0,19	0,19	0	FALSE	5	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	13	0	0	0,3154	0,3154	0	0	0,3154	0,3154	0	FALSE	5	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	14	0	0	0,4408	0,4408	0	0	0,4408	0,4408	0	FALSE	6	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	15	0	0	0,57	0,57	0	0	0,57	0,57	0	FALSE	6	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	16	0	0	0,6916	0,6916	0	0	0,6916	0,6916	0	FALSE	6	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	17	0	0	0,731	0,731	0	0	0,731	0,731	0	FALSE	7	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	18	0	0	0,649	0,649	0	0	0,649	0,649	0	FALSE	7	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	19	0	0	0,561	0,561	0	0	0,561	0,561	0	FALSE	7	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	20	0	0	0,471	0,471	0	0	0,471	0,471	0	FALSE	8	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	21	0	0	0,389	0,389	0	0	0,389	0,389	0	FALSE	8	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	22	0	0	0,3008	0,3008	0	0	0,3008	0,3008	0	FALSE	8	FALSE	FALSE	FALSE

30	30	11	0	0	0,061	0,061	0	FALSE	24	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	12	0	0	0,19	0,19	0	FALSE	24	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	13	0	0	0,3154	0,3154	0	FALSE	24	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	14	0	0	0,4408	0,4408	0	FALSE	25	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	15	0	0	0,57	0,57	0	FALSE	25	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	16	0	0	0,6916	0,6916	0	FALSE	25	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	17	0	0	0,731	0,731	0	FALSE	26	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	18	0	0	0,649	0,649	0	FALSE	26	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	19	0	0	0,561	0,561	0	FALSE	26	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	20	0	0	0,471	0,471	0	FALSE	27	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	21	0	0	0,389	0,389	0	FALSE	27	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	22	0	0	0,3008	0,3008	0	FALSE	27	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	23	0	0	0,199	0,199	0	FALSE	28	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	24	0	0	0,156	0,156	0	FALSE	28	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	25	0	0	0,12	0,12	0	FALSE	28	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	26	0	0	0,079	0,079	0	FALSE	29	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	27	0	0	0,04	0,04	0	FALSE	29	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	28	0	0	0	0	0	FALSE	29	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	29	0	0	0	0	0	FALSE	30	FALSE	FALSE	FALSE
30	30	30	0	0	0	0	0	FALSE	30	FALSE	FALSE	FALSE



























Прилог број 3 Приказ дела табеле *min* – *max* композиције II

Z= 5.470297

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S	0	0	0.83	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.83	0
O	0	1	0.65	0.83	0.75	0.75	0.6125	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0.224	0.5644	0.602	0.432	0.16

S	O	D	$\mu_S$	$\mu_O$	$\mu_D$	max	MIN	MAX	Ishod	1	2	3
1	1	1	0	0	0	0	0	FALSE	1	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	2	0	0	0	0	0	FALSE	1	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	3	0	0	0	0	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	4	0	0	0	0	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	5	0	0	0	0	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	6	0	0	0.224	0.224	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	7	0	0	0.5644	0.5644	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	8	0	0	0.602	0.602	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	9	0	0	0.432	0.432	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	1	10	0	0	0.16	0.16	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	1	0	1	0	1	0	FALSE	1	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	2	0	1	0	1	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	3	0	1	0	1	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	4	0	1	0	1	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	5	0	1	0	1	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	6	0	1	0.224	1	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	7	0	1	0.5644	1	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	8	0	1	0.602	1	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	9	0	1	0.432	1	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	2	10	0	1	0.16	1	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	3	1	0	0.65	0	0.65	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE

1	3	2	0	0,65	0	0,65	0	0,65	0	0,65	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	3	3	0	0,65	0	0,65	0	0,65	0	0,65	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	3	4	0	0,65	0	0,65	0	0,65	0	0,65	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	3	5	0	0,65	0	0,65	0	0,65	0	0,65	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	3	6	0	0,65	0,224	0,65	0,224	0,65	0	0,65	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	3	7	0	0,65	0,5644	0,65	0,5644	0,65	0	0,65	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	3	8	0	0,65	0,602	0,65	0,602	0,65	0	0,65	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	3	9	0	0,65	0,432	0,65	0,432	0,65	0	0,65	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	3	10	0	0,65	0,16	0,65	0,16	0,65	0	0,65	0	FALSE	5	FALSE	FALSE	FALSE
1	4	1	0	0,83	0	0,83	0	0,83	0	0,83	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	4	2	0	0,83	0	0,83	0	0,83	0	0,83	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	4	3	0	0,83	0	0,83	0	0,83	0	0,83	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	4	4	0	0,83	0	0,83	0	0,83	0	0,83	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	4	5	0	0,83	0	0,83	0	0,83	0	0,83	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	4	6	0	0,83	0,224	0,83	0,224	0,83	0	0,83	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	4	7	0	0,83	0,5644	0,83	0,5644	0,83	0	0,83	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	4	8	0	0,83	0,602	0,83	0,602	0,83	0	0,83	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	4	9	0	0,83	0,432	0,83	0,432	0,83	0	0,83	0	FALSE	5	FALSE	FALSE	FALSE
1	4	10	0	0,83	0,16	0,83	0,16	0,83	0	0,83	0	FALSE	5	FALSE	FALSE	FALSE
1	5	1	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	FALSE	2	FALSE	FALSE	FALSE
1	5	2	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	5	3	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	5	4	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	5	5	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	5	6	0	0,75	0,224	0,75	0,224	0,75	0	0,75	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	5	7	0	0,75	0,5644	0,75	0,5644	0,75	0	0,75	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE
1	5	8	0	0,75	0,602	0,75	0,602	0,75	0	0,75	0	FALSE	5	FALSE	FALSE	FALSE
1	5	9	0	0,75	0,432	0,75	0,432	0,75	0	0,75	0	FALSE	5	FALSE	FALSE	FALSE
1	5	10	0	0,75	0,16	0,75	0,16	0,75	0	0,75	0	FALSE	5	FALSE	FALSE	FALSE
1	6	1	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	6	2	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	6	3	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	FALSE	3	FALSE	FALSE	FALSE
1	6	4	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	FALSE	4	FALSE	FALSE	FALSE

10	8	9	0	0	0,432	0,432	0	0	0,432	0,432	0	FALSE	9	FALSE	FALSE	FALSE
10	8	10	0	0	0,16	0,16	0	0	0,16	0,16	0	FALSE	9	FALSE	FALSE	FALSE
10	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	7	FALSE	FALSE	FALSE
10	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	7	FALSE	FALSE	FALSE
10	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	7	FALSE	FALSE	FALSE
10	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	8	FALSE	FALSE	FALSE
10	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	8	FALSE	FALSE	FALSE
10	9	6	0	0	0,224	0,224	0	0	0,224	0,224	0	FALSE	8	FALSE	FALSE	FALSE
10	9	7	0	0	0,5644	0,5644	0	0	0,5644	0,5644	0	FALSE	9	FALSE	FALSE	FALSE
10	9	8	0	0	0,602	0,602	0	0	0,602	0,602	0	FALSE	9	FALSE	FALSE	FALSE
10	9	9	0	0	0,432	0,432	0	0	0,432	0,432	0	FALSE	9	FALSE	FALSE	FALSE
10	9	10	0	0	0,16	0,16	0	0	0,16	0,16	0	FALSE	10	FALSE	FALSE	FALSE
10	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	7	FALSE	FALSE	FALSE
10	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	7	FALSE	FALSE	FALSE
10	10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	8	FALSE	FALSE	FALSE
10	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	8	FALSE	FALSE	FALSE
10	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FALSE	8	FALSE	FALSE	FALSE
10	10	6	0	0	0,224	0,224	0	0	0,224	0,224	0	FALSE	9	FALSE	FALSE	FALSE
10	10	7	0	0	0,5644	0,5644	0	0	0,5644	0,5644	0	FALSE	9	FALSE	FALSE	FALSE
10	10	8	0	0	0,602	0,602	0	0	0,602	0,602	0	FALSE	9	FALSE	FALSE	FALSE
10	10	9	0	0	0,432	0,432	0	0	0,432	0,432	0	FALSE	10	FALSE	FALSE	FALSE
10	10	10	0	0	0,16	0,16	0	0	0,16	0,16	0	FALSE	10	FALSE	FALSE	FALSE

















Прилог број 4 Приказ дела табеле *min* – *max* композиције III

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	0	0	1	0.65	0.65	0.65	0	0
B	0	0	1	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0	0
C	0	0	0	0	0.65	0.65	0.65	0.65	1	0
D	0	0	0	0.65	0.65	0.6125	0.6125	0.6125	0.83	0
E	0	0	0.36	0.36	0.25	0.25	0.25	0.25	0.31	0

A	B	C	D	E	$\mu_a$	$\mu_b$	$\mu_c$	$\mu_d$	$\mu_e$	max	MIN	MAX
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	FALSE
1	1	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	FALSE
1	1	1	1	3	3	0	0	0	0	0.36	0.36	FALSE
1	1	1	1	4	4	0	0	0	0	0.36	0.36	FALSE
1	1	1	1	5	5	0	0	0	0	0.25	0.25	FALSE
1	1	1	1	6	6	0	0	0	0	0.25	0.25	FALSE
1	1	1	1	7	7	0	0	0	0	0.25	0.25	FALSE
1	1	1	1	8	8	0	0	0	0	0.25	0.25	FALSE
1	1	1	1	9	9	0	0	0	0	0.31	0.31	FALSE
1	1	1	1	10	10	0	0	0	0	0	0	FALSE
1	1	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	FALSE
1	1	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	FALSE
1	1	1	2	3	3	0	0	0	0	0.36	0.36	FALSE
1	1	1	2	4	4	0	0	0	0	0.36	0.36	FALSE
1	1	1	2	5	5	0	0	0	0	0.25	0.25	FALSE
1	1	1	2	6	6	0	0	0	0	0.25	0.25	FALSE
1	1	1	2	7	7	0	0	0	0	0.25	0.25	FALSE
1	1	1	2	8	8	0	0	0	0	0.25	0.25	FALSE
1	1	1	2	9	9	0	0	0	0	0.31	0.31	FALSE
1	1	1	2	10	10	0	0	0	0	0	0	FALSE
1	1	1	3	1	3	0	0	0	0	0	0	FALSE



























---

## Дејан Петровић, дипл.инж.руд.

### Биографија

Дејан Петровић рођен је 29.07.1980. године у Бору. Основну школу завршио је у Кривељу 1995. године, а средњу Машинско-Електротехничку, смер Машински техничар завршио је 1999. године у Бору са одличним успехом. Дипломирао је на Техничком факултету у Бору, на смеру за експлоатацију лежишта минералних сировина са просечном оценом 8,11. Дипломски рад под називом: „Предлог начина откопавања централног дела рудног тела „П<sub>2</sub>А“ у јами Бор“ одбранио је 16.12.2005. године са оценом десет. Стручни испит са темом „Допунски рударски пројекат отварања и експлоатације откопног поља IV блок у јами Равна Река РМУ Рембас – Ресавица“ положио је 17. 11. 2009. г. у Савезу инжењера и техничара Србије у Београду (Уврење бр. 5262/Р издато 25.11.2009).

Докторске Академске студије на Рударско-геолошком факултету у Београду уписао је 2009. године, на студијском програму Рударско инжењерство.

Од маја 2006. године радио је у „ЈП ПЕУ“ у Руднику Мрког Угља „РЕМБАС“ у Техничком сектору на радном месту инжењера у производњи до 03.09.2007. године.

Од јуна 2008. године радио је у „ЈП ПЕУ“ у Руднику Мрког Угља „Боговина“ на радна места асистента управника и управника Јаме до 23.10.2008. године када је ангажован на Техничком факултету у Бору, као универзитетски сарадник у звању асистента на Катедри за подземну експлоатацију, где и данас ради.

Аутор је или коаутор већег броја стручних радова из области експлоатације лежишта минералних сировина објављених у међународним и домаћим часописима као и на међународним или домаћим научно-стручним скуповима.

---

Прилог 1.

## Изјава о ауторству

Потписани \_\_\_\_\_ Дејан В. Петровић \_\_\_\_\_

број индекса \_\_\_\_\_ Р 702/2009 \_\_\_\_\_

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

РАЗВОЈ АЛГОРИТМА ПРОЦЕНЕ ЕФЕКТА РИЗИКА РАДА РУДАРСКИХ

МАШИНА НА БАЗИ ФАЗИ АЛГЕБРЕ

- 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, \_\_\_\_\_ 13.10.2014. \_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

Прилог 2.

## Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Дејан Петровић

Број индекса Р 702/2009

Студијски програм Рударско инжењерство

Наслов рада Развој алгорита процене ефеката ризика рада рударских машина на бази фази алгебре

Ментор Проф. др Милош Танасијевић

Потписани Дејан Петровић



Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју 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, 13.10.20014.



Прилог 3.

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

РАЗВОЈ АЛГОРИТМА ПРОЦЕНЕ ЕФЕКТА РИЗИКА РАДА РУДАРСКИХ

---

МАШИНА НА БАЗИ ФАЗИ АЛГЕБРЕ

---

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

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 13.10.2014.



---