

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Драгица Д. Јагодић Крунић

**РАЗВОЈ МОДЕЛА УПОТРЕБНОГ КВАЛИТЕТА
ПОМОЋНЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ
КОПОВИМА ЛИГНИТА**

Докторска дисертација

Београд, 2021

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Dragica D. Jagodić Krunic

**DEVELOPMENT OF QUALITY OF SERVICE MODEL FOR
AUXILIARY EQUIPMENT IN OPEN PIT LIGNITE MINES**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2021

Ментор:

Проф. др Милош Танасијевић, редовни професор
Ужа научна област: Елементи машинских и енергетских система
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Чланови комисије:

Проф. др Дејан Ивезић, редовни професор
Ужа научна област: Елементи машинских и енергетских система
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Проф. др Драган Игњатовић, редовни професор
Ужа научна област: Механизација у рударству и енергетици
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Проф. др Чедомир Бељић, редовни професор
Ужа научна област: Подземна експлоатација лежишта минералних сировина
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Проф. др Угљеша Бугарић, редовни професор
Ужа научна област: Машинство, Индустијско инжењерство
Универзитет у Београду, Машински факултет

Датум одбране: . . 2021.



Мајци Милици и оцу Драгиши

РАЗВОЈ МОДЕЛА УПОТРЕБНОГ КВАЛИТЕТА ПОМОЋНЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА ЛИГНИТА

САЖЕТАК

Тренутно стање помоћне механизације на површинским коповима лигнита је незадовољавајуће узроковано пре свега старошћу и неблаговременом заменом машина услед чега је расположивост недовољна а трошкови експлоатације и одржавања високи. Тренутно стање и захтеви који се постављају пред ове машине указују на неопходност оптимизације процеса управљања помоћном механизацијом.

Одређивање оптималног времена замене и преосталих могућности је најодговорнији управљачки задатак који треба да буде заснован на свеобухватном сагледавању економских, техничких и других узрочно последичних веза. Са економског аспекта гледано треба одржавати равнотежу између производних ефеката и трошкова рада машине у циљу постизања планиране производње са најнижим трошковима.

Употребни квалитет је свеобухватни појам за исказивање укупних својстава техничког система који обухвата особине техничког система везане за рад и елементе подршке нужне за успешан рад. Дефинише се као укупни ефекат радних перформанси који одређује степен задовољења корисника. Анализа употребног квалитета је комплексан процес који захтева дефинисање свих важних параметара животног циклуса техничких система.

Овај рад даје оригиналан математичко-концепцијски модел за процену употребног квалитета помоћне механизације на површинским коповима лигнита. Модел обухвата анализу и синтезу следећих показатеља: поузданост, погодност одржавања, функционалност, логистичка подршка одржавању, озбиљност отказа (време потребно за враћање машине у стање рада, утицај отказа на радно окружење, утицаја отказа на животну средину), учесталост појављивања отказа, детектабилност, ефективност, расположивост, сигурност функционисања, ризик, трошкови. Базира се на теорији фази логике у смислу анализе техничких и економских показатеља и њихове синтезе на ниво употребног квалитета. Фази модел закључивања структурно и хијерархијски је формиран у три нивоа применом одговарајућих модела фази композиције (*max-min*, *min-max*, картезијански производа-уређени парови) на више нивое синтезе до укупне оцене употребног квалитета. У потпуности апсорбује све показатеље употребног квалитета дајући синергетски ефекат. Омогућава интеграцију квантитативних и квалитативних описа и њихову синтезу. Излаз из модела је у облику лингвистичког записа у континуалном облику што даје вишедимензионални карактер оцене техничког система. Модел је универзалан и применљив за процену употребног квалитета и других техничких система у рударству и индустрији.

Модел је верификован преко студије случаја - евауације употребног квалитета дозера као најбројнијих и најоптерећенијих помоћних машина. Резултати анализе указују да постоји иста тенденција и блискост оцена употребног квалитета код машина типа Liebherr PR 752 (PR 754) и Caterpillar D8R (средњи ниво). Машине типа Stalowa Wola TD25H су на нешто нижем нивоу употребног квалитета. Модел је тестиран Монте Карло методом. Резултати оцене фази синтезног модела и статистички подаци добијени тестирањем указују на исту тенденцију и блискост оцена. Овакав приступ анализи употребног квалитета омогућава доносиоцу одлука низ корисних информација о могућим исходима и вероватноћама њихове појаве.

Приказани концепт оцене употребног квалитета даје смернице за оптимизацију процеса управљања опремом на површинским коповима лигнита у циљу бољег искоришћења помоћне механизације као и читавог система експлоатације лигнита.

Кључне речи: помоћна механизација, употребни квалитет, ефективност, расположивост, сигурност функционисања, ризик, трошкови животног циклуса, фази логика, Монте Карло метода.

Научна област:

Рударско инжењерство

Ужа научна област:

Елементи машинских и енергетских система.

УДК:

005.334:622

007.52

519.245:622

620:622

621.86/.87

622.22/.26:622.232

622:510.644

622.6/.8

622.7.012:005.51

(043.3)

DEVELOPMENT OF QUALITY OF SERVICE MODEL FOR AUXILIARY EQUIPMENT IN OPEN PIT LIGNITE MINES

ABSTRACT

The current state of auxiliary equipment in open pit lignite mines is unsatisfactory primarily as a result of the machines being old and not replaced on time, which has resulted in their insufficient availability and high cost of exploitation and maintenance. The current state of the machines and the demand placed on them indicate that it is necessary to optimize the process of managing auxiliary equipment.

Determining the optimal time for replacement and the remaining capacities is the most responsible management task which needs to be based on comprehensive consideration of the economic, technical and other causal relationships. From an economic point of view, a balance needs to be maintained between production effects and the cost of machine employment with the objective of reaching production goals with the lowest possible cost.

Quality of service is a comprehensive term used to describe all the features of the technical system comprising the technical system's properties related to its operation, and the supporting elements necessary for successful performance. It is defined as the total effect of the work performance determined by the degree of user satisfaction. The analysis of the quality of service is a complex process which demands all the important parameters of the technical systems' lifecycle to be defined.

This work offers an original mathematical conceptual model for assessing the quality of service of auxiliary equipment at open pit lignite mines. The model encompasses the analysis and synthesis of the following indicators: reliability, maintainability, functionality, maintenance support, severity of machine failure (time needed to bring the machine back to its operating condition, the effect of the machine failure on the work environment and its environmental impact), the occurrence of the machine failure, detectability, effectiveness, availability, dependability, risk, costs. It is based on the fuzzy logic theory in terms of the analysis of the technical and economic indicators and their synthesis to the level of the quality of service. The fuzzy model of conclusion is structurally and hierarchically formed at three levels by applying the appropriate models of fuzzy composition (max-min, min-max, Cartesian products - ordered pairs) to higher levels of synthesis leading to the comprehensive evaluation of the quality of service. It completely absorbs all indicators of the quality of service and gives a synergy effect. It enables the integration of the quantitative and qualitative descriptions and their synthesis. The exit from the model has the form of a linguistic record in a continuous form which gives the technical system evaluation a multidimensional character. The model is universal and also applicable for the assessment of the quality of service of other technical systems in mining and industry.

The model has been verified by a case study – the evaluation of the quality of service of dozers as the most numerous and most frequently used auxiliary machines. The results of the analysis show that there is the same tendency and similarity of evaluations of the quality of service in Liebherr PR 752 (PR 754) and Caterpillar D8R (mid-level) machine types. Stalowa Wola TD25H type is at a slightly lower level of the quality of service. The model has been tested by Monte Carlo method. The results of the fuzzy synthetic model evaluation and the statistical data obtained by the testing show the same tendency and similar results. Such an approach to the analysis of the quality of service gives the decision maker a myriad of useful information regarding the possible outcomes and the probability of their occurrence.

The presented concept of evaluating the quality of service gives guidelines for optimizing the process of managing equipment at open pit lignite mines in order to better utilize auxiliary equipment as well as the whole lignite exploitation system.

Key words: auxiliary machinery, quality of service, effectiveness, availability, dependability, risk, life cycle cost, fuzzy logic, Monte Carlo method.

Scientific field:

Mining engineering

Narrow scientific field:

Mechanization in mining

Surface exploitation of mineral deposits

UDC:

005.334:622

007.52

519.245:622

620:622

621.86/.87

622.22/.26:622.232

622:510.644

622.6/.8

622.7.012:005.51

(043.3)

С А Д Р Ж А Ј

1. УВОД	1
1.1. Предмет и циљ истраживања.....	2
1.2. Полазне хипотезе	3
1.3. Примењене методе истраживања	3
1.4. Научни допринос дисертације.....	4
2. АНАЛИЗА ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА ИЗ ОБЛАСТИ ПРОЦЕНЕ УПОТРЕБНОГ КВАЛИТЕТА РУДАРСКИХ МАШИНА	5
3. УПОТРЕБНИ КВАЛИТЕТ РУДАРСКИХ МАШИНА	17
3.1. Показатељи употребног квалитета рударских машина	22
3.1.1. Поузданост	22
3.1.2. Погодност одржавања.....	26
3.1.3. Логистичка подршка одржавању	30
3.1.4. Функционална погодност	32
3.1.5. Ефективност.....	32
3.1.6. Распоживост.....	35
3.1.7. Сигурност функционисања	37
3.1.8. Ризик и показатељи ризика - озбиљност отказа, учесталост појављивања отказа, детектабилност	42
3.2. Анализа показатеља употребног квалитета и њихова међузависност.....	49
4. МОДЕЛИ ПРОЦЕНЕ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА РУДАРСКИХ МАШИНА	54
4.1. Модели теорије поузданости	55
4.2. Трошковни модели	58
4.2.1. Модел процене трошкова животног циклуса техничких система према стандарду ИЕС 300-3-3	59
4.2.2. Модел процене трошкова власништва и оперативних трошкова машине према Caterpillar-у.....	63
5. АНАЛИЗА ТРЕНУТНОГ СТАЊА ПОМОЋНЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА ЛИГНИТА	73
5.1. Класификација помоћних радова и примењена помоћна механизација на површинским коповима лигнита	73
5.2. Тренутно стање помоћне механизације на површинским коповима лигнита у Републици Србији	77
5.3. Рударска опрема у свету данас – захтеви и трендови	80
6. МАТЕМАТИЧКИ СИНТЕЗНИ МОДЕЛИ АНАЛИЗЕ УПОТРЕБНОГ КВАЛИТЕТА РУДАРСКИХ МАШИНА – ЕКСПЕРТСКИ МОДЕЛИ	81

6.1. Вишекритеријумска анализа.....	83
6.2. Фази теорија	85
6.2.1. Теорија фази скупова	85
6.2.2. Фази број	92
6.2.3. Лингвистичка вредност и лингвистичка променљива.....	93
6.2.4. Фази релације.....	93
6.2.5. Композиција фази релација.....	94
7. РАЗВОЈ МОДЕЛА УПОТРЕБНОГ КВАЛИТЕТА РУДАРСКИХ МАШИНА.....	95
7.1. Модел пропозиције употребног квалитета.....	98
7.2. Модел фазификације	105
7.2.1. Фазификовање кумулативне временски зависне функције	106
7.2.2. Фазификовање нумеричких вредности – измерених података са одступањем	109
7.2.3. Фазификовање лингвистичких вредности - експертских процена.....	112
7.2.4. Фазификовање нумеричких вредности – одређивање функционалне зависности из измерених података - примена методе тежишта	115
7.2.4.1. Апроксимација измерених података методом најмањих квадрата	115
7.2.4.2. Одређивање тежишта површине омеђене контуром регресионе праве/криве и апцисе правоугаоног координатног система применом одређеног интеграла.....	118
7.2.4.3. Фазификовање нумеричких вредности – примена методе тежишта.....	119
7.3. Модел фази логичког закључивања - фази композиција.....	123
7.4. Модел идентификације - дефазификације коначне оцене употребног квалитета и његових показатеља.....	131
8. СТУДИЈА СЛУЧАЈА – ЕВАУЛАЦИЈА УПОТРЕБНОГ КВАЛИТЕТА ДОЗЕРА	134
8.1. Анализа техничких показатеља рада у функцији оцене употребног квалитета дозера	135
8.1.1. Прикупљање података на основу временске слике стања дозера	135
8.1.2. Процена парцијалних показатеља употребног квалитета дозера.....	141
8.1.2.1. Фазификовање функције поузданости дозера.....	141
8.1.2.2. Фазификовање функције погодности одржавања дозера.....	144
8.1.2.3. Фазификовање резултата експертске процене логистичке подршке одржавању дозера.....	146
8.1.2.4. Фазификовање средњих вредности одступања капацитета за процену функционалне погодности дозера	151
8.1.2.5. Фазификовање резултата експертске процене утицаја отказа на радно окружење као индикатора озбиљности отказа дозера.....	157
8.1.2.6. Фазификовање резултата експертске процене утицаја отказа на животну средину као индикатора озбиљности отказа дозера	161

8.1.2.7. Фазификовање резултата експертске процене детектабилности дозера ..	165
8.2. Анализа економских показатеља рада у функцији процене употребног квалитета дозера	170
8.2.1. Прикупљање података о трошковима животног циклуса дозера	170
8.2.2. Процена економских показатеља употребног квалитета дозера	171
8.2.2.1. Одређивање функционалне зависности трошкова од броја година експлоатације дозера.....	171
8.2.2.2. Одређивање тежишта површине омеђене контуром функције апроксимације трошкова и апцисе	173
8.2.2.3. Фазификовање вредности трошкова добијених методом тежишта	174
8.3. Фази композиција показатеља употребног квалитета дозера на синтезни ниво	178
8.3.1. Фази композиција парцијалних показатеља на ниво синтезних показатеља употребног квалитета дозера - I ниво синтезе.....	178
8.3.1.1. Модел <i>max-min</i> композиције показатеља ефективности	178
8.3.1.2. Модел <i>max-min</i> композиције показатеља расположивости	180
8.3.1.3. Модел <i>max-min</i> композиције показатеља сигурности функционисања....	182
8.3.1.4. Модел <i>min-max</i> композиције индикатора озбиљности отказа	184
8.3.1.5. Модел <i>min-max</i> композиције показатеља ризика	187
8.3.2. Фази композиција техничких и економских показатеља употребног квалитета дозера - модел композиције у форми картезијанског производа – II ниво синтезе	189
8.3.2.1. Фази композиција показатеља "ефективност–трошкови"	189
8.3.2.1.1. Пропозиција показатеља "ефективност–трошкови"	189
8.3.2.1.2. Композиција: картезијански производ "ефективност–трошкови" ...	190
8.3.2.1.3. Модел <i>max-min</i> композиције "ефективност–трошкови"	191
8.3.2.2. Фази композиција показатеља "расположивост–трошкови"	193
8.3.2.2.1. Пропозиција показатеља "расположивост–трошкови"	193
8.3.2.2.2. Композиција: картезијански производ "расположивост–трошкови"	193
8.3.2.2.3. Модел <i>max-min</i> композиције "расположивост–трошкови"	195
8.3.2.3. Фази композиција показатеља "сигурност функционисања – трошкови"	196
8.3.2.3.1. Пропозиција показатеља "сигурност функционисања – трошкови"	196
8.3.2.3.2. Композиција: картезијански производ "сигурност функционисања– трошкови"	197
8.3.2.3.3. Модел <i>max-min</i> композиције показатеља "сигурност функционисања – трошкови"	198
8.3.2.4. Фази композиција показатеља "ризик–трошкови"	200
8.3.2.4.1. Пропозиција показатеља "ризик–трошкови"	200
8.3.2.4.2. Композиција: картезијански производ "ризик–трошкови"	201

8.3.2.4.3. Модел <i>max-min</i> композиције показатеља "ризик–трошкови".....	202
8.3.3. Фази композиција "техничко-економских" показатеља на ниво употребног квалитета дозера - модел <i>max-min</i> композиције – III ниво синтезе	204
8.4. Идентификација - дефазификације коначне оцене употребног квалитета дозера и његових показатеља	205
9. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА	213
9.1. Анализа резултата процене парцијалних показатеља употребног квалитета дозера	213
9.2. Анализа резултата процене синтезних показатеља употребног квалитета дозера ...	223
9.3. Анализа резултата процене економских показатеља употребног квалитета дозера.	227
9.4. Анализа резултата процене употребног квалитета дозера	229
9.5. Тестирање резултата процене употребног квалитета дозера и верификација модела.....	233
10. ЗАКЉУЧАК	237
11. ЛИТЕРАТУРА	241
ПРИЛОЗИ	
БИОГРАФИЈА	

С П И С А К С Л И К А

Слика 3.1.	Употребни квалитет према IEC стандарду [31]	20
Слика 3.1.1.	Временска слика стања техничког система [26]	24
Слика 3.1.5.	Ефективност техничког система, према [27]	33
Слика 3.1.8.	Процес управљања ризиком према SRPS ISO 31000:2019 [80]	44
Слика 4.1.1.	Упроишћени приказ промене интезитета отказа у времену (<i>bathtub curve</i>)	56
Слика 4.1.2.	Зависност функције поузданости $R(t)$ и параметра облика β у времену, Weibull-ова расподела [26]	57
Слика 4.1.3.	Функција интезитета отказа	58
Слика 4.1.4.	Функција густине отказа	58
Слика 4.2.1.	Однос трошкова животног циклуса и поузданости, оптимално време за замену техничког система, према IEC 300-3-3 [66]	61
Слика 4.2.2.1.	Зависност трошкова поправке од тренутка њеног извршења [99]	69
Слика 6.2.1.1.	Облици фази функција припадности: а) део по део - праволинијска функција припадности, "десна"; б) део по део - праволинијска функција припадности, "лева"; в) троугаона функција припадности, "континуирана"; г) трапезоидна функција припадности; д) звонаста функција припадности, "radial basis" – према, [112]	88
Слика 6.2.1.2.	Слика 6.2.1.2. Нормалан (а) и суб-нормалан (б) фази скуп, [113]и др.	88
Слика 6.2.1.3.	Конвексан (а) и неконвексан (б) фази скуп, [113]и др.	89
Слика 6.2.1.4.	Унија фази скупова А и В, [113]и др.	90
Слика 6.2.1.5.	Пресек фази скупова А и В, [113]и др.	90
Слика 6.2.1.6.	Комплемент фази скупа А, [113]и др.	90
Слика 6.2.1.7.	Закон искључења трећег у класичној теорији скупова (а) и у теорији фази скупова (б), [113]	91
Слика 6.2.1.8.	Фази скупови и испуњеност услова за фази број: А и В јесу фази бројеви; С не испуњава услов нормалности; D не испуњава услов конвексности, [115]	92
Слика 6.2.1.9.	Фази скуп са α -пресецима, [116]	92
Слика 7.1.	Алгоритам фази модела за оцену употребног квалитета	97

Слика 7.1.1.	Општи облик фази скупова са лингвистичким променљивим за оцену употребног квалитета и његових показатеља	98
Слика 7.1.2.	Фази скупови са дефинисаним лингвистичким променљивим за оцену употребног квалитета	99
Слика 7.2.1.1.	Функције густине отказа $f(t)$ са средњим временом \bar{T} — Weibull-ова двопараметарска расподела, прилагођено према [26]	106
Слика 7.2.1.2.	Процес мапирања функције густине отказа на фази скупове поузданости	107
Слика 7.2.1.3.	Процес мапирања функције густине времена одржавања на фази скупове погодности одржавања	108
Слика 7.2.2.1.	Процес фазификације улазних података за оцену функционалности	111
Слика 7.2.4.2.1.	Одређивање тежишта површине омеђене контуром регресионе праве/криве и апцисе правоугаоног координатног система применом одређеног интеграла	118
Слика 7.2.4.3.1.	Одређивање вредности функције апроксимације измерених података у тежишту површине омеђене контуром регресионе криве и апцисе правоугаоног координатног система	120
Слика 7.2.4.3.2.	Процес фазификације података за оцену економских показатеља – метода тежишта	122
Слика 8.1.2.1.	Процес мапирања функције густине отказа на фази скупове поузданости – дозер А1	142
Слика 8.1.2.2.	Процес мапирања функције густине времена одржавања на фази скупове погодности одржавања – дозер А1	144
Слика 8.1.2.4.	Процес фазификације средње вредности одступања капацитета за оцену функционалности – дозер А1	155
Слика 8.2.2.3.1.	Функција апроксимације трошкова – примена методе тежишта - дозер А3	174
Слика 8.2.2.3.2.	Процес фазификације трошкова – примена методе тежишта за оцену економских показатеља – дозер А3	176
Слика 9.1.1.1.	Упоредна анализа резултата процене поузданости: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена поузданости дозера	213
Слика 9.1.1.2.	Упоредна анализа резултата процене погодности одржавања: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена погодности одржавања дозера	215
Слика 9.1.1.3.	Упоредна анализа резултата процене логистичке подршке одржавању: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена логистичке подршке одржавању дозера	216

Слика 9.1.1.4.	<i>Упоредна анализа резултата процене функционалне погодности: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена функционалне погодности дозера</i>	218
Слика 9.1.1.5.	<i>Упоредна анализа резултата процене утицаја отказа на радно окружење: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена утицаја отказа на радну средину дозера</i>	219
Слика 9.1.1.6.	<i>Упоредна анализа резултата процене утицаја отказа на животну средину: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена утицаја отказа на животну средину дозера</i>	220
Слика 9.1.1.7.	<i>Упоредна анализа резултата процене озбиљности отказа: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена озбиљности отказа дозера</i>	221
Слика 9.1.1.8.	<i>Упоредна анализа резултата процене детектабилности: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена детектабилности дозера</i>	222
Слика 9.1.2.1.	<i>Упоредна анализа резултата процене ефикасности: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена ефикасности дозера</i>	223
Слика 9.1.2.2.	<i>Упоредна анализа резултата процене расположивости: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена ефикасности дозера</i>	224
Слика 9.1.2.3.	<i>Упоредна анализа резултата процене сигурности функционисања: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена сигурности функционисања дозера</i>	226
Слика 9.1.2.4.	<i>Упоредна анализа резултата процене ризика: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена ризика дозера</i>	227
Слика 9.1.3.	<i>Упоредна анализа резултата процене трошкова: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена трошкова дозера</i>	228
Слика 9.1.4.	<i>Упоредна анализа резултата процене употребног квалитета: а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена; в) на бази коначних оцена употребног квалитета дозера</i>	230
Слика 9.1.5.1.	<i>Хистограм расподеле фреквенција оцена употребног квалитета дозера</i>	234
Слика 9.1.5.2	<i>Хистограм рангирања категорија оцена употребног квалитета дозера по фреквенцији појављивања са кумулативним процентним учешћем</i>	234
Слика 9.1.5.3.	<i>Дијаграм стандардизоване нормалне расподеле и емпиријске расподеле оцена употребног квалитета дозера</i>	234
Слика 9.1.5.4.	<i>Кумулативна функција расподеле оцена употребног квалитета дозера</i>	236

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 5.1.1.	<i>Класификација помоћних радова и машине за обављање помоћних радова [102]</i>	74
Табела 5.2.1.	<i>Основне радне карактеристике и просечни трошкови тешке помоћне механизације ЈП „Електропривреда Србије”, приказ прилагођен према [7]</i>	77
Табела 5.2.2.	<i>Основне радне карактеристике и просечни трошкови возила помоћне механизације ЈП „Електропривреда Србије”, приказ прилагођен према [7]</i>	78
Табела 7.2.1.1.	<i>Специфичне вредности фази скупова показатеља поузданости</i>	109
Табела 7.2.2.1.	<i>Специфичне вредности фази скупова показатеља функционалности</i>	111
Табела 7.2.3.1.	<i>Упитник - експертска процена логистичке подршке одржавању</i>	113
Табела 7.2.3.2.	<i>Специфичне вредности фази скупова логистичке подршке одржавању</i>	114
Табела 7.2.4.3.	<i>Специфичне вредности фази скупова економских показатеља (трошкова)</i>	122
Табела 8.1.1.1.	<i>Параметри функција поузданости дозера</i>	135
Табела 8.1.1.2.	<i>Функције поузданости, интезитета и густине отказа дозера</i>	136
Табела 8.1.1.3.	<i>Тестирање хипотезе о једнакости емпиријске и теоријске функције расподеле времена до отказа дозера - Weibull-ова расподела - елементи теста Kolmogorov-Smirnov [122]</i>	138
Табела 8.1.1.4.	<i>Параметри функција погодности одржавања дозера</i>	138
Табела 8.1.1.5.	<i>Функције погодности одржавања и густине времена одржавања</i>	139
Табела 8.1.1.6.	<i>Тестирање хипотезе о једнакости емпиријске и теоријске функције расподеле времена отказа дозера - Weibull-ова расподела - елементи теста Kolmogorov-Smirnov [122]</i>	140
Табела 8.1.2.1.1.	<i>Процена поузданости посматраних дозера</i>	142
Табела 8.1.2.1.2.	<i>Специфичне вредности фази скупова поузданости - дозер А1</i>	143
Табела 8.1.2.2.1.	<i>Процена погодности одржавања посматраних дозера</i>	145
Табела 8.1.2.2.2.	<i>Специфичне вредности фази скупова погодности одржавања - дозер А1</i>	146
Табела 8.1.2.3.1.	<i>Упитник - експертска процена логистичке подршке одржавању дозера – тип А</i>	147

Табела 8.1.2.3.2.	Упитник - експертска процена логистичке подршке одржавању дозера – тип В	148
Табела 8.1.2.3.3.	Упитник - експертска процена логистичке подршке одржавању дозера – тип С	148
Табела 8.1.2.3.4.	Процена логистичке подршке одржавању посматраних дозера	150
Табела 8.1.2.3.5.	Специфичне вредности фази скупова логистичке подршке одржавању - дозер А1	151
Табела 8.1.2.4.1.	Техничке карактеристике дозера – параметри капацитета	153
Табела 8.1.2.4.2.	Време радног циклуса посматраних дозера	153
Табела 8.1.2.4.3.	Теоријске вредности капацитета дозера са утицајним параметрима	154
Табела 8.1.2.4.4.	Одступања оствареног од теоријског капацитета дозера	154
Табела 8.1.2.4.5.	Процена функционалности посматраних дозера	156
Табела 8.1.2.4.6.	Специфичне вредности фази скупова функционалности - дозер А1	156
Табела 8.1.2.5.1.	Упитник - експертска процена утицаја отказа на радно окружење – дозер тип А	157
Табела 8.1.2.5.2.	Упитник - експертска процена утицаја отказа на радно окружење – дозер тип В	158
Табела 8.1.2.5.3.	Упитник - експертска процена утицаја отказа на радно окружење – дозер тип С	159
Табела 8.1.2.5.4.	Процена утицаја отказа на радно окружење	160
Табела 8.1.2.5.4.	Специфичне вредности фази скупова утицаја отказа на радно окружење - дозер А1	160
Табела 8.1.2.6.1.	Упитник - експертска процена утицаја отказа на животну средину – дозер тип А	161
Табела 8.1.2.6.2.	Упитник - експертска процена утицаја отказа на животну средину – дозер тип В	162
Табела 8.1.2.6.3.	Упитник - експертска процена утицаја отказа на животну средину – дозер тип С	163
Табела 8.1.2.6.4.	Процена утицаја отказа на животну средину	164
Табела 8.1.2.6.5.	Специфичне вредности фази скупова утицаја отказа на животну средину - дозер А1	165
Табела 8.1.2.7.1.	Упитник - експертска процена детектабилности дозера – тип А	166

Табела 8.1.2.7.2.	Упитник - експертска процена детектабилности дозера – тип В	167
Табела 8.1.2.7.3.	Упитник - експертска процена детектабилности дозера – тип С	167
Табела 8.1.2.7.4.	Процена детектабилности посматраних дозера	168
Табела 8.1.2.7.5.	Специфичне вредности фази скупова детектабилности - дозер А1	169
Табела 8.2.1.1.	Укупни трошкови по мото часу дозера – тип А	170
Табела 8.2.1.2.	Укупни трошкови по мото часу дозера – тип В	170
Табела 8.2.1.3.	Укупни трошкови по мото часу дозера – тип С	171
Табела 8.2.2.1.1.	Метода најмањих квадрата – минимизирање функције циља – систем једначина за одређивање вредности параметра функције апроксимације трошкова посматраних дозера	172
Табела 8.2.2.1.2.	Функције апроксимације трошкова посматраних дозера – вредности параметара регресионих параболола	172
Табела 8.2.2.2.1.	Координате тежишта површине омеђене контуром регресионе параболола трошкова дозера и апцисе	173
Слика 8.2.2.3.1.	Вредности трошкова посматраних дозера добијени применом методе тежишта	175
Табела 8.2.2.3.2.	Процена економских показатеља посматраних дозера	176
Табела 8.2.2.3.3.	Специфичне вредности фази скупова трошкова - дозер А3	177
Табела 8.3.1.1.	Структура тах-тiп композиције за оцену ефективности - дозер А1	179
Табела 8.3.1.2.	Структура тах-тiп композиције за оцену расположивости - дозер А1	181
Табела 8.3.1.3.	Структура тах-тiп композиције за оцену сигурности функционисања - дозер А1	183
Табела 8.3.1.4.	Структура тiп-тах композиције за оцену озбиљности отказа - дозер А1	185
Табела 8.3.1.5.	Структура тiп-тах композиције за оцену ризика - дозер А1	188
Табела 8.3.2.1.2.	Модел композиције: картезијански производ "ефективност-трошкови"	190
Табела 8.3.2.1.3.	Исходи - уређени парови "ефективност-трошкови", структура тах-тiп композиције за синтезну оцену ЕС– дозер А1	192
Табела 8.3.2.2.2.	Модел композиције: картезијански производ "расположивост-трошкови"	194

Табела 8.3.2.2.3.	<i>Исходи - уређени парови "расположивост-трошкови", структура тах-тiп композиције за синтезну оцену АС– дозер А1</i>	195
Табела 8.3.2.3.2.	<i>Модел композиције: картезијански производ "сигурност функционисања – трошкови"</i>	198
Табела 8.3.2.3.3.	<i>Исходи - уређени парови "сигурност функционисања – трошкови", структура тах-тiп композиције за синтезну оцену DC– дозер А1</i>	199
Табела 8.3.2.4.2.	<i>Модел композиције: картезијански производ "ризик-трошкови"</i>	201
Табела 8.3.2.4.3.	<i>Исходи - уређени парови "ризик-трошкови", структура тах-тiп композиције за синтезну оцену RiC– дозер А1</i>	203
Табела 8.4.1.	<i>Процена употребног квалитета посматраних дозера</i>	206
Табела 8.4.2.	<i>Процена ефикасности посматраних дозера</i>	207
Табела 8.4.3.	<i>Процена расположивости посматраних дозера</i>	208
Табела 8.4.4.	<i>Процена сигурности функционисања посматраних дозера</i>	209
Табела 8.4.5.	<i>Процена озбиљности отказа посматраних дозера</i>	210
Табела 8.4.6.	<i>Процена ризика посматраних дозера</i>	210
Табела 8.4.7.	<i>Оцене употребног квалитета посматраних дозера и његових показатеља добијене на бази центра тежине</i>	212
Табела 9.1.5.	<i>Статистички подаци резултата предвиђања оцене употребног квалитета дозера методом Монте Карло</i>	235

СПИСАК ПРИЛОГА

ПРИЛОГ 1:

ВРЕМЕНСКА СЛИКА СТАЊА ДОЗЕРА НА ОСНОВУ ТЕХНИЧКЕ ДОКУМЕНТАЦИЈЕ ЈП
„ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ”

ПРИЛОГ 2:

ЕКОНОМСКИ ПОКАЗАТЕЉИ

Трошкови животног циклуса дозера систематизовани на основу техничке документације ЈП
„Електропривреда Србије”

ПРИЛОГ 3:

Структура *max-min* композиције за оцену употребног квалитета дозера А1

1 УВОД

На површинским коповима лигнита основни технолошки процеси се врше системима континуалног дејства великог јединичног капацитета. Предуслов за стабилан и ефикасан рад основне опреме представља благовремено обављање бројних и разноврсних помоћних радова што захтева да површински коп располаже са довољним бројем машина помоћне механизације различите врсте и типова, одговарајућих техничких карактеристика, спремних за извршавање задате функције циља. Ове машине се условно називају „помоћна механизација”, с' обзиром на њихов значај у остваривању планиране производње.

Стање помоћне механизације на површинским коповима лигнита је незадовољавајуће узроковано пре свега неблаговременом заменом машина. Распољивост помоћних машина је недовољна као последица коришћења старих машина и неблаговремене набавке резервних делова. Трошкови експлоатације и одржавања су високи. Евидентан је недостатак довољно бројних и поузданих података о раду, одржавању и трошковима животног циклуса машина. Тренутно стање и захтеви који се постављају пред ове машине указују на неопходност оптимизације процеса управљања помоћном механизацијом на површинским коповима лигнита.

Маchine помоћне механизације раде у специфичним и сложеним условима радне средине у изузетно променљивим режимима рада услед чега је њихов радни век релативно кратак. Перманентно праћење и анализа параметара рада помоћне механизације има велик практични значај за сагледавање реалног стања и доношење бројних управљачких одлука у циљу постизања планираних ефеката рада целог система и економичног пословања.

Спроведена истраживања показатеља животног циклуса машина помоћне механизације указују на неопходност свеобухватне анализе техничких и економских показатеља рада на бази реалних података из експлоатације и одржавања ових машина. Током експлоатације опада ниво радних перформанси машине а трошкови расту. Ови показатељи супротних трендова детектују радну способност машине и пружају основу за одлучивање о оправданости даљег ангажовања, одржавања или замене машине. Са техничког аспекта, процена тренутног нивоа употребног квалитета подразумева процену преосталих могућности техничког система за рад на потребном нивоу радних перформанси. Са економског аспекта, процена тренутног нивоа употребног квалитета подразумева процену укупних трошкова сведених на јединицу уложених средстава и економске оправданости даљег рада техничког система. Најодговорнији управљачки задатак је одређивање оптималног времена замене и преосталих могућности машине, базиран на свеобухватном сагледавању економских, техничких и осталих узрочно последичних веза. Економска логика упућује на став да треба одржавати равнотежу између производних ефеката и трошкова рада машине у циљу постизања планиране производње са најнижим трошковима.

Међународним електротехничким речником ИЕС 60050-191:1990 објављеним 1990. године под називом Сигурност функционисања и употребни квалитет дефинисани су сви важни појмови из области поузданости, инжењерства одржавања, логистике и сродних дисциплина. Појам употребног квалитета (*Quality of service*) најчешће се користи у савременој техничкој литератури за исказивање укупних својстава техничког система. Обухвата особине везане за рад и елементе подршке неопходне за успешан рад техничког система. Дефинише се као укупни ефекат радних перформанси који одређује степен задовољења корисника. Проблем у имплементацији синтетних феномена као што је употребни квалитет је непостојање стриктно дефинисаног математичког и концепцијског модела за њихово рачунање.

Сходно томе истраживање је усмерено ка формирању модела употребног квалитета помоћне механизације на површинским коповима лигнита који обухвата анализу постојећих појмова који дефинишу употребни квалитет, анализу економских показатеља на бази

трошкова животног циклуса и њихову синтезу на ниво употребног квалитета. Модел треба да има хибридни карактер дајући синергетски ефекат. Као најпогоднији математички и концепцијски модел за анализу и синтезу показатеља употребног квалитета и економских показатеља користи се теорија фази логике.

1.1 Предмет и циљ истраживања

Предуслов за стабилан и ефикасан рад основне опреме на површинским коповима лигнита представља благовремено обављање бројних и разноврсних помоћних радова, што захтева да површински коп располаже са довољним бројем машина помоћне механизације различите врсте и типова, одговарајућих техничких карактеристика, спремних за извршавање задате функције циља. Машине помоћне механизације раде у специфичним и сложеним условима радне средине у изузетно променљивим режимима рада услед чега је њихов радни век релативно кратак. Тренутно стање и захтеви који се постављају пред ове машине указује на неопходност оптимизације процеса управљања помоћном механизацијом на површинским коповима лигнита.

Основни циљ истраживања у овој докторској дисертацији се своди на дефинисање ефикасног модела управљања експлоатацијом и одржавањем помоћне механизације на површинским коповима лигнита. Истраживање у овој докторској дисертацији је усмерено ка формирању модела употребног квалитета помоћне механизације на површинским коповима лигнита који би омогућио анализу постојећих појмова који дефинишу употребни квалитет и њихову синтезу са економским показатељима.

Употребни квалитет (*Quality of service*) је општеприхваћен појам за исказивање укупних својстава техничког система који обухвата особине техничког система везане за рад и елементе подршке нужне да би технички систем могао успешно да ради. Дефинише се као укупни ефекат радних перформанси који одређује степен задовољења корисника. Анализа употребног квалитета је комплексан процес који захтева дефинисање свих важних параметара животног циклуса техничких система.

Сходно томе, истраживањима у овој дисертацији су обухваћени следећи сегменти:

– Анализа постојећих појмова који дефинишу употребни квалитет: поузданост (*Reliability*), погодност одржавања (*Maintainability*), логистичка подршка одржавању (*Maintenance support*), функционалност (*Functionality*), ефективност (*Effectiveness*), расположивост (*Availability*), сигурност функционисања (*Dependability*), време потребно за враћање машине у стање рада, утицај отказа на радно окружење, утицај отказа на животну средину, озбиљност отказа (*Severiti*), учесталост појављивања отказа (*Occurence*), детектабилност (*Detectability*) и ризик (*Risk*).

– Анализа економских показатеља на бази трошкова животног циклуса.

– Могућност синтезе анализираних показатеља употребног квалитета и дефинисање структуре њихове међузависности.

Циљ ове докторске дисертације је формирање синтезног модела који у потпуности апсорбије техничке и економске показатеље употребног квалитета. Модел при томе има хибридни карактер и даје синергетски ефекат. Као најпогоднији математички и концепцијски модел за анализу и синтезу показатеља употребног квалитета, са техничког и економског аспекта, коришћена је фази теорија.

1.2 Полазне хипотезе

Истраживање у оквиру израде ове докторске дисертације засновано је на следећим хипотезама:

- У научној и стручној литератури и инжењерској пракси не постоји стандардизован модел управљања животним циклусом техничког система као и модел процене преосталих могућности техничког система.
- Расположивост, сигурност функционисања и употребни квалитет су свеобухватни показатељи који се могу иницијално користити у процени стања техничког система и у процени преосталих могућности техничког система.
- Ниво расположивости је у корелацији са растом трошкова рада и одржавања техничког система.
- Машине помоћне механизације на површинским коповима лигнита представљају специфичне техничке системе који захтевају оригинални модел процене употребног квалитета.
- Очекивани ниво поузданости и раст трошкова дефинишу преостале могућности машина.
- Парцијани показатељи употребног квалитета представљају процесе у којима преовладава неизвесност, вишезначност, субјективност, неодређеност и др.

1.3 Примењене методе истраживања

Научне методе коришћене у овој докторској дисертацији су условљене постављеним циљевима у смислу истраживања техничких и економских показатеља рада и одржавања машина, њихове систематизације, системске анализе, моделирања и оптимизације са крајњим циљем дефинисања математичко-концепцијског модела за процену нивоа употребног квалитета машина. Сходно томе у дисертацији су истраживане следеће методе:

- Анализа временске слике стања, техничких карактеристика, радних учинака и трошкова животног циклуса машина помоћне механизације на основу документације површинских копова лигнита EPS-а.
- Статистичака обрада података.
- Конвенционални прорачуни техничких и економских показатеља рада машина.
- Теорија вероватноће у циљу дефинисања функције поузданости и погодности одржавања.
- Методе процене трошкова животног циклуса машина помоћне механизације.
- Методе одређивања оптималног радног века помоћне механизације и промене економске ефективности на бази метода оптимизације.
- Методе анализе сигурности функционисања и показатеља који дефинишу сигурност функционисања (истраживање постојећих стандарда из области управљања сигурношћу функционисања).
- Методе анализе ризика и показатеља који дефинишу ризик (*FMEA*, *FMECA* и др. и истраживање постојећих стандарда из области управљања ризиком).
- Истраживање модела синтезе на бази примене теорије фази логике у циљу формирања фази модела процене употребног квалитета машина помоћне механизације.
- Истраживање математичких модела за подршку одлучивању (*Monte Carlo* и др.) у циљу тестирања добијених резултата, предвиђања могућих исхода, вероватноћа појава и трендова.

Специфичност овог истраживачког рада се огледа у формирању модела анализе постојећих показатеља употребног квалитета од којих сваки има своје специфичности сходно природи феномена који се посматра и условима рада; анализи економских показатеља рада на бази трошкова животног циклуса; формирању синтезног модела који у потпуности апсорбује техничке и економске показатеље употребног квалитета; анализи добијених резултата на нивоу парцијалних и синтезних показатеља употребног квалитета; анализи добијених резултата на нивоу економских показатеља употребног квалитета; анализи резултата процене нивоа употребног квалитета као укупног ефекта радних перформанси; предвиђању могућих исхода, трендова и вероватноћа оцене употребног квалитета.

Анализа резултата процене нивоа употребног квалитета омогућава идентификовање радне способности машине и пружа осов за одлучивање о оправданости даљег ангажовања, одржавања, ревитализације или замене. Концепт процене употребног квалитета даје смернице за оптимизацију процеса управљања опремом на површинским коповима лигнита у циљу бољег искоришћења помоћне механизације као и читавог система експлоатације лигнита.

1.4 Научни допринос дисертације

Тема дисертације је актуелна, научни допринос се огледа у дефинисању унапређеног модела употребног квалитета машина помоћне механизације на површинским коповима лигнита на бази теорије фази логике који обухвата анализу техничких и економских показатеља и њихову синтезу на ниво употребног квалитета. На овај начин биће остварен научни допринос у области:

- системских наука (теорија поузданости, инжењерство одржавања техничких система, логистичко инжењерство) у смислу развоја модела употребног квалитета;
- теорије фази логике, у смислу развоја модела пропозиције и фазификације улазних података у предметни концепцијски модел;
- систематизације и анализе постојећих концепата процене показатеља употребног квалитета техничких система;
- метода оптимизације у смислу синтезе техничких и економских показатеља животног циклуса техничког система;
- теорије одлучивања у смислу анализе могућег раста/пада нивоа употребног квалитета техничког система и доношења управљачких одлука.
- систематизације и анализе модела управљања експлоатацијом и одржавањем помоћне механизације на површинским коповима лигнита.

Овако конципиран научно-истраживачки рад има научну оправданост и може представљати значајан научни и инжењерски допринос. Резултати овог рада могу бити примењени за даљи развој и унапређење у области:

- системског приступа у инжењерству одржавања техничких система,
- свеобухватну анализу оперативне готовости машина помоћне механизације на површинским коповима лигнита,
- модела употребног квалитета помоћне и основне опреме на површинским коповима лигнита.

2 АНАЛИЗА ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА ИЗ ОБЛАСТИ ПРОЦЕНЕ УПОТРЕБНОГ КВАЛИТЕТА РУДАРСКИХ МАШИНА

Циљ сваке рударске компаније је да оствари планирану производњу са што нижим трошковима. У том смислу истраживања у овој области су пре свега усмерена на побољшање перформанси машина, односно на повећање продуктивности рударских машина и смањење трошкова рада. Питањима безбедности рударске опреме посвећује се све више пажње.

Истраживања се углавном врше у правцу решавања ових питања: избор рударских машина по врсти и броју, поузданост рада рударских машина, оптимизација система одржавања рударских машина, логистичка подршка и информациони системи, управљање животним циклусом рударских машина, оптимални животни век рударских машина, трошкови животним циклусом рударских машина, ефективност и расположивост рударских машина, сигурност функционисања рударских машина, анализа ризика и управљање ризиком, употребни квалитет рударских машина, модели оптимизације, експертско закључивање, вишекритеријумски модели, фази логика, хибридни модели и др.

Преглед истраживања из области процене употребног квалитета рударских машина:

Милош Танасијевић у докторској дисертацији „*Сигурност функционисања механичких компоненти роторног багера*” [1] даје оригинални математичко-концепцијски модел за процену сигурности функционисања роторног багера. Развијен је нов приступ за процену употребног квалитета роторног багера базиран на евалуацији стандардизоване перформансе сигурности функционисања као најкомплекснијег показатеља употребног квалитета техничких система. Модел сигурности функционисања у теоријском смислу у потпуности апсорбује својства техничког система везана за конструкцијске и логистичке карактеристике, поузданост, погодност одржавања и логистичку подршку одржавању. Модел је базиран на теорији фази логике при чему су коришћени квантитавни показатељи рада и квалитативни показатељи на бази експертске оцене. С' обзиром да роторни багер има јасно изражену хијерархијску структуру у погледу конструкције сигурност функционисања је парцијално анализирана на нивоу нижих хијерархијски структура и теоријских основа чињеничног закључивања (ЕР-алгоритма) у смислу синтезе до виших нивоа хијерахијске структуре багера. Модел омогућава апсорпцију експертских оцена датих у лингвистичком облику на бази знања и искустава запослених у фази конструисања, експлоатације и одржавања техничког система што даје посебан квалитет овој процени. Развијен је нов приступ у процени употребног квалитета роторног багера, који се у великом делу може применити и на друге комплексне техничке системе.

Радиша Ђурић у докторској дисертацији „*Концепт расположивости при дефинисању ефикасног одржавања помоћне механизације на површинским коповима*” [2] даје структурну анализу парцијалних показатеља расположивости и модел њихове синтезе на ниво расположивости. Улазни подаци у модел су хибридног карактера (измерене вредности и експертске оцене). Парцијални показатељи расположивости су поузданост, погодност одржавања и функционалност техничких система. Интеграција и синтеза парцијалних показатеља је извршена применом теорије фази логике до нивоа расположивости. Развијена су два приступа, на бази експертске оцене и на бази измерених улазних података. Расположивост се посматра као свеобухватни концепт који представља меру употребног квалитета техничких система. Обухвата парцијалне индикатора који се односе на време у раду, време у отказу и функционалну погодност техничког система. Развијен је модел који

омогућава оцену техничког система са аспекта доношења одлука у циљу процене преосталих могућности и оптимизације трошкова животног циклуса. Приказана је студија случаја оцене расположивости булдозера као најчешће коришћених машина на површинским коповима. Ове машине раде у сложеним условима под сталним притиском за постизање што већих радних учинака, уз што краће застоје и што мање трошкове радног века. Студија случаја је базирана на два приступа, први на прикупљеним експертским оценама и њиховој статистичкој обради, док је други базиран на мерењу и статистичкој обради података из експлоатације и одржавања посматраних машине. Овако формиран модел може да се примени у процесу управљања опремом у експлоатацији и одржавању рударских машина пружајући смернице за развој концепта одржавања према расположивости.

Дејан Петровић у докторској дисертацији „Развој алгоритма процене ефеката ризика рада рударских машина на бази фази алгебре” [3] формира модел процене ефеката ризика рада рударских машина који представља композицију парцијалних показатеља озбиљности отказа, учесталости појављивања отказа и детектабилности, односно могућности благовременог откривања отказа. Озбиљност отказа као показатељ нивоа ризика анализиран је преко три индикатора негативног утицаја отказа: времена потребног за отклањање квара које је одређено је преко функције погодности одржавања као мере времена проведеног у застоју, утицаја отказа на радно окружење који је одређен на основу евиденције о повредама на раду као мере утицаја отказа на запослене раднике и утицаја отказа на животну средину који је одређен на основу измерених вредности нивоа загађења као мере утицаја отказа на животну средину. Учесталост појављивања отказа одређена је преко функције поузданости. Детектабилност или могућност благовременог откривања отказа је посматрана као вероватноћа откривања потенцијалног отказа. Модел је базиран на фази теорији, уз примену *min-max* фази композиције. Улазни подаци у модел су хибридног карактера (измерени нумерички подаци и експертске оцене). Негативне последице отказа су разматране у односу на конструкцију машине, технолошки процес, радну и животну средину. Развијен је алгоритам за имплементацију ефеката ризика, односно вероватноће настанка негативних последица услед застоја, отказа, хаваријског догађаја при раду машине у синтезни модел оцене нивоа ризика рада посматране рударске машине. Резултат овог истраживања је дефинисан поступак анализе ризика отказа рударских машина. Формирани модел процене ризика заснован на фазилогичном закључивању примењен је на примеру мобилне дробилнице „Lokotrack LT1213S” која ради на каменолому „Ладне Воде” код Петровца на Млави. Модел представља нов методолошки концепт процене ризика отказа техничких система.

Драган Половина у докторској дисертацији „Методологија утврђивања преосталих могућности роторног багера у експлоатацији и ревитализацији” [4] дефинише оригиналну методу утврђивања преосталих могућности роторних багера у даљем процесу експлоатације. Такође, дефинише и проблематику ревитализације багера. Метода је базирана на експертским оценама о стању багера и његових компонената, укључујући све расположиве податке о багеру, као што је техничка документација, мерење, прорачуни и др. Обрада експертских оцена је извршена применом два математичка апарата базирана на лингвистичким оценама. С' обзиром да су експертне оцене у извесној мери субјективног карактера уведен је корективни фактор. Вредност корективног фактора се заснива на величини застоја багера у претходном периоду. Утврђено је да феномен стационарног стања отказа, примењен на фреквенцију отказа багера, важи само уз услов доброг одржавања. Детаљна хијерархијска декомпозиција роторног багера је извршена на основу конструкцијских и функционалних целина. Анализирани су сви утицајни параметри на укупну оцену багера, како са позиције саме конструкције и њене поузданости, тако и са становишта инжењерства одржавања и погодности према радној средини. Формиране су две методе за оцену техничког стања и преосталих могућности багера, метода на бази вишекритеријумске анализе са вишеатрибутивном оценом и метода на бази теорије фази логике. Формиране методе у овом облику су први пут изложене за потребе

анализе роторног багера. Примена метода је дата на примеру роторног багера SchRs 630 Тамнава - Западно поље. Уведен је поступак корекције експертских оцена преко корективног емпиријског фактора. Констатовано је да превелико рашчлањивање багера и увођење великог броја утицајних фактора не доприноси квалитету оцене багера и да је лингвистичка оцена доста садржајнија од оцене у нумеричкој форми.

Радмила Живојиновић у докторској дисертацији „*Математичко-моделски приступи детерминације оптималног експлоатационог века опреме на рудницима*” [5] анализира проблем одређивања експлоатационог века рударске опреме у циљу креирања модела за решавање предметног проблема. Поступак истраживања је спроведен у два дела. Циљ истраживања је био избор математичког модела чему је претходио процес систематизовања и селектовања. Други важан циљ истраживања је био примењивост и адаптабилност метода и њихова компатабилност са реалним системом. У процесу истраживања дошло се до закључка да је неопходна подела рударских машина на дуговечну и кратковечну опрему, уз уважавање реално постојећег стања на површинским коповима Електропривреде Србије. С' обзиром на хетерогеност рударске опреме по структури и старости, истраживањем су идентификовани одговарајући приступи базирани на динамичком програмирању. Идентификован је проблем валидности улазних информација у поступку оцене експлоатационог века рударске опреме. Начин и поступак у превазилажењу овог проблема био је предмет овог истраживања. Предложена је оцена техничког стања као егзактна подлога за сумарну информацију о стварним трошковима у експлоатацији, који конкретна рударска машина има. Величина трошкова опредељује даљу политику предузећа према тој машини. Из целокупног истраживачког поступка проистекло је више значајних решења, која се генерално састоје у следећем: Извршен је избор, дат је преглед могућих приступа базираних на динамичком програмирању, при чему је указано на одређене недостатке у њиховој примени; Дефинисана је систематизација рударске опреме према структури и амортизованости; Дефинисан је оригиналан базни модел утврђивања степена деградације техничких перформанси капиталне рударске опреме; Дефинисан је модел утврђивања техничког стања рударске опреме као релевантног поступка за давање "инпута" код методе замене опреме, чија решења опредељују експлоатациони век рударских машина.

Слободан Вујић и др. у монографији „*Методе за оптимизацију експлоатационог века рударских машина*” [6] дају приказ метода које се могу применити за решавање проблема оцене експлоатационог века рударских машина. Обађене су следеће методе: метода процене трошкова животног циклуса машина према ИЕС 300-3-3 стандарду, метода процене оперативних и трошкова власништва машина према *Caterpillar*-у, динамичко програмирање, МАРИ метода, метода *Petrova*, метода *Leusenka* и системски приступ. Предлаже се метода која се базира на динамичком програмирању, односно на моделима замене са ограниченим и неограниченим интервалима. Оцењено је да се модели са неограниченим интервалима примењују за оптимизацију експлоатационог века рударских машина са дужим животним веком, као што су багери, одлагачи, транспортери и сл. Модели замене са ограниченим интервалом примењују се за оптимизацију експлоатационог века рударских машина краћег животног века, као што су дозери, утоварачи, скрепери и сл. Користе се два критеријума оптималности: први критеријум је максимална добит коју оствари машина у току експлоатационог века, а други критеријум оптималности се односи на минималне трошкове експлоатације. Услов за успешну примену предложеног модела јесу поуздани подаци.

Драган Игњатовић и др. у студији „*Оптимизација организације, средстава и трошкова помоћне механизације у циљу повећања степена искоришћења јаловинских и угљених система на површинским коповима ЕПС-а*” [7] дају анализу стања помоћне механизације на површинским коповима Електропривреде Србије. Извршен је избор средстава помоћне механизације неопходне за рад на сваком површинском копу, у складу са опште прихваћеним

стандардима у европском рударству. Избор је извршен по врсти, броју и техничким карактеристикама, са пројекцијом за наредних 5 година сходно планираној динамици експлоатације. Урађена је процена садашњег стања сваке машине, одређени су трошкови поседовања, одржавања и укупни трошкови. Процењена је тренутна расположивост машина помоћне механизације. Дат је предлог отписа машина за референтну годину на основу функционалног стања и способности машина. Предложено је оптимално време замене машина у функцији пораста трошкова рада и одржавања, као и пада расположивости за сваку групу машина. Извршена је анализа садашњег начина коришћења и одржавања помоћне механизације на површинским коповима Електропривреде Србије и дат је предлог измена у циљу подизања расположивости и економичности рада. Предложено је увођење јединственог информационог систем за управљање радом помоћне механизације на површинским коповима Електропривреде Србије.

Ивица Ристовић у монографији „Ефективност рада и одржавања помоћне механизације на површинским коповима лигнита” [8] приказује методологију и дефинише критеријуме за праћење и обраду показатеља ефективности рада, поузданости, готовости, расположивости, погодности одржавања и трошкова експлоатације и одржавања помоћне механизације на површинским коповима лигнита. Приказана методологија је усмерена ка стварању услова за континуално праћење рада помоћне механизације и планирање њиховог ангажовања у наредном периоду, са техничког и економског аспекта. Дат је методолошки приступ праћења и обраде показатеља ефективности рада применом рачунарске технике.

Рајко Миодраговић и др. у раду „*Effectiveness assessment of agricultural machinery based on fuzzy sets theory*” [9] дају концепт ефективности пољопривредних машина, услед евидентне потребе за дефинисањем показатеља употребног квалитета ових машина, у циљу утврђивања оптималности машина за различите услове рада. Концепт ефективности представља један од синтетних показатеља употребног квалитета техничких система. Модел ефективности је формиран применом теорије фази логике. Обухваћени су парцијални показатељи поузданост, погодност одржавања и функционалност. Формиран је модел процене ефективности трактора као типичног представника агротехнике. Заснован је на интеграцији лингвистичких описа парцијалних показатеља применом фази теорије и *max-min* композиције. Модел је тестиран на примеру три трактора исте категорије, који се експлоатишу у климатским и земљишним условима на ширем подручју Београда. Без обзира што су услови у овом експерименту били приближно исти, постигнута разлика у ефектима је веома значајна у поређењу са осталим радним параметрима.

Милош Танасијевић и др. у раду „*A Fuzzy-Based Decision Support Model for Effectiveness Evaluation - a Case Study of the Examination of Bulldozers*” [10] дефинишу ефективност као свеобухватни концепт и меру нивоа употребног квалитета посматраног техничког система. Процена ефективности представља једну од основних компоненти у инжењерском управљању имовином. Концептом ефективности обухваћен је низ парцијалних показатеља који се односе на време рада, време потребно за одржавање и функционална својства техничког система. Дата је анализа и структурирање парцијалних показатеља. Развијен је модел за њихову синтезу до нивоа ефективности. Коришћени су индикатори хибридног карактера, као измерене вредности и експертске оцене. Предложен је фази модел закључивања за њихову обраду и интеграцију у ефективност. Овај концепт је омогућио процену техничког система у смислу доношења одлука о преосталим могућностима и оптимизацији трошкова животног циклуса. Модел за процену ефикасности је примењен у студији случаја на примеру булдозера. Булдозери су машине које раде у тешким условима, под притиском за постизањем што виших перформанси, са минималним застојима и минималним трошковима током целокупног радног века. Студија случаја је обухватила два приступа. Први је заснован на експертским оценама, а други на мерењу и статистичкој обради података.

Милош Танасијевић и др. у раду „*Study of Dependability Evaluation for Multi-hierarchical Systems Based on MaxMin Composition*” [11] дају модел сигурности функционисања сложених техничких система који укључује парцијалне показатеље поузданости, погодности одржавања и логистичке подршке одржавању. Модел је развијен полазећи од става да је за правилно разумевање употребног квалитета било ког техничког система важно дефинисати перформансе сигурности функционисања на нивоу појединачне компоненте као и на вишим нивоима - нивоима подсистема и читавог система. Показатељи сигурности функционисања (поузданост, погодност одржавања и логистичка подршка одржавању) су дефинисани као лингвистичке променљиве. За утврђивање сигурности функционисања и њихову интеграцију примењена је фази *max-min* композиција. Предложен је концепт за синтезу перформанси сигурности функционисања појединачних компоненти на горње нивое у сложеном техничком систему. Фази *max-min* композиција се користи као алат за фази синтезу с' обзиром да омогућава постизање свеобухватног и синергијског ефекта у процесу процене сигурности функционисања.

Д. Ј. Крунић, С. Вујић, М. Танасијевић и др. у раду „*Model Approaches to Life Cycle Assessment of Auxiliary Machines Based on an Example of a Coal Mine in Serbia*” [12] приказују два моделска приступа процене животног циклуса помоћних рударских машина. Један је заснован на теорији поузданости а други на трошковном принципу. Полазна основа за развој модела подразумева чињеницу да током експлоатације машина опада ниво њихове поузданости а трошкови рада расту. Ови показатељи супротних трендова детектују радну способност машина и пружају основу за одлучивање о оправданости даљег ангажовања, одржавања или замене машина. Истраживањима су обухваћени дозери који су били у експлоатацији од 8 до 11 година на површинским коповима угља Рударског басена Колубра, произвођача: *Stalowa Wola TD25H* (ознака Д1), *Liebherr PR 752* (ознака Д2) и *Caterpillar D8R* (ознаке Д3). Дуална процена животног циклуса ових машина изведена је применом модела поузданости и трошковог модела.

- Модел поузданости:

Вишегодишњим праћењем рада дозера систематизовани су подаци о временима до појаве отказа. Обрадом података добијени су параметри *Weibull*-ове расподеле, функција поузданости, функција интезитета отказа, функција густине отказа и средње време у раду. Код машине Д3, због мањег броја података, коришћена је метода медијалног рангирања. За тестирање хипотезе добијеног закона дистрибуције коришћен је тест Kolmogorov-Smirnova - KS test. Добијене су блиске вредности средњег времена до отказа (MTTF) за сва три дозера. Најбоље средње време до отказа 17.671,31 moto h има дозер Д2, а најслабије дозер Д1, 17.387,48 moto h. Функција поузданости $R(t)$ упућује на исти закључак о поузданости дозера. На пример, за референтно време од 15.000 moto h рада вероватноћа исправног рада за дозер Д1 је 48%, за Д2 50%, а за Д3 55%. За 21.000 moto h рада такође је најпоузданији дозер Д3. За услов да машине функционишу исправно са вероватноћом 60%, дозер Д1 услов постиже за 11.400 moto h рада, Д2 за 12.150 moto h, а Д3 за 13.700 moto h. Вероватноћу са 30% исправног функционисања све три машине постижу после 21.000 moto h рада. На основу функције интезитета отказа $\lambda(t)$ уочава се да машина Д3 до 12.000 moto h ради са мањом стопом отказа, након тога неуспешнија је у односу на Д1 и Д2. На основу функције густине отказа дозер Д3 у раду до 9.000 moto h има мање отказа у односу на друге две машине, у времену преко 9.000 moto h рада број отказа је већи у поређењу са Д1 и Д2. У времену 19.000 – 23.000 moto h рада функција поузданости $R(t)$ пада са 40% на 25%, што указује да је у овом интервалу пожељно време за замену постојеће машине новом. График интезитета отказа показује исто. Резултати модела поузданости показују да је машина Д3 за нијансу поузданија од машина Д1 и Д2.

▪ Трошковни модел:

Вишегодишњим праћењем трошкова рада и одржавања посматраних дозера обезбеђене су економетријске информације неопходне за оцену економски оправданог животног циклуса. Полазећи од економске логике која упућује на став да треба одржавати равнотежу између производних ефеката и трошкова рада машина, у циљу постизања планиране производње са најнижим трошковима, оптимални животно циклус, односно оптимално време за замену машина постиже када укупни трошкови досежу минимум.

Трошкови прикупљени систематским праћењем рада дозера обрађени су пре уласка у поступак анализе по методологији *Caterpillar*-овог трошковног модела обухватајући следеће трошкове:

Укупни трошкови:

- Трошкови власништва,
- Оперативни трошкови:
 - трошкови погонске енергије,
 - трошкови мазива, уља, филтера итд.,
 - трошкови превентивног и корективног одржавања:
 - трошкови резервних делова, потрошног материјала и опреме,
 - трошкови утрошеног времена (радни часови) за сервисирање,
 - трошкови утрошеног времена (радни часови) за оправке,
 - трошкови утрошеног времена (радни часови) за генералне оправке,
- Трошкови руковоаца.

Резултати модела анализе трошкова животног циклуса показују следеће:

Машину Д1, набавне вредности 425.830 \$, 11 година експлоатације са просечним укупним трошковима 77,84 \$/moto h, требало би заменити после седме године рада.

Машину Д2, набавне вредности 476.714 \$, осам година експлоатације са просечним укупним трошковима 71,62 \$/moto h, требало би заменити после пете године рада.

Машину Д3, набавне вредности 556.073 \$, осам година експлоатације са просечним укупним трошковима 71,50 \$/moto h, требало би заменити после шесте године рада.

Резултати оба модела показују блискост и велику подударност оцена. Према моделу поузданости, после 19.000 moto h рада код све три анализиране машине поузданост нагло пада са вероватноћом 40%, што указује на време када је пожељно машину заменити новом. Према трошковном моделу време рада од око 19.000 moto h машина Д1 остварује за седам година, машина Д2 за пет година, а машина Д3 за шест година. Ради боље уочљивости тенденција резултата оба модела графички су упоредно приказани кључни резултати оба моделска приступа (поузданост, стопа неуспеха, густина отказа, укупни трошкови по мото часу). Резултати модела заснованог на теорији поузданости сагласни су резултатима модела анализе трошкова животног циклуса. У овом случају, то је потврда добре припремљености улазних параметара и полазних поставки за оба модела. Међутим, због чињенице да један модел преферира теоријском а други прагматичном ослањању и да је аквизиција улазних података због времена снимања и прикупљањ током више година подложна методолошким и метричким неуједначеностима, закључак је да анализу не треба заснивати само на једном моделском приступу ради поузданости саме процене животног циклуса машине.

Д. Јагодић Крунић, М. Танасијевић, С. Вујић у радовима „Фази логички модел оцене сигурности функционисања механизације на површинским коповима” [13] и „Примена фази логичког моделовања код оцене сигурности функционисања механизације на површинским коповима” [14] су формирали математичко-концепцијски модел оцене сигурности функционисања машина помоћне механизације на површинским коповима лигнита који омогућава анализу и структурирање парцијалних показатеља поузданости, погодности одржавања и логистичке подршке одржавању и њихову синтезу на ниво сигурности

функционисања. Сигурност функционисања је дефинисана као најпотпунији појам за описивање расположивости техничког система, као мере његовог употребног квалитета. Примењена је теорија фази логике као погодан апарат за рачунање са хибридном подацима који даје синергетски ефекат. Креирани модел сигурности функционисања у најкраћим цртама се може приказати преко следећих фаза: пропозиција сигурности функционисања и парцијалних показатеља, фазификација улазних података, фази композиција парцијалних показатеља у укупну оцену сигурности функционисања и идентификација (дефазификација) укупне оцене сигурности функционисања.

Пропозицијом сигурности функционисања (D) и њених парцијалних показатеља поузданости (R), погодности одржавања (M) и логистичке подршке одржавању (S) дефинисано је пет лингвистичких променљивих ("лоше", "прихватљиво", "просечно", "добро" и "одлично"). Фази скупови су троугластог облика, дефинисани су у координатном систему функција припадности (μ) и класе као репрезента јединице мере којом се исказује D ($j=1, \dots, n$).

Модел је примењен на случају дозера, као најчешће ангажованих и најоптерећенијих машина на извођењу помоћних радова на површинским коповима лигнита Електропривреде Србије. Истраживањима су обухваћени дозери три позната произвођача који раде на површинским коповима угља Рударског басена Колубра: *Stalowa Wola* TD25H (ознаке: A1, A2), *Liebherr* PR 752 (ознаке: B1, B2) и *Caterpillar* D8R (ознаке: C1, C2). Оцена сигурности функционисања дозера базирана је на анализи поузданости и погодности одржавања коришћењем података добијених на основу временске слике стања машина, и логистичке подршке одржавању на основу експертских оцена запослених у експлоатацији и одржавању машина.

Вишегодишњим праћењем рада дозера прикупљени су и систематизовани подаци о времену у раду (t) и времену у отказу (τ). Обрадом података добијени су параметри *Weibull*-ове расподеле: функција поузданости, функција погодности одржавања, средње време до отказа и средње време у отказу. У случају мањег броја података, коришћена је метода медијалног рангирања. За тестирање хипотезе добијеног закона дистрибуције коришћен је тест Kolmogorov-Smirnova - KS test. Трансформаија улазних нумеричких података у фази вредности за показатеље R и M извршена је фазификовањем кумулативних временски зависних функција поузданости $R(t)$ и погодности одржавања $M(\tau)$. У овом поступку добијене су оцене показатеља R и M у фази облику (μ_R, μ_M) . Оцењивање логистичке подршке одржавању дозера извршено је од стране пет експерата попуњавањем упитника са понуђеним оценама (дефинисаним лингвистичким променљивим). Фазииковањем експертских оцена добијене су оцене показатеља S у фази облику (μ_S) .

За композицију парцијалних показатеља на синтезни ниво формиран је модел *max-min* фази композиције. Композицијом фазификованих оцена парцијалних показатеља μ_R, μ_M и μ_S применом *max-min* модела добијена је синтезна оцена сигурности функционисања μ_D . Применом "*Best-fit*" методе извршена је идентификација укупне оцене сигурности функционисања (D). Методом центра тежина укупна оцена сигурности функционисања је дефазификована (Z). Упоредна анализа добијених резултата за посматране дозере је графички приказана.

Резултати анализе указују на следеће:

Постоји иста тенденција и блискост оцена сигурности функционисања за машине типа В и С. Ове машине су оцењене са вишим оценама у односу на машине типа А.

Концентрација оцена сигурности функционисања код посматраних машина је око "добро" до "просечно" и "одлично".

Највиши ниво сигурности функционисања поседује машина С1, са концентрацијом оцена око "добро" до "одлично". Ова машина је најпоузданија и најквалитетније одржавана.

На другом месту по нивоу сигурности функционисања је машина В2, са концентрацијом оцена око "добро" до "просечно".

Машина А1 је на најнижем нивоу сигурности функционисања, са концентрацијом оцена око "добро" до "просечно". Слабости ове машине су погодност одржавања и логистичка подршка одржавању.

Резултати модела оцене сигурности функционисања и показатеља рада дозера упућују на потребну корекцију управљања механизацијом, пре свега на политику одржавања, идентификацију и дијагностику недостатака, критичних отказа итд. Модел је креиран за процену сигурности функционисања и преосталих радних могућности дозера, може се примењивати и код других техничких система у рударству и индустрији. Предуслов за успешну примену је довољан број и поузданост улазних података. Предност фази логичког моделовања је у флексибилности, манипулативности и интегративности према хибридним подацима, без обзира на њихову природу.

Драгица Јагодић Крунић у раду „Истраживање економских показатеља рада и одређивање оптималног радног века помоћне механизације на површинским коповима лигнита” [15] приказује резултате анализе економских показатеља рада помоћне механизације на површинским коповима лигнита добијених на основу обраде реалних података из експлоатације и одређивање оптималног радног века применом методе динамичког програмирања (по критеријуму максималне добити) и применом аналитичке методе, са приказом промене економске ефективности помоћне механизације током времена експлоатације.

Истраживањем економских показатеља рада (трошкова одржавања и експлоатације, оствареног прихода и годишње добити) на групи од 21 дозера који су били у експлоатацији од 8 до 11 година на површинским коповима рударског басена „Колубара” (осам дозера *Stalowa wola* - TD25H, шест дозера *Liebherr* - PR 752 (PR 754), седам дозера *Caterpillar* - D8R) и анализом сваке машине појединачно добијени су следећи резултати:

Дозери типа *Stalowa wola* - TD25H (набавне вредности 425.830 \$) у првих седам година рада остварују позитиван економски ефекат-добит, при чему просечно остваре око 21.000 мото h, добит од око 440.000 \$, а амортизацијом обезбеде 57% средстава од набавне цене дозера.

Дозери типа *Liebherr* - PR 752 (PR 754), набавне вредности 476.714 \$, у првих пет година рада остварују позитиван економски ефекат-добит, при чему просечно остваре око 17.500 мото h, добит од око 470.000 \$, а амортизацијом обезбеде нешто мање од 50% средстава од набавне цене дозера.

Дозери типа *Caterpillar* - D8R (набавне вредности 556.073 \$) у првих шест година рада остварују добит од око 340.000 \$, при чему просечно остваре око 19.000 мото h, амортизацијом обезбеде око 50% средстава од набавне цене дозера.

Наставком рада после економски оправданог времена, рад машина је праћен са порастом укупних трошкова услед већег броја отказа, смањења времена рада - ресурса машине и прихода, повећања потрошње горива по мото часу, односно услед повећања трошкова одржавања и експлоатације, при чему су остварени негативни економски ефекти (губитци).

Анализа економских параметара рада посматраних дозера показала је следеће:

Није извршена благовремена замена машина. Одређена књиговодствена амортизациона стопа од 8,14% је ниска и не обезбеђује средства за набавку нове машине. Високи су трошкови радне снаге на одржавању. Нерационално су високи трошкови режије. Недостају подаци о трошковима радних сати утрошених за сервисе, оправке и генералне оправке при вођењу евиденције о раду и одржавању ових машина (прорачунати су на основу броја извршених сервиса и оправки и усвојених вредности утрошених сати, на основу искуства и литературе, ови трошкови у укупним трошковима рада учествују са 7%, односно 35% у трошковима

одржавања). На нашим површинским коповима још увек није организовано адекватно праћење параметара рада, одржавања, обраде релевантних података из експлоатације и праћење промена економских показатеља рада помоћне механизације, што за последицу има субјективност при доношењу одлука везаних за експлоатацију ових машина.

Применом оптимизационог модела на бази динамичког програмирања по критеријуму максималне дибити и провером добијених резултата применом аналитичке методе, одређен је оптимални радни век посматраних дозера који износи: 7 година за дозер *Stalowa wola* - TD25H; 5 година за дозер *Liebherr* - PR 752 (PR 754); 6 година за дозер *Caterpillar* - D8R. Током планираног животног века посматрани дозери би остварили од 18.000 до 21.000 мото h и позитиван економски ефекат - добит од 335.000 \$ до 364.000 \$, са годишњом амортизационом стопом би обезбедити набавку нове машине. Оптимизовани су улазни подаци у модел који се односе на: трошкове амортизације (примењена је равномерна метода амортизације за очекивани животни век) и трошкови режије (рационализован је број запослених у режији, усвојена вредност је 50% од вредности трошкова режије посматране групе дозера у рударском басену „Колубара”). Уважене су тренутне цене на тржишту: јединична цена ресурса за ову категорију дозера је 94 \$/h, набавна вредност дозера ове категорије је 370.697 \$, трошкови замене машине су 363.728 \$ (вредност машине умањена за износ расходуване машине). Прорачуном економске ефективности дозера током времена експлоатације још једном су потврђени добијени резултати.

Резултати овог истраживања су указали на следеће закључке:

Површинске копове лигнита неопходно је опремити савременим информационом системима за ажурно праћење рада и одржавања помоћне механизације ради идентификације могућих отказа и последица истих, утврђивања превентивних мера, процене трошкова животног циклуса и других параметара.

Неопходно је оптимизовати процес управљања помоћном механизацијом за конкретне услове радне средине у рударском басену „Колубара” у циљу обезбеђивања економичног пословања.

С., Ђенадић, Д., Игњатовић, М., Танасијевић и др. у раду „*Development of the Availability Concept by Using Fuzzy Theory with AHP Correction, a Case Study: Bulldozers in the Open-Pit Lignite Mine*” [16] су формирали модел расположивости помоћне механизације на бази фази теорије и вишекритеријумске методе оцењивања АНР. Индикатори (феномени) који улазе у структуру расположивости су експертски оцењивани. Израчунавање расположивости конвенционалним методама се врши на основу временске слике стања машине при чему се добија нумеричка вредност оцене. Структуру расположивости чине индикатори поузданост, погодност одржавања и подршка одржавању. Анализиране су три машине које су оцењиване од стране четири аналитичара (експерта). Анализирана су два стања машине: две године коришћења (у гарантном периоду) и седам година коришћења (пред расходување). На основу података о експертском мишљењу формиран је фази модел са *max-min* композицијом. Међусобно рангирање индикатора (поузданост, погодност одржавања, подршка одржавању) према значајности у структури расположивости извршено је АНР методом, за оба стања машине. Студија случаја је урађена за дозере који раде на површинским коповима угља. Модел је верификован упоређивањем са конвенционалним начином процене расположивости.

Дејан Ивезић и др. у раду „*A Fuzzy Expert Model for Availability Evaluation*” [17] анализирају концепт расположивости код рударских машина. Полазне основе овог концепта подразумевају да сваки технички систем носи велику потенцијалну опасност од могућег настанка квара и оштећења, а нарочито рударске машине које карактеришу високе инвестиционе вредности, трошкови непланираних застоја, сложени услови рада и опасност по раднике и животну средину. Системско праћење рада рударских машина је од велике важности за управљање рударским компанијама. Расположивост као свеобухватни концепт употребног

квалитета може да се рачуна на основу података временске слике стања што захтева специфичне ИТ структуре које су често врло скупе и недоступне. Алтернатива томе је експертски систем који може да апсорбује парцијалне показатеље расположивости, укључујући њихову неодређеност, различитост и релативност. Сходно томе формиран је експертски фази модел који анализира и интегрише поузданост, погодност одржавања и функционалност три врсте булдозера који раде у рудницима лигнита. На основу резултата процене извршено је поређење булдозера. Дати су закључци који могу бити корисни за побољшање погодности одржавања, логистике и током куповине нових машина.

Дејан Петровић и др. у раду „*Fuzzy Model for Risk Assessment of Machinery Failures*” [18] дају алгоритам за имплементацију негативних параметара ризика у синтетички модел процене нивоа ризика специфичних машина које се користе у рударској индустрији. За анализу временске слике стања посматране машине примењена је теорија фази логике у комбинацији са статистичким методама. Фази логика је презентована кроз фази пропозицију и моделе фази композиције. Коришћењем ових алата, примењени су симетрични фази скупови у односу на класе и фази закључивање у исходу прорачуна. Предност предложеног модела је могућност употребе нумеричких и лингвистичких података у моделу процене ризика. Предложени модел процене ризика, користећи фази логичко закључивање и *min-max* композицију, примењен је на мобилној дробилици. Резултати указују на висок ниво ризика мобилне дробилице и неопходност увођења политике одржавања засноване на ризику. Предложени модел процене ризика може се применити на било који технички систем.

Дејан Петровић и др. у раду „*Fuzzy expert analysis of the severity of mining machinery failure*” [19] дају концепт анализе озбиљности отказа, једног од показатеља ризика. Полазне поставке овог концепта указују на готово свакодневну појаву отказа код рударских машина са одређеним последицама, које захтевају додатне финансијске трошкове за поправке и враћање система у његово оперативно стање. Последице се посматрају кроз негативне ефекте које отказ има на машину, здравље и безбедност запослених, радно окружење и животну средину. Санирање последица отказа захтева додатно финансијско улагање, што негативно утиче на пословање компаније. Да би се ово спречило, неопходно је увођења политике одржавања засновано на ризику, где би процена ризика обухватила све негативне последице ризичног догађаја. Сходно томе предложен је фази експертски модел оцене озбиљности отказа на основу штетних ефеката отказа. Анализирани су негативни ефекти отказа машине, као што је време потребно за поправку, могућност повреде на радном месту као последица отказа и утицај отказ на животну средину. Овакав приступ процени озбиљности отказа омогућава свеобухватни увид у овај индикатор ризика. Указује да озбиљност отказа треба да добије већи значај у односу на друге показатеље ризика. Модел је примењен на примеру типичних отказа хидрауличних подсистема мобилне дробилице „*Lokotrack LT1213S*”.

В.С. Dhillon у књизи „*Mining Equipment, Reliability, Maintainability and Safety*” [20] анализира проблеме поузданости, погодности одржавања и безбедности рударских машина. Презентовани су важни појмови, дефиниције и математички концепти који се сматрају корисним у предметној области. Дата је детаљна анализа трошкова рударске опреме, трошкова набавке рударске опреме, методе за доношење одлука о улагању у рударску опрему и концепт трошкова животног циклуса са препорукама за примену. Предложен је модел процене трошкова животног циклуса рударске опреме. Математички модели за процену трошкова животног циклуса су класификовани у две категорије: опште и посебне. Општи модели трошкова животног циклуса нису везани за неку одређену опрему, док су специфични модели трошкова животног циклуса везани за конкретну опрему. Приказана су два општа модела која се сматрају корисним за примену у рударској индустрији.

Wang J., Yang J.B., Sen P. у раду „*Safety analyses and synthesis using fuzzy sets and evidential reasoning*” [21] приказују методологију анализе сигурности сложеног инжењерског система са структуром која може да се декомпонује на хијерархијске нивое. Ова методологија користи фази логику за описивање сваког отказа, а затим се користи фази закључивање за синтезу тако добијених информација за процену сигурности целог система. За анализу отказа користе се параметри вероватноће отказа, озбиљности отказа и вероватноће последице отказа. Ови параметри су описани лингвистичким променљивим које карактерише функција припадности дефинисаним категоријама. Како се сигурност може описати помоћу лингвистичких променљивих (изрази сигурности) добијени фази сигурносни резултат може се пресликати на сигурносне изразе који се одликују функцијама припадности у истим категоријама. Ово мапирање резултира идентификовањем сигурности сваког отказа у смислу степена до ког сигурносни фази резултат припада сваком сигурносном изразу. Такви степени представљају несигурност у процени сигурности и могу се синтетизовати коришћењем евидентног образложења, тако да се сигурност целог система може проценити у смислу ових сигурносних израза. Дат је практични инжењерски пример који демонстрира предложену анализу безбедности и методологију синтезе.

Hu-Chen Liu, Long Liu, Nan Liu у студији „*Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review*” [22] даје преглед радова везаних за примену методе Анализе начина и ефеката отказа – FMEA која представља алат за процену ризика који ублажава потенцијалне кварове у системима, процесима, дизајну или услугама, а коришћен је у широком спектру индустрија. Аутори наводе да је конвенционални метод са бројем приоритета ризика RPN критикован због многих недостатака, у литератури су предложени различити модели приоритета ризика како би се побољшале перформансе FMEA, али није било прегледа литературе о овој теми. У овој студији дат је преглед 75 чланака о FMEA објављених у међународним часописима између 1992. и 2012. године са категоризацијом према приступима који се користе за превазилажење ограничења конвенционалне RPN методе. Намера ове студије је била да покаже који недостаци привлаче највише пажње, који су приступи најпопуларнији и да ли постоје неадекватни приступи, како би се указало на постојеће трендове у истраживању и најбољи правац за будућа истраживања и даља решења недостатака повезаних са традиционалном FMEA.

Jihyun Park, Changsoon Park, Suneung Ahn у раду „*Assessment of structural risks using the fuzzy weighted Euclidean FMEA and block diagram analysis*” [23] дају критички став на метод Анализе начина и ефеката отказа – FMEA и предлажу одговарајуће корективне мере. Иако се FMEA технике користе у разним индустријама, евидентирано је неколико недостатака. Први недостатак је што конвенционални FMEA метод у потпуности зависи од квалитативне процене. Други недостатак је што традиционални FMEA не узима у обзир функционални утицај између компоненти система, што значи да се не може примењивати на системима са компликованим односима и утицајима. Трећи недостатак је број приоритета ризика RPN код традиционалног FMEA, који се процењује у одређеним вредностима у зависности од озбиљности отказа (S), интензитета појављивања отказа (O) и вероватноће детекције отказа (D), што може да доведе до проблема изобличења (деформације) RPN, при чему контрадикторна тумачења RPN произлазе из респектабилних фактора ризика. Да би се превазишли ови недостаци предложена је нова метода процене ризика која користи значај броја приоритета ризика (IRPN). IRPN се састоји од структурног и релационог значаја, постиже се коришћењем тродимензионалног геометријског приступа фази пондерисаног *Euclidean* FMEA и анализе блок дијаграма ризика. Предложена метода превазилази недостатке претходних FMEA метода, попут RPN изобличења, корисна је за процену структурних ризика који укључују функционални утицај између ризика. Тродимензионални приступ заснован на фази логици је аналитичнији и применљивији од претходних метода.

Bengtssonab M., Kurdvebc M. у раду „*Machining Equipment Life Cycle Costing Model with Dynamic Maintenance Cost*” [24] приказују анализу трошкова животног циклуса или укупних трошкова власништва на машинској опреми у шведској компанији. Модели трошкова животног циклуса који су коришћени у студијама случајева упоређивани су са емпиријским моделом који је коришћен у компанији, где су укључени трошкови електричне енергије, флуида и одржавања. Линеарни и променљиви фактори у моделима су анализирани у погледу расположивости и процене података, посебно са нагласком на одржавању. Концепт трошкова животног циклуса опреме даје смернице за анализу параметара рада, одржавања, алата, енергије и флуида поред трошкова набавке приликом дизајнирања, односно спецификације опреме.

3 УПОТРЕБНИ КВАЛИТЕТ РУДАРСКИХ МАШИНА

Технички систем представља сложену структуру која обухвата више елемената са различитом улогом и значајем у извршавању заједничке функције циља током времена, у одређеним условима радне средине. Технички систем може бити једна машина или скуп машина у једном производном процесу. Најчешће се дефинише на следећи начин: „Технички систем је организовани скуп елемената, обједињен заједничком функцијом циља” [25]. То није само скуп елемената, већ интегрисана целина њихових карактеристика и међусобних веза [26].

Животни циклус техничког система има сложену структуру, захтева низ посебних међусобно повезаних и временски усклађених активности током пет временских фаза [27]:

- Фаза концепцијског и идејног решења (дефинисање потреба и захтеваних функција),
- Фаза пројектовања и развоја (конструисање),
- Фаза производње и инсталирања (пуштање у рад),
- Фаза експлоатације и одржавања (коришћење техничког система),
- Фаза повлачења из употребе (расходовање, отпис).

Прве три фазе животног циклуса се односе на период настанка техничког система у смислу развоја идејног решења, анализе његових конструктивних, функционалних, производних, тржишних и других аспеката.

Животни век техничког система чини фаза експлоатације и одржавања. Технички систем се користи само у овом делу свог животног циклуса (четврта фаза). Посматрано из угла корисника то је најбитнији период животног циклуса.

Међусобни утицај временских фаза животног циклуса се испољава тако што на фазу експлоатације и одржавања директно утичу претходне фазе, док преко повратних информација ова фаза моделира прве три фазе, са циљем евентуалног развоја нових генерација техничких система. Стога се врши идентификација слабих места на основу испољених особина техничког система које нису у складу са пројектованим, са аспекта поузданости, погодности одржавања, функционалности, капацитета, трошкова експлоатације, штетног утицаја на радну и животну средину и др. Самим тим очекивања корисника су усмерена ка побољшању незадовољавајућих особина, што се постиже реконструкцијама постојећег техничког система. У завршној фази експлоатације поставља се питање да ли технички систем треба ревитализовати или отписати. Одлука се доноси на бази анализе економских ефеката ревитализације техничког система и процене његовог техничког стања.

Након одређеног времена рада, без обзира на конструктивно решење и квалитет изградње, експлоатационо вођење и одржавање, технички систем губи свој оперативни потенцијал. Последице отказа се економски негативно одражавају кроз губитке у производњи, трошкове поправке и евентуалне губитке настале услед обустављања рада других машина у технолошком ланцу. Одређивање оптималног радног века техничког система је најодговорнији управљачки задатак који мора да буде заснован на техничко-економским принципима [6].

Анализа животног циклуса техничког система је комплексан процес који обухвата све битне чиниоце који непосредно или посредно утичу на његов рад, односно на извршавање задате функције циља. Савремене системске науке омогућавају овако комплексне анализе, са различитим обухватом утицајних параметара [27].

Системски приступ анализи животног циклуса техничких система успостављен је након Другог светског рата када долази до интензивног развоја теорије поузданости и сродних научних дисциплина и то у подручјима војне и цивилне авијације, наоружања и истраживања свемира. Важност теорије поузданости и инжењерства одржавања са система наменске индустрије пренет је на друга подручја технике [28].

Са развојем системских наука трагало се за појмом/феноменом који би на најпотпунији начин могао да опише одређена својстава неког техничког система у смислу извршавања задате функције циља. У техничкој литератури дефинисани су појмови који представљају особине техничког система које се односе на одређене периоде у току његовог животног века/цикла или на његове одређене функције:

- поузданост (*Reliability*),
- погодност одржавања (*Maintainability*),
- логистичка подршка одржавању (*Maintenance support*),
- функционалност (*Functionality*),
- ефективност (*Effectiveness*),
- расположивост (*Availability*),
- сигурност функционисања (*Dependability*),
- озбиљност отказа (*Severiti*),
- учесталост појављивања отказа (*Occurence*)
- детектабилност (*Detectability*),
- ризик (*Risk*),
- употребни квалитет (*Quality of service*).

Услед развоја теорије поузданости и на њој заснованих техничких дисциплина у техничкој и научној литератури најзаступљенија истраживања су била везана за поузданост и погодност одржавања. Трагајући за свеобухватним феноменом укупних својстава техничког система уследило је дефинисање појма ефикасности који укључује поузданост, расположивост и функционалну погодност. *Функција ефикасности* се дефинише као: „Вероватноћа да ће технички систем успешно функционисати и извршити задату функцију циља у границама дозвољених одступања у датом временском периоду и под оређеним условима радне средине”[29]. Крајем прошлог века дошло се до закључка да се са појмом ефикасности не могу исказати све особине техничког система при оцењивању његовог укупног квалитета – укупне радне способности у времену.

У последњој деценији прошлог века на квалитет производа се гледало само са позиције произвођача, на нивоу производног и технолошког процеса. У фокусу је био пројектовани квалитет дефинисан на основу конструкционо-технолошке документације, сходно потребном (захтеваном) квалитету техничког система. На основу искуства из праксе дошло се до закључка да је за обезбеђивање захтеваног квалитета производа неопходна примена савременог концепта управљања квалитетом, што подразумева разматрање квалитета већ при истраживању захтева купаца, његово уграђивање у фази пројектовања, контролу у процесу производње, преиспитивање на тржишту, корекције и побољшања уколико је то потребно.

Савремени услови пословања захтевају висок степен квалитета производа/услуга, максималну флексибилност, минималне трошкове и скраћење времена развоја нових производа. Квалитет техничких система зависи од квалитета пројекта и техничке документације, употребљених материјала и сировина, коришћених производних средстава рада, рада извршилаца, складиштења, транспорта и др. Овако посматран, квалитет техничких система подразумева величину која се контролише током производње, која одражава његову способност да испуњава захтеване функције, што представља статичку величину.

Како технички прописи и стандарди у свим областима рада представљају основу развоја, комуникације и међународне сарадње, развијени су многобројни међународни стандарди који дефинишу поступке и захтеве за обезбеђивање квалитета производа и пословног система. Ова област је регулисана серијом стандарда ISO 9000 Система управљања квалитетом – QMS (*Quality management systems*) [30], која представља општи свеобухватни приступ пословном систему предузећа, у смислу управљања квалитетом производа и услуга, као и управљања системом квалитета у пословној организацији ради постизања циљева у погледу квалитета пословања и пружања услуга. Подразумева организациону структуру која укључује

одговорности, овлашћења, поступке, процесе, активности и ресурсе за управљање квалитетом [30].

Поступак процене квалитета техничког система који не укључује период његовог коришћења постао је неодржив. Настали проблем је превазиђен дефинисањем нових појмова. Савремени процеси управљања животним циклусом техничких система условили су стандардизацију појмова у области поузданости, одржавања и логистике.

Међународна електротехничка комисија – IEC (*International Electrotechnical Commission*) је организација за стандардизацију која на светском нивоу обједињује све националне електротехничке комитете. Тесно сарађује са Међународном организацијом за стандардизацију – ISO (*International Organization for Standardization*). Асоцијација IEC се пре свега бави стандардизацијом система електротехнике и електронике, док ISO асоцијација обавља исте послове у области машинства. Стандарди IEC, или здружени ISO/IEC стандарди, практично важе за све техничке системе [30].

Међународним електротехничким речником IEC 60050-191:1990 објављеним 1990. године под називом Сигурност функционисања и употребни квалитет, дефинишу се сви важни појмови из области поузданости, инжењерства одржавања, логистике и сродних дисциплина [31]. Овај речник је допуњаван са амандманима IEC 60050-191:1990/AMD1:1999 [32] и IEC 60050-191:1990/AMD2:2002 [33]. Систематски је ревидован и замењен са речником IEC 60050-192:2015 [34] који је данас у употреби, уз амандман IEC 60050-192:2015/AMD1:2016 [35].

Наведени речник има статус хоризонталног стандарда у складу са IEC Водичем 108 који даје смернице за осигуравање кохерентности IEC стандарда и дефинише правила за поступање са хоризонталним функцијама, публикацијама и њихову примену (хронологија публикација овог водича је: IEC GUIDE 108:1994 [36], IEC GUIDE 108:2006 [37] и IEC GUIDE 108:2019 [38]). Наведени водич се користити заједно са ISO-IEC директивама и специфичним водичима.

Концепт овог IEC Речника [31] шематски је приказан на слици 3.1. и објашњава начин изражавања/исказивања укупних својстава техничких система.

Својства су дефинисана као перформансе/особине које се односе на одређене периоде у животном циклусу техничког система или на његове одређене функције. Употребни квалитет представља основни појам који обухвата особине техничког система везане за његов рад и елементе подршке нужне да би технички систем могао успешно да ради.

У наставку су дате дефиниције перформанси/особина техничког система према IEC Речнику [31], са описом њихових међусобних веза:

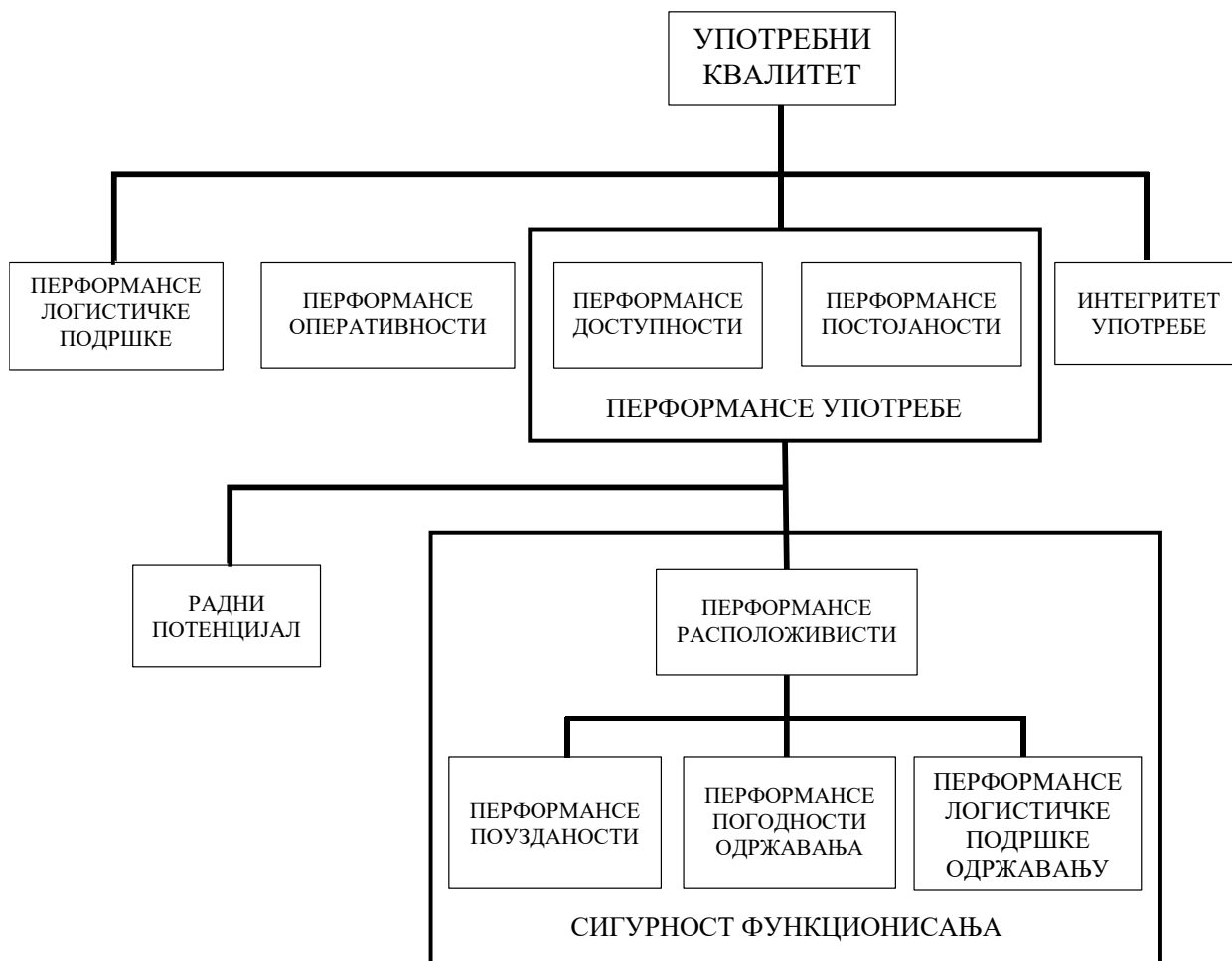
Употребни квалитет (Quality of service) је дефинисан као: „Укупни ефекат радних перформанси који одређује степен задовољења корисника”[31].

Употребни квалитет зависи од следећих перформанси:

- перформанси логистичке подршке раду система,
- перформанси оперативности,
- перформанси употребе,
- интегритета употребе [31].

Наведени појмови су дефинисани на следећи начин:

Перформансе логистичке подршке раду система (Service support performance): „Способност организације да обезбеди рад техничког система (услугу) и помогне у извршавању његовог задатка”[31].



Слика 3.1. Употребни квалитет према IЕС стандарду [31]

Перформансе оперативности (Service operability performance): „Способност техничког система да буде успешно и лако коришћен”[31].

Перформансе употребе (Serviceability performance), називају се и радне перформансе или перформансе у раду: „Способност техничког система да функционише у границама дозвољеног одступања и под другим условима које захтева корисник, у току прописаног (захтеваног) времена”[31].

Перформансе употребе се деле на:

- перформансе доступности,
- перформансе постојаности.

Ове перформансе су дефинисане на следећи начин:

Перформансе доступности (Service accessibility performance): „Способност техничког система да функционише у границама дозвољеног одступања и под другим условима које захтева корисник”[31].

Перформансе постојаности (Service retainability performance): „Способност техничког система да по ступању у рад прописно функционише, под датим условима и у току прописаног (захтеваног) времена”[31].

Интегритет (стабилност) употребе (Service integrity): „Способност система да по ступању у рад функционише без значајних погоршања”[31].

Перформансе употребе представљају веома комплексан појам кога чине две важне компоненте:

- радни потенцијал,
- сигурност функционисања.

Радни потенцијал (Carability) се дефинише као: „Способност техничког система да задовољи захтеве корисника изражене у виду квантитативних карактеристика, под датим условима”[31].

Сигурност функционисања је сложена функција која зависи од следећих перформанси:

- перформанси поузданости,
- перформанси погодности одржавања (конструктивне),
- перформанси логистичке подршке одржавању.

Овако дефинисан појам сигурности функционисања има велике сличности са раније дефинисаним појмом ефективности. Ова три својства техничког система су непосредно везана и за појам перформансе расположивости, што је такође веома слично појму ефективности [27].

Дефиниција сигурности функционисања и чинилаца које је одређују су следеће:

Сигурност функционисања (Dependability): „Збирни појам који се користи за описивање перформанси расположивости и чинилаца који одређују ове перформансе: перформанси поузданости, перформанси погодности одржавања и перформанси логистичке подршке одржавању”[31].

Перформансе расположивости (Availability performance): „Способност техничког система да буде у стању у коме може да извршава захтевану функцију, под датим условима и у датом тренутку времена, односно у току датог интервала времена, а под претпоставком да је обезбеђено потребно снабдевање (спољни ресурси)” [31].

Перформансе поузданости (Reliability performance): „Способност техничког система да извршава захтевану функцију, под датим условима и у датом интервалу времена”[31].

Перформансе погодности одржавања (Maintainability performance): „Способност техничког система да у датим условима коришћења буде у стању у коме може да извршава захтевану функцију, или да се може поново довести у такво стање, а у случају да се одржавање спроводи под датим условима, по утврђеним поступцима и са датим ресурсима”[31].

Перформансе логистичке подршке одржавању (Maintenance support performance): „Способност система одржавања, односно организације која врши одржавање, да под датим условима обезбеди захтевано одржавање техничког система, у складу са Стратегијом (политиком) одржавања (*Maintenance policy*)” [31].

У савременој техничкој литератури најчешће се користи појам употребног квалитета (*Quality of service*) за исказивање укупних својстава техничког система. Овај појам обухвата особине везане за рад техничког система и елементе подршке неопходне за успешан рад техничког система. Употребни квалитет је дефинисан као укупни ефекат радних перформанси који одређује степен задовољења корисника. Овај концепт је општеприхваћен и омогућава:

- исказивање укупних својстава техничког система на начин који више одговара кориснику,
- сагледавање проблема на нивоу конкретних феномена и елемената техничког система,
- комплексно сагледавање проблема на нивоу техничког система у целини, обухватајући све особине/перформансе и њихове међусобне утицаје,
- посматрање техничког система током свих фаза животног циклуса,
- примену разних техничких и технолошких дисциплина,
- сагледавање укупних својстава техничког система на значајно вишем нивоу од оног који би се постигао утврђивањем само његовог техничког стања,

— синергетски ефекат концепта употребног квалитета техничког система.

Употребни квалитет техничког система утврђује корисник у току и непосредно након процеса употребе, мерењем или процењивањем карактеристика употребног квалитета и њиховим поређењем са задатим/потребним.

Карактеристике техничког система, при процени његових могућности да достигне задати/потребни ниво употребни квалитет, треба посматрати са становишта трошкова. Реализација сваке активности у животном циклусу техничког система захтева улагање одређених материјалних средстава. У том смислу трошкови животног циклуса техничког система укључују све врсте трошкова идентификоване по местима настанка: трошкове набавке, трошкове рада, трошкове инсталације нужне за рад, трошкове одржавања, трошкове администрације и др. Анализа трошкова животног циклуса техничког система врши се у свим фазама животног циклуса, на основу њиховог праћења и систематизовања, ради доношења инжењерских одлука у циљу оптимизације процеса од конструисања, развоја, коришћења па до отписа. Применом различитих економетријских метода на бази трошкова процењује се економска оправданост животног циклуса техничког система.

Током експлоатације опада ниво радних перформанси техничког система а трошкови расту. Ови показатељи супротних трендова детектују радну способност техничког система и пружају основу за одлучивање о оправданости његовог даљег ангажовања, одржавања, ревитализације или замене [12].

Са техничког аспекта, процена тренутног нивоа употребног квалитета подразумева процену преосталих могућности техничког система за рад на потребном нивоу радних перформанси. Са економског аспекта, процена тренутног нивоа употребног квалитета подразумева процену укупних трошкова сведених на јединицу уложених средстава и економске оправданости даљег рада техничког система. Сагласно овоме, данашње методе за оцену употребног квалитета техничког система заснивају се на критеријумима радног потенцијала и/или економетријским критеријумима [12].

3.1 Показатељи употребног квалитета рударских машина

3.1.1 Поузданост

Теорија поузданости је наука која се бави изучавањем законитости појаве отказа техничких система и њихових функционалних целина (система, подсистема, склопа, подсклопа, елемента). Теорија поузданости је развијена са циљем да се повећа период времена за који ће машина бити у раду, односно у функционалном стању, кроз анализу и праћење техничког система током експлоатације и евидентирање података о отказима. Са практичног становишта појам поузданости може најлакше и најпотпуније да се схвати као својство техничког система да ради без отказа у одређеним условима и одређеном временском периоду.

У литератури постоји више дефиниција за појам поузданости:

„Поузданост је вероватноћа, на одређеном нивоу поверења, да ће систем (машина) успешно обавити функцију за коју је намењен, без отказа и унутар спецификованих граница перформанси, узимајући у обзир претходно време коришћења система, у току спецификованог времена трајања задатка. Када се користи на прописани начин и у сврху за коју је намењен, под спецификованим нивоима оптерећења” [26].

Поузданост представља меру способности техничког система да изврши захтевану функцију у предвиђеном времену и окружењу. Значајан је фактор у процесу планирања,

дизајнирања и рада техничких система. Због све веће комплексности рударске опреме трошкови поправке могу да буду знатно виши од планираног одржавања. Услед отказа настаје значајан губитак производње. Негативан утицај отказа техничког система се умањује побољшањем поузданости. Поузданост је показатељ учинка целокупне опреме [39].

Имплементација концепта поузданости детаљно је развијена у стандардима IEC-300 [40] где су дефинисани циљеви поузданости и уведени принципи система управљања поузданошћу (од стандарда IEC 60300-3-11:1999 [41] до стандарда IEC 60300-3-11:2009 [42] који је данас на снази). Посебна пажња је посвећена задовољству купца. Перформансе поузданости су у највећем броју случајева најбитнији елемент за постизање високог нивоа сигурности функционисања техничког система, односно високих перформанси расположивости које одражавају меру његовог употребног квалитета [42].

Перформансе поузданости (Reliability performance) према ISO-IEC стандарду се дефинишу као: „Способност техничког система да извршава захтевану функцију, под датим условима и у датом интервалу времена”[31].

При пројектовању и изради технички систем треба да буде прилагођен задатим условима рада, стога се поузданост техничког система посматра као његово унутрашње (инхерентно) својство, које може конструкцијским и технолошким мерама да се побољша.

Фактори који значајно утичу на поузданост рударске опреме су дизајн опреме, одржавање опреме, квалитет израде и замене резервних делова, намена опреме и услови радне средине [43]. Поузданост техничких система је постала кључни фактор у дизајнирању и раду сложених и скувих система, стога је у поступку анализе поузданости система наглашен значај процене поузданости његових елемената/склопова [44].

Задаци који се постављају пред инжењерство поузданости су: моделирање поузданости, анализа поузданости, оптимизација поузданости, инжењеринг поузданости, наука о поузданости, технологија поузданости и управљање поузданошћу [45].

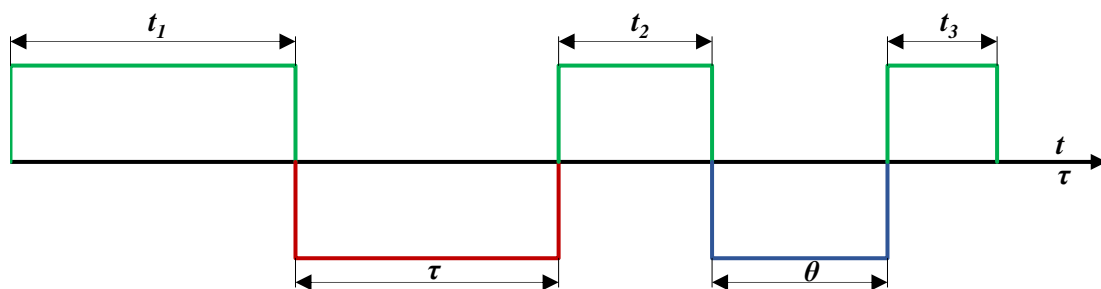
Суштина поузданости јесте вероватноћа да ће технички систем успешно обавити своју функцију циља без отказа. Са економског аспекта поузданост представља меру смањења трошкова одржавања техничког система.

Теорија поузданости се базира на теорији вероватноће и статистике при чему третира бинарно стање у коме могу да се нађу елементи (стање рада или стање отказа). Код поузданости техничких система треба укључити и међустања (делимични отказ). За теорију поузданости од пресудног значаја су валидност и бројност података који се користе. Постојећи проблем представља недостатак неопходних података за одређивање поузданости [45].

Анализа поузданости подразумева непрекидно анализирање отказа техничких система и његових функционалних целина, као и свих чинилаца који на одређени начин утичу на појаву отказа. Понашање техничког система најбоље се приказује преко временске слике стања (слика 3.1.1), где се време рада t смењује са временом у отказу τ , док се време застоја услед превентивног одржавања θ повремено појављује [26].

Поузданост је вероватноћа рада без отказа и изражава се као број између 0 и 1 или 0% и 100%. Одређује се на основу података о времену у раду, при чему су дужине временских интервала до отказа одлучујуће за поузданост.

Поузданост је веома сложен појам, и представља једну од најважнијих карактеристика техничких система. У зависности од самог техничког система и његове примене врши се избор показатеља поузданости. Основни показатељи поузданости су: функција поузданости, функција вероватноће отказа, функција густине отказа и функција интезитета отказа.



Слика 3.1.1. Временска слика стања техничког система [26]

Поузданост може да се прикаже на следећи начин: ако се испитивање врши над N једнаких елемената под истим условима, после одређеног времена (t) у отказу ће бити N_1 елемената, док ће преостали елементи $N_2 = N - N_1$ још бити у раду, сходно томе функција поузданости се изражава у следећем облику [26]:

$$R(t) = \frac{N - N_1(t)}{N} = \frac{N_2(t)}{N} \quad (3.1)$$

За појам поузданости непосредно је везан и појам непоузданости (вероватноћа неисправног рада), односно функције отказа $F(t)$ која се изражава као [26]:

$$F(t) = \frac{N_1(t)}{N} \quad (3.2)$$

Збир вероватноћа појава у раду и у отказу је увек једнак јединици [26]:

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (3.3)$$

Сходно томе:

$$R(t) + F(t) = \frac{N - N_1(t)}{N} + \frac{N_1(t)}{N} = 1 \quad (3.4)$$

Обе функције $R(t)$ и $F(t)$ зависе од времена рада (t), при чему ће са порастом времена рада (t) све више елемената бити у квару, па ће $F(t)$ расти а $R(t)$ опадати [26].

Ако се наведени израз диференцира по времену добија се [26]:

$$\frac{dR(t)}{dt} + \frac{dF(t)}{dt} = 0 \quad (3.5)$$

Густина вероватноће појаве отказа $f(t)$, односно вероватноћа отказа у јединици времена има облик [26]:

$$\frac{dF(t)}{dt} = f(t) \quad (3.6)$$

У односу на функцију поузданости може да се изрази густина вероватноће безотказног рада $p(t)$ у следећем облику:

$$\frac{dR(t)}{dt} = p(t) \quad (3.7)$$

У случају да се промене посматрају као коначне (прекидне функције) онда функције густина $f(t)$ и $p(t)$ могу да се изразе на следећи начин:

$$f(t) = \frac{N_1(t)}{\Delta t \cdot N}, \quad p(t) = \frac{N_2(t)}{\Delta t \cdot N}, \quad (3.8)$$

где је интервал времена посматрања означен са Δt .

Кумулативна функција густине појаве стања у раду (функција безотказног рада), посматрано до тренутка t_1 , заправо представља поузданост посматраног техничког система и исказује се на следећи начин:

$$R(t) = \int_0^{t_1} p(t) dt \quad (3.9)$$

Кумулативна функција густине појаве стања у отказу, посматрано од тренутка t_1 до тренутка t_2 , представља функцију отказа посматраног техничког система и исказује се на следећи начин:

$$F(t) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \quad (3.10)$$

Однос функције густине појаве стања у отказу и кумулативне функције густине појаве стања у раду (за континуалне промене стања) представља интезитет отказа који се исказује на следећи начин:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.11)$$

У случају да се промене посматрају као коначне (прекидне функције) онда интезитет отказа може да се изрази у следећем облику:

$$\lambda(t) \cong \frac{N_2(t) - N_2(t + \Delta t)}{\Delta t \cdot N_2(t)} \quad (3.12)$$

Интезитет отказа може да се представи графички у зависности од времена. На слици 4.1.1. у поглављу 4.1 дат је генерализован приказ промене интезитета отказа у времену (крива каде) са образложењем.

На основу временске слике стања (3.1.1.) посматраног техничког система могу да се дефинишу и следећи параметри: средње време у раду, средње време до отказа и средње време у отказу. Ови параметри статистичке природе представљају аритметичке средине посматраних времена.

Утврђивање теоријског закона расподеле коме најбоље одговарају експериментални подаци представља основни задатак анализе поузданости техничких система. Познавање закона расподеле непрекидне промелјиве омогућава предвиђање понашања елемената и техничког система у времену.

Најпогоднија расподела за примену у теорији поузданости је двопараметарска *Weibull*-ова дистрибуција (*Weibull*, 1951) [46]. Показатељи поузданости *Weibull*-ове расподеле анализирани су у поглављу 4.1.

3.1.2 Погодност одржавања

Погодност одржавања је својство техничког система којим се описује његов систем одржавања. У литератури постоји више дефиниција за појам погодност одржавања.

Перформансе погодности одржавања су једне од битнијих својстава техничког система са великим утицајем на његову укупну сигурност функционисања а посебно на перформансе расположивости.

Перформансе погодности одржавања (Maintainability performance) према ISO-IEC стандарду се дефинишу као: „Способност техничког система да у датим условима коришћења буде у стању у коме може да извршава захтевану функцију, или да се може поново довести у такво стање, а у случају да се одржавање спроводи под датим условима, по утврђеним поступцима и са датим ресурсима” [31].

Погодност одржавања је својство техничког система које карактерише целокупан систем одржавања, утицајне чиниоце и њихова дејства, односно примењену стратегију одржавања са одређеном концепцијом, технологијом, организацијом, опремом, људством и другим елементима логистичке подршке [27]. Сходно томе, особине техничког система које одражавају његову погодност одржавања су техничке и организационе природе. У литератури се често сагледавају као конструкцијска и логистичка погодност одржавања [1].

Задатак сваког техничког система је да извршава своју функцију циља, што је могуће постићи само уз одговарајући систем одржавања са логистичком подршком, који обухвата [47]:

- концепцију одржавања,
- организацију одржавања,
- технолошка решења,
- логистичка решења.

Одржавање представља спровођење низа сложених активности са циљем спречавања или одлагања појаве отказа техничког система или отклањања узрока уколико је отказ већ настао.

Промена стања техничких система има карактер случајности, што захтева системски приступ процесу одржавања, од дијагностике до примене савремених информационах и комуникационих технологија.

Са аспекта одржавања као сложеног функционалног система, циљ сваке рударске компаније је пословање са што мањим застојима опреме и што нижим трошковима. Са аспекта инжењерства, одржавање техничког система се може реализовати на више начина, при чему изабрана варијанта треба да буде у складу са дефинисаном политиком одржавања.

Систем одржавања треба да омогући постизање планираног нивоа употребног квалитета техничког система преко укупног ефекта његових радних перформанси:

- расположивости, односно сигурности функционисања,
- снижења трошкова животног циклуса,

- очувања животне средине,
- сигурности.

Поузданост техничког система непосредно утиче на систем одржавања, при чему од поузданости и погодности одржавања у великој мери зависи сигурност функционисања техничког система. Погодност одржавања обухвата особине техничког система које се односе на могућност вршења потребних поступака одржавања. Подразумева прилагођеност техничког система за обављање превентивних и корективних поступака одржавања.

У суштини, погодност одржавања представља вероватноћу да ће пројектовани поступци одржавања бити изведени до одређеног времена, под датим условима и при минималним трошковима.

Функција погодности одржавања се односи на време у отказу, тј. на дужину трајања поступака одржавања. Време одржавања (τ) је случајна величина која подлеже одређеном закону расподеле $f(\tau)$. Расподела времена трајања поступака одржавања се изражава као кумулативна функција вероватноће, као у случају функције поузданости и непоузданости. На тај начин функција погодности одржавања (кумулативна функција вероватноће времена трајања поступака одржавања) има у теорији одржавања исти смисао као функција непоузданости у теорији поузданости [27].

Функција погодности одржавања је монотono растућа функција вероватноће, која за време када се не обавља поступак одржавања ($\tau = 0$) има вредност једнаку нули $M(0)=0$. Са дужим временом одржавања и вредност функције погодности одржавања је већа. Код поређења два система одржавања бољи је онај који за исто време трајања поступака одржавања има већу вредност функције погодности одржавања, што значи да ће се за то време код њега већина поступака одржавања обавити брже. Функција погодности одржавања се изражава на следећи начин [27]:

$$M(\tau) = \int_0^{\tau} f(\tau) d\tau \quad (3.13)$$

где је:

τ - време трајања поступка одржавања техничког система,

$f(\tau)$ - функција густине вероватноће времена трајања поступака одржавања.

Функција погодности одржавања дефинише се за технички систем у целини или за његове поједине подсистеме, поступке одржавања или друге елементе. За интерпретацију функције погодности одржавања користе се *Log*-нормална и *Weibull*-ова расподела. *Log*-нормална расподела је погодна за интерпретацију функције погодности одржавања у случајевима када су поступци одржавања праћени дужим чекањима, без обзира на врсту чекања и место одакле потичу. *Weibull*-ова расподела је погодна у случајевима када нема дужих чекања, односно када је укупно време трајања поступка одржавања једнако активном времену одржавања [27].

Погодност одржавања техничког система односи се на скуп конструкцијских карактеристика које утичу на време отклањања отказа или обављања других поступака одржавања, па самим тим представља унутрашње својство техничког система које се назива конструкцијска погодност одржавања (поправљивост). Конструкцијска погодност одржавања непосредно утиче на примењену технологију одржавања као и на све остале елементе одржавања техничког система [27].

Обележја конструкцијске погодности одржавања техничког система су:

Унификација са сличним техничким системима у погледу примењених компонената значајно утиче на трајање и трошкове одржавања. *Стандардизација*, односно примена делова, материјала и других стандардизованих елемената значајно утичу на обим набавке резервних делова и њихову расположивост, што се одражава на време обављања поступака одржавања,

а самим тим и на време у коме се технички систем налази у стању отказа. Ефекат вишег степена унификације и стандардизације се огледа у постизању веће расположивости и нижих трошкова одржавања техничког система, побољшању квалитета одржавања услед боље обучености радника за дијагностику и друге поступке одржавања и слично. *Дијагностика* као технологија идентификације и лоцирања отказа значајно утиче на погодност одржавања. Препознавање стања свих битних елемената и склопова на којима је потребно применити поступке одржавања добија све већи значај. *Технолошкост*, односно технолошка прилагођеност техничког система одржавању има веома велики утицај на процес одржавања. Подразумева приступачност местима на којима је потребно применити поступке одржавања, стерен сложености операција расклапања и склапања и слично. Утиче на брзину обављања поступака одржавања, квалификованост и обученост радника, могућност агрегатне замене одређених склопова и др. *Алати и опрема* за извођење поступака одржавања значајно утичу на квалитет процеса одржавања. Примена специјалних алата и опреме у одређеним поступцима одржавања може значајно да скрати време одржавања, док истовремено негативно утиче на степен унификације и стандардизације, систем снабдевања и трошкове одржавања. Сходно томе, коришћење специјалних алата се препоручује само ако услед њихове примене излазне карактеристике система одржавања значајно повећавају расположивост и доводе до скраћења времена у отказу. *Манипулативност* утиче на погодност одржавања многих техничких система. Односи се на конструкцијске карактеристике које омогућавају транспорт и преношење техничког система са места рада до места одржавања/радионице. Од великог је значаја код хијерархијске организације система одржавања када се формира централна радионица која одржава већи број техничких система на ширем простору. Евидентан је међусобни утицај обележја конструкцијске погодности одржавања и њихова рефлексија на организационе и остале елементе логистичке погодности одржавања [27].

Фактори који утичу на логистичку погодност одржавања техничког система су: организација одржавања, квалификованост и оспособљеност радника, опремљеност простора и радионице, снабдевеност резервним деловима, уређајима, инсталацијама и потрошним материјалом, остали елементи логистичке подршке (транспорт до радионице, техничка и организациона документација, информатика, администрација и др.).

Методe за анализу и оцену погодности одржавања могу бити на теоријским основама, засноване на теорији поузданости и другим дисциплинама системских наука, или емпиријске на бази искуства и знања из праксе.

Погодност одржавања је основа свих теоријских модела оцене и верификације система одржавања. Ове методе у принципу дају објективне и поуздане оцене система одржавања. Анализа функције погодности одржавања односи се на збирно дејство свих утицајних чинилаца на процес одржавања. Повољнија стратегија одржавања омогућава спровођење потребних поступака одржавања у краћем времену са мањим трошковима. Сходно томе, повољнија стратегија одржавања се карактерише повољнијом функцијом одржавања, што подразумева да је вероватноћа за обављање потребних поступака одржавања до одређеног времена већа у односу на мање повољне алтернативе. Оцењивањем погодности одржавања добијају се подаци помоћу којих се верификује изабрана стратегија одржавања, али и квалитет конструкције техничког система са становишта одржавања [27]. За анализу функције погодности одржавања и оцену стратегије одржавања на овој основи потребни су квалитетни подаци који се могу добити из реалног процеса рада техничког система. Рад на овим основама захтева савремен, посебно пројектован информациони систем о раду и одржавању посматраног техничког система [48]. У случајевима када не постоје поуздани експериментални подаци поступци одржавања се процењују, односно врши се предвиђање будућих догађаја. У неким случајевима је веома тешко моделирати, односно аналитички описати све важне елементе, што ограничава примену ових метода и умањује вредност закључака донетих на овој основи.

Емпиријске методе се превасходно користе за оквирне или упоредне анализе система одржавања, тј. за приближну оцену погодности одржавања, услед могућег субјективног карактера оцене. Њихова предност се огледа у заснованости на искуству, формулисању у складу са специфичностима појединих врста техничких система, једноставности и могућности валоризације система одржавања са врло ограниченим полазним подацима.

Анализа погодности одржавања може да се виши и преко квантитативних помоћних карактеристика, а најчешће се користе следеће [27]:

- *Средње време корективног одржавања τ_k и средње време превентивног одржавања τ_p .* Средње време корективног одржавања се често назива средње време поправки и означава се са *MTTR (Mean Time To Repair)*. Време одржавања је случајна величина која подлеже одређеном закону расподеле, карактерише се одређеном функцијом густине. Средње време одржавања представља математичко очекивање посматране случајне променљиве или аритметичку средњу вредност свих њених појединих реализација [27].

Сходно томе, средње време корективног одржавања и средње време превентивног одржавања могу да се изразе [27]:

- преко густине времена корективног одржавања $f(\tau_k)$, односно преко густине времена превентивног одржавања $f(\tau_p)$:

$$\tau_{ksr} = \int_0^{\infty} f(\tau_k) d\tau_k, \quad \tau_{psr} = \int_0^{\infty} f(\tau_p) d\tau_p; \quad (3.14)$$

- преко n појединачних реализација времена корективног одржавања, односно преко n појединачних реализација превентивног одржавања:

$$\tau_{ksr} = \frac{\sum \tau_k}{n}, \quad \tau_{psr} = \frac{\sum \tau_p}{n}. \quad (3.15)$$

- *Медијана активног времена одржавања $M\tau_a$* , која се обично посебно исказује за корективно одржавање $M\tau_{ka}$, ретко за превентивно одржавање $M\tau_{pa}$. Медијана активног времена одржавања представља вредност случајне променљиве која површину испод функције густине времена одржавања дели на два једнака дела. Свака реализација испод вредности медијане има вероватноћу 50%, колика је и вероватноћа да било која реализација буде изнад вредности медијане. Може се исказати на следећи начин [27]:

$$\int_0^{M\tau_{ka}} f(\tau_{ka}) d\tau_{ka} = 0,5 = \int_{M\tau_{ka}}^{\infty} f(\tau_{ka}) d\tau_{ka}. \quad (3.16)$$

Код нормалног закона расподеле медијана активног времена одржавања је једнака средњем времену одржавања. Када су у питању други закони расподеле медијана треба посебно да се одредити. Медијана за *Log*-нормалну расподелу се рачуна на следећи начин [27]:

$$M\tau_a = \text{antilog}[(\sum \log \tau_i) / n]. \quad (3.17)$$

- *Средње активно време одржавања* τ_{asr} се дефинише само за активни рад на одржавању, збирно за све спроведене поступке превентивног и корективног одржавања, искључујући логистичке, административне и друге застоје [27].

- *Средње време између одржавања* τ_{sr} означава се са *MTBM (Mean Time Between Maintenance)*, представља просечно време између свих спроведених поступака превентивног и корективног одржавања. Средње време између одржавања је приближно једнако средњем времену између отказа, мада су могућа нека одступања услед комбинованих отказа и превентивних мера [27].

- *Средње време између замене* $\Delta\tau_z$ означава се са *MTBR (Mean Time Between Replacement)*, користи се превасходно за планирање потребних резервних делова [27].

- *Интензитет одржавања*, односно интензитет обнављања μ , када је у питању експоненцијална расподела представља реципрочну вредност средњег времена одржавања m_{sr} , односно реципрочну вредност средњег активног времена одржавања τ_{asr} [27]:

$$\mu = 1/m_{sr} = 1/\tau_{asr} . \quad (3.18)$$

- *Број часова одржавања по јединици рада техничког система*. Ова карактеристика се користи за описивање укупног напора који треба да се уложи у поступке одржавања [27].

3.1.3 Логистичка подршка одржавању

Да би технички систем успешно извршавао постављене задатке потребно је обезбедити логистичку подршку и многобројне услове. Логистичка подршка одржавању обједињује процес управљања са одговарајућим техничким мерама ради дефинисања неопходне подршке и стварања услова за реализацију задате функције циља техничког система.

На основу инхерентних особина техничког система и стратегије одржавања дефинише се неопходна логистичка подршка одржавању која се односи на објекте и опрему за одржавање, квалификованост и оспособљеност радника, подршку снабдевању енергијом, резервним деловима, уређајима, инсталацијама и потрошним материјалом, складиштење, техничку и организациону документацију, администрацију, рачунарску подршку и др.

Коришћење техничког система условљено је низом мера логистичке подршке. Пружањем различитих облика логистичке подршке одржавању током животног века техничког система може се постићи смањење броја отказа у јединици времена и скраћивање времена трајања поступака одржавања, односно повећање нивоа поузданости и погодности одржавања а самим тим и нивоа употребног квалитета техничког система.

Ниво сигурности функционисања техничког система, поред поузданости као инхерентног својства, зависи и од погодности одржавања и логистичке подршке одржавању.

Перформансе логистичке подршке одржавању (Maintenance support performance) према ISO-IEC стандарду се дефинишу као: „Способност система одржавања, односно организације која врши одржавање, да под датим условима обезбеди захтевано одржавање техничког система, у складу са стратегијом, односно политиком одржавања (*Maintenance policy*) [31].

Елементи логистичке подршке одржавању су [27]:

- *Организација* система одржавања која обухвата организацију радионица за одржавање, непосредних извршилаца на спровођењу поступака одржавања и њихових надлежности, координацију, функционалне и информатичке интеграције.

- *Објекти, опрема и алати* за одржавање су елементи без којих одржавање техничких система није могуће. Зависе од техничког система који се одржава и од поступака које треба

применити. Овим елементима се подржава технологија одржавања, због чега представљају срж логистичке подршке одржавању. У складу са стратегијом одржавања, организацијом и планираном технологијом врши се пројектовање објеката, дефинисање потребних уређаја и алата за одржавање, поштујући прописе заштите животне средине.

- *Радна снага* подразумева сложену структуру чинилаца који се односе на раднике за спровођење поступака одржавања али и на друге учеснике у сложеном процесу коришћења и одржавања техничких система. За обављање поступака одржавања потребно је имати довољан број квалификованих и обучених радника у сваком тренутку када је то потребно.

- *Документација* подразумева елементе који се односе на логистичку подршку везано за постојање и коришћење информација, документације, припучника, упустава и сл. неопходних за спровођење поступака одржавања.

- *Снабдевање резервним деловима, уређајима, инсталацијама и потрошним материјалом* представља најсложенији и најосетљивији елемент логистичке подршке одржавању, са вишеструким директним и повратним везама. Распољивост резервним деловима има пресудни утицај на цео систем одржавања.

Управљање резервним деловима подразумева:

- предвиђање залиха резервних делова,
- димензионисање складишта резервних делова,
- одређивање асортиманима и количине резервних делова,
- одлучивање о критеријумима за попуњавање складишта,
- стално праћење стања резервних делова у складишту.

- *Снабдевање енергијом и остали елементи логистичке подршке одржавању* односи се на снабдевање електричном енергијом, погонским горивима, техничким гасовима, водом и обезбеђивање комуникација, саобраћајница, утоварних и истоварних постројења, техничке и организационе документације, администрације и др.

- *Информациони системи* о раду и одржавању чине један од најважнијих елемената логистичке подршке одржавању. Да би се омогућило управљање животним веком техничког система неопходно је перманентно праћење и прикупљање података, њихова обрада и добијање релевантних информација и анализа о раду и одржавању техничког система [27].

Подаци о раду и одржавању су бројни са комплексном структуром. Могу се сврстати у три основне групе [29]:

- подаци о идентификацији система,
- подаци о раду система и
- подаци о одржавању система.

Анализом логистичке подршке одржавању процењује се потребан ниво подршке одржавању техничког система и степен искоришћења тог расположивог потенцијала. Основни циљ је смањење трошкова животног циклуса, посебно трошкова логистичке подршке одржавању, уз захтевани ниво сигурности функционисања и расположивости, односно успешно управљање свим важним својствима техничког система, нарочито поузданости и погодности одржавања.

Интегрална логистичка подршка – *ILS (Integrated Logistic Support)* је појам који подразумева скуп елемената неопходних за правилно функционисање техничких система, односно одговарајући научно заснован модел управљања - менаџмент техничким системима који обезбеђује [49]:

- благовремено дефинисање свих елемената које треба обезбедити како би технички систем извршавао своју функцију циља на захтевани начин,
- пројектовање неопходних елемената подршке,
- физичко обезбеђење неопходних елемената подршке: производња и набавка,
- извршавање функције циља техничког система уз неопходну логистичку подршку и што мање трошкове.

Интегрална логистичка подршка техничког система је заправо технологија која подразумева скуп активности које је неопходно предузети у одређеним фазама његовог животног циклуса, ради обезбеђивања свих елемената неопходних за правилно функционисање и извршавање задате функције циља. На основу тога може се закључити да појмови логистика и интегрална логистичка подршка имају исто значење [27].

Аутори различито дефинишу појам логистике. Најпрецизнија дефиниција овог појма усвојена је од Америчког друштва инжењера логистике: „Логистика је вештина и наука пословног управљања (менаџмента), инжењерства и других активности које се односе на дефинисање захтева, пројектовање, снабдевање и одржавање техничких система, тако да се обезбеди остваривање постављених циљева и планова, односно њихово прописно функционисање”[50].

3.1.4 Функционална погодност

Функционална погодност техничких система представља својство техничких система да остане у стању рада при промени улазних параметара и услова рада, који се односе на карактеристике радне средине, влажност, температуру, притисак, присуство прашине, вибрација, динамичких утицаја, магнетних и електромагнетних поља, зрачења и др.

Функционална погодност неког техничког система у оквиру ширег оперативног окружења подразумева његову функционалну прилагодљивост на промену улазних параметара насталих услед рада других техничких система у оквиру комплексних серијско-паралелних и других конфигурација техничких система [28].

Најчешће се функционална својства, флексибилност и способност техничког система за прилагођавање околини посматрају као неслучајне категорије, односно као детерминисана величина на коју непосредно утичу пројектована и конструкцијска решења техничког система [27].

Функционална погодност представља степен задовољења функционалних захтева техничког система, односно меру перформансе оперативности која подразумева способност техничког система да буде успешно и лако коришћен. Изражава се преко радне спецификације сходно намени за коју је технички систем пројектован. У суштини функционална погодност је мера радног учинка. Најчешће је у корелацији са радним капацитетом техничког система који представља измерену нумеричку вредност. У том случају обухваћен је низ показатеља функционалности као што су величина плуга, расипање материјала, брзина при раду и транспорту, маневарска способност и др.

Као важна компонента функције ефективности техничког система функционална погодност се дефинише као мера стања система у току вршења функције критеријума или способност система за успешно прилагођавање условима околине у пројектованом времену рада [29].

3.1.5 Ефективност

Најважнији теоријски концепти анализе употребног квалитета техничких система су поузданост и погодност одржавања. Појам ефективности техничких система је дефинисан касније као шири појам од поузданости техничких система и подразумева вероватноћу да ће технички систем успешно функционисати и извршити задату функцију циља у границама дозвољених одступања у датом временском периоду и под оређеним условима радне средине.

Када се говори о поузданости нужно је разматрати и ефективност техничких система, како би се сагледала улога поузданости у концепту ефективности.

Захтеви за пројектовањем, производњом и експлоатацијом техничких система крећу се у правцу омогућавања све виших излазних карактеристикама и стабилности, односно све вишег степена ефективности техничких система, што подразумева:

- ефикасно укључивање у рад,
- остваривање излазних величина у границама дозвољених одступања задатих функција/перформанси,
- извршавање задате функције циља у пројектованом времену,
- успешно прилагођавање техничког система променама услова радне средине.

Укупна својства техничког система у смислу извршавања постављене функције циља могу се изразити функцијом ефективности. У циљу дефинисања функције ефективности потребно је одговорити на следећа питања [27]:

- Може ли технички систем да се укључи у рад?
- Колико времена технички систем може да ради?
- Како технички систем извршава задату функцију циља?

Током експлоатације технички систем је изложен многим утицајима. Појава отказа техничког система је случајан догађај као и сви други догађаји током његовог животног века који имају стохастички карактер.

У литератури аутори дају више дефиниција појма ефективности:

Функција ефективности подразумева вероватноћу успешног укључивања техничког система у рад у потребном тренутку и извршавања задате функције циља у пројектованом времену под датим условима радне средине [29]. Функција ефективности се аналитички може исказати у следећем облику:

$$E(t, \tau) = R(t) \times A(\tau) \times FP \quad (3.19)$$

где су:

$R(t)$ – функција поузданости (вероватноћа рада без отказа у току времена t),

$A(t)$ – функција расположивости или готовости (вероватноћа расположивости техничког система у било ком тренутку календарског времена τ , односно да ће технички систем бити у стању да ради или да се укључи у рад уколико је пре тога био у складишту).

FP – функционална погодност (степен задовољења функционалних захтева, способност прилагођавања радној средини, флексибилност).

Ефективност техничког система се најчешће на овај начин дефинише, слика 3.1.5.



Слика 3.1.5. Ефективност техничког система, према [27]

Ефективност техничког система се може приказати и на следећа три карактеристичним начина [29]:

- I Ефективност система:
 - Распоживост (мера стања система у тренутку укључења),
 - Функционалност (мера стања система у току вршења функције критеријума),
 - Способност (мера могућности извршења функције критеријума) [29];
- II Ефективност система:
 - Карактеристике,
 - Распоживост,
 - Корисност [29];
- III Ефективност система (3.1.5.):
 - Готовост (вероватноћа да ће систем успешно ступити у дејство у датом времену и датим условима околине),
 - Поузданост (вероватноћа да ће систем успешно вршити функцију критеријума у пројектованом времену рада и датим условима околине),
 - Функционална погодност (способност система за успешно прилагођавање условима околине у пројектованом времену рада) [29].

Приказ ефикасности техничког система приказан на слици 3.1.5 укључује готовост уместо расположивости, што је прихватљиво и уз постојање извесних разлика. Појам готовости је веома сличан појму расположивост, разлика се огледа у чињеници да расположивост укључује могућност да је технички систем одређено време био у складишту.

Поузданост и расположивост (готовост) су случајне функције, док је функционална погодност неслајне категорије, односно величина одређена пројектовањем и конструкцијским решењем техничког система. Величина функције ефикасности техничког система креће се у границама: $0 \leq E \leq 1$. Структуру ефикасности чини комбинација три независне величине чија је синтеза сложен процес. Израз који је дат за функцију ефикасности $E(t, \tau)$ је само начелан и указује на корелацију три наведене величине, без дефинисаног концепта њихове синтезе на ниво ефикасности [27].

Опште прихваћени показатељи ефикасности техничког система су поузданост, расположивост или готовост и функционална погодност. У употреби су и нешто другачији концепти ефикасности техничких система, при чему су елементи укупне ефикасности у основи исти, са одређеном разликом у терминологији [27].

Ефикасност се дефинише и као синтезни показатељ који садржи поузданост, погодност одржавања и функционалност. Ефикасност је концепт за процену степена задовољења корисника, обухвата парцијалне показатеље који се односе на време у раду, време потребно за одржавање и функционалне карактеристике техничког система [9].

Процена ефикасности је једна од основних компоненти за управљање техничким системима. Најчешће се користи за анализу техничких система који су произведени у великим серијама, што подразумева висок ниво структуралног развоја. Ови технички системи су пројектовани према претпостављеним радним условима који могу значајно да одступају од реалних услова. Помоћна механизација на површинским коповима лигнита је прави пример за то. Ефикасност се примењује за доношење одлука о управљању имовином и за оптимизацију у свим фазама животног циклуса техничких система.

Ефикасност техничких система са практичног аспекта подразумева технолошки и управљачки процес који обухвата одређивање, мерење и контролу карактеристика техничког система. Квалитет техничког система се оцењује након његове израде, а ефикасност као пројектована величина у времену експлоатације техничког система.

Произвођачи и корисници немају исти став по питању оптималног степена ефикасности техничких система. Виши степен ефикасности захтева од произвођача већа улагања у процес развоја и производње техничких система (умањује економску исплативост произвођача), док кориснику техничких система обезбеђује виши ниво излазних величина и ниже трошкове одржавања. Са порастом ефикасности техничког система расту и трошкови набавке и пословања. Главни циљ инжењерства животног циклуса је да обезбеди постављање ефикасних техничких система, тј. система са минималним временом отказа и минималним трошковима животног циклуса.

3.1.6 Распољивост

Распољивост представља вероватноћу да ће технички систем у било ком тренутку времена бити у стању да исправно ради, односно да се укључи у рад и остане у оквиру дозвољених одступања задатих функција у датом временском периоду и датим условима радне средине. Распољивост представља меру стања техничког система у тренутку укључења [27]. Распољивост је карактеристика случајног карактера која показује утицај одржавања на ефикасност техничког система, повезује особине техничког система у погледу поузданости и погодности одржавања, односно представља збирну меру употребног квалитета техничког система у погледу одржавања и поузданости.

Перформансе распољивости (Availability) према ISO-IEC стандарду се дефинишу као: „Способност техничког система да буде у стању у коме може да извршава захтевану функцију, под датим условима и у датом тренутку времена, односно у току датог интервала времена, а под претпоставком да је обезбеђено потребно снабдевање (спољни ресурси)” [31].

Распољивост је у функцији времена чија се промена може пратити током старења техничког система. Односи се на укупно време, укључујући и време складиштења техничког система. Постоји разлика у карактеру укључивања техничког система у рад, зависно од тога да ли је пре укључивања у рад технички систем коришћен или је био у складишту. Када се технички систем налази на кориштењу његово стање је познато тако да при укључивању у рад нема додатних неизвесности. Уколико је технички систем био у складишту његово стање није познато а могућност укључивања у рад је неизвесна [27].

Са појмом распољивости веома је сличан појам готовости.

Готовост представља вероватноћу да ће технички систем у било ком тренутку бити у стању да ради. Дефинише се као однос времена у раду и укупног времена (време у раду и време у отказу). Готовост не укључује време када је технички систем био у складишту, за разлику од распољивости [26].

Карактеристика распољивости се практично одређује на основу временске слике стања техничког система, где се времена у раду (t) смеђују са временима у отказу (τ), при чему се распољивост не анализира као променљива у времену, већ као константа за посматрани период кориштења техничког система, обично за једну календарску годину [26].

Структура времена кориштења техничког система са аспекта распољивости је следећа:

- Време стања у раду техничког система (t), односно расположиво време које обухвата:
 - време чекања на рад (неактивно време) (t_1),
 - време у раду (активно време) (t_2);
- Време стања у отказу техничког система (τ), односно нерасположиво време које обухвата:
 - време логистичке подршке одржавању (τ_1),
 - активно време превентивног одржавања (τ_2),

— активно време корективног одржавања (τ_3).

Време стања у раду (расположиво време) је време у коме технички систем може да испуњава задату функцију циља, без обзира да ли ради или чека на рад. Време чекања на рад је неактивно време када се од техничког система не захтева да извршава своју функцију циља. Време у раду је активно време када технички систем извршава задату функцију циља. Време стања у отказу (нерасположиво време) је време у коме технички систем не може да испуњава задату функцију циља. Време логистичке подршке одржавању обухвата неопходно време за планирање и организацију самих интервенција и поступака одржавања, обезбеђивање квалификоване и оспособљене радне снаге, резервних делова, уређаја, инсталација, потрошног материјала, техничке документације, информатике, административних послова и других елемената логистичке подршке у посматраном временском периоду. Време активног превентивног одржавања подразумева време спровођења поступака превентивног одржавања. Време активног корективног одржавања подразумева време спровођења поступака корективног одржавања.

Расположивост се може одредити на више начина, у зависности од циљева који се желе постићи анализом.

Најчешћи начин за изражавање расположивости подразумева однос времена стања у раду и укупног времена коришћења/посматрања техничког система (време стања у раду и време стања у отказу) [27]:

$$A(t, \tau) = \frac{\sum t_1, t_2}{\sum t_1, t_2 + \sum \tau_1, \tau_2, \tau_3} \quad (3.20)$$

Овако дефинисана расположивост $A(t, \tau)$ се често назива оперативна расположивост (*operational availability*) техничког система, $A_o(t, \tau)$ [27].

У случају када се време у отказу посматра као активно време превентивног и корективног одржавања (време логистичке подршке одржавању се не узима у обзир) може се добити израз за остварену расположивост (*realized availability*) техничког система [27]:

$$A_r(t, \tau) = \frac{\sum t_1, t_2}{\sum t_1, t_2 + \sum \tau_2, \tau_3} \quad (3.21)$$

У случају када се време у отказу посматра само као активно време корективног одржавања добија се израз за унутрашњу расположивост (*inherent availability*) техничког система [27]:

$$A_i(t, \tau) = \frac{\sum t_1, t_2}{\sum t_1, t_2 + \sum \tau_3} \quad (3.22)$$

На основу наведених израза и дефиниција види се да је за одређивање расположивости потребно познавати само основе елементе из временске слике стања посматраног техничког система, пре свега времена у раду и времена у отказу, што олакшава примену овог поступка.

Од расположивости и чинилаца који је одређују зависи сигурност функционисања техничког система. Анализом расположивости добијају се квантитативни показатељи који репрезентују меру сигурности функционисања а самим тим и меру употребног квалитета техничког система. Уколико су интервали времена у раду дужи а интервали у отказу краћи, утолико је поузданост и ефективност већа, поступци одржавања се обављају брже у краћем временском интервалу, а самим тим виши је ниво сигурно сти функционисања и употребног

квалитета техничког система. Задовољавајућа вредност расположивости техничког система током његовог животног века у великој мери зависи од стратегије одржавања и логистичке подршке одржавању, при чему средства за њихово обезбеђивање чине велики удео у укупним трошковима, што захтева њихово планирање у свим фазама животног циклуса техничког система.

3.1.7 Сигурност функционисања

Са развојем теорије поузданости и на њој заснованих техничких дисциплина након II Светског рата трагало се за појмом који би на најбољи начин изражавао укупна својства техничких система. У техничкој и научној литератури најзаступљенија истраживања су била везана за поузданост и погодност одржавања, односно за показатеље којима су обухваћена својства техничког система током времена у рада и током времена у отказу, што је довело до њихове прогресивне имплементације у пракси. У циљу сагледавања укупних својстава техничког система уследило је дефинисање појма ефикасности који укључује поузданост, расположивост и функционалну погодност. Крајем прошлог века дошло се до закључка да ефикасност не изражава укупна својства техничког система на најпогоднији начин, услед његове нејасне имплементације у пракси.

Сигурност функционисања као концепт је развијен кроз серију ISO-IEC 300 стандарда. Представља сложену функцију зависну од перформанси поузданости, погодности одржавања и логистичке подршке одржавању. Ова три својства техничког система су непосредно везана за појам расположивости. Овако дефинисана сигурност функционисања има велике сличности са раније дефинисаним појмом ефикасности [27].

Сигурност функционисања (Dependability) према IEC стандарду је: „Збирни појам који се користи за описивање перформанси расположивости и чинилаца који одређују ове перформансе: перформанси поузданости, перформанси погодности одржавања и перформанси логистичке подршке одржавању”[31].

Овим приступом конструкцијска и логистичка погодност одржавања се одвојено посматрају услед доста сложеније структуре времена у отказу од структуре времена у раду. Поузданост и погодности одржавања су најважније карактеристике техничког система са аспекта спречавања нежељених ефеката током његовог рада и одржавања. Технички систем може да буде функционално погодан и поуздан, са задовољавајућом погодношћу одржавања, али може да буде нерасположив уколико не постоји адекватна логистичка подршка, без обзира што је испуњавао све захтеве када је испоручен од произвођача. Обезбеђивањем адекватне логистичке подршке током животног века техничког система може се постићи боља поузданост и погодност одржавања, са смањеним бројем отказа у јединици времена и краћим временом трајања поступака одржавања, а самим тим и виши ниво употребног квалитета.

Потребе савремених процеса управљања животним циклусом техничких система условиле су стандардизацију појмова сигурности функционисања и употребног квалитета. У последњој деценији прошлог века на квалитет производа се гледало само са позиције произвођача, на нивоу производно-технолошког процеса, не узимајући у обзир период коришћења производа, што је постало неприхватљиво за кориснике. Уследио је развој серије стандарда ISO-IEC 300 која се бави управљањем сигурношћу функционисања током свих фаза животног циклуса производа, са чиме је суштински допуњена серија ISO 9000 стандарда [30] за управљање квалитетом производа и услуга и системом управљања квалитетом у пословној организацији ради постизања циљева у погледу квалитета пословања и пружања услуга. При испоруци опреме уводе се гаранције за сигурност функционисања и све њене чиниоце, тако да

логистичка подршка одржавању постаје један од најважнијих делова уговора, где испоручилац преко аранжмана подршке опреми гарантује расположивост на одређеном нивоу [27].

Сигурност функционисања је најпотпунији појам за описивање расположивости посматраног техничког система као мере његовог употребног квалитета. Карактеристике техничког система при процени његове способности да достигне потребни ниво сигурности функционисања и употребног квалитета у процесу експлоатације треба посматрати са аспекта трошкова. Од оствареног нивоа перформанси сигурности функционисања зависе употребни квалитет и трошкови животног циклуса техничког система. Смањење времена развоја техничког система и повећање његове сигурности функционисања, уз одржавање укупних трошкова животног циклуса на релативно ниском нивоу, може се постићи применом одговарајућих правила сигурности функционисања.

Серијом стандарда ISO-IEC 300 извршена је имплементација појма сигурности функционисања. Следи хронолошки приказ стандардизације управљања сигурношћу функционисања техничких система:

- Управљање програмом сигурности функционисања, системи менаџмента сигурношћу функционисања и смернице за управљање и примену сигурности функционисања техничких система:

Стандардом IEC 60300-1:1993 за управљање сигурношћу функционисања техничких система дати су основни елементи и захтеви програма сигурности функционисања, упутства за управљање програмом сигурности функционисања и стандарди за управљање и обезбеђивање квалитета, ради организације и управљања ресурсима у циљу производње поузданог и за одржавање погодног производа, са посебним акцентом на важност степена задовољења корисника производом [51]. Са овим стандардом идентичан је српски стандард SRPS IEC 300-1/ISO 9000-4:1995 [52].

Претходно издање технички је ревидовано и замењено са стандардом IEC 60300-1:2003 који даје појмове и принципе система менаџмента сигурношћу функционисања бавећи се сигурношћу функционисања у свим фазама животног циклуса производа, чиме се олакшава сарадња између испоручиоца и корисника ради постизања крајњих циљева сигурности функционисања [53]. Са овим стандардом идентичан је српски стандард SRPS EN 60300-1:2008 [54].

Стандардом IEC 60300-2:2004 дате су смернице за управљање сигурношћу функционисања у фази пројектовања, развоја, вредновања производа и побољшања процеса, са могућношћу коришћења за детаљно планирање и спровођење програма сигурности функционисања [55]. Са овим стандардом идентичан је српски стандард SRPS EN 60300-2:2008 [56].

Стандардом IEC 60300-1:2014 ревидована су претходна издања, успостављен је оквир за управљање и оптимизацију сигурности функционисања производа, система, процеса и услуга укључујући људске аспекте и ИТ сектор, као и сваку интегрисану комбинацију ових елемената, са смерницама за планирање и спровођење активности везаних за сигурност функционисања и техничке процесе током животног циклуса производа, узимајући у обзир и друге захтеве као што су безбедност и утицај на животну средину [57]. Са овим стандардом идентичан је српски стандард SRPS EN 60300-1:2017 [58].

- Технике анализе сигурности функционисања техничких система и упуство за примену доступне методологије:

Стандардом за управљање сигурношћу функционисања IEC 60300-3-1:1991 дат је општи преглед техника анализе сигурношћу функционисања и доступне методологије [59], који је замењен са издањем из 2003. године.

Стандардом IEC 60300-3-1:2003 дат је преглед коришћених техника анализе сигурности функционисања, опис уобичајених методологија, њихових предности и недостатака, улазних података и других услова, у циљу избора најпогоднијих метода анализе [60]. Са овим стандардом идентични су EN 60300-3-1:2004 и SRPS EN 60300-3-1:2008 [61].

- Прикупљање подата о сигурности функционисања у току експлоатације техничких система:

Стандардом IEC 300-3-2:1993 дато је упутство за примену и прикупљање података са смерницама које се односе на поузданост, погодност одржавања, логистичку подршку одржавању и расположивост техничких система у току експлоатације [62]. Са овим стандардом идентичан је српски стандард SRPS IEC 300-3-2:1998 [63].

Стандардом IEC 60300-3-2:2004, који је данас у примени, наглашена је потреба коришћење искустава из експлоатације у процесу постизања сигурности функционисања [64].

Национални стандард данас у примени SRPS EN 60300-3-2:2008 замењује издање из 1998. године и бави се прикупљањем података о сигурности функционисања у току експлоатације [65] (идентичан је са стандардом EN 60300-3-2:2005).

- Трошкови животног циклуса техничких система и упутство за примену:

Стандард IEC 60300-3-3:1996 пружа општи увод у концепт обрачуна трошкова животног циклуса са посебним освртом на трошкове повезане са сигурношћу функционисања производа. Идентификује типичне елементе трошкова животног циклуса ради лакшег планирање пројеката. Даје општа упутства за спровођење анализе трошкова животног циклуса, укључујући развој модела трошкова животног циклуса [66].

Стандардом IEC 60300-3-3:2004 је замењено издање објављено 1996. године. Намењен је општој примени у процесу управљања сигурношћу функционисања са аспекта трошкова животног циклуса, како произвођача/добављача тако и корисника производа [67].

Национални стандард који је био у примени за менаџмент сигурношћу функционисања и трошкове животног циклуса је SRPS EN 60300-3-3:2008 [68] (идентичан са стандардом EN 60300-3-3:2004).

Стандард IEC 60300-3-3:2017 представља техничку ревизију издања објављеног 2004. године комплетирајући процес анализе трошкова животног циклуса производа. Чини саставни део целокупног програма управљања сигурношћу функционисања сходно IEC 60300-1. Пружа потребна упутства о трошковима животног циклуса као помоћ менаџерима, инжењерима, финансијском особљу и добављачима [69].

Национални стандард SRPS EN 60300-3-3:2018 данас у примени за област менаџмента сигурношћу функционисања и трошкове животног циклуса замењује издање објављено 2008. године и даје опште упутство за спровођење анализе трошкова животног циклуса техничког система [70] (идентичан је са стандардом EN 60300-3-3:2017).

- Упутство за спецификацију захтева за сигурност функционисања техничких система:

Стандард IEC 60300-3-4:1996 даје упутство за спецификацију захтева за сигурност функционисања опреме, спецификацију поступака и критеријума за верификацију са смерницама за квантитативне и квалитативне захтеве за поузданост, погодност одржавања и расположивост [71]. Са овим стандардом идентичан је стандард SRPS IEC 60300-3-4:1998 [72].

Стандардом IEC 60300-3-4:2007 замењено је издање објављено 1996. године, при чему је укључен концепт система са акцентом на одређивање сигурности функционисања система а не само физичке опреме, потреба за верификацијом и валидацијом захтева уз уважавање разлика између захтева који се могу мерити и верификовати и оних који то не могу, док је

садржај захтева за поузданост, погодност одржавања, логистичку подршку одржавању и расположивост проширен до нивоа детаљности захтеване сигурности функционисања [73].

Национални стандард SRPS EN 60300-3-4:2011 данас у примени за област менаџмента сигурношћу функционисања и спецификацију захтева за сигурност функционисања опреме замењује издање објављено 1998. године. Даје упутство за спецификацију карактеристика сигурности функционисања захтеваних у спецификацијама производа и опреме, уз спецификацију поступака и критеријума за верификацију [74] (идентичан је са стандардом EN 60300-3-4:2008).

Сходно наведеним стандардима за управљање сигурношћу функционисања у тексту који следи приказан је садржај програма сигурности функционисања, активности процеса управљања сигурношћу функционисања и процедура анализе сигурности функционисања техничких система.

Програм сигурности функционисања техничког система садржи следеће елементе:

- организациону структуру за управљање сигурношћу функционисања,
- одговорности при управљању сигурношћу функционисања,
- поступке, активности и процесе управљања сигурношћу функционисања,
- ресурсе неопходне за управљања сигурношћу функционисања.

Програм сигурности функционисања обухвата све фазе животног циклуса техничког система (фазу концепта и дефинисања захтеваних функција, фазу пројектовања и развоја, фазу производње и инсталирања, фазу експлоатације и одржавања, фазу повлачења из употребе – отпис). Израда програма сигурности функционисања за одговарајуће фазе животног циклуса техничког система је у интересу и произвођача и корисника. Захтева познавање принципа и техника сигурности функционисања, пројектног решења техничког система, његове намене, технологије рада и очекиваних трошкова. Сви елементи програма сигурности функционисања техничког система треба да буду документовани, са детаљним описима анализе, метода, поступака и коришћених алата за дефинисање, контролу и процену сигурности функционисања и њених чинилаца, поузданости, погодности одржавања и логистичке подршке одржавању [57].

Активности процеса управљања сигурношћу функционисања техничких система, према [57] су:

- дефинисање циљева сигурности функционисања,
- анализа обима рада на управљању сигурношћу функционисања,
- израда стратегије сигурности функционисања,
- план активности за постизање дефинисаних циљева,
- спровођење активности сигурности функционисања,
- анализа резултата сигурности функционисања,
- вредновање резултата остварене сигурности функционисања са циљем даљег побољшања.

Анализа сигурности функционисања подразумева следећу процедуру, [60]:

Дефинисање техничког система на основу анализе захтеване функције циља, функционалних и међусобних односа и веза у технолошком процесу, при чему улазне елементе процеса даје инжењеринг техничког система;

Дефинисање захтева и циљева сигурности функционисања навођењем свих захтева везаних за карактеристике техничког система, функционалну погодност сходно условима радне средине, поузданост, одржавање, логистику и расположивост техничког система (дефинисање отказа, критеријума отказа, очекиваног животног века и др.).

Алокација захтева сигурности функционисања, односно додељивање захтева или циљева сигурности функционисања техничког система одређеним подсистемима или компонентама у раној фази пројектовања;

Анализа сигурности функционисања техничког система применом техника сигурности функционисања и релевантних података везаних за перформансе поузданости, погодности одржавања, логистичке подршке одржавању и расположивости може бити квалитативна и квантитативна.

Квалитативна анализа обухвата дефинисање структуре техничког система, одређивање начина отказа техничког система и његових компонената, механизма, узрока и последица отказа, анализа стабла отказа и погодности одржавања у погледу времена трајања поступака одржавања, провера адекватности техничке дијагностике за откривање потенцијалних отказа, анализа могућности избегавања потенцијалних отказа, дефинисање могуће стратегије одржавања и др.

Квантитативна анализа обухвата развој модела поузданости и расположивости техничког система, дефинисање потребних нумеричких референтних података, процена сигурности функционисања на бази нумеричких података, анализа критичности и осетљивости компонената техничког система и др.

Преиспитивање, вредновање резултата постигнуте сигурности функционисања и препоруке за даље побољшање обухвата следеће активности: вредновање повишења нивоа сигурности функционисања насталог услед побољшања пројектовања и производње техничког система, преиспитивање пројектних решења, утврђивање слабих места и критичних отказа техничког система и његових компонената, анализу карактеристика и механизма за избегавања потенцијалних отказа техничког система, развој алтернативних решења за побољшања сигурности функционисања, израду студија алтернативних решења са вредновањем трошкова, вредновање ефективности производног процеса и вредновање резултата анализе сигурности функционисања у односу на дефинисане захтеве [60].

Произвођач/испоручилац техничког система даје спецификацију сигурности функционисања [74] која представља основу споразума са купцем/корисником, а обухвата анализу и утврђивање захтева за:

- поузданост и погодност одржавања који се односе на квалитативне захтеве (потребне функције техничког система, услове радне средине, период рада техничког система и др.) и квантитативне захтеве (средње време застоја, средње време отказа и др.);
- погодност испитивања (поступци и тачност испитивања);
- логистичку подршку одржавању која се односи на квалитативне и квантитативне услове логистичке подршке одржавању;
- расположивост на одређеном нивоу [74].

Комплексност програма сигурности функционисања, његових елемената, процеса, активности, захтева, анализе и вредновања постигнутих резултата указује на неопходност перманентне едукације инжењера пројектних, производних и корисничких организација ради овладавања са новим техникама сигурности функционисања.

Структура употребног квалитета и сигурности функционисања техничког система са перформансама које их одређују, сходно стандарду IEC [31] шематски је приказана на слици 3.1.

Сигурност функционисања је сложено својство техничког система условљено перформансама расположивости, односно поузданошћу која се одређује применом теорије поузданости, погодношћу одржавања која се одређује применом инжењерства одржавања и логистичком подршком одржавању која се одређује применом логистичког инжењерства.

Упављањем животним циклусом техничког система, током свих његових фаза, у складу са постављеним циљевима, захтевима и програмом сигурности функционисања, усаглашеним

између испоручиоца и корисника, може се постићи задати ниво употребног квалитета уз релативно ниске укупне трошкове животног циклуса и висок степен задовољења корисника.

3.1.8 Ризик и показатељи ризика - озбиљност отказа, учесталост појављивања отказа, детектабилност

У процесу експлоатације рударске машине су изложене различитим негативним утицајима који умањују њихов употребни квалитет. Велик је број критичних места која генеришу потенцијало висок ризик за отказ рударских машина и њихову девастацију, што је од пресудног значаја за квалитет њихових укупних перформанси. Вероватноћа појављивања ризичног догађаја може се смањити адекватним мерама на прихватљив ниво.

Рударске машине се сврставају међу најкомплексније техничке системе. Карактеришу их следеће особине:

- велика инвестициона вредност,
- рад у веома сложеним и екстремно тешким условима,
- рад под сталним притиском за високим радним учинцима уз минимално заустављање,
- захтеви за што нижим трошковима,
- рад у скупим технолошким процесима,
- висок ниво ризика за појаву нежељених догађаја,
- висок ниво озбиљности последица нежељеног догађаја,
- велик утицај последица нежељеног догађаја на безбедност запослених, радно окружење, животну средину и даље функционисање техничког система,
- високи економски губици услед нежељених догађаја и др.

Наведене особине указују на неопходност системског приступа управљању ризиком отказа техничких система у рударству. Процена нивоа ризика отказа/хаваријског догађаја је приоритетни задатак при раду и одржавању рударских машина, што захтева добро познавање техничког система, начин његовог функционисања и узајамног односа са другим техничким системима у технолошком процесу, познавање узрока који доводе до нежељеног догађаја и њихових негативних ефеката.

Ризик је део сваког процеса и људске делатности. Феномен ризика привлачи пажњу великог броја истраживача, при чему се посматра са различитих аспеката и саме појавне природе ризика, тако да не постоји јединствена дефиниција ризика. С' обзиром да се ризик не може неутралисати трага се за начином његовог решавања.

Анализа ризика подразумева и анализу поузданости као својства техничког система које се односе на појаву и последице отказа елемената техничког система. Ризик представља вероватноћу појаве нежељеног догађаја са негативним ефектом на технички систем, раднике и животну средину. Поузданост представља вероватноћу да ће технички систем радити без отказа у одређеном временском периоду. Озбиљност отказа и последице истог указују на зачај теорије ризика и поузданости која се у континуитету развија од Другог светског рата па до данас. Поводом опасности и превенције губитка ресурса техничких система прва конференција је одржана 1960. године у Манчестеру [75]. Истраживања су била усмерена на постизање планиране поузданости и расположивости техничког система уз што мање трошкове, а тек затим на озбиљност последица насталих услед отказа.

Уследио је развој модела управљања заснованих на ризику који повезују вероватноћу појаве нежељеног догађаја са последицама тог догађаја. Развијене су методе у области теорије и инжењерства одржавања техничких система на бази ризика, при чему се под последицама отказа (нежељеног догађаја) не подразумевају само настали трошкови већ и сигурност,

безбедност, утицај на запослене, радну и животну средину и др [76]. Почетак примене метода одржавања заснованих на ризику везује се за петрохемијску индустрију САД крајем седме деценије прошлог века [77].

Последњих деценија процес управљања ризицима је дефинисан кроз више стандарда који су током времена ревидовани и допуњавани сходно потребама и процесима управљања савремених организација.

Према стандарду за управљање сигурношћу функционисања и анализу ризика техничких система IEC 300-3-9:1995 ризик представља комбинацију учесталости или вероватноће појаве и последице специфичног случајног догађаја [78] (овај стандард је замењен са IEC/ISO стандардима, IEC 31010:2009, а затим са IEC 31010:2019 [79] - управљање ризиком и технике за процену ризика).

Према стандарду за управљање ризиком SRPS ISO 31000:2019 ризик се дефинише као ефекат неизвесности на циљеве [80]. Феномен ризика може се схватити на следећи начин: уколико одступање од очекиваног исхода подразумева ефекат, недостатак информација неизвесност а исход коме се тежи циљ, онда свака неизвесна ситуација са негативним исходом представља ризик.

Стандард за безбедност машина, опште принципе пројектовања, оцену ризика и смањење ризика SRPS EN ISO 12100:2014, под ризиком подразумева комбинацију вероватноће да се догоди повреда и озбиљности те повреде [81].

Према [82] ризик се дефинише као вероватноћа настанка нежељених догађаја и очекивана величина последица у заокруженом систему током утврђене дужине временског интервала.

Са аспекта отказа техничких система у рударству ризиком се сматра вероватноћа појаве одређене врсте отказа унутар техничког система (технолошког процеса, машине, подскопа, елемента) која ће оставити негативне последице на процес експлоатације, животни век машине, запослене и животну средину [3].

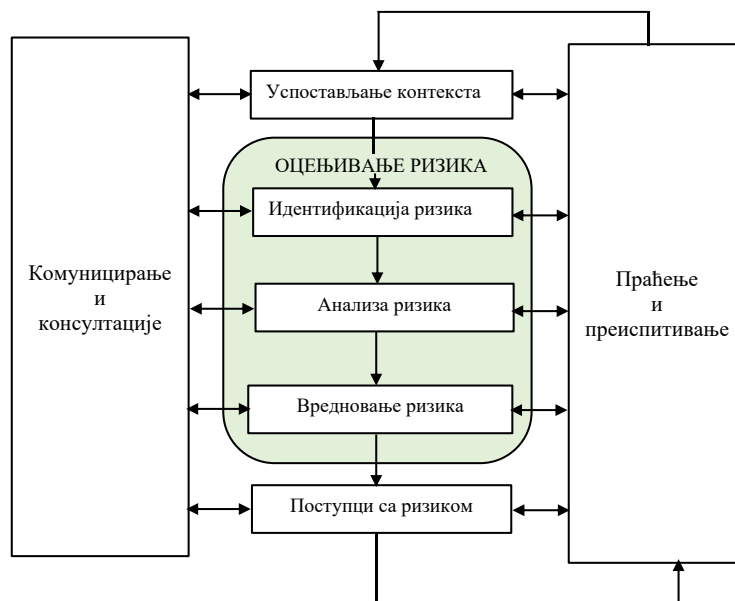
Најчешће се користи дефиниција која под ризиком подразумева величину која се добија као функција вероватноће неког догађаја и последица које настају услед тог догађаја. С' обзиром на стохастичку природу ризика, сваки догађај са вероватноћом настанка од 0 до 1 је ризичан.

Евидентна је потреба за управљањем ризиком при раду и одржавању рударских машина услед присуства ризика у свим процесима експлоатације, тежине последица ризичних догађаја на запослене, радну и животну средину, великих материјалних издатака за њихову санацију и могућег производног губитка. Управљање ризиком је процес који подржава постизање планираног употребног квалитета техничког система.

Управљање ризиком је процес који обухвата координисане активности на вођењу и управљању организације у односу на ризик. Приказ процеса управљања ризиком према стандарду SRPS ISO 31000:2019 [80] следи у наставку текста.

Процес управљања ризиком подразумева следеће фазе са пратећим активностима:

- успостављање контекста - оквира управљања ризиком;
- процена ризика: идентификација ризика, анализа ризика, вредновање ризика;
- третман ризика (поступање са ризиком),
- мониторинг и ревизија (праћење и преиспитивање ризика),
- комуникација и консултације са заинтересованим странама,
- документовање процеса управљања ризиком, [80].



Слика 3.1.8. Процес управљања ризиком према SRPS ISO 31000:2019 [80]

Успостављање контекста подразумева дефинисање оквира посматраног ризика (екстерног и интерног), односно дефинисање циљева, одговорности, предмета и подручја примене, активности процеса, методологије оцењивања ризика, начина одлучивања, потребних студија и ресурса за њихову реализацију у процесу управљања ризиком [80].

Процена ризика подразумева свеобухватни процес идентификовања ризика, анализе ризика и вредновања ризика. Стандардом SRPS ISO 31000:2019 нису дефинисане методе/технике за процену ризика, већ су дате смернице за управљање сваком врстом ризика у било којој организацији, сектору или индустрији [80].

Стандард за управљање ризиком SRPS EN IEC 31010:2019 пружа смернице за избор и примену техника за процену ризика у широком спектру ситуација где постоји неизвесност при доношењу одлука. Процена ризика омогућава схватање саме природе ризика, његових узрока, последица и вероватноће појављивања стварајући при томе услове да се њиме управља [80].

Идентификовање ризика обухвата формирање листе извора ризика, листе узрока ризика и листе догађаја са могућим утицајем на циљеве дефинисане у контексту управљања ризиком и њиховим развојем. Најчешће коришћене технике за идентификовање ризика су: анкетање, контролне листе, експертска мишљења, статистички подаци, анализе сценарија, инжењерске системске технике [80].

Анализа ризика се врши на основу прикупљених податка о раду и одржавању техничког ситема. Постоје различити концепти анализе ризика. Анализа ризика у суштини представља улазне информације за вредновање и даље поступање са ризиком. Обухвата следеће активности:

- описивање идентификованих ризика,
- разматрање узрока и извора ризика,
- анализирање утицаја узрока на ризик,
- процењивање вероватноће и последица ризика,
- процену и квантификацију ризика,
- идентификовање утицајних фактора на последице и вероватноћу,
- дефинисање листе приоритетних ризика,
- предлагање техника/метода за процену ризика,
- дефинисање параметара за мониторинг ризика, [80].

Анализа ризика у зависности од врсте ризика, сврхе анализе, расположивих информација, података и ресурса може да буде: квалитативна, полуквалитативна (квалитативно-квантитативна) и квантитативна.

Технике и методе које се користе за квалитативне и полуквалитативне анализе ризика су: анкетирање, узрочно последични дијаграми, *SWOT* анализа, метод експертних оцена, *Delfi* метод, метод стабла отказа, метод стабла догађаја и др.

Технике и методе које се користе за квантитативне анализе ризика су: математичка статистика, теорија вероватноће, операциона истраживања, анализа осетљивости, метод сценарија, *FMEA*, *FMECA*, метод стабла отказа, метод стабла догађаја, методе моделирања и симулације (Монте Карло) и др.

Вредновање ризика је поступак упоређивања нивоа ризика добијеног у процесу анализе ризика са критеријумима који су дефинисани при успостављању контекста управљања ризиком, ради утврђивања значаја ризика и поступања са ризиком. Уколико процењени ниво ризика испуњава утврђене критеријуме онда је прихватљивим, тако да не захтева додатну контролу. Уколико процењени ниво ризика не задовољава утврђене критеријуме, утврђује се листа приоритета ризика и начин поступања са њим, [80].

Третирање ризика је процес поступања са ризиком у коме се врши избор и примена мера за модификацију ризика, односно за смањење нивоа ризика. Подразумева цикличан процес оцењивања да ли се преостали нивои ризика могу толерисати, као и покретања нових поступака са ризиком и оцењивања њихове ефикасности. У свакој фази процене ризика разматра се свака мера којом је ризик третиран ради утврђивања применљивости те мере са аспекта пословне политике, закона, прописа, цене измене процедуре и цене измене посматраног система. Ради документовања примењених поступака током изабране опције за смањење нивоа ризика израђују се планови за поступање са ризицима, [80].

Праћење и преиспитивање ризика подразумева процес управљања ризиком који обухвата редовну или периодичну проверу процеса управљања ризиком у циљу утврђивања његовог квалитета, добијања додатних информација ради побољшања при оцењивању ризика, анализирања догађаја, промена, трендова, успеха, неуспеха и идентификовања ризика који могу настати, [80].

Комуникација и консултације током свих фаза и активности процеса управљања ризиком са екстерним и интерним заинтересованим странама обезбеђују њихово учешће у процесу, разумевање донетих одлука, примењених поступака, размену информација и доприноси унапређењу процеса управљања ризиком, [80].

Документовање процеса управљања ризиком подразумева израду плана и програма управљања ризиком, [80].

Методe за процену ризика у основи могу бити квантитативне и квалитативне. Квантитативне методе се заснивају на процени вероватноће појављивања нежељених догађаја и њихових последица на бази података о понашању техничког система током рада и одржавања, што је често праћено са недостатком довољно бројних и поузданих података. Услед недостатка података све чешће се процена ризика врши на бази експертске оцене, при чему се квалитативне методе темеље на додељивању лингвистичких вредности при процени вероватноће појављивања нежељених догађаја и њихових последица.

На основу анализе релевантне литературе најчешће коришћене методе за процену ризика рударских машина су:

- *Анализа начина и ефеката отказа – FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)*

Анализа начина и ефеката отказа је највише коришћена метода у пракси за процену поузданости техничких система. Може се применити на било који систем и било који ниво

детаљности система (систем-подсистем-склоп-елемент). Представља системски процес за квалитативну анализу свих могућих начина отказа компоненти техничког система, потенцијалног утицаја сваког појединачног отказа на технички систем и могућности избегавања и смањења утицаја отказа на технички систем у целини. На основу ове анализе добија се квалитативан резултат са проценом последица појединачних отказа и листом систематски пописаних потенцијалних отказа, рангираним на основу вероватноће њиховог појављивања. У процесу управљања ризиком значај ове анализе је у одређивању приоритетних мера ради спречавања појаве отказа техничког система и развоју процедура за деловање ако до отказа дође.

FMEA је методологија дизајнирана да идентификује потенцијалне начине отказа производа или процеса пре него што се појаве проблеми, у циљу процене ризика. Најбоље је да се спроводи у фази дизајна производа или процеса. Проценом могућих проблема са поузданошћу техничких система у раним фазама животног циклуса, када је једноставније предузети мере за њихово превазилажење и побољшање поузданости кроз дизајн, добија се поуздан и сигуран производ и омогућава задовољење корисника. Техника *FMEA* омогућава идентификовање потенцијалних начина отказа, анализу њиховог утицаја и приоритетне корективне мере. Неопходно је предвидети шта би код производа могло бити погрешно. Иако предвиђање сваког начина отказа није могуће, у циљу побољшања треба формирати што обимнији списак могућих начинима отказа. Корисно је спровођење *FMEA* анализе и на постојећим производима или процесима. Анализом начина отказа утврђује се ефекат сваког отказа и идентификују кључна места појединачних отказа [83].

Према подручју примене може бити: дизајн *FMEA*, процес *FMEA*, систем *FMEA*, услужна *FMEA*, програмска (информационе технологије) *FMEA* и др.

Према методологији *FMEA* ризик има три компоненте, односно показатеља, [86], [84] и други:

- озбиљност отказа, *S (Severity)*,
- учесталост појављивања отказа, *O (Occurrence)*,
- детектабилност, односно могућност благовременог откривања-детекције отказа, *D (Dependability)*.

Показатељи ризика се приказују као бројчане вредности на скали од 1 до 10. Према методи *FMEA* множењем ова три показатеља добија се број приоритета ризика *RPN (Risk Priority Number)*:

$$RPN = S \times O \times D .$$

Граничне вредности броја приоритета ризика *RPN* су: $RPN_{min} = 1$ и $RPN_{max} = 1000$.

Процедура анализе начина и ефеката отказа – *FMEA* подразумева следеће:

- дефинисање техничког система који се анализира,
- упознавање техничког система, подела на подсистеме, склопове и елементе,
- идентификовање начина отказа,
- одређивање учесталости појављивања отказа,
- идентификовање узрока отказа
- идентификовање могућих последица отказа,
- одређивање начина откривања отказа,
- одређивање показатеља озбиљности отказа, учесталости појављивања отказа и детектабилности,
- израчунавање броја приоритета ризика *RPN*,
- одређивање приоритета за предузимање корективних мера.

Техника анализе начина и ефеката отказа – *FMEA* је развијена за потребе војне индустрије САД, објављена је први пут 1949. године у војној процедури *MIL-P-1629* под називом „*Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*” [84]. Стандардизована је војним стандардом *MIL-STD-1629A* из 1974. године [85], а касније међународним ISO-IEC стандардима. Стандард SRPS EN IEC 60812:2018 Анализе врста отказа и њихових ефеката (*FMEA* и *FMECA*) [86] је данас у примени у Републици Србији.

У раду [87] поставља се питање да ли је време за елиминисање традиционалне оцене броја приоритета ризика *RPN* код примене *FMEA* методе и прелазак на алтернативну методологију. *RPN* је излаз из *FMEA* методе и представља оцену релативног ризика за сваки начин отказа, који се користи за рангирање ризика. Приказана је алтернативна методологија две акционе групе за аутомобилску индустрију које су заједнички објавиле 2019. године ажурирани приручник *FMEA 2* [88]. Једна од главних промена у новом *FMEA* процесу је елиминација употребе *RPN-a* који је замењен табелом приоритета акције (*AP - action priority table*). *AP* табеле додељују једано од три предложена рангирања за сваку акцију на основу вредности озбиљности отказа (*S*), учесталости појављивања отказа (*O*) и детектабилности (*D*). Предложено рангирање у *AP* табели је следеће: висок приоритет, где треба идентификовати одговарајуће акције, или побољшати превенцију, или контролу откривања, или смањити вероватноћу појаве; средњи приоритет, где треба идентификовати одговарајућу акцију, или побољшати контролу превенције или откривања, или смањити вероватноћу појаве; низак приоритет где се може побољшати рангирање превенције и откривање или смањити вероватноћа појаве. *AP* табеле су много једноставније за употребу, не захтевају прорачун и пружају једну једноставну референтну табелу за одређивање одговарајућег нивоа деловања [87].

- *Анализа начина, ефеката и критичности отказа – FMECA (Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis)*

Анализа начина, ефеката и критичности отказа је заправо *FMEA* метода надограђена за анализу критичности, при чему критичност подразумева релативну меру последица начина отказа и учесталост њиховог појављивања. Ова метода уз квалитативну анализу укључује и квантитативну анализу отказа. *FMECA* анализа омогућава низ веза између потенцијалних отказа, ефеката/последица отказа и узрока отказа техничког система.

Ради процене ризика *FMECA* анализа идентификује потенцијалне начине отказа пре него што се појаве проблеми и рангира сваки отказ према критичности његовог ефекта и вероватноће појављивања. Подразумева резултат анализе која се обавља у два корака:

- анализа начина и ефеката отказа (*FMEA*),
- анализа критичности *CA (Criticality Analysis)*.

FMECA анализа је систематизован поступак којим се дефинишу активности у циљу минимизирања ризика. Подразумева идентификацију и опис свих могућих потенцијалних врста отказа. Омогућава табеларни или графички приказ начина отказа са последицама и узроцима њиховог настанка, контролним и корективним мерама, степеном критичности и другим подацима.

FMECA анализа се користи како у фази пројектовања за препознавање и спречавање потенцијалних проблема пре него што технички систем стигну код корисника тако и у фази експлоатације за унапређење производног процеса и планског одржавања техничког система.

За утврђивање приоритета у вези са отказима техничког система користе се три индикатора: вероватноћа појављивања отказа, озбиљност отказа и могућност благовременог откривања отказа. Производ ова три индикатора представља степен критичности *RPN (Risk Priority Number)*. Добијене вредности степена критичности *RPN* се упоређује са дозвољеним

вредностима *RPN*, односно успостављеним критеријумима. Уколико је добијени степен критичности *RPN* мањи од дозвољеног решење је задовољавајуће. У супротном, предузимају се одговарајуће корективне мере.

На основу ове методе утврђује се потенцијални утицај појединих отказа на функционисање техничког система, његову сигурност, поузданост, погодност одржавања и ефективност. Омогућава оцену ризика производа у свим фазама његовог животног циклуса. Поступак *FMECA* анализе се документује уписивањем података у образац креиран за овај поступак током свих његових фаза. Представља методологију за оптимизацију пројектовања, производње, одржавања путем реинжењеринга, унапређења или елиминисања потенцијалних проблема.

Технике *FMECA* методе објављене су у низу војних стандарда, од којих је најпознатији *MIL-STD-1629A* из 1974. године [85].

- *Анализа стабла отказа – FTA (Fault tree analysis)*

Анализа стабла отказа је једна од најчешће примењиваних метода за анализу поузданости техничких система. Заснива се на идентификовању и анализирању свих фактора који могу да доведу до отказа техничког система (нежељеног догађаја). Примењује се код анализе сложених система који су састављени од више хијерархијски и функционално повезаних компоненти (систем-подсистем-склоп-елемент), уз помоћ блок-дијаграма поузданости (*Reliability Block Diagram – RBD*) који описује повезаност компоненти унутар техничког система према поузданости. Ова метода омогућава успостављање узрочно последичних веза између отказа појединих компоненти и отказа целог техничког система. Анализа стабла отказа подразумева дефинисање система, нежељених догађаја и услова отказа, конструисање графичког стабла отказа, квалитативну анализу стабла отказа (анализу последица услед одређеног отказа и идентификацију догађаја са највећим утицајем на отказ целог система) и квантитативну анализу стабла отказа (одређивање вероватноће појављивања одређеног догађаја).

Користи се у фази пројектовања за откривање скривених отказа и у фази експлоатације за идентификацију потенцијалних отказа техничког система. Ова метода обједињује техничке факторе, људске факторе и контролне мере отказа техничког система.

За примену ове методе неопходно је добро познавање техничког система од стране аналитичара уз доступност квалитетне техничке документације о техничком систему и његовим компонентама и детаљних информација о начину његовог функционисања.

Стандард ИЕС 61025:2006 описује анализу стабла отказа (*FTA*), даје смернице о њеној примени и пружа правила и симболе идентификације, [89].

- *Анализа стабла догађаја – ETA (Event tree analysis)*

Анализа стабла догађаја је метода која се користи за анализу поузданости и ризика код техничких система са могућим акцидентним догађајима. Примењује се за идентификовање и евалуацију вероватноће низа исхода покренутих неким почетним догађајем (отказом), при чему крајњи исходи могу да буду различити у зависности од тога да ли је систем могуће контролисати. Може да се примени на цео систем или на неке делове система. Резултати анализе стабла догађаја су хронолошки распоређене групе отказа које утичу на појаву акцидентног догађаја са описом могућих исхода. Добре резултате даје код техничких система код којих већ постоји заштитни систем као одговор на одређене иницијалне догађаје. Анализа стабла догађаја се састоји из квалитативног и квантитативног дела: квалитативни део анализе је конструкција графичког стабла догађаја, док се у оквиру квантитативног дела анализе одређују вероватноће потенцијалних сценарија.

Користи се у фази пројектовања за откривање потенцијалних акцидентних догађаја услед претпостављених иницијалних отказа ради дефинисања безбедносних система. У фази

експлоатације користи се за процену постојећег заштитног система или потенцијалних отказа техничког система.

За примену ове методе неопходно је познавање иницијалних отказа који потенцијално могу изазвати акцидентни догађај, као и заштитних система који могу умањити утицај иницијалних отказа.

Стандард ИЕС 62502:2010 Технике анализе сигурности функционисања - Анализа стабла догађаја – ЕТА даје основне принципе анализе стабла догађаја са смерницама за моделирање последица почетног догађаја, њихову квалитативну и квантитативну анализу са аспекта сигурности функционисања и ризика, [90].

Савремени услови пословања захтевају системски приступ управљању ризиком, што подразумева развој низа процедура у складу са важећим стандардима који уређују ову област, паралелно са другим процесима организације. Управљање ризиком постаје саставни део менаџмента и организационе културе.

С' обзиром на комплексност рударске индустрије, специфичност радних услова и реално великог броја критичних места за појаву отказа са потенцијално високим ризиком, процена нивоа ризика нежељених догађаја је приоритетни задатак при раду и одржавању рударских машина. Захтева успостављање мониторинга над процесом управљања ризиком применом савремених техника и метода у циљу задржавања функционалних способности машине, безбедности и сигурности људи и опреме, спречавања негативних ефеката на радну и животну средину, смањења трошкова и др.

Процесом управљања поузданошћу, одржавањем, логистичком подршком и сигурношћу функционисања на бази ризика, утврђивањем вероватноће појаве нежељеног догађаја и последица тог догађаја, може се значајно допринети укупној ефективности и употребном квалитету техничког система.

3.2 Анализа показатеља употребног квалитета и њихова међузависност

Системски приступ анализи животног циклуса техничких система успостављен је након Другог светског рата када долази до интензивног развоја теорије поузданости и сродних научних дисциплина. Анализа животног циклуса техничких система је комплексан процес који обухвата све битне чиниоце који непосредно или посредно утичу на извршавање његове функције циља, што представља суштину процеса управљања опремом. Савремене системске науке омогућавају овако комплексне анализе, са различитим обухватом утицајних параметара.

Са развојем теорије поузданости у техничкој и научној литератури најзаступљенија истраживања су била везана за поузданост и погодност одржавања. Овим показатељима употребног квалитета обухваћена су својства техничког система везана за време у рада и време у отказу. *Поузданост* се дефинише као вероватноћа да ће технички систем успешно обавити своју функцију циља без отказа, а *погодност одржавања* као својство техничког система које карактерише целокупан систем његовог одржавања.

Трагајући за свеобухватним феноменом укупних својстава техничког система уследило је дефинисање појма ефективности. Ефективност је шири појам од поузданости. *Функција ефективности* се према [29] дефинише као вероватноћа да ће технички систем успешно функционисати и извршити задату функцију циља у границама дозвољених одступања у датом временском периоду и под оређеним условима радне средине. Опште прихваћени показатељи ефективности система су поузданост, расположивост или готовост и функционална погодност [27]. У употреби су и нешто другачији концепти ефективности техничких система, при чему су елементи укупне ефективности у основи исти, са одређеном разликом у терминологији.

Расположивост представља меру стања техничког система у тренутку укључења [27]. Карактеристика расположивости се практично одређује на основу временске слике стања техничког система, односи се на укупно време које укључује и време складиштења техничког система. Расположивост се најчешће изражав као однос времена у раду и укупног времена коришћења техничког система (време у раду и време у отказу) [27]. Са појмом расположивости веома је сличан појам готовости. *Готовост* представља вероватноћу да ће технички систем у било ком тренутку бити у стању да ради. Дефинише се као однос времена у раду и укупног времена, при чему се не укључује време када је технички систем био у складишту, за разлику од расположивости [26]. *Функционална погодност* је важна компонента функције ефективности техничког система и дефинише се као мера стања система у току вршења функције критеријума или способност система за успешно прилагођавање условима околине у пројектованом времену рада [29]. Поузданост и расположивост (готовост) су случајне функције, док је функционална погодност неслучајне категорије, односно величина одређена пројектовањем и конструкцијским решењем техничког система. Структуру *ефективности* чини комбинација три независне величине чија је синтеза сложен процес. Наведени концепти функције ефективности само су начелан, указују на корелацију три наведене величине, без дефинисаног рачунског поступка њихове синтезе на ниво ефективности. Услед нејасне имплементације у пракси, дошло се до закључка да ефективност не изражава укупна својства техничког система на најпогоднији начин.

Многи појмови из теорије поузданости и сродних дисциплина нису били једнозначно терминолошки одређени, различито су тумачени, иста својства су различито дефинисана, исти или слични феномени су различито објашњавани.

Настали проблем је превазиђен дефинисањем нових појмова у овој области и њиховом стандардизацијом крајем XX века са циљем обезбеђивања интегрисаног поступка управљања опемом. Међународним електротехничким речником [31] под називом Сигурност функционисања и употребни квалитет, дефинисани су сви важни појмови из области поузданости, инжењерства одржавања, логистике и сродних дисциплина. *Употребни квалитет (Quality of service)* је дефинисан као укупни ефекат радних перформанси који одређује степен задовољења корисника. *Сигурност функционисања (Dependability)* је дефинисана као збирни појам који се користи за описивање перформанси расположивости и чинилаца који одређују ове перформансе: перформанси поузданости, перформанси погодности одржавања и перформанси логистичке подршке одржавању. Овако дефинисан појам сигурности функционисања има велике сличности са раније дефинисаним појмом ефективности. Ова три својства техничког система су непосредно везана и за појам перформансе расположивости, што је такође веома слично појму ефективности.

Сигурност функционисања као концепт је развијен серијом ISO-IEC 300 стандардима, којима је интегрисан процес управљања сигурношћу функционисања, дате су технике анализе сигурности функционисања, упутства за прикупљање подата о сигурности функционисања у току експлоатације техничких система, трошкови животног циклуса техничких система са посебним освртом на трошкове повезане са сигурношћу функционисања и упутство за спецификацију захтева за сигурност функционисања техничких система. Стандардизовани концепт управљања сигурношћу функционисања дефинише сигурност функционисања и њене показатеље описно (лингвистички) без рачунског поступка за њихову синтезу на ниво сигурности функционисања, односно употребног квалитета.

Низом стандарда дефинисан је процес управљања ризиком и дате су технике за процену ризика. Према стандарду за управљање сигурношћу функционисања и анализу ризика техничких система IEC 300-3-9:1995 [78] *ризик (Risk)* представља комбинацију учесталости или вероватноће појаве и последице специфичног случајног догађаја. Према најчешће коришћеној методологији *FMEA* ризик има три компоненте, односно показатеља, [85], [83] и

други: озбиљност отказа (*Severity*), учесталост појављивања отказа (*Occurrence*) и детектабилност (*Dependability*).

Теорије ризика и поузданости се у континуитету развија од Другог светског рата па до данас. Анализа ризика подразумева и анализу поузданости као својства техничког система које се односе на појаву и последице отказа елемената техничког система. Уследио је развој модела управљања заснованих на ризику који повезују вероватноћу појаве нежељеног догађаја са последицама тог догађаја. Развијене су методе у области теорије и инжењерства одржавања техничких система на бази ризика при чему се под последицама нежељеног догађаја не подразумевају само настали трошкови већ и сигурност, безбедност, утицај на запослене, радну и животну средину и др. Управљање ризиком постаје саставни део менаџмента и организационе културе. У техничкој литератури често се појмови као што је квалитет, безбедност и ризик система третирају као компатабилне променљиве са самосталним утицајем, чије је заједничко дејство усложњава и међусобно допуњава. Ризик се препознаје као одређено својство квалитета, сходно томе треба га посматрати и дефинисати у односу на квалитет.

У савременој техничкој литератури појам употребног квалитета се најчешће користи за исказивање укупних својстава техничког система. Обухвата особине техничког система везане за рад и елементе подршке неопходне за успешан рад техничког система.

На основу анализе показатеља употребног квалитета констатована је њихова веома изражена међузависност. Најважнији теоријски концепти анализе употребног квалитета техничких система су поузданост и погодност одржавања. Када се говори о поузданости нужно је разматрати и ефективност техничких система, како би се сагледала улога поузданости у концепту ефикасности. Функционална погодност представља степен задовољења функционалних захтева техничког система, односно меру перформансе оперативности која подразумева способност техничког система да буде успешно и лако коришћен. Распољивост је карактеристика случајног карактера која показује утицај одржавања на ефективност техничког система, повезује особине техничког система у погледу поузданости и погодности одржавања, односно представља збирну меру употребног квалитета техничког система у погледу одржавања и поузданости. Перформансе погодности одржавања су једне од битнијих својстава техничког система са великим утицајем на његову укупну сигурност функционисања, а посебно на перформансе расположивости. Логистичка подршка одржавању обједињује процес управљања са одговарајућим техничким мерама ради дефинисања неопходне подршке и стварања услова за реализацију задате функције циља техничког система. Перформансе поузданости су најбитнији елемент за постизање високог нивоа сигурности функционисања техничког система, односно високих перформанси расположивости. Од расположивости и чинилаца који је одређују зависи сигурност функционисања техничког система. Анализом расположивости добијају се квантитативни показатељи који репрезентују меру сигурности функционисања, а самим тим и меру употребног квалитета техничког система. Уколико су интервали времена у раду дужи а интервали у отказу краћи, утолико је поузданост и ефективност већа, поступци одржавања се обављају брже у краћем временском интервалу, а самим тим виши је ниво сигурности функционисања и употребног квалитета техничког система. Задовољавајућа вредност расположивости техничког система у великој мери зависи од стратегије одржавања и логистичке подршке одржавању, при чему средства за њихово обезбеђивање чине велики удео у укупним трошковима. Сигурност функционисања је најпотпунији појам за описивање расположивости посматраног техничког система као мере његовог употребног квалитета. Од оствареног нивоа перформанси сигурности функционисања зависе употребни квалитет и трошкови животног циклуса техничког система. Процесом управљања поузданошћу, одржавањем, логистичком подршком и сигурношћу функционисања на бази ризика може се значајно допринети укупној ефикасности и употребном квалитету техничког система.

Истраживања у теорији поузданости техничких система се одвијају у неколико праваца који се баве односом поузданости и других сродних дисциплина као што су:

- поузданост и стратегија одржавања [91],
- одређивање оптималног времена одржавања у зависности од поузданости [92],
- поузданост и животни циклус машина [93],
- одржавање према поузданости [94],
- смањењем трошкова и побољшањем ефикасности одржавања [94],
- поузданост и трошкови животног циклуса [12],
- поузданост и појава замора материјала [96],
- поузданост и дизајн машине [97] итд.

Услед чињенице да одређене парцијалне и синтезне показатеље употребног квалитета карактерише неодређеност и немогућност квантитативног изражавања у литератури су развијани модели интеграције најчешће на бази теорије фази скупова и фази логике.

У раду [9] ефективност се дефинише као концепт за процену степена задовољења корисника који представља један од синтезних показатеља употребног квалитета техничких система. Као парцијални показатељи ефикасности коришћени су поузданост, погодност одржавања и функционалност, односно показатељи који се односе на време у раду, време потребно за одржавање и функционалне карактеристике техничког система. Модел је базиран на теорији фази скупова и *max-min* композицији парцијалних показатеља, при чему су улазни подаци дати у лингвистичком облику.

У раду [10] ефективност се дефинише као свеобухватни концепт и мера нивоа употребног квалитета посматраног техничког система. Ефективност и у овом случају обухвата парцијалне показатеље који се односе на време рада, време одржавања и функционална својства техничког система. Приказана је анализа и структурирање парцијалних показатеља, формиран је фази модел за њихову синтезу до нивоа ефикасности. Показатељи су хибридног карактера, односно измерене вредности и експертске оцене.

У докторској дисертацији [2] је формиран модел расположивости при дефинисању ефикасног одржавања помоћне механизације. Расположивост обухвата три парцијална показатеља: поузданост, погодност одржавања и функционалност. Модел је формиран применом теорије фази логике, при чему су паралелно развијена два приступа, на бази експертске оцене и на бази измерених улазних података.

У раду [17] расположивост се дефинише као свеобухватни концепт употребног квалитета техничких система. Као алтернатива конвекционалном израчунавању расположивости преко временских коефицијентата, примењен је експертски систем који може да апсорбује парцијалне показатеље расположивости, укључујући њихову неодређеност, различитост и релативност. Формиран је експертски фази модел који анализира и интегрише поузданост, погодност одржавања и функционалност.

У раду [11] је формиран модел сигурности функционисања сложених техничких система. Сигурност функционисања укључује парцијалне показатеље поузданост, погодност одржавања и логистичку подршку одржавању. Показатељи сигурности функционисања су дефинисани као лингвистичке променљиве. За њихову интеграцију је формиран модел на бази фази логике (коришћена је *max-min* композиција).

У раду [13] и [14] формиран је модел процене сигурности функционисања помоћне механизације на површинским коповима лигнита. Применом теорије фази логике формиран је математички модел који омогућава синтезу перформанси поузданости, погодности одржавања и логистичке подршке одржавању на ниво сигурности функционисања. Улазни подаци у модел су хибридног карактера (измерени нумерички подаци и експертске оцене).

У докторској дисертацији [3] формиран је модел процене ефеката ризика рада рударских машина који представља композицију парцијалних показатеља озбиљности отказа, учесталости појављивања отказа и детектабилности (могућност благовременог откривања отказа). Озбиљност отказа као показатељ нивоа ризика анализиран је преко три индикатора негативног утицаја отказа: времена потребног за отклањање квара (одређено је преко функције погодности одржавања као мере времена проведеног у застоју), утицаја отказа на радно окружење (одређен је на основу евиденције о повредама на раду као мере утицаја отказа на запослене раднике) и утицаја отказа на животну средину (одређен је на основу измерених вредности нивоа загађења као мере утицаја отказа на животну средину). Учесталост појављивања отказа одређена је преко функције поузданости. Детектабилност или могућност благовременог откривања отказа је посматрана као вероватноћа да се открије потенцијални отказ. Модел је базиран на теорији фази логике, примењена је *min-max* фази композиција. Улазни подаци у модел су хибридног карактера (измерени нумерички подаци и експертске оцене).

У раду [18] је приказана фази експертска процена озбиљности отказа на основу штетних ефеката отказа. Анализирани су негативни ефекти квара компоненте машине, као што су време потребно за отклањање квара, могућност повреде на радном месту узроковане кваром и негативан утицај квара на животну средину.

На основу наведених радова види се да синтетни показатељи употребног квалитета ефективност и расположивост укључују исте парцијалне показатеље, поузданост, погодност одржавања и функционалност. Сигурност функционисања се дефинише сходно стандарду преко парцијалних показатеља поузданости, погодности одржавања и логистичке подршке одржавању. Процена ризика се врши преко парцијалних показатеља озбиљност отказа, учесталост појављивања отказа и детектабилност. При томе озбиљност отказа као показатељ ризика укључује индикатор времена потребног за отклањање квара, односно погодност одржавања уз друга два индикатора која се односе на негативне последице по радну и животну средину. Учесталост појављивања отказа се одређује преко функције поузданости. Може се закључити да сва четири синтетна показатеља укључују поузданост и погодност одржавања.

Теоријски концепт ефективности укључује расположивост, док је сигурност функционисања збирни појам који описује перформансу расположивости и чиниоце који је одређују: перформансе поузданости, погодности одржавања и логистичке подршке одржавању.

Реализација сваке активности у животном циклусу техничког система захтева улагање одређених материјалних средстава. Сходно томе, свака процена могућности техничког система да достигне потребни ниво употребног квалитета теба да укључи и аспект трошкова.

На основу анализе литературе из предметне области може се закључити да на употребни квалитет техничких система утиче велики број парцијалних показатеља, уско повезаних са међусобним преклапањем у синтетним показатељима. Њихов утицај на употребни квалитет зависи од врсте техничког система, намене, старости, услова радне средине и др. Карактерише их неодређеност и немогућност квантитативног изражавања. Најчешће је коришћена теорија фази скупова и фази логике као погодан математички апарат за рачунање са хибридним подацима који даје синергетски ефекат.

4 МОДЕЛИ ПРОЦЕНЕ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА РУДАРСКИХ МАШИНА

Рударске машине су једне од најсложенијих техничких система у индустрији уопште. Велике су инвестиционе вредности. Раде у веома сложеним условима, под сталним притиском за постизање све већих радних учинака. Евидентно је да процес управљања овим машинама треба оптимизовати са техничког и економског аспекта.

На основу параметара рада и одржавања добијених обрадом реалних података из експлоатације процењује се ниво употребног квалитета и преостале могућности рударске механизације. Замена машине мора бити заснована на свеобухватној анализи техничких, економских, логистичких и других узрочно-последичних веза. Подразумева финансијску процену где је циљ максимизирање профита или минимизирање трошкова.

Главни циљ инжењерства животног циклуса је да обезбеди постављање ефективних техничких система, тј. система са минималним временом отказа и минималним трошковима животног циклуса.

За решавање проблема процене преосталог животног века техничког система користи се више метода које се могу сврстати у две групе [98]:

Прва група подразумева дијагностичке методе на бази информација о машини добијених посматрањем и мерењем, на основу којих се процењују њене преостале могућности. Из ове групе користе се методе на бази теорије поузданости, кумулативне методе, полуемпиријске методе, модели на бази Марковљевих ланаца, модели типа Поасон, модели на бази испитивања са или без разарања, модели засновани на планском одржавању и др.

Друга група метода се базира на економским показатељима рада машине, не узимајући у обзир њен радни потенцијал. Из ове групе најчешће се користе методе за одређивање оптималног радног века машине на бази економичности (трошкови животног циклуса, садашња вредност, очекивана добит и др.). Анализом МАРИ (*Machinery and Allied Products Institute, Washington*) врши се процена економске оправданости инвестирања у замену или у ревитализацију и модернизацију постојеће опреме. Фордова метода користи различите економске показатеље ради утврђивања да ли су предложена решења за реконструкцију боља од постојећих са техничког аспекта.

Најчешће коришћена методологија за решавање трошковних категорија животног циклуса машине је модел процене трошкова животног циклуса техничких система према стандарду ИЕС 300-3-3 (*International Electrotechnical Commission*) [66].

Неки произвођачи опреме имају развијене методологије за процену квалитета услуге и преосталих могућности опреме. Компанија *Caterpillar*, као један од водећих светских произвођача рударске дисконтинуалне опреме, има развијен модел процене трошкова власништва и оперативних трошкова опреме коју производи [99]. Компанија *Komatsu* има развијен модел временског оквира за замену рударске опреме.

Динамичко програмирање као математички апарат за оптимизацију вишестепних процеса користи се за оцену експлоатационог века рударских машина. Постоје два приступа код динамичког програмирања оптималног модела замене, са неограниченим интервалом и са ограниченим интервалом. Модели замене са неограниченим интервалом се примењују код дуговечних рударских машина, као што су роторни багери, багери ведричари, транспортери, одлагачи и сл. Модели замене са ограниченим интервалом примењују се код рударских машина краћег животног циклуса: дозери, утоваривачи, скрепери и сл. Користе се два критеријума оптималности: први критеријум је максимална добит коју оствари машина у току експлоатационог века, а други критеријум оптималности се односи на минималне трошкове експлоатације, [100], [101].

Одређивање оптималног радног века рударске механизације може се вршити и применом аналитичке методе (критеријум оптимизације нпр. максимална добит), као и методом процене економске ефективности машине током експлоатације. Анализирају се варијантна решења ради постизања планираног нивоа ефективности, под условом да се добије најбољи збирни економски ефекат. Преостали радни век машине чини време од датог тренутка до достизања референтног (одабраног) стања по економским критеријумима.

Сигурност функционисања и употребни квалитет техничких система концепцијски су постављена ISO-IEC стандардима [31] у циљу дефинисања расположивости техничких система као мере његовог употребног квалитета. Од перформанси сигурности функционисања техничких система, као што су поузданост, погодност одржавања и логистичка подршка одржавању, зависе употребни квалитет и трошкови животног циклуса техничких система. Сагласно овоме, данашње методе за оцену животног циклуса техничких система, заснивају се на економетријским и/или критеријумима радног потенцијала [12].

4.1 Модели теорије поузданости

Системски приступ анализи животног циклуса техничког система и његовим показатељима представља суштину процеса управљања опремом. Анализа поузданости техничких система у теоријским и практичним разматрањима представља полазну основу за давање оцене исправности техничког система у целини, преосталог животног века или века његових најкритичнијих елемената.

Акцент научних истраживања у овој области је на односу поузданости и других показатеља употребног квалитета техничких система: стратегије одржавања, животног циклуса машина, смањења трошкова и побољшања ефикасности одржавања, трошкова животног циклуса, појаве замора, дизајна машинеи др. Резултати истраживања указују на значај анализе поузданости рударских машина, са обзиром на њихове специфичности, димензије, високе трошкове рада и одржавања, услове радне средине и др. Сходно томе, многи модели за процену животног циклуса рударске механизације се заснивају на теорији поузданости, односно на критеријумима радног потенцијала [12].

Поузданост (вероватноћа рада без отказа) је веома сложен појам, представља једну од најважнијих карактеристика техничких система. Изражава се као број између 0 и 1 или 0% и 100%. Поузданост техничког система у функцији времена $R(t)$ се може представити као однос између броја успешно завршених задатака и укупног броја задатака. Збир вероватноћа рада и отказа техничког система, односно функције поузданости $R(t)$ и функције отказа $F(t)$ исказује се на следећи начин, [26]:

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (4.1)$$

Сматара се да је технички систем при крају животног циклуса када интензитет отказа (λ) почне нагло да расте. Интензитет отказа дефинисан је односом појаве отказа $f(t)$ и функције поузданости:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} ; f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (4.2)$$

На слици 4.1.1 приказан је упрошћени графикон промене интензитета отказа у времену, тзв. крива каде (*bathhtub curve*), која се често користи код различитих врста инжењерских

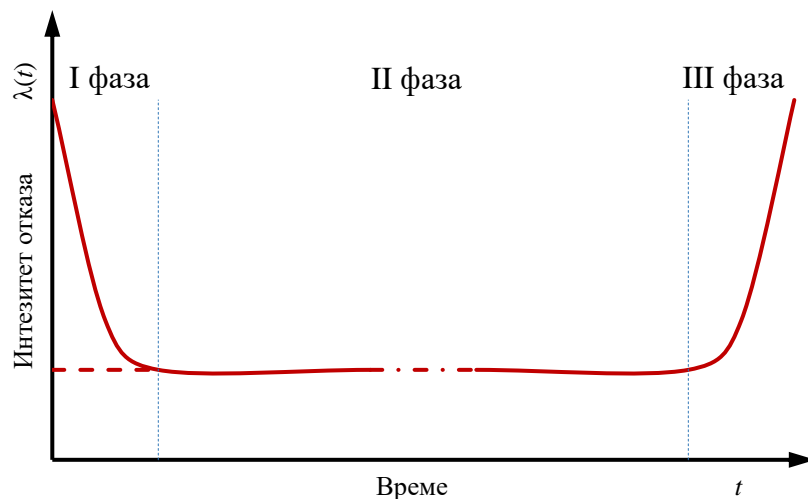
система. На графикону се уочавају три карактеристична периода у експлоатацији техничког система:

I фаза – период разраде техничког система: карактерише га опадање стопе отказа, кратак почетни период раних отказа (фаза дечијих болести), разлози за појаву отказа: лоша контрола квалитета, неквалитетни материјали и израда, лоше производне методе, неадекватно отклањање грешака, лоши процеси и људске грешке;

II фаза – период нормалног рада техничког система: карактерише га ниска и приближно константна вредност стопе отказа (фаза случајних отказа), разлози за појаву отказа: ниски фактори сигурности, недетектовани недостаци, природни откази, злоупотреба и људске грешке;

III фаза – крај животног века техничког система: растућа стопа отказа услед истрошености техничког система (фаза дотрајалости), разлози за појаву отказа: општа поузданост, стопа отказа и средње време до отказа, хабање узроковано трењем, лошим одржавањем, хабање узроковано старењем и корозијом, неадекватно ремонтовање и дизајниран кратак животни век техничког система.

За техничке системе серијске производње, као што су дозери, утоваривачи и сл. први период раних отказа није својствен, са укључивањем у рад ове машине започињу период нормалног рада, на слици 4.1.1 то је обележено испрекиданом линијом.



Слика 4.1.1. Упрошћени приказ промене интензитета отказа у времену (bathtub curve)

Кључну улогу у поузданости рударске опреме имају различити математички концепти. Утврђивање теоријског закона расподеле експерименталних података представља основни задатак анализе поузданости техничких система. Познавање закона расподеле непрекидне променљиве (најчешће времена) омогућава прогнозирање понашања техничког система током времена.

Показатељи поузданости [20] техничког система одређују се на основу података о појавама отказа (добијених на бази временске слике стања) и утврђивања вероватноће отказа. При решавању ових проблема показала се као најпогоднија двопараметарска Вејбулова дистрибуција (Weibull, 1951), [46]:

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

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

Функција густине отказа: $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$

Интезитет отказа: $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$

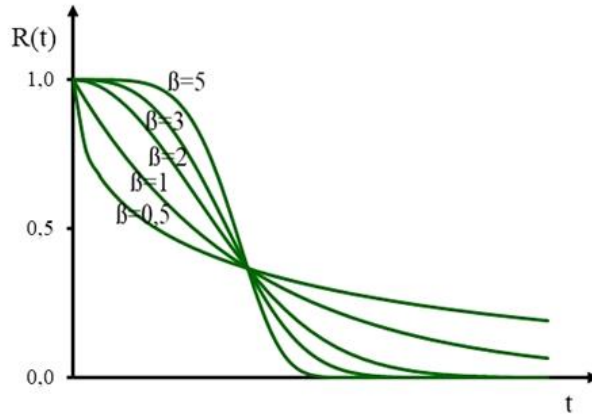
Средње време до отказа: $MTTF = \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$

Гама функција Γ
(Ојлеров интеграл друге врсте) $\Gamma(p) = \int_0^\infty t^{p-1} \cdot e^{-t} dt$
 $p = 1 + \frac{1}{\beta}$

β - параметар облика, η – параметар размере.

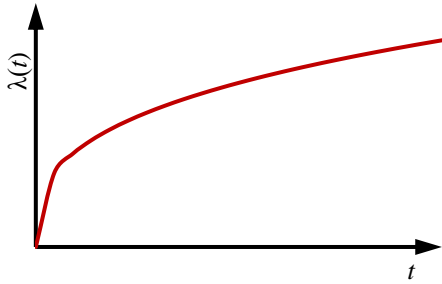
(4.1)

Зависност функције поузданости и параметра облика β приказана је на слици 4.1.2. У случају $\beta = 1$ Weibull-ова расподела прелази у експоненцијалну. У случају $\beta \geq 2$ Weibull-ова расподела се мења у нормалну. Weibull-ова расподела се широко користи због параметра облика и могућности покривања других закона расподеле.

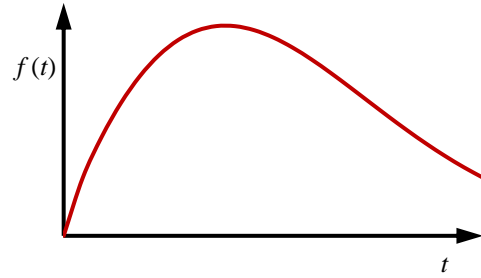


Слика 4.1.2. Зависност функције поузданости $R(t)$ и параметра облика β у времену, Weibull-ова расподела [26]

На сликама 4.1.3. и 4.1.4. приказани су графикони функције интезитета отказа $\lambda(t)$ и густине отказа $f(t)$ у зависности од времена. Ове функције се уопштено могу користити за процену преосталог животног века техничког система.



Слика 4.1.3. Функција интензитета отказа



Слика 4.1.4. Функција густине отказа

Код управљања животним циклусом важно је дефинисати време када технички систем треба заменити новим:

На слици 4.1.1. то је време када интензитет отказа брзо расте (III период). На слици 4.1.2. то је тренутак када функција поузданости $R(t)$ интензивно пада. На основу функције поузданости $R(t)$ одређује се вероватноћа исправног рада за одабрано референтно време. На основу функције интензитета отказа $\lambda(t)$ и слике 4.1.3. одређује се стопа неуспеха. Интензитет отказа расте са временом, односно број кварова са временом непрестано расте. На основу функције густине отказа и слике 4. може се одредити колико отказа треба очекивати у појединим периодима рада. На основу теорије поузданости површина испод функције густине отказа једнака је јединици што одговара отказу од 100%, односно свих елемената. Број елемената чији се отказ очекује у одређеном временском интервалу рада пропорционалан је површини испод криве густине отказа и апцисе у истом интервалу. Средње време до отказа (MTTF) и поузданост су међусобно условљени, представља најједноставнији параметар за упоређивање два техничка система. На основу свеобухватне анализе поузданости тражи се оптимално време када је пожељно заменити постојећу машину новом.

Системски приступ анализи животног циклуса и значај поузданости као полазне основе за процену употребног квалитета и преосталог животног века техничких система обрађени су у претходном поглављу (поглавље 3) овог рада, где су анализирани сви парижални и синтетички показатељи употребног квалитета, са посебним освртом на концепт сигурности функционисања који је концепцијски постављен ISO-IEC стандардима [31] и имплементиран у пракси, са чиме је суштински покривена ова област. Кроз анализу показатеља употребног квалитета у наведеном поглављу приказане су и савремене технике и методе за управљање сигурношћу функционисања, пре свега са аспекта поузданости, али и трошкова животног циклуса, ризика и др. Сходно томе, у овом поглављу модели поузданости нису детаљније анализирани.

Комплексност рударских машина, специфични радни услови и реално велик број критичних места за појаву отказа са потенцијално високим ризиком за функционалну способност машине, безбедност и сигурност људи и опреме, негативан ефекат на радну и животну средину, трошкове и др. указују да процес управљања поузданошћу, одржавањем, логистиком и сигурношћу функционисања треба базирати на ризику, са чиме се доприноси свеукупном употребном квалитету рударских машина.

4.2 Трошковни модели

Карактеристике техничког система, у погледу способности за достизање неопходног употребног квалитета, треба посматрати са становишта трошкова. С' обзиром да се технички систем користи само у једном делу свог животног циклуса, време коришћења техничког система мање је од његовог трајања. Технички век се односи на период у коме технички систем

ради у оквиру пројектованих критеријума и гарантованих капацитета. Економски век трајања техничког система представља период када систем економски оправдано извршава задату функцију циља. Економски век техничког система може да истекне пре његовог техничког века. На одлуку при набавци (куповини) машина, осим кључних критеријума као што су услови и трошкови набавке, перформансе машине и слично, еквивалентан утицај имају очекивани трошкови експлоатације и одржавања машине током њеног животног века [100].

Корисници машина захтевају поуздан производ који безбедно извршава задату функцију циља и лако се одржавају током коришћења. На одлуку при набавци (куповини) машина, осим кључних критеријума као што су услови и трошкови набавке, перформансе машине и слично, значајан утицај имају очекивани трошкови експлоатације и одржавања машине током њеног животног века. Да би се удовољило постављеним захтевима потребно је конструисати машине које имају захтеване особине и конкурентну цену. То се постиже оптимизацијом трошкова набавке и власништва. Процес оптимизације треба да обухвати период од концепције и идејног решења па до отписа машине, како би се узели у обзир сви трошкови који ће настати током њеног животног циклуса.

Трошкови су важан фактор у поузданости, одржавању и сигурности рударске опреме. Процена трошкова рударске опреме, као и сваке друге техничке опреме, од изузетног је значаја за доношење управљачких одлука. На површинским коповима лигнита још увек не постоји опште прихваћена методологија процене трошкова животног циклуса помоћне механизације.

Постоји више модела процене трошкова животног циклуса техничких система заснованих примарно на економским критеријумима.

4.2.1 Модел процене трошкова животног циклуса техничких система према стандарду IEC 300-3-3

За решавање трошковних категорија најчешће је коришћен модел процене трошкова животног циклуса техничких система према стандарду IEC 60300-3-3. Међународна комисија за електротехнику (*IEC – International Electrotechnical Commission*), као светска организација за стандардизацију која обједињује све националне електротехничке комитете, је издала стандард Управљање сигурношћу функционисања (IEC 60300-3-3:1996) [66] којим даје општу концепцију процене трошкова животног циклуса, истичући нарочито трошкове повезане са сигурношћу функционисања техничких система. Национални стандард SRPS EN 60300-3-3:2018 [70] данас је у примени за област менаџмента сигурношћу функционисања и трошкове животног циклуса.

У наставку следи приказ концепције модела процене трошкова животног циклуса техничких система према стандарду IEC 300-3-3, [66], [70]:

Концептом процене трошкова животног циклуса техничких система дате су основне смернице поступка са потребним образложењима која се односе на:

- циљеве процене трошкова животног циклуса;
- фазе животног циклуса и трошкове животног циклуса;
- одређивање времена процене трошкова животног циклуса.

Циљ процене животног циклуса је процена и/или оптимизација трошкова животног циклуса, при чему треба да буду задовољене дефинисане перформансе техничког система, безбедност, поузданост, погодност одржавања и др., ради обезбеђивања потребних информација/инпута за доношење инжењерских одлука у свим фазама животног циклуса техничког система.

За концепт процене животног циклуса важно је познавање фаза животног циклуса, активности које се обављају током одређених фаза, односа између тих активности и карактеристика техничког система (поузданости, погодности одржавања, безбедности и др.) и трошкова повезаних са тим активностима (трошкова животног циклуса).

Основне фазе животног циклуса техничког система су:

- концепт и дефиниција;
- конструкција и развој,
- производња;
- монтирање;
- рад и одржавање;
- отпис(одлагање).

Укупни трошкови који настају током наведених фаза животног циклуса према овом моделу систематизовани су у две основне групе, трошкове набавке и трошкове власништва:

$$T_{\text{животног циклуса}} = T_{\text{набавке}} + T_{\text{власништва}} .$$

Трошкови набавке углавном настају током прве четири фазе животног циклуса и они су брига како произвођача/добављача тако и крајњег корисника. Трошкови набавке се лако могу проценити пре доношења одлуке о набавци техничког система пошто су видљиви.

Трошкови власништва настају током последње три фазе. Иако су ови трошкови основна брига корисника (у овом случају рудника) они постају све више и брига добављача кроз коришћење уговора о пролонгираном типу јемства и других уговорних споразума. Трошкови власништва представљају главну компоненту трошкова животног циклуса и тешко их је предвидети. Висина ових трошкова често превазилази трошкове набавке. Обухватају трошкове повезане са поузданошћу, погодношћу одржавања, логистичке подршке одржавању и безбедношћу. Немогућност предвиђања ових трошкова у првим фазама конструисања, ствара неизвесност и представља ризик у поступку одлучивања.

Анализа трошкова животног циклуса техничког система врши се у свим фазама животног циклуса ради обезбеђивања информација потребних за доношење инжењерских одлука у циљу оптимизације процеса од конструисања, развоја, коришћења па до отписа. Процена трошкова набавке и власништва у раној фази омогућава равнотежу између перформанси, поузданости, погодности одржавања и др. и трошкова животног циклуса техничког система. Одлуке донете у раној фази имају много већи утицај на трошкове животног циклуса од одлука донетих у каснијим фазама животног циклуса техничког система. Одређивање времена процене трошкова животног циклуса је од пресудног значаја за оптимизацију трошкова техничког система и других пратећих трошкова. Процена трошкова животног циклуса може да се врши за цео животно циклус техничког система или само за један његов део.

Сигурност функционисања техничког система представља збирни појам за описивање перформансе расположивости и њених утицајних фактора, као што су поузданост, погодност одржавања и логистичка подршка одржавању. Сигурност функционисања и перформансе које је карактеришу имају значајан утицај на трошкове животног циклуса техничког система. Виши почетни трошкови за резултат имају повећану поузданост и/или погодност одржавања, а самим тим повећану расположивост која ће за резултат имати ниже трошкове одржавања и ниже оперативне трошкове.

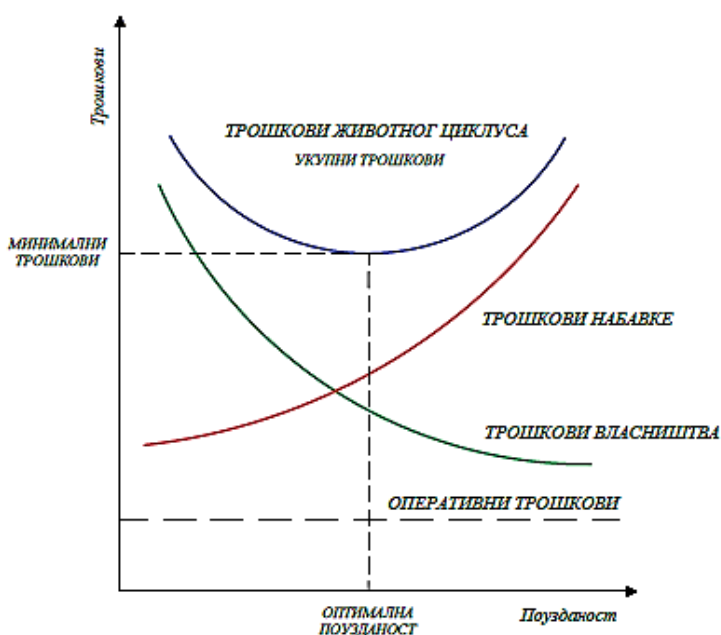
Поузданост, погодност одржавања и други утицајни фактори на сигурност функционисања чине саставни део процеса планирања и процене трошка животног циклуса, које треба критички размотрити у почетним фазама током спецификације техничког система, а након тога треба их у континуитету процењивати ради оптимизације плана конструкције до постизања најниже цене трошкова животног циклуса.

Трошкови који прате перформансе сигурности функционисања, поузданости, погодности одржавања и логистичке подршке одржавању а нису очигледни треба да буду укључени у модел процене трошкова животног циклуса техничког система:

- трошкови нерасположивости (трошкови превентивног одржавања, трошкови корективног одржавања и трошкови губитка функције техничког система током периода његове нерасположивости),
- трошкови јемства и трошкови уговора типа гаранције,
- трошкове заштите.

Познавањем поузданости компоненти и техничког система у целини, балансирањем са иницијалним трошковима и трошковима који настају током експлоатације техничког система, могуће је одредити оптимални ниво поузданости који одговара минималним трошковима животног циклуса техничког система, слика 4.2.1.

Економски посматрано животно циклус техничког система траје све док систем економски оправдано извршава задату функцију циља. Трајање економског и техничког века система не мора бити еквивалентно, може се догодити да економски век буде краћи од техничког. Узроци су различити: застареле перформансе машине, ниска продуктивност, енергетска ефикасност, трошкови експлоатације, трошкови одржавања машине итд. Праћењем трошкова рада и одржавања техничког система обезбеђују се економетријске информације неопходне за оцену економски оправданог животног циклуса, слика 4.2.1 [12].



Слика 4.2.1. Однос трошкова животног циклуса и поузданости, оптимално време за замену техничког система, према IEC 300-3-3, [66]

Одређивање оптималног времена за замену машине је најодговорнији управљачки задатак који треба да буде заснован на здравим економским принципима. Проблем се своди на проналажење оптималног времена када је са техничко-економског становишта пожељно заменити постојећу машину новом.

Са економског аспекта заменом машине пре оптималног рока пропушта се могућност да се без додатних улагања искористе преостале радне могућности машине и пропорционално томе финансијска добит. Заменом машине после оптималног рока повећавају се трошкови производње и нерационално се троше материјална средства. Број отказа је већи, трошкови експлоатације и одржавања убрзано расту. Поверћавају се губици услед застоја у раду.

Увећавају се улагања у машину при чему се не повећавају њене производне могућности [102]. Оптимални животни циклус, односно оптимално време за замену машина достиже када укупни трошкови досежу минимум, слика 4.2.1.

Анализа трошкова животног циклуса представља поступак идентификације и процене трошкова набавке и власништва током животног циклуса техничког система, који треба да се обави на структуриран и документован начин, у следећим етапама [66], [70]:

- *План анализе трошкова животног циклуса* обухвата дефинисање циљева, обима анализе, идентификацију услова, ограничења и могућих алтернатива, обезбеђење извора, редоследа извештавања и доступности резултата анализе;

- *Развој модела трошкова животног циклуса* подразумева идентификовање свих релевантних категорија трошкова по фазама животног циклуса, идентификовање трошкова који немају значајан утицај на укупне трошкове животног циклуса, избор методе за процену трошкова, избор података и идентификацију могућих извора података, идентификацију свих неизвесности процеса, интеграцију појединачних трошкова у обједињени модел трошкова животног циклуса и преглед модела ради обезбеђења његове адекватности за обраду циљева анализе;

- *Анализа модела трошкова животног циклуса* подразумева добијање података и развој процене основних трошкова у моделу, потврду модела трошкова животног циклуса преко доступних историјских података уколико је то могуће, добијање резултата модела за све релевантне сценарије, идентификацију трошка са највећим утицајем на животни циклус техничког система, квантификацију разлика између испитиваних алтернатива, категоризацију и сумирање излаза из модела релевантних за корисника резултата анализе према свакој логичкој групацији и анализу осетљивости и преглед излаза из модела у односу на циљеве анализе;

- *Документација анализе трошкова животног циклуса* треба да садржи кратак извод циљева, резултата, закључака и препорука анализе, извештај о циљу анализе, опис техничког система и радне средине у којој ће се користити, технологију рада и подршке, резиме модела трошкова животног циклуса, анализу модела трошкова животног циклуса, презентацију резултата, интерпретацију резултата анализе, закључке и препоруке анализе;

- *Преглед резултата трошкова животног циклуса* подразумева преглед циљева и обима анализе у циљу обезбеђења одговарајућег приказа и интерпретације, преглед модела ради обезбеђења његове адекватности сврси анализе, преглед процене модела ради исправности коришћења модела и постизање циљева анализе и преглед свих претпоставки које су дате током процеса анализе у циљу обезбеђења њихове исправности и документованости;

- *Ажурирање анализе трошкова животног циклуса* са чиме се одржава актуелност модела трошкова животног циклуса и тако омогућава његово коришћење током целог животног циклуса техничког система.

Неизвесност и ризик при доношењу одлука на бази резултата процене трошкова животног циклуса постоје услед тога што многи фактори битни за одлучивање могу да буду неквантификовани у погледу трошкова. Процене вредности базиране на искуству треба да се користе за израчунавање таквих фактора. У пракси одлуке које се доносе на основу процене трошкова животног циклуса се базирају на квантитативним и квалитативним резултатима. Квантитативни резултати обезбеђују основни правац одлуке, док квалитативне процене пружају подршку препорукама и одлукама.

Валидност резултата процене трошкова животног циклуса зависи од:

- расположивих релевантних информација и њихове употребе у поступку,
- претпоставки датих у моделу везано за технички систем и услове у будућности,
- улазних података у модел процене трошкова животног циклуса техничког система.

4.2.2 Модел процене трошкова власништва и оперативних трошкова машине према Caterpillar-у

Произвођачи опреме, у сарадњи са корисницима исте, развијају посебне методе за процену преосталих могућности опреме и квалитета услуге. Један од водећих светских произвођача рударске и грађевинске опреме је компанија Caterpillar која има развијен метод за процену трошкова власништва и оперативних трошкова опреме коју производи [99]. Овај трошковни модел се најчешће користи због методолошке једноставности и практичности примене.

У наставку следи приказ *Caterpillar*-овог модела процене трошкова власништва и оперативних трошкова опреме и машина [99]:

При коришћењу машина треба успоставити уравнотежен однос између производних ефеката и трошкова како би се постигле оптималне перформансе машине, односно жељена производња уз најниже могуће трошкове. Најчешће коришћен приступ за мерење перформанси машине се изражава односом:

$$\frac{\text{Најнижи могући трошкови по сату}}{\text{Највећа могућа производња по сату}} = \text{Највише перформансе машине.}$$

Трошкови власништва и оперативни трошкови одређене машине могу веома да се разликују услед утицаја многих фактора:

- врста посла на којој је машина ангажована,
- услови радне средине,
- период планираног коришћења,
- локална цена горива и радне снаге,
- трошкови одржавања,
- трошкови испоруке из фабрике,
- каматне стопе итд.

Према овом моделу трошкови животног циклуса машине укључују следеће трошкове:

Укупни трошкови = трошкови власништва + оперативни трошкови + трошкови руковоаца.

Трошкови власништва обухватају:

- трошкове испоруке/набавке машине;
- преосталу вредност код замене машине – после амортизационог периода;
- вредност коју треба обновити кроз рад (разлика између цене испоруке и преостале вредности машине);
- трошкови камата;
- трошкови осигурања;
- трошкови пореза на имовину.

Оперативни трошкови односе се на:

- трошкове горива;
- трошкове превентивног одржавања:*
- трошкове уља, мазива, расхладне течности, филтера и др.;
- трошкове планских сервиса (малог, средњег и великог сервиса), обухватају трошкове резервних делова, потрошног материјала и опреме за обављање сервиса;
- трошкове генералних поправки, обухватају трошкове резервних делова, потрошног материјала и опреме за обављање генералних поправки;

- трошкове рада на превентивном одржавању, обухватају трошкове ангажованог људства за обављање сервиса и генералних поправки;
трошкове корективног одржавања:
- трошкове поправке кварова и застоја изван планираних периода одржавања, обухватају трошкове резервних делова, потрошног материјала и опреме за отклањање кварова;
- трошкове рада на корективном одржавању, обухватају трошкове ангажованог људства за поправке;
- трошкове ходних стројева (пнеуматици, гусеничари),
- остале трошкове (специјалне ставке хабања: сечива/ножева, зуба и др.).

Трошкови руковаоца се односе на:

- трошкове рада руковаоца при управљању машином, обухватају зараду руковаоца и додатне бенефиције по основу рада.

Укупни трошкови животног циклуса машине исказују се по радном сату машине [*валута/moto h*].

Трошкови животног циклуса машине систематизовани *Caterpillar*-овим трошковним моделом могу математички да се изразе на следећи начин:

$$C_t = C_{ow} + C_o + C_{op}, \quad (4.1)$$

где су дате следеће ознаке за трошкове:

- C_{ow} – трошкови власништва (*costs of ownership*),
- C_o – оперативни трошкови (*operational costs*),
- C_{op} – трошкови руковаоца (*operator costs*);
- C_t – укупни трошкови (*total costs*).

Трошкови власништва

Власник машине, у овом случају рударска компанија, ради заштите улагања у машину и обезбеђења њене замене, током периода коришћења мора да поврати износ једнак губитку вредности при продаји машине увећан за остале трошкове власништва, укључујући камате, осигурање и порезе. Потребно је унапред проценити губитак при продаји машине ради надокнаде првобитног улагања и одредити амортизациону стопу у складу са употребом машине. Значајни фактори за процену трошкова власништва су период власништва изражен у годинама, остварени радни сати машине у години и укупан број радних сати које машина оствари током животног века. С' обзиром да се период власништва и радни сати машине могу значајно разликовати, није практично вршити процену трошкова власништва и оперативних трошкова користећи претпостављени период власништва.

Методологија *амортизације* машине се не односи на било каква пореска разматрања већ представља једноставан отпис заснован на очекиваном броју година и сати за коришћење машине. Сходно томе, императив је да се пажљиво размотри избор периода амортизације и да се процена трошкова власништва и оперативног трошка заснива на стварним периодима власништва и радним сатима машине, а не на отпису пореза.

Трошкови испоруке укључују све трошкове инсталирања, транспорта и пуштања у рад на локацији корисника машине, као и све важеће порезе на промет (C_{dp}). У трошкове испоруке машине, поред трошкова стандардно опремљене основне машине, могу бити укључени и трошкови везани за додатну хабајућу опрему (пнеуматици и др.).

Преосталу вредност има било који део/склоп машине приликом њене замене. Неки власници потпуно амортизују своју опрему на нулту вредност, док други препознају значај преостале вредности при препродаји или замени старе за нову машину. Високи трошкови опреме налажу да се приликом куповине опреме узме у обзир и вредност њене потенцијалне препродаје. Вредност потенцијалне препродаје или замене старе за нову машину је кључни фактор при доношењу одлука о куповини, јер представља начин да се смање инвестиције које треба повратити путем трошкова амортизације. Са високом препродајном вредношћу машине могу да се смање трошкови амортизације и укупни трошкови по радном сату машине. Највећи утицај на вредност машине при њеној препродаји или замени старе за нову машину имају следећи фактори: старост машине (године), број остварених радних сати машине до тада, врста посла и услови у којима је машина радила и само физичко стање машине.

Нето преостала вредност од првобитно испоручене цене машине је:

$$C_{rv} = C_{gsp} - (C_c + C_{mr} + C_i), \quad (4.2)$$

где је:

- C_{gsp} – бруто продајна цена (gross selling price),
- C_c – трошкови комисије (commission costs),
- C_{mr} – припремни трошкови (make-ready costs),
- C_i – трошкови инфлације током периода власништва (inflation costs),
- C_{rv} – преостала вредност (residual value).

Вредност коју треба обновити кроз рад представља разлику између цене испоруке и процењене преостале вредности машине (4.2), сведена на укупан број радних сати машине даје јединичне трошкове заштите уложених средстава:

$$C_{vrw} = C_{dp} - C_{rv}, \quad (4.3)$$

где је:

- C_{dp} – цена испоруке (delivery price), [валута];
- C_{rv} – преостала вредност (residual value), [валута];
- C_{vrw} – вредност која се обнавља кроз рад по радном сату машине (value to be recovered through work), [валута/moto h].

Камата се сматра трошком коришћења капитала и обично се заснива на просечном годишњем улагању власника у машину. Камате на капитал који се користи за куповину машине се морају узети у обзира без обзира да ли се машина купује сопственим средствима или из кредита.

Просечна годишња улагања по основу камате на капитал током периода коришћења машине, применом процењене висине каматне стопе и очекиваних радних сати машине на годишњем нивоу, могу се израчунати на следећи начин:

$$C_{int} = \frac{\left(\frac{C_{dp}(n+1) + C_{rv}(n-1)}{2n} \right) \cdot r_{int}}{t}, \quad (4.4)$$

где је:

- n – број година коришћења машине;
- r_{int} – каматна стопа (interest rate), [%];
- t – очекивано годишње време рада машине [moto h/god.];
- C_{dp} – цена испоруке (delivery price), [валута];
- C_{rv} – преостала вредност (residual value), [валута];
- C_{int} – просечни годишњи трошкови камате (interest cost), [валута/moto h].

Трошкови осигурања и пореза на имовину се рачунају на следеће начине:

Када су познати годишњи трошкови осигурања и пореза на имовину, њихове специфичне вредности се исказује преко односа годишњих трошкова и очекиваног броја радних сати на годишњем нивоу [*moto h/god.*].

Када трошкови осигурања и пореза на имовину нису познати, њихове специфичне вредности се добијају применом следећих релација:

$$C_{ins}(C_{pt}) = \frac{\left(\frac{C_{dp}(n+1) + C_{rv}(n-1)}{2n} \right) \cdot r_{ins} (r_{tax})}{t}, \quad (4.5)$$

где је:

r_{ins} – стопа осигурања (*insurance rate*), [%] ;

r_{tax} – пореска стопа (*tax rate*), [%] ;

C_{ins} – специфични трошкови осигурања (*insurance cost*), [*валута/moto h*] ;

C_{pt} – специфични трошкови пореза на имовину (*property tax costs*), [*валута/moto h*] .

Укупни трошкови власништва по радном сату машине добијају се збиром специфичних трошкова по радном сату машине датих по релацијама (4.3), (4.4), (4.5):

$$C_{ow} = C_{rvw} + C_{int} + C_{ins} + C_{pt}, \quad (4.6)$$

где су:

C_{ow} – трошкови власништва (*costs of ownership*), [*валута/moto h*] .

Оперативни трошкови

Процена оперативних трошкова врши се на основу вишегодишњег систематског праћења рада машина, прикупљањем и обрадом реалних података из експлоатације посматраних машина ангажованих на површинским коповима лигнита, или на основу препорука датих од произвођача.

Трошкови горива се одређују на основу стварне потрошње горива измерене током рада машине. Ако подаци из експлоатације о потрошњи горива нису на располагању онда се врши процена потрошње горива по радном сату машине, при различитим факторима њеног оптерећења.

Потрошња горива зависи од начина примене машине, сходно фактору оптерећења мотора. Фактор оптерећења мотора представља тренутно оптерећење мотора у односу на његову максималну способност. Када мотор непрекидно постиже пуну снагу његов фактором оптерећења је 100% а потрошња горива је највећа. Машине које се примењују за земљане радове, што је најчешћа примена помоћне механизације на површинским коповима лигнита, могу у краћим временским интервалима да раде са максималним фактором оптерећења. Машине раде са смањеним фактором оптерећења при кретању у празном ходу, кретању уназад, манервисању, раду на низбрдици и у другим сличним условима.

Процена потрошње горива врши се према препорукама произвођача сходно различитим факторима оптерећења, у зависности од модела машине, врсте посла коју обавља и услова радне средине. Потрошња горива идентичних машина при раду у истим условима може се разликовати од 10% до 12% у зависности од начина руковања истим.

Процена трошкова горива по радном сату машине врши се на следећи начин:

$$C_f = C_{hf} \cdot P_f , \quad (4.7)$$

где је:

C_{hf} – потрошња горива по сату (*Hourly consumption*), [*l/moto h*] ;

P_f – локална јединична цена горива (*unit price*), [*валута/l*] ;

C_f – трошкови горива по сату (*costs of fuel*), [*валута/moto h*] .

Трошкови превентивног одржавања се односе на трошкове уља, мазива, расхладне течности, филтера и других материјала и трошкове планских сервиса и генералних поправки.

Превентивно одржавање подразумева планско одржавање опреме у смислу благовременог откривања и отклањања узрока и евентуалних кварова и одржавања радне способности опреме на задатом нивоу. Активности превентивног одржавања се изводе у планираним временским интервалима и обухватају следеће послове који се фазно одвијају: превентивно оперативно одржавање (периодични прегледи, чишћење, подмазивање, откривање и отклањање слабих места, контролни прегледи и сервиси) и превентивно инвестиционо одржавање (планске поправке). Сервиси помоћне механизације на површинским коповима лигнита се врше после одређеног броја мото часова машине као мали и велики сервис. Временски интервали за сервисно одржавање одређују се по упутству произвођача или сходно искуству рударске компаније са датом опремом и условима њене примене. Превентивним оперативним одржавањем врши се припрема за превентивно инвестиционо одржавање, ради његовог будућег бржег и јефтинијег обављања. Планским поправкама се врше поправке или замене истрошених или дотрајалих делова/склопова машине по утврђеном плану преко мале, средње и велике (генералне) поправке, после одређеног броја мото часова машине. Мале поправке обухватају поправку или замену делова са најкраћим радним веком са чиме се машина доводи у стање техничке исправности у границама дозвољеног одступања. Средње поправке обухватају поправку или замену делова са дужим радним веком, док се великим (генералним) поправкама врши регенерација машине у целини при чему се врши поправка или замена делова/склопова који имају најдужи радни век, са чиме се обнавља радна способност машине и доводи на приближно почетни ниво. Стога је превентивно инвестиционо одржавање најскупље одржавање и не треба да се обавља чешће и у већем обиму од потребног.

Трошкови уља, мазива, расхладних течности, филтера и др. се најчешће приближно одређују према препорукама произвођача услед недостатка измерених података из експлоатације машине. Потрошња мазива, уља, филтера итд. зависи од укупног броја промена мазива и др. материјала, који варира у зависности од квалитета дизел горива, препорученог интервала замене, укупног броја делова које треба сервисирати сходно опреми машине и услова радне средине (неповољни услови, као што је рад у простору са великом концентрацијом прашине, рад у дубоком муљу или води, повећавају потрошњу мазива и до 25%).

Трошкови уља, мазива, расхладних течности, филтера и других материјала по радном сату машине се одређују на основу специфичне потрошње и јединичне локалне цене:

$$C_{lo} = C_{hlo} \cdot P_{lo} , \quad (4.8)$$

где је:

C_{hlo} – потрошња мазива, уља, филтера итд. по сату (*Hourly consumption*), [*l(kom.)/moto h*] ;

P_{lo} – локална јединична цена мазива, уља, филтера итд (*unit price*), [*валута/l(kom.)*] ;

C_{lo} – трошкови мазива, уља, филтера итд. по сату (*costs of lubricants, oils, filters, etc.*) [*валута/moto h*] .

Трошкови планских сервиса обухватају трошкове резервних делова, потрошног материјала и опреме за обављање сервиса и трошкове рада на сервисирању, односно трошкове ангажованог људства за обављање сервиса.

Трошкови генералних поправки обухватају трошкове резервних делова, потрошног материјала и опреме за обављање генералних поправки и трошкове рада на генералним поправкама, односно трошкове ангажованог људства за обављање генералних поправки.

Укупни трошкови превентивног одржавања по радном сату машине добијају се преко следеће релације:

$$C_{pm} = C_{lo} + C_{sps} + C_{ws} + C_{spgr} + C_{wgr} , \quad (4.9)$$

где је:

C_{lo} – трошкови мазива, уља, филтера итд. по сату (*costs of lubricants, oils, filters, etc.*), [валута/мото h] ;

C_{sps} – трошкови резервних делова, потрошног материјала и опреме планских сервиса по сату (*costs of spare parts, consumable materials and equipment of planned services*), [валута/мото h] ;

C_{ws} – трошкови утрошеног времена (радни часови) за сервисирање по сату (*costs of time consumption (work hours) for servicing*), [валута/мото h] ;

C_{spgr} – трошкови резервних делова, потрошног материјала и опреме генералних поправки по сату (*costs of spare parts, consumable materials and equipment of general repair*), [валута/мото h] ;

C_{wgr} – трошкови утрошеног времена (радни часови) за генералне поправке по сату (*costs of time consumption (work hours) for general repairs*), [валута/мото h] ;

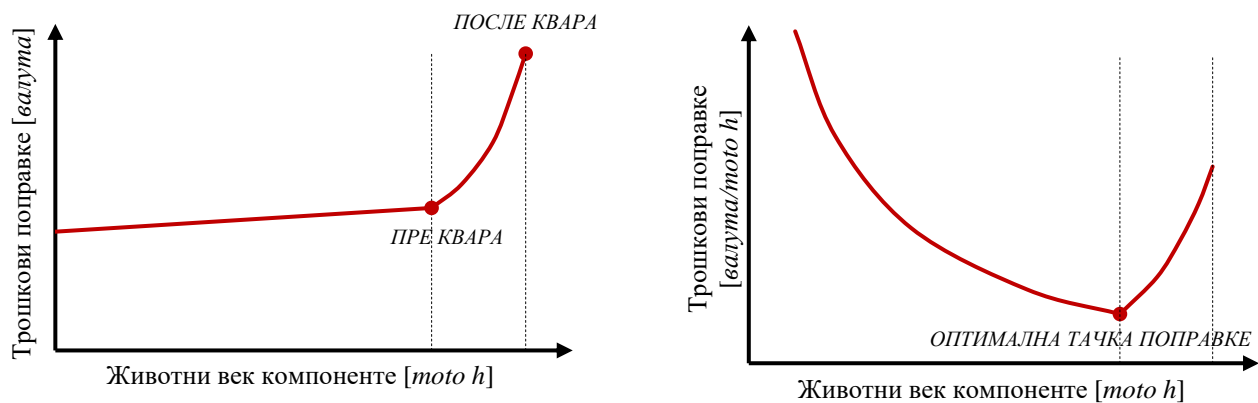
C_{pm} – трошкови превентивног одржавања по сату (*costs of preventive maintenance*), [валута/мото h] .

Трошкови корективног одржавања се односе на трошкове поправке кварова и застоја изван планираних периода одржавања и обухватају трошкове резервних делова, потрошног материјала и опреме за отклањање кварова и трошкове рада на корективном одржавању, односно трошкове ангажованог људства за поправке.

Корективно одржавање подразумева поправке изненадних кварова услед којих је опрема у отказу, због неадекватног превентивног одржавања, пропуста у раду и других разлога. Овим активностима опрема се из стања отказа доводи у стање рада. Корективним одржавањем се омогућава максимално искоришћење радног века саставних компоненти опреме.

Трошкови поправке су често највећи појединачни трошкови у оквиру оперативних трошкова. На трошкове поправке утичу следећи фактори: примена машине, услови рада, период власништва, животни век компоненти, адекватно превентивно одржавање и старост машине. Трошкови поправке по радном сату машине се најбоље могу утврдити на основу искуства о трошковима сличних машина и њихових примена у сличним условима радне средине. Како су трошкови поправке у почетку ниски и са временом постепено расту, већина корисника опреме користи просечне трошкове поправке у циљу стварања додатних почетних средстава резервисаних за покривање будућих већих трошкова. Процена трошкова поправке може се вршити и по препорукама произвођача за конкретну машину.

Највећи утицај на трошкове поправке имају они фактори који утичу на животни век главних компоненти машине. На трошкове поправке значајно утиче тренутак када је поправка извршена, пре или после квара-отказа. Трошкови поправке која се изврши пре отказа главне компоненте могу да износе само једну трећину од трошкова оправке након њеног отказа, уз умерено скраћење животног века компоненте (слика 4.2.2.1).



Слика 4.2.2.1. Зависност трошкова поправке од тренутка њеног извршења [99]

Од виталног значаја за одређивање оптималног тренутка поправке имају превентивно одржавање, дијагностика, прегледи, контрола, индикатори одржавања и опажања руковоаца. Одређивањем оптималног тренутка поправке квара постижу се нижи трошкови поправке по радном сату машине.

Укупни трошкови корективног одржавања (поправки) по радном сату машине добијају се преко следеће релације:

$$C_{cm} = C_{spr} + C_{wr}, \quad (4.10)$$

где је:

C_{spr} – трошкови резервних делова, потрошног материјала и опреме за поправке по сату (*costs of spare parts, consumable materials and equipment for repairs*), [валута/moto h] ;

C_{wr} – трошкови утрошеног времена (радни часови) за поправке по сату (*costs of time consumption (work hours) for repairs*), [валута/moto h] ;

C_{cm} – трошкови корективног одржавања по сату (*costs of corrective maintenance*), [валута/moto h] .

Укупни трошкови одржавања (трошкови превентивног и корективног одржавања) добијају се збиром специфичних трошкова по радном сату машине датих по релацијама (4.9) и (4.10):

$$C_{pct} = C_{pm} + C_{cm} = C_{lo} + C_{sps} + C_{ws} + C_{spgr} + C_{wgr} + C_{spr} + C_{wr}, \quad (4.11)$$

где је:

C_{pct} – трошкови превентивног и корективног одржавања по сату (*costs of preventive and corrective maintenance*), [валута/moto h] .

Трошкови ходних стројева (пнеуматици, гусеничари) се односе на трошкове замене гума или гусеничног механизма.

Процена трошкова замене пнеуматика (гума) је једна од најтежих процена трошкова због утицаја многих фактора на животни век гуме: хабање гума услед абразије, влажност тла и удео тврдих, угластих или оштрих честица, превремено оштећење гума услед цепања, удара, преоптерећења, немогућности поправке и др. Најбоља процена трошкова замене гума се добија на основу искуства корисника машине и реалне цене коју он плаћа за њихову замену. Када искуство са пнеуматичима није на располагању користе се препоруке/методе произвођача за процену животног века гума. Просечни животни век гума се добија тако што се просечно трајање гуме, дато преко времена или пређеног пута, помножи са корективним факторима. Регенерацијом гума умањују се трошкови њихове замене.

Трошкови замене пнеуматика се могу изразити на следећи начин:

$$C_{rt} = P_t / t_t, \quad (4.12)$$

где је:

P_t – цена гуме (*price tire*), [валута] ;

t_t – просечни животни век гуме, [moto h] ;

C_{rt} – трошкови замене гума по сату (*costs of replacement tires*), [валута/moto h].

Трошкови ходног гусеничног механизма представљају значајан део оперативних трошкова код машина са гусеницама. Висина ових трошкова може да варира независно од основне машине, сходно интезитету хабања гусеничног механизма зависно од абразивности радне средине, проходности, влажности тла и удела тврдих, угластих или оштрих честица, ефеката удара (савијања, пуцања, испадања, превртања и др.). Трошкови ходног гусеничног механизма по радном сату машине се због тога не укључују у трошкове поправке основне машине, већ се рачунају одвојено као хабајућа компонента.

На животни век ходног гусеничног механизма највећи утицај имају следећи фактори: ефекат удара, ефекат абразивности и комбиновани ефекат фактора "Z" који се односи на питања животне средину, врсте терена, рада, руковања и одржавања машине.

Процена трошкова ходног гусеничног механизма се врши по препоруци произвођача за различите гусеничне машине, на бази основног фактора гусеничног механизма и више мултипликатора/фактора услова (удар, абразивност, "Z" фактор), сходно очекиваним условима рада машине:

$$C_{uc} = (f_I + f_A + f_Z) \cdot f_B, \quad (4.13)$$

где је:

f_I – фактор удара (*impact factor*) ,

f_A – фактор абразивности (*abrasiveness factor*) ,

f_Z – комбиновани "Z" фактор (*"Z" factor*) ,

f_B – основни фактор ходног механизма (*basic factor*) ,

C_{uc} – трошкови ходног строја на гусеницама (*costs undercarriage*), [валута/moto h] .

Трошкови специјалних ставки хабања обухватају трошкове свих хабајућих делова: сечива/ножеви, зуби кашике, врхови рипера, глодалице, штитници и др. Ови трошкови укључују и трошкове заваривања на носачима и конзолама. Ови трошкови се веома разликују у зависности од примене, технологије и материјала у коме машина ради.

Процена трошкова специјалних ставки хабања се врши по препоруци произвођача за процену животног века хабајућих делова за конкретне услове рада машине. На основу познавања радних задатака и сходно томе потребне опреме машине, претпоставља се процентуално време коришћења сваког дела изложеног хабању у односу на укупно време рада машине. На основу процене животног века и процентуалног времена коришћења сваког хабајућег дела одређује се временски интервал њихове замене:

$$t_{ri(k)} = \frac{T_{el(k)}}{\frac{p_{tw(k)}}{100}}, \quad k = 1, \dots, n; \quad (4.14)$$

Процена трошкова хабајућих делова, применом локалних цена сваке ставке, врши се на следећи начин:

$$C_{swi} = \sum_{k=1}^n C_{swi(k)} = \sum_{k=1}^n \frac{m_k \cdot P_{i(k)}}{t_{ri(k)}}, \quad (4.15)$$

где је:

- T_{el} – процењен животни век хабајућег дела (*estimated lifetime*), [moto h] ;
- p_{tw} – процентуално време употребе хабајућег дела од укупног времена рада машине (*percentage of total working time*), [%] ;
- t_{ri} – процењени интервал замене хабајућег дела (*replacement interval*), [moto h] ;
- n – број хабајућих делова ;
- m – број ставки хабајућег дела ;
- P_i – цена ставки (*price items*), [валута] ;
- C_{swi} – трошкови специјалних ставки хабања по радном сату машине (*cost of special wear items*), [валута/moto h] .

Укупни оперативни трошкови по радном сату машине добијају се сабирањем ставки датих релацијама (4.7), (4.11), (4.12) или (4.13) и (4.15):

$$C_o = C_f + C_{pcm} + C_{rt} (C_{uc}) + C_{swi}, \quad (4.16)$$

односно, укупни оперативни трошкови по радном сату машине, сходно релацијама (4.7), (4.9), (4.10), (4.12), (4.13) и (4.15) су:

$$C_o = C_f + C_{lo} + C_{sps} + C_{ws} + C_{spgr} + C_{wgr} + C_{spr} + C_{wr} + C_{rt} (C_{uc}) + C_{swi}, \quad (4.17)$$

где је:

- C_o – оперативни трошкови по сату (*operational costs*), [валута/moto h] .

Трошкови руковаоца

Трошкови руковаоца се односе на трошкове рада руковаоца при управљању машином. Процена трошкова руковаоца се врши на основу локалних зарада, укључујући и трошкове додатних бенефиција по основу рада:

$$C_{op} = C_{hw} + C_{fb}, \quad (4.18)$$

где је:

- C_{hw} – зарада руковаоца по сату (*hourly wage*), [валута/h] ;
- C_{fb} – додатне бенефиције по сату (*fringe benefits*), [валута/h] ;
- C_{op} – трошкови руковаоца по радном сату машине (*operator costs*), [валута/moto h] .

Укупни трошкови

Укупни трошкови власништва, оперативни трошкови и трошкови руковаоца систематизовани *Caterpillar*-овим трошковним моделом се сабирају, са чиме се добија детаљна процена трошкова по радном сату машине.

Укупни трошкови власништва и рада добијају се сабирањем ставки (4.6), (4.16) и (4.18):

$$C_t = C_{ow} + C_o + C_{op}, \quad (4.19)$$

односно,

$$C_t = C_{vrw} + C_{int} + C_{ins} + C_{pt} + C_f + C_{lo} + C_{sps} + C_{ws} + C_{spgr} + C_{wgr} + C_{spr} + C_{wr} + C_{rt}(C_{uc}) + C_{swi} + C_{hw} + C_{fb},$$

где је: (4.20)

C_t – укупни трошкови по радном сату машине (*total costs*), [валута/moto h].

5 АНАЛИЗА ТРЕНУТНОГ СТАЊА ПОМОЋНЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА ЛИГНИТА

Експлоатација лигнита у Републици Србији се врши на површинским коповима рударских басена „Колубара” и „Костолац”. У овим угљеним басенима годишње се произведе око 40 милиона тона лигнита годишње и око 100 милиона m³ отквивке. Од угља који се користи у термоелектранама ЈП Електропривреде Србије добија се око 70% електричне енергије. Рударски басен „Колубара” производи око 75% лигнита у Републици Србији и чини окосницу термоенергетске производње ЈП Електропривреде Србије.

На површинским коповима лигнита основни технолошки процеси се врше системима континуалног дејства великог јединичног капацитета:

- откопавање, транспорт и одлагање отквивке и међуслојне јаловине врши се БТО системима,
- откопавање, транспорт, дробљење или утовар угља врши се БТД или БТУ системима.

Основну опрему површинских копова лигнита чине роторни багери, системи транспортера са гуменом траком, одлагачи, претоварне машине, депонијске машине, постројења за припрему угља и др. Стабилан рад основне опреме може се постићи само ако се обезбеде бројни предуслови, што захтева благовремено обављање потребних помоћних радова. Уколико овај услов није испуњен рад основне опреме је значајно отежан, што за последицу има пад временског и капацитативног искоришћења и степена безбедности запослених радника и опреме.

5.1 Класификација помоћних радова и примењена помоћна механизација на површинским коповима лигнита

Радови које је потребно обавити у циљу обезбеђивања стабилног рада основне опреме на површинским коповима лигнита називају се помоћни радови. Под помоћним радовима подразумева се извођење бројних и разноврсних радова као што су: планирање етажних равни, померање, преношење и продужавање транспортера са гуменом траком, текуће и инвестиционо одржавање опреме, израда и одржавање приступних путева, траса за транспорт основне опреме, израда платоа, рампи, насипа, усека, засека, канала, водосабирника и дренажних ровова за одводњавање површинских копова, радови на техничкој рекултацији одлагалишних површина, измештање и регулација водених токова итд.

Помоћни радова на површинским коповима лигнита могу се ефикасно обавити само са специјалним машинама које се у рударској терминологији називају помоћна механизација. Појам „помоћна механизација” треба условно прихватити, с' обзиром на улогу и значај ових машина у остваривању планиране производње на површинским коповима лигнита. Томе у прилог иде и чињеница да ове машине за многе површинске копове мањих капацитета представљају основну механизацију. Такође, многа грађевинска предузећа ове машине користе као основну опрему. Евидентно је да се овој механизацији мора посветити потребна пажња.

Машине помоћне механизације раде у специфичним и изузетно тешким условима радне средине на површинским коповима лигнита услед променљивих климатских услове, раслојених лежишта слабих физичко-механичких карактеристика и велике заводњености фитолошких чланова због близине рудника великим речним токовима. Ове машине раде у изузетно променљивим режимима рада, са честим променама правца, смера, брзине кретања и оптерећења због чега је њихов радни век релативно кратак. За обављање ових радова користе

се машине различите врсте, типова и старости, а самим тим и различите поузданости и сигурности функционисања, односно различитог нивоа употребног квалитета.

Помоћну механизацију површинских копова лигнита чине следеће машине: дозери, утоварачи, цевополагачи, хидраулични багери, грејдери, скрепери, ваљци, дизалице, механизација за помоћни транспотр унутар рудника (камиони, возила за превоз људи, цистерне, противпожарна кола итд.) и друге машине сличне намене.

Маchine помоћне механизације се веома разликују по намени и техничким карактеристикама. Неке машина имају широку област примене и универзалнијег су карактера. Дозери су прави пример вишенаменске употребе. Најважније су и најзатупљеније машине по врсти и обиму помоћних радова који се њима могу успешно обављати, а самим тим и најоптерећеније машине помоћне механизације на површинским коповима лигнита. Неке машине помоћне механизације су уско специјализоване за одређену врсту послова, као што су дизалице, грејдери, скрепери, ваљци, машине за бушење и др.

У табели 5.1.1 дата је класификација помоћних радова и преглед машина помоћне механизација за обављање тих радова према [103].

Табела 5.1.1. Класификација помоћних радова и машине за обављање помоћних радова [103]

ОСНОВНЕ ГРУПЕ И ПОДГРУПЕ ПОМОЋНИХ РАДОВА		ЕЛЕМЕНТИ ПОМОЋНИХ РАДОВА	ПРИМЕЊЕНА ПОМОЋНА МЕХАНИЗАЦИЈА
Претходни радови	Припрема копа за отварање	Израда усека отварања, израда монтажних плацева, изградња насеља, монтажа машина.	Дреглајни, дозери, ваљци, дизалице, дерик-кранови.
	Чишћење површине терена испред копа	Рушење и уклањање грађевинских објеката, сеча шума и вађење пањева, уклањање ниског растиња.	Хидраулични багери, утоварачи, дозери, камиони.
	Припрема одводњавања	Регулација водотокова, израда усека одводњавања, израда водонепропусних екрана, постављање цеви, израда филтерских бунара.	Дреглајни, дозери, хидраулични багери, цевополагачи, машине за бушење.
	Бушење и минирање	Бушење бунара, истаражних и минских бушотина и пуњење минских рупа експлозивом.	Маchine за бушење и пуњење експлозивом.
Пратећи радови	Путно-колосечни	Изградња и одржавање путева померљивих и преносивих, стабилизација тла на етажама, померање и регулисање транспортера, продужавање и скраћивање транспортера, премештање електро напајања, превлачење елемента конструкције и објеката.	Маchine за полагање путног застора, машине за стабилизацију тла (ваљци), цевополагачи са главом за померање, дозери.
	Земљани	Нивелисање терена откопних и одлагалишних етажа (израда планума), чишћење кровине угља, обликовање косина копа и одлагалишта, растресање (риповање) терена, копање канала, рупа за анкере, пропусте, водосабирника, утовар материјала.	Багери са једним радним елементом (дреглајни), дозери са рипером, скрепери, грејдери, хидраулични багери.
	Дизалични	Складиштење, претовар материјала, демонтажа и монтажа машина.	Виљушкарни, мосни кранови, дизалице, монтажни кранови, цевополагачи.
	Транспортни	Превоз људи, машина, материјала, горива и воде, делова конструкција.	Теренски аутомобили, доставна, ватрогасна возила, цистерне за воду и гориво, трактори, камиони, плато кола.

	Ремонтно-конзервацијски	Замена механичких и електро делова багера, одлагача и транспортера, вулканизација трака, подмазивање и замена уља у оквиру текућих ремонта, сервиса и инвестиционих поправки.	Уређаји за замену кашика, ваљака и ланаца, пресе за вулканизацију, покретне радионице, апарати за заваривање, генератори, компресори, контејнери, дизалице, цевополагачи, транспортна средства.
	Чишћење и обезбеђење	Чишћење пресипних места, одстрањивање отпадака, загревање (одмрзавање), постављање ограда, уклањање снега.	Утоварачи, специјални чистачи (њигери) или трактори са телескопским уређајем, уређаји за одмрзавање, грејдери, машине за чишћење путева.
Накнадни радови	Техничка рекултивација	Равнање површина одлагалишта, обликовање косина, израда канала, приступних путева.	Дозери, дреглајни, хидраулични багери.
Услужни радови	Техничка инфраструктура	Припрема терена за расељавање, израда путева, водоводних и електричних водова, пресељење објеката, снабдевање водом и др.	Дозери, грејдери, ваљци, хидраулични багери, утоварачи, транспортна средства.

Захтеви који се постављају пред ове машине за рад у овако тешким и специфичним условима радне средине подразумевају поседовање одређених особина као што су маневарска способност, мобилност, стабилност машине у кретању и раду и проходност машине. Од ових особина у највећој мери зависи ефективан рад помоћне механизације. Маневарска способност подразумева могућност рада и кретања машине на ограниченом простору, савлађивање малих радијуса кривина и окретање у месту. Мобилност је особина машине одређена брзином кретања, радном и транспортном проходношћу и стабилношћу, габаритима и другим параметрима. Стабилност представља способност машине за рад и транспорт на површинама са одређеним нагибима - успонима или падовима, без опасности од превртања. Проходност подразумева способност машине за савлађивање разних неправилности на терену, кретање по влажним и растреситим подлогама, савлађивање водених препрека до одређеног нивоа и др.

Машине помоћне механизације и њихова примена на површинским коповима лигнита дате су у следећем прилагођеном прегледу према [103]:

Дозери – Примењују се за обављање следећих радова: израда планума за транспорт роторних багера и одлагача, чишћење планума у зони дејства роторног точка при раду роторног багера, разбијање формираних "венаца" одложеног материјала дуж горње ивице одлагалишта, копање, гурање и сабијање меких стенских материјала, планирање траса за саобраћајнице (путеве, пруге, транспортере са гуменом траком), израда рампи, усека, засека, обрада косина, чишћење етажа и транспортних путева, израда монтажних платоа, планирање одлагалишних равни у процесу техничке рекултивације деградираних површина, вуча погонских, повратних станица, клизног воза и утоварних колица при померању транспортера са гуменом траком, вуча вулканизерских кућица, трафо станица, риповање угља и чвршћих стена, вађење пањева, рушење разних објеката и други радови.

Цевополагачи – Примењују се за обављање следећих радова: померање транспортера, монтажа и демонтажа транспортера, нивелација транспортера, дизалични радови, утовар, истовар, постављање цеви, монтажни радови, пренос и вуча различитих конструкционих елемената и други радови.

Хидраулични багери – Примењују се за обављање следећих радова: израда и одржавање ободних и етажних канала за одводњавање, израда дренажних канала, откопавање и утовар разног материјала, чишћење око погонских станица, повратних станица и дуж транспортера са гуменом траком, монтажа транспортера са гуменом траком, израда/ископавање удубљења

за постављање анкера и електричних стубова, припремни радови испред фронта напредовања површинских копова, рушење разних објеката, вађење пањева и слично.

Утоваривачи – Примењују се за обављање следећих радова: откопавање и утовар различитих материјала у меком и растреситом стању, чишћење терена око погонских и повратних станица транспортера са гуменом траком, чишћење терена испред фронта напредовања површинских копова, подешавање понтона приликом померања транспортера са гуменом траком, чишћење етажних равни и утовар отпадног материјала после извршених сервиса и инвестиционих оправки основне механизације и други радови.

Грејдери – Примењују се за обављање следећих радова: изградња и одржавање прилазних путева, израда и чишћење канала за одводњавање површинских копова, планирање монтажних платоа, фино планирање трасе транспортера са гуменом траком у зависности од временских услова, планирање минор и мајор корита при измештању речних токова, чишћење снега у зимским условима и други радови.

Ваљци – Примењују се за обављање следећих радова: компактирање терена приликом израде плацева за монтажу и ремонте - инвестиционе оправке, компактирање материјала у насипима и новим речним коритима при измештању водотокова, одржавање путева и други радови.

Чистачи транспортера са гуменом траком – Примењују се за чишћење просутог материјала дуж транспортера са гуменом траком.

Машине за бушење бунара (бушаће машине) - Примењују се за обављање следећих радова: израда истражних геолошких структурних, хидрогеолошких и геомеханичких бушотина, дренажних бунара за одводњавање површинских копова, бунара за водоснабдевање, пијезометарских бунара, минских бушотина, радова за потребе геофизичких и геомеханичких истраживања и радова сличне намене.

Камиони кипери – Примењују се за превоз сипког грађевинског материјала и резервних делова за потребе одржавања основне и помоћне механизације.

Камиони са краном – Примењују се за утовар, превоз и истовар резервних делова, конструкционих елемената и склопова мањих димензија за потребе одржавања опреме површинских копова и других терета масе до 5 тона.

Цистерне – Примењују се за превоз течних материјала, односно за снабдевање површинских копова пијаћом и техничком водом, горивом и других течности.

Дизалице – Примењују се за утовар, истовар и монтажно-демонтажне радове за потребе одржавања основне и помоћне механизације.

Тенска возила – Примењују се за помоћни транспотр унутар површинског копа.

Плато кола – Примењују се за транспорт резервних делова већих димензија и маса до 40 тона, за превоз помоћних машина и друге послове.

Доставна возила – Примењују се за транспорт потрошног материјала и елемената масе до 2 тоне.

Виљушкари – Примењују се за утовар и истовар разних материјала и конструктивних елемената у радионицама и на магацинским плацевима.

Најчешће ангажоване машине помоћне механизације на површинским коповима лигнита су дозери, цевополагачи, хидраулични багери, утоварачи и грејдери, које се као машинаме тешке помоћне механизације.

5.2 Тренутно стање помоћне механизације на површинским коповима лигнита у Републици Србији

На површинским коповима ЈП Електропривреде Србије ангажовано је преко 330 тешких машина и 460 возила. Вредност ове опреме је преко 120 милиона евра. Животни век помоћних машина је од 5 до 10 година, што подразумева да је током животног века површинског копа неопходно неколико пута заменити ове машине. Трошкови набавке и рада помоћних машина су релативно високи, чине 13% до 18% вредности укупних трошковима, при чему једну тону угља оптерећују са око 1,5 - 2 €. Капацитетивно и временско искоиришћење БТО система је око 40%. Највећи утицај на ове параметре рада има правилно коришћење и експлоатационо вођење помоћне механизације чија је расположивост 50-60%. Основни циљ при управљању помоћном механизацијом на површинским коповима лигнита у нашој земљи је подизање искоришћења рударске механизације на ниво рудника угља у централној Европи [7].

У колубарском рударском басену ангажовано је преко 200 машина тешке механизације које су 2017. године оствариле преко 290.000 ефективних мото сати, и преко 330 возила која су остварила 5.320.000 километара. У костолачком басену ангажовано је преко 100 машина тешке механизације које су 2017. године оствариле 72.000 ефективних мото сати и преко 120 возила која су прешло 1.430.000 километара. У табели 5.2.1 дате су основне радне карактеристике и просечни трошкови тешке помоћне механизације ЈП Електропривреде Србије за колубарски и костолачки басен, приказани прилагођен према [7].

Табела 5.2.1. Основне радне карактеристике и просечни трошкови тешке помоћне механизације ЈП Електропривреда Србије, приказ прилагођен према [7]

МАШИНА	ПРОСЕЧНО ВРЕМЕ РАДА [mh]		ПРОСЕЧНА СТАРОСТ [год.]		ГОДИШЊЕ ВРЕМЕ РАДА [mh]		ПРОСЕЧНИ ТРОШКОВИ [€/mh]
	Колубара	Костолац	Колубара	Костолац	Колубара	Костолац	Колубара
Дозери (снажни)	25.949	14.330	10,9	9,5	3.184	1.823	63,75
Дозери (веома снажни)							95,12
Цевополагачи и померачи	14.014	10.712	9,9	9,5	1.765	1.195	71,17
Утоваривачи точкаши	10.589	5.869	12,8	10	889	680	53,33
Утоваривачи гусеничари	6.985	10.686	7,4	14	756	770	44,92
Хидраулички багери гусеничари	10.122	8.100	5,1	8,5	3.069	1.290	36,10
Хидраулички багери точкаши	12.175	1.500	11	2	1.247	750	37,27
Специјалне хидрауличке машине	8.214	3.545	19,3	8	484	385	104,24
Грејдери	11.405		17		646		53,72

Ваљци	3.893		16		296		48,47
Дизалице	7.455*	9.700	12,8	11,3	497*	880	78,91
Виљушкари	5.810	1.752	13,3	6,8	375	198	25,09
Комбиноване скип машине	8.009	11.056	8,8	7,5	1.033	1.534	40,01

*Просечно радно време дизалица за првих 6 месеци 2017. године

У табели 5.2.2 су дате основне радне карактеристике возила помоћне механизације ЈП Електропривреде Србије за колубарски и костолачки басен, приказ прилагођен према [7].

Табела 5.2.2. Основне радне карактеристике и просечни трошкови возила помоћне механизације ЈП Електропривреда Србије, приказ прилагођен према [7]

МАШИНА	ПРОСЕЧНО ВРЕМЕ РАДА [mh]		ПРОСЕЧНА СТАРОСТ [год.]		ГОДИШЊЕ ВРЕМЕ РАДА [mh]		ПРОСЕЧНИ ТРОШКОВИ [€/mh]
	Колубара	Костолац	Колубара	Костолац	Колубара	Костолац	Колубара
Теренска возила за превоз	116.600*	113.222	6,3	4,2	23.969*	26.998	21.71
Камиони за масован превоз	133.900*	167.471	9,5	6,9	22.680*	22.540	15.27
Камиони кипери	105.700*		13,2		16.037*		27.26
Доставна возила	89.075*	80.229	20,3	3,2	12.725*	24.140	22.8
Цистерне за воду	134.089*	266.015	7	9,3	20.764*	30.428	25.13
Цистерне за гориво (и мазиво)	109.900*	134.832	7,2	8	15.651*	18.950	23.03
Санитети	100.868*	28.420	8,5	3,5	14.450*	6.667	14,41
Камиони, тегљачи	56.083*		13,1		6.692*		37.04
Трактори		8.957		7,9		905	37.04
Мини бус	192.627*		9,7		21.515*		22,75
Кранска возила	107.860*	645	8,9	0	17.505*	645	23.53
Специјална и сервисна возила		159.008		6		28.860	

* 01.01.2010. – 30.06.2017.

Помоћна механизација на нашим површинским коповима лигнита данас је у прилично лошем стању. Просечна старост машина је до 10 година. Организација рада и одржавања не задовољавају реалне потребе, што се огледа у релативно великом броју запослених радника на овим пословима (преко 1700 радника), кашњењу са набавком резервних делова и др. Последице отказа машина се негативно економски одражавају кроз губитке у производњи, трошкове поправке и евентуалне губитке настале обустављањем рада других машина у условљеном технолошком ланцу на руднику. Услед тога смањена је расположивост ових машина, а трошкови поседовања и експлоатације су доста високи, као последица неблаговремене замене машина и неадекватне организације и одржавања.

Истраживањем економских показатеља рада (трошкова одржавања и експлоатације, оствареног прихода и годишње добити) на групи од 21 дозера који су били у експлоатацији од 8 до 11 година на површинским коповима рударског басена „Колубара” (осам дозера *Stalowa wola* - TD25H, шест дозера *Liebherr* - PR 752 (PR 754) и седам дозера *Caterpillar* - D8R), анализом сваке машине појединачно добијени су резултати који су указали на следеће [15]:

Дозери типа *Stalowa wola* - TD25H у првих седам година радили су економски оправдано, просечно су остварили око 21.000 мото часова. Дозери типа *Liebherr* - PR 752 (PR 754) у првих пет година радили су економски оправдано, просечно су остварили око 17.500 мото часова. Дозери типа *Caterpillar* - D8R у првих шест година радили су економски оправдано, просечно су остварили око 19.000 мото часова. Наставком рада после економски оправданог времена, рад ових машина је праћен са повећањем укупних трошкова услед већег броја отказа, смањења времена рада (ресурса машине) и прихода, повећања потрошње горива по моточасу, односно повећања трошкова одржавања и експлоатације, при чему је остварен негативан економски ефекат (губитак). Анализа економских параметара рада посматраних дозера показала је следеће: Није извршена благовремена замена машина. Одређена књиговодствена амортизациона стопа од 8,14% је ниска и не обезбеђује средства за набавку нове машине. Високи су трошкови радне снаге на одржавању. Нерационално су високи трошкови режије. Недостају подаци о трошковима радних сати утрошених за сервисе, оправке и генералне оправке при вођењу евиденције о раду и одржавању ових машина (прорачунати су на основу броја извршених сервиса и оправки и усвојених вредности утрошених сати, на основу искуства и литературе, ови трошкови у укупним трошковима рада учествују са 7%, односно 35% у трошковима одржавања). На нашим површинским коповима још увек није организовано адекватно праћење параметара рада, одржавања, обраде релевантних података из експлоатације и праћење промена економских показатеља рада помоћне механизације, што за последицу има субјективност при доношењу одлука везаних за експлоатацију ових машина. Резултати овог истраживања су указали на следеће закључке: површинске копове лигнита неопходно је опремити савременим информационим системима за ажурно праћење рада и одржавања помоћне механизације, очекиваних отказа и последица истих, утврђивање превентивних мера, праћење промена, процену трошкова и других параметара; неопходно је оптимизовати процес управљања помоћном механизацијом за конкретне услове радне средине у рударском басену „Колубара” у циљу обезбеђивања економичног пословања [15].

Правилан избор по врсти и техничким карактеристикама машине сходно условима радне средине, ангажовање довољног броја машина за обављање планираних радова, техничка исправност и правилно коришћење, године старости и укупан број остварених часова рада, спровођење планског одржавања, одговарајуће техничке дијагностике и других мера значајно утичу на ефективност рада помоћне механизације на површинским коповима лигнита.

На основу извршене анализе стања помоћне механизације на површинским коповима лигнита подизање нивоа расположивости и економичности рада може се постићи оптимизацијом начина одржавања и експлоатације са аспекта трошкова и сигурности рада машине. Побољшања и уштеде могу се остварити кроз следеће активности [7]:

- Правовремена замена машина и возила помоћне механизације;

- Коришћење доказаних и квалитетних машина (што унифициранијих);
- Унапређење система одржавања;
- Коришћење агрегатне замене виталних склопова уз замену старо за ново;
- Иновирање и унапређење начина коришћења машина;
- Промена организације рада [7].

Предузимањем ових мера повећаће се коефицијент временског и капацитативног искоришћења, смањиће се трошкови експлоатације и одржавања машина, повећаће се обим помоћних радова и омогућити предуслови за максимално искоришћење БТО и БТД система. При набавци нових машина треба захтевати да буду опремљене модулима за праћење основних параметара рада и одржавања и софтверима. Имајући у виду позитивна искуства са информаионим системом који је уведен на површинском копу Дрмно, потребно је увести јединствен систем за управљање радом помоћне механизације на површинским коповима ЈП Електропривреде Србије [7].

5.3 Рударска опрема у свету данас – захтеви и трендови

Данас се у рударству користе различите врсте сложене опреме чије су перформансе поузданости, погодности одржавања, сигурности функционисања и други показатељи употребног квалитета постали важно питање. У производњу различитих врста рударске опреме улажу се велика материјална средства. Условљене глобалном економијом и конкуренцијом рударске компаније су приморане на модернизацију пословања, механизације и аутоматизације. Сходно томе рударска опрема постаје све сложенија и софистициранија док се трошкови убрзано повећавају. Питањима безбедности рударске опреме посвећује се све више пажње. Рударске компаније да би испуниле производне циљеве и постављене рокове захтевају опрему што вишег нивоа употребног квалитета. Инжењеринг поузданости је добро развијена дисциплина која се проширила и на специјализована подручја као што су поузданост софтвера, механичка поузданост и људска поузданост.

Глобалним захтевима пословања познати произвођачи дисконтинуалне механизације *Komatsu* и *Caterpillar* одговорили су развојем сопствених система сателитског праћења опреме (*Komtrax* [104] и *Product link* [105]). Систем се базира на бежичном (*wireless*) мониторингу опреме-система који даје брз и једноставан приступ информацијама неопходним за доношење одлука на основу базних података и информација о машинама. Организован је тако да се информације добијају повезивањем рачунара или мобилног телефона на платформу. Програм даје тачне и детаљне информације о томе како је машина коришћена, са могућношћу идентификовања потенцијалних проблема пре него што до њих дође.

6 МАТЕМАТИЧКИ СИНТЕЗНИ МОДЕЛИ ПРОЦЕНЕ УПОТРЕБНОГ КВАЛИТЕТА РУДАРСКИХ МАШИНА – ЕКСПЕРТСКИ МОДЕЛИ

Савремени менаџмент захтева максимално квалитетно и ефикасно оперативно одлучивање. Одлучивање подразумева формирање субјективног става према алтернативним решењима проблема од стране доносиоца одлуке, због чега је субјективност неизбежни део процеса оцењивања и избора алтернативних решења проблема. Процеси одлучивања су сложени процеси који се све више решавају коришћењем савремених информационих система и квантитативне анализе. Математичке и квантитативне методе значајно смањују ризик доношења погрешне одлуке. Међутим, реалне процесе прати велики број супротстављених критеријума одлучивања и више алтернативних решења проблема. Овај проблем је превазиђен развојем модела за одлучивање код недовољно структурираних и неструктурираних проблема.

Основе теорије одлучивања за реализацију и важне елементе система подршке одлучивању представљају [106]:

Статистичка теорија одлучивања која обухвата статистичке алате и методе за организацију чињеница, евакуацију ризика и подршку у доношењу одлука:

Теорија вероватноће и математичка логика која се користи за презентовање знања и закључивање у ситуацијама које карактерише извесност (примењује се пробалистичко закључивање, односно комбиновање при закључивању, Бајесово правило и др.);

Алтернативне теорије одлучивања које се користе у експертским системима:

- Фактори поузданости;
- Теорија фази логике.

Модел подршке одлучивању код структурираних проблема

Математички модели за подршку одлучивању:

- Оптимизација и линеарно програмирање;
- Табеле и стабла одлучивања;
- Модели редова чекања;
- Опште методе решавања проблема претраживањем [107]: аналитичко, слепо, хеуристичко (*Best-First, Hill-Climbing, Simulated annealing, генетички алгоритми*);
- Симулациони модели (*Monte Karlo*).

Софтверска подршка одлучивању се користи као непосредна подршка одлучивању или за развој система за подршку одлучивању. Модели који имају добро развијену софтверску подршку су:

- Оптимизациони модели;
- Симулациони модели;
- Предиктивни модели;
- Модели машинског учења;
- Модели управљања пројектима;
- Модели анализе ризика и др.

Модел подршке код делимично структурираних или неструктурираних проблема

Сложени модели одлучивања – групно доношење одлука

Групно одлучивање представља најсложенији облик одлучивања. Одлука се доноси у сложеном процесу од стране више менаџера. Модели групног одлучивања су:

- Модели вишекритеријумског одлучивања;
- Системи подршке групном одлучивању.

Интелигентни системи - вештачка интелигенција

Методе и технике вештачке интелигенције се користе за подршку доношењу сложених одлука заснованих на знању, односно методама и техникама вештачке интелигенције:

- Експертски системи.
- Методе и технике машинског учења.

Експертски систем представља рачунарски систем намењен решавању сложених неструктурираних или делимично структурираних проблема за које је потребно експертско знање.

Методе реализације интелигентних система се могу користити појединачно или више њих истовремено, а то су [106]:

- Вештачка неуронска мрежа (*Artificial Neural Networks*);
- Генетички алгоритми (*Genetic Algorithms – GA*);
- Фази системи (*Fuzzy Systems*);
- Закључивање на основу случајева (*Case Based Reasoning – CBR*);
- Истраживање података – откривање знања (*Data Mining – Knowledge Data Discovery*);
- Интелигентни агенти (*Intelligent Software Agents*);
- Комуникације у природном језику (*Language Technology*) [106]:.

Структуру експертских система чине следећи елементи:

- База знања (*knowledge base*);
- Механизам закључивања (*inference engine*);
- Кориснички интерфејс;
- Помоћни подсистеми (подсистем за прикупљањ знања, подсистем за објашњења, подсистем за побољшање базе знања, радни простор - *workplace*) [106].

Експертски системи, као подршка доношењу сложених одлука, користе се у многим областима као што су: интерпретација или опис настале ситуације, предвиђање последица настале ситуације, дијагностика на основу посматрања стања, пројектовање у дозвољеним границама, планирање у складу са циљевима, откривање одступања вршењем надзора, управљање оправкама, процес управљања функционисањем система, процес учења и др.

Машинско учење (аутоматизовано учење) представља дисциплину рачунарских наука која се бави методама које омогућавају софтверским системима да самостално уче на основу информација које имају на располагању. Машинско учење представља скуп процеса који обухвата: прикупљање новог декларативног знања, развој и усавршавање моторних и сазнајних способности коз праксу, структурирање постојећег знања и откривање нових чињеница и теорија посматрањем и активним експериментисањем. Са инжењерског аспекта машинско учење се дефинише као процес у коме систем побољшава своје перформансе на датом задатку без додатног програмирања.

У овој дисертацији развијен је модел употребног квалитета помоћне механизације на површинским коповима лигнита на бази теорије фази скупова и фази логике. Обухвата парцијалне и синтезне индикаторе употребног квалитета као што су поузданост, погодност одржавања, логистичка подршка одржавању, функционална погодност, озбиљност отказа, утицај отказа на радну средину, утицај отказа на животну средину, детектабилност, трошкови животног циклуса. Улазни подаци у модел су хибридног карактера, у нумеричком и лингвистичком облику.

6.1 Вишекритеријумска анализа

Последњих деценија дошло је до снажног развоја метода вишекритеријумске анализе (ВКА) која се бави недовољно структурираним проблемима и пружа помоћ при избору решења у процесу одлучивања, управљања и евалуације. Вишекритеријумска анализа је везана за проблеме одлучивања у ситуацијама када не постоји јединствено или оптимално решење, односно када је потребно донети одлуку на основу вредности коначног броја атрибута који описују стање посматраног система. Вишекритеријумско одлучивање омогућава да се толеришу нејасноће и двосмислености које се јављају приликом решавања многих проблема у систему одлучивања [108].

Развијено је више метода вишекритеријумског одлучивања, најчешће се користе следеће:

АНР (*Analytic hierarchy process*) - Ова метода се примењује за решавање комплексних проблема помирењем супростављених циљева међу критеријумима или алтернативама, при чему задржава конзистентност при евалуацији вредности или повезаности квалитативних елемената у хијерархији. Овај проблем се ублажава тако што се мери степен неконзистентности. Индекс – степен конзистентности (*Consistency index - ci*) треба да буде мањи од 0,1 (10%) како би се резултати сматрали конзистентним. Индекс конзистентности треба перманентно проверавати током процеса одлучивања и уколико постоји неконзистентност указати на њу.

PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) – Ова метода се примењује код великог број различитих критеријума које сходно захтевима и условима поставља доносилац одлуке. Критеријуми су често дати у различитим јединицама, различитог релативног значаја и са различитим захтевима за максимизирањем и минимизирањем. Верзије PROMETHEE методе су: PROMETHEE I (парцијално рангирање алтернатива); PROMETHEE II (комбиновано рангирање алтернатива); PROMETHEE III (интервално рангирање алтернатива); PROMETHEE VI (рангирања алтернатива на бази континуираних случајева).

VIKOR (*вишекритеријумска оптимизација и компромисно решење*) – Ова метода се користи за решавање проблема одлучивања са супротстављеним и разнородним критеријумима, подразумевајући следеће: компромис је прихватљив начин решавања конфликта, решење најближе идеалном решењу је прихватљиво за доносиоца одлуке и алтернативе су вредноване (рангиране) према свим задатим критеријумима. Методолошки концепт ове методе заснован је тако да доносиоцу одлуке даје предлог алтернативних - компромисних решења (ужег скупа могућих решења која се приближавају идеалном решењу).

TOPSIS (*Technique for order preference by similarity to an ideal solution*) - Ова метода се користи за проналажење решења из коначног скупа алтернатива. Алтернативе се рангирају на бази релативне сличности са идеалним решењем, чиме се елиминише могућност истовремене сличности алтернативе са идеалним и негативним идеалним решењем. Идеално решење се одређује за сваки појединачни критеријум помоћу најбољих рејтинга вредности алтернатива. Негативно идеално решење представљају најгоре вредности рејтинга алтернатива. Ова метода је базирана на концепту који подразумева да изабрана алтернатива треба да буде на најкраћем растојању од идеалног решења и на најдужем од анти-идеалног решења.

ELECTRE (*Elimination and Choice Expressing Reality*) - Ова метода се заснива на поређењу алтернатива у паровима при чему се испитује степен сагласности између тежина карактеристика и доминација спарених веза, а потом и степен несагласности по коме се оцена тежина појединих алтернатива међусобно разликује. ELECTRE метода се најчешће примењује итеративно, кроз одговарајући број корака. Заснива се на формирању матрице одлучивања коју је потребно квантификовати, односно квалитативне атрибуте трансформисати у квантитативне.

COPRAS (*Complex proportional assessment*) [109] – Ова метода се користи за вишекритеријумску процену и максимизирање и минимизирање вредности критеријума. Максимизирање и минимизирање критеријума за вредновање резултата се посматра одвојено. Приоритет поређених алтернатива је дефинисан на основу њихових релативних тежина.

Вишекритеријумско-вишеекспертно одлучивање - Ове методе се користе у случајевима кад осим вишекритеријумских атрибута у процесу одлучивања учествује и више експерата (*Multi-Criteria Multi-Expert Decision Making* - MCMEDM). Уколико постоји једна група или више група експерата, овакви системи се називају вишеатрибутивни групни системи одлучивања (*Multi Attribute Group Decision Making* - MAGDM). Један од специфичних система одлучивања у овој групи је лингвистички MAGDM систем који користи лингвистичке вредности атрибута – критеријума за изражавање евалуације алтернатива од стране експерата. Лингвистичке вредности у великој мери олакшавају дефинисање система и процес доношења одлуке.

Фази вишекритеријумско одлучивање FVKO – Методе вишекритеријумског одлучивања засноване на теорији фази скупова представљају средство које повећава свеобухватност и оправданост процеса одлучивања. Експертско мишљење је значајно укључено у процес одлучивања због чега при доношењу одлука поред објективних експертских процена треба узети у обзир и њихове субјективне ставове. Применом теорије фази скупова елиминише се неизвесност приликом доношења одлуке. Вишекритеријумски модели захтевају толеранцију нејасноћа и двосмислености карактеристичних за многе проблеме одлучивања. Коришћење прецизних вредности представља проблематичну тачку евалуације. Доносиоцима одлука је практичније да своје оцене прикажу на интервалу, уместо да за њихово представљање користе одређену нумеричку вриједност. У системима фази вишекритеријумског одлучивања – FVKO уводи се појам фази лингвистичких променљивих ради описивања и укључивања непрецизности и неизвесности елемената присутних у процесу одлучивања. Уследио је развој метода фази вишекритеријумског одлучивања FVKO као што су FAHP, FTOPSIS, FSCREENING и друге методе.

FAHP (*Fuzzy Analytic Hierarchy Process*) – Теорија фази скупова и фази логике се најчешће примењују за третирање неизвесности. АHP користи парове алтернатива који се пореде. Примењује се нумеричка скала од 1 до 9. FAHP је напреднија техника у односу на АHP. Без обзира што АHP користи квантитативне и квалитативне критеријуме процес одлучивања често карактеришу нејасноће, недефинисаност, недоређеност и др. Фази АHP омогућава описивање баш оваквих појава у процесу доношења одлука.

FTOPSIS (*Fuzzy Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution*) – Ова метода се заснива на концепту да одабрана алтернатива треба да буде на најкраћој удаљености од позитивног идеалног решења и на најдаљој удаљености од негативног идеалног рјешења. Овај облик TOPSIS методе тежине атрибута и оцене алтернатива даје као прецизно дефинисане вредности које се користе у процесу евалуације, што представља једна од проблема јер такви подаци нису адекватни за креирање модела одлучивања за проблеме реалног живота. Методом FTOPSIS превазиђен је тај проблем тако што се тежине критеријума и оцене алтернатива евалуирају са лингвистичким променљивим дефинисаним фази бројевима.

FSCREENING метода - Ова метода се користи у ситуацијама када из великог броја алтернатива треба да се одабере мали подскуп за даље истраживање. Реализује се кроз две фазе активности: прва фаза подразумева оцењивање сваке алтернативе по сваком критеријуму од стране експерата, где критеријуми могу бити на различитом нивоу значаја – важности, при чему се за процену рејтинга користе лингвистичке променљиве које олакшавају експертима одређивање јединствене оцене за сваку алтернативу; друга фаза подразумева прикупљање појединачних експертских оцена ради добијања укупне лингвистичке оцене сваког посматраног објекта.

6.2 Фази теорија

Под фази теоријом (*fuzzy* – расплинути, неизразити) подразумева се математички концепт моделовања различитих процеса у којима доминира неизвесност, вишезначност, субјективност, неодређеност и сл. [110], [111]. Користи се за третирање недовољно прецизних појава које не могу да се моделују само теоријом вероватноће или интервалном математиком. Теорију фази скупова први је развио *Lotfi Zadeh* 1965. године и приказао у раду „*Fuzzy sets*” [110]. У деценијама након тога теорија фази скупова је примењивана у многим процесима у којима влада неизвесност и вишезначност феномена који одликују посматране процесе.

Појам неодређености може да се посматра на више начина, сходно природи процеса који се моделује: применом теорије вероватноће (у случају када дати услови који одређују појам не дају јединствено очекивани резултат); применом интервалне математике (у случају када нема могућности нити потребе за прецизним вредностима); применом теорије фази скупова (у случају када је неодређеност последица непрецизности у комуникацији, као што је добра или лоша поузданост, висок или низак ниво функционалне погодности и сл.) [1].

Одлучивање на бази теорије фази скупова се заснива на истовременом раду са квалитативним/лингвистичким и квантитативним/нумеричким променљивим, при чему је излазни резултат дефинисан функцијом припадности у лингвистичком континуалном облику. Примена фази скупова и фази логике симболично се објашњава као умеће стручњака, односно квалитативни опис умећа (рачунање речима).

У овој дисертацији развијен је модел употребног квалитета помоћне механизације на површинским коповима лигнита на бази теорије фази скупова и фази логике. Модел обухвата све важне индикаторе употребног квалитета као што су: поузданост, погодност одржавања, логистичка подршка одржавању, функционална погодност, озбиљност отказа, утицај отказа на радну средину, утицај отказа на животну средину, детектабилност и трошкове животног циклуса. Улазни подаци у модел су хибридног карактера, у нумеричком и лингвистичком облику. Значајан број показатеља употребног квалитета могао је да буде анализиран само на бази експертских мишљења, што представља неодређеност у некој мери. Фази синтезни модел за оцену употребног квалитета посматраних машина је структурно и хијерархијски формиран у три нивоа синтезе, применом одговарајућих модела у 14 поступака фази композиције (на ниво ефикасности, расположивости, сигурности функционисања и ризика, а затим преко синтезе техничких и економских показатеља до нивоа употребног квалитета). При томе улазне величине у модел су дефинисане као фази релације. Комплексност формираног модела како по структури тако и по природи феномена које укључује потврђује значај фази теорије и њену применљивост у овако сложеним процесима одлучивања.

6.2.1 Теорија фази скупова

Класична теорија скупова прецизно дефинише границу која раздваја елементе различитих скупова, док теорија фази скупова недовољно добро дефинише границу између њих. Фази скупови садрже елементе са сличним особинама, док дискретни скупови садрже елементе истих особина. У практичном смислу то значи да уколико се у комуникацију уведу појмови (скупови) као што су висок ниво употребног квалитета, средњи ниво употребног квалитета и низак ниво употребног квалитета машине, онда постоји могућност да ће у процесу анализе у коме учествује више експерата иста машина бити сврстана у различите скупове. Такође, постоји могућност да сви експерти исту машину сврстају у исти скуп, али да јој доделе различите степене припадности том скупу, на пример 35% висок ниво употребног квалитета, 65% средњи ниво употребног квалитета и слично.

У наредном тексту биће приказани основни појмови теорије фази скупова који подразумевају особине, дефиниције, операције и принципе [111], [113], [114] и други:

Дефиниција фази скупа

Фази скуп A се дефинише као скуп уређених парова:

$$A = \{x, \mu_A(x)\}, \quad (6.1)$$

где x представља коначан скуп $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, док $\mu_A(x)$ представља функцију припадности [110]. У теорији фази скупова припадност елемената x скупу A се описује преко функције припадности $\mu_A(x)$:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{ако и само ако } x \text{ припада скупу } A \\ 0, & \text{ако и само ако } x \text{ не припада скупу } A \end{cases} \quad (6.2)$$

У теорији фази скупова функција припадности може да узме било коју вредност из затвореног интервал $[0;1]$ а не само крајње границе. Дефинисани фази скуп A је заправо уређени пар $A = \{x, \mu_A(x)\}$ где $\mu_A(x)$ представља степен припадности елемената x скупу A . Већа вредност $\mu_A(x)$ указује на већу вероватноћу припадности елемента x скупу A .

Скуп елемената $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ је коначан скуп елемената X_i , где је $i = 1, \dots, n$, који може да се прикаже и као унија елемената: x_1, x_2, \dots, x_n .

Најчешћи приказ дефинисања фази скупа A на скупу X је следећи:

$$A = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (6.3)$$

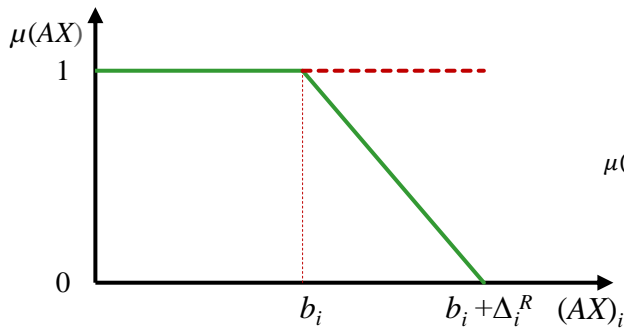
У овом случају симболи "+", "i" и "Σ" немају уобичајено математичко значење него симболизују унију или набрајање.

Ако скуп X није коначан скуп онда се дефинисање фази скупа A на скупу X приказује на следећи начин:

$$A = \int \frac{\mu_A(x)}{x} \quad (6.4)$$

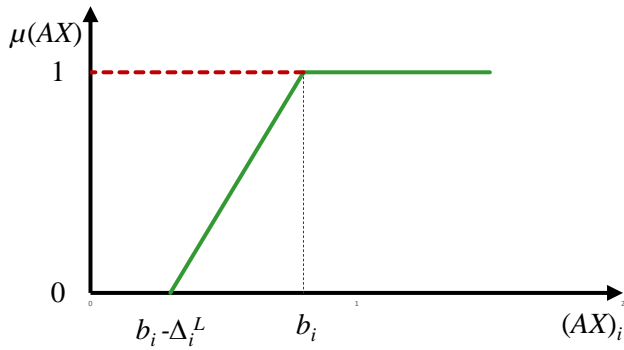
Функција припадности $\mu_A(x)$ показује ниво припадности неког елемента x фази скупу A . Када је вредност функције припадности 0 значи да елемент x не припада фази скупу A . Када је вредност функције припадности 1 значи да елемент x у потпуности припада фази скупу A . Ако се упореде фази скупови са традиционалном групом објеката, може се видети разлика у функцији припадности која није дискретна већ континуирана. Припадност елемента неком фази скупу дефинише се применон разних типова функција, најчешће су у употреби троугаоне, трапезне и нешто ређе звонастог облика. Поред наведених користе се и функције "L" припадности, "Г" припадности, "S" припадности, Гаусов фази скуп и др. [112], слика 6.2.1.1.

a)



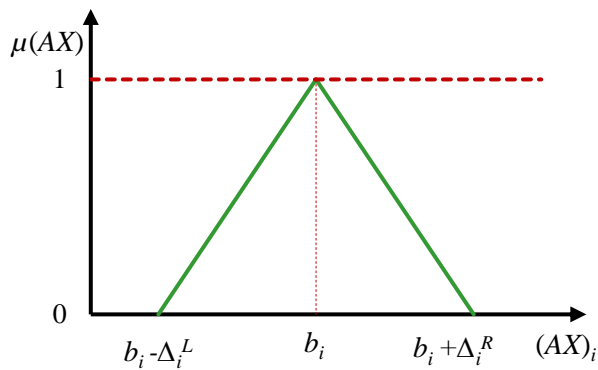
$$\mu(Ax)_i = \begin{cases} 1 & (Ax)_i \leq b_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{\Delta_i^R} & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + \Delta_i^R, i = 1, \dots, i_0 \\ 0 & (Ax)_i \geq b_i + \Delta_i^R \end{cases}$$

б)



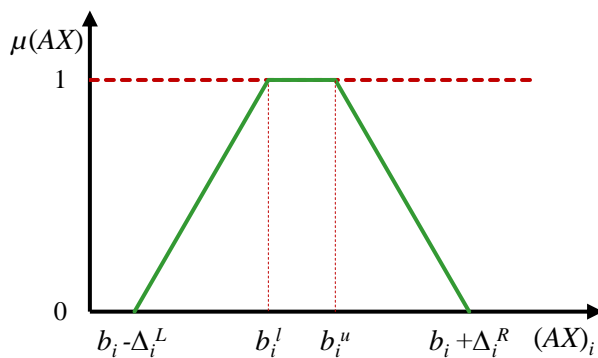
$$\mu(Ax)_i = \begin{cases} 1 & (Ax)_i \leq b_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{\Delta_i^R} & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + \Delta_i^R, i = 1, \dots, i_0 \\ 0 & (Ax)_i \geq b_i + \Delta_i^R \end{cases}$$

в)



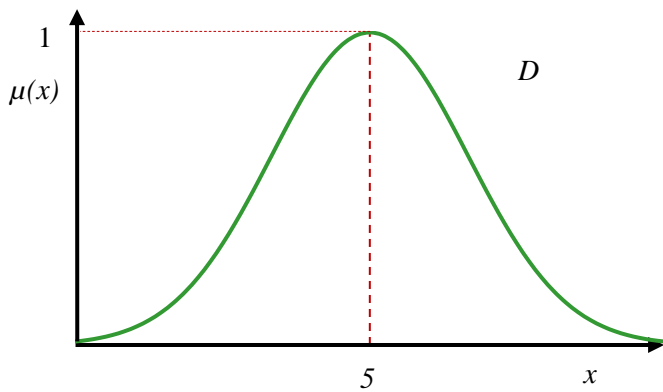
$$\mu(Ax)_i = \begin{cases} 0 & (Ax)_i \leq b_i - \Delta_i^L \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{\Delta_i^L} & b_i - \Delta_i^L \leq (Ax)_i \leq b_i, i = j_0 + 1, \dots, k_0 \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{\Delta_i^R} & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + \Delta_i^L \\ 0 & (Ax)_i \geq b_i + \Delta_i^R \end{cases}$$

г)



$$\mu(Ax)_i = \begin{cases} 0 & (Ax)_i \leq b_i^l - \Delta_i^L \\ 1 - \frac{b_i^l - (Ax)_i}{\Delta_i^L} & b_i - \Delta_i^L \leq (Ax)_i \leq b_i \\ 1 & b_i^l \leq (Ax)_i \leq b_i^u, i = k_0 + 1, \dots, K \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i^u}{\Delta_i^R} & b_i^u \leq (Ax)_i \leq b_i^u + \Delta_i^R \\ 0 & (Ax)_i \geq b_i^u + \Delta_i^R \end{cases}$$

д)



$$D = \int_x \frac{e^{-0,5(x-5)^2}}{x}$$

Слика 6.2.1.1. Облици фази функција припадности према [112]:

а) део по део - праволинијска функција припадности, "десна"; б) део по део - праволинијска функција припадности, "лева"; в) троугаона функција припадности, "континуирана"; г) трапезоидна функција припадности; д) звонаста функција припадности, "radial basis"

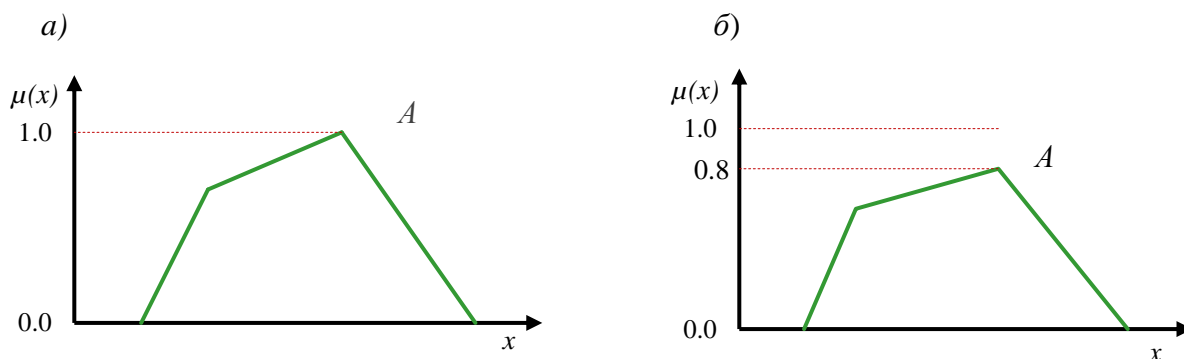
Особине фази скупова

Под основним особинама фази скупова подразумева се: нормалност, конвексност и број елемената, односно кардиналност фази скупа, чија се значења приказују на следећи начин:

Под нормализованим фази скупом подразумева се онај фази скуп који има степен припадности бар једног свог елемента једнак јединици:

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

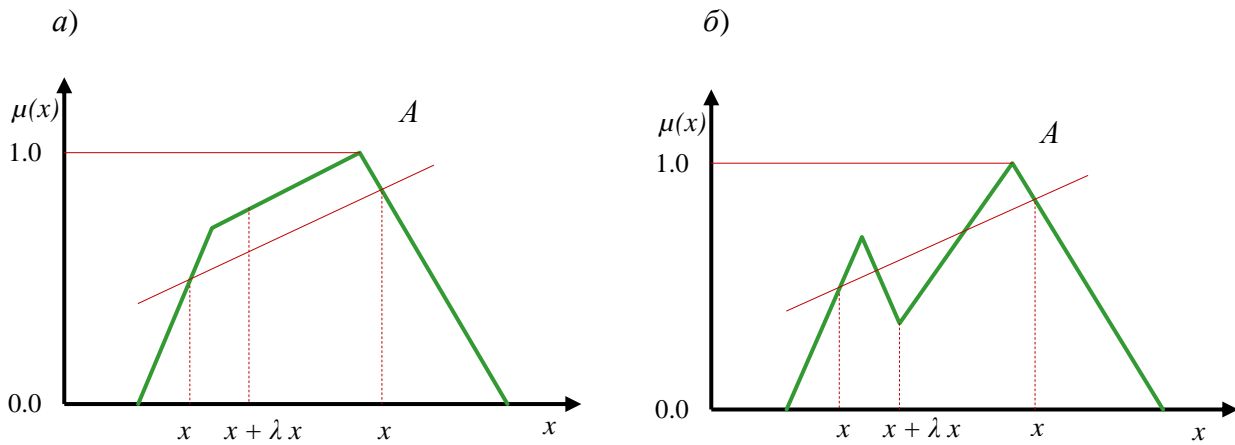
Пример нормалног (а) и суб-нормалног (б) фази скупа приказан је на слици 6.2.1.2. Трансформација суб-нормалног фази скупа у нормални фази скуп може се извршити тако што се све вредности степена припадности поделе са највећим степеном припадности, у овом случају то је 0,8 (нормализација).



Слика 6.2.1.2. Нормалан (а) и суб-нормалан (б) фази скуп, [113] и др.

Услов за конвексност фази скупа А је следећи:

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)), \quad x_1, x_2 \in X, \quad \lambda \in [0,1].$$



Слика 6.2.1.3. Конвексан (а) и неконвексан (б) фази скуп, [113] и др.

Уколико је X дискретан и коначан скуп тада се кардиналност – број елемената фази скупа исказује збиром степена припадности појединих елемената фази скупа:

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

Овако дефинисан број елемената фази скупа одговара дефиницији броја елемената дискретног скупа. Када је A дискретан скуп она се и своди на ту дефиницију пошто се тада број елемената рачуна тако што се за сваки елемент рачуна степен припадности једнак јединици.

Користи се и појам релативне кардиналности фази скупа, која се добија када се кардиналност тог фази скупа подели са кардиналношћу домена X -тог скупа (овај број показује колико информација садржи фази скуп A [113], [114], за дискретан и коначан скуп X исказује се на следећи начин:

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

Релативна кардиналност фази скупа се добија када се кардиналност тог фази скупа подели са кардиналношћу домена X тог скупа. Овај број може да се користи као показатељ колико информација садржи фази скуп A , [113], [114] и остали.

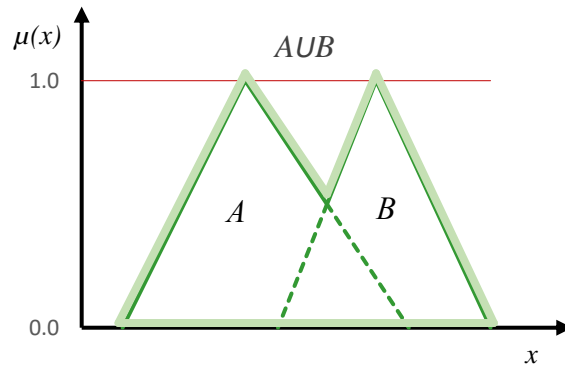
Операције над фази скуповима

Операције које се изводе над фази скуповима су унија, пресек и комплемент при чему се користе и као модификатори функције припадности. Дефинишу се помоћу следећих оператора:

Под унијом фази скупова A и B подразумева се фази скуп који истовремено садржи и A и B скуп, дефинише се на следећи начин:

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

при чему ознака " \vee " представља логички оператор "или", тј. оператор максимума.

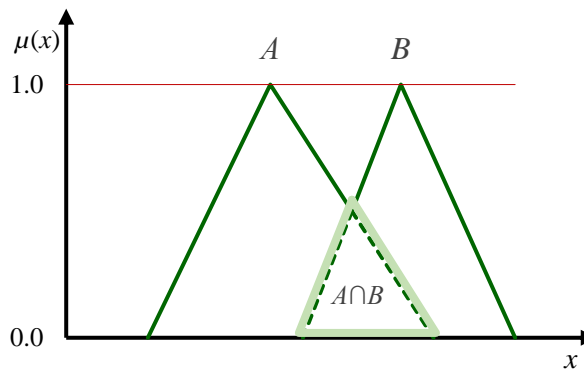


Слика 6.2.1.4. Унија фази скупова A и B , [113] и др.

Под пресеком фази скупова A и B подразумева се фази скуп који садржи заједничке елементе фази скупова A и B , исказује се помоћу функција припадности на следећи начин, $A \cap B$:

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

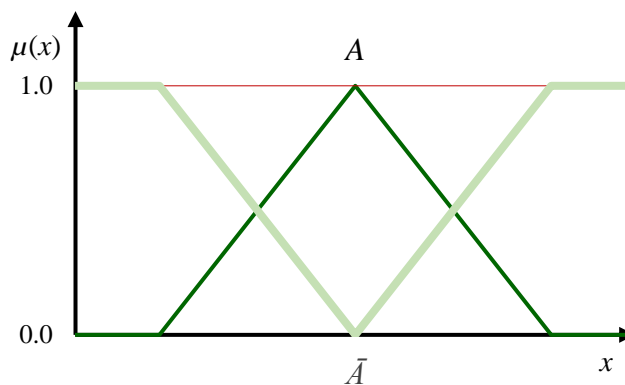
при чему ознака " \wedge " представља логички оператор "и", тј. оператор минимума.



Слика 6.2.1.5. Пресек фази скупова A и B , [113] и др.

Комплемент фази скупа A је супротан фази скуп \bar{A} ($\bar{A} = 1 - A$) који се исказује на следећи начин:

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



Слика 6.2.1.6. Комплемент фази скупа A , [113] и др.

Услов једнакости фази скупови A и B испуњавају само ако су функције припадности $\mu_A(x)$ и $\mu_B(x)$ једнаке за све елементе x из скупа X , у том случају $A = B$.

Фази скуп A је подскуп фази скупа B само ако је $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ за све елементе x из скупа X , у том случају $A \subset B$.

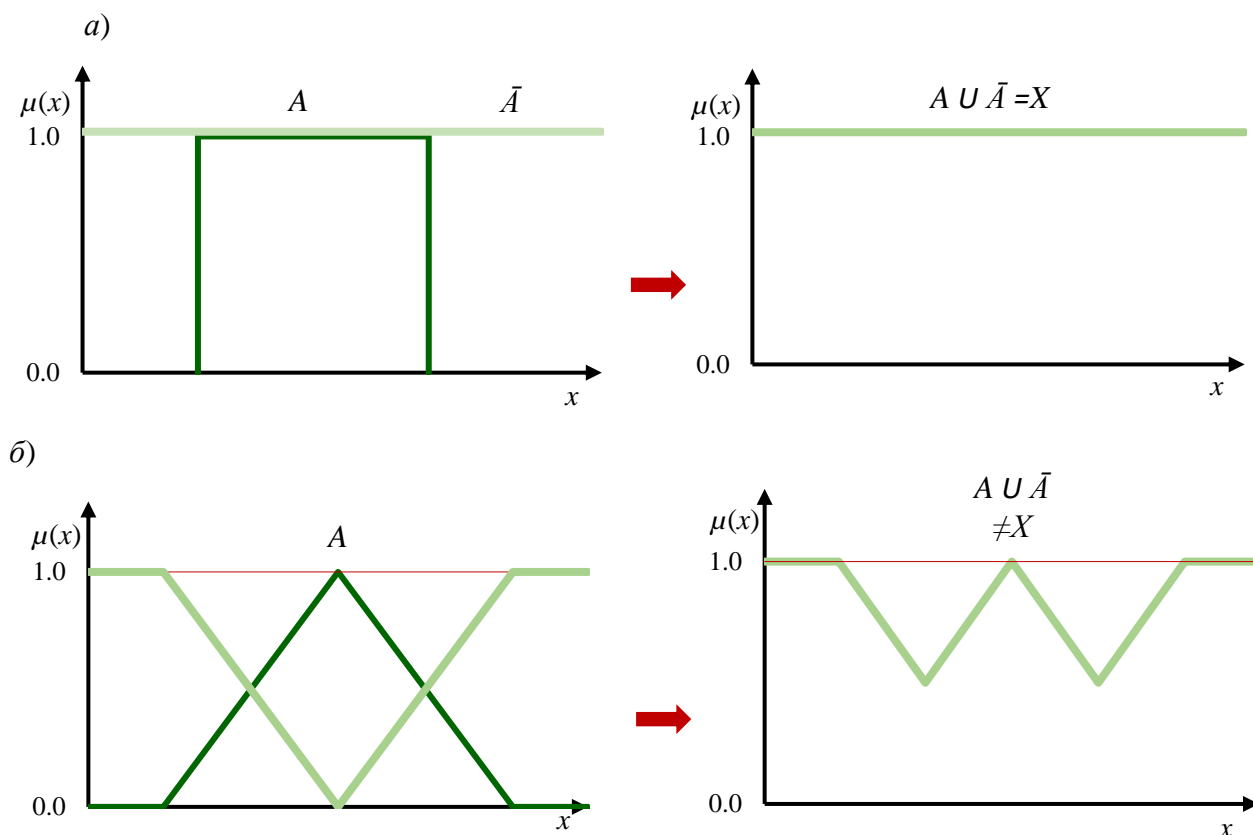
Из изложеног прегледа види се да је највећи број особина фази скупова исти са особинама дискретних скупова, ао што су:

- идемпотентност: $A \cup A = A$, $A \cap A = A$
 - комуникативност: $A \cup B = B \cup A$, $A \cap B = B \cap A$
 - асоцијативност: $A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$, $A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$
 - дистрибутивност: $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$, $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
 - двострука негација: $A = \bar{\bar{A}}$
 - Де Морганов закон: $\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B}$, $\overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B}$.
- (Augustus De Morgan, 1806–1871)

Две особине фази скупова нису исте особинама дискретних скупова, а то су:

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

Наведене особине представљају специфичност теорије фази скупова у односу на дискретне скупе. На слици 6.2.1.7. дата је илустрација закона искључења трећег за дискретне скупе (а) и за фази скупе (б), која показује да овај закон не важи за фази скупе. У првом случају дискретни скуп се допуњаује својим комплементом до целог скупа, у другом случају фази скуп се не допуњаује [113].

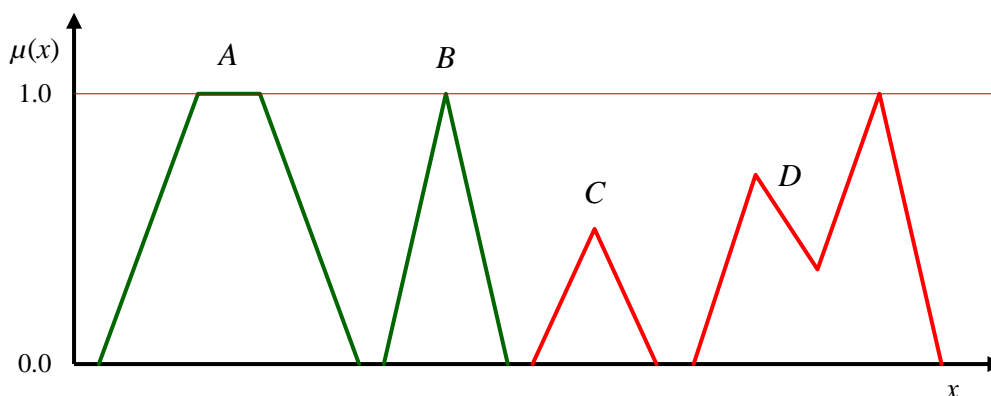


Слика 6.2.1.7. Закон искључења трећег у класичној теорији скупова (а) и у теорији фази скупова (б), [113]

6.2.2 Фази број

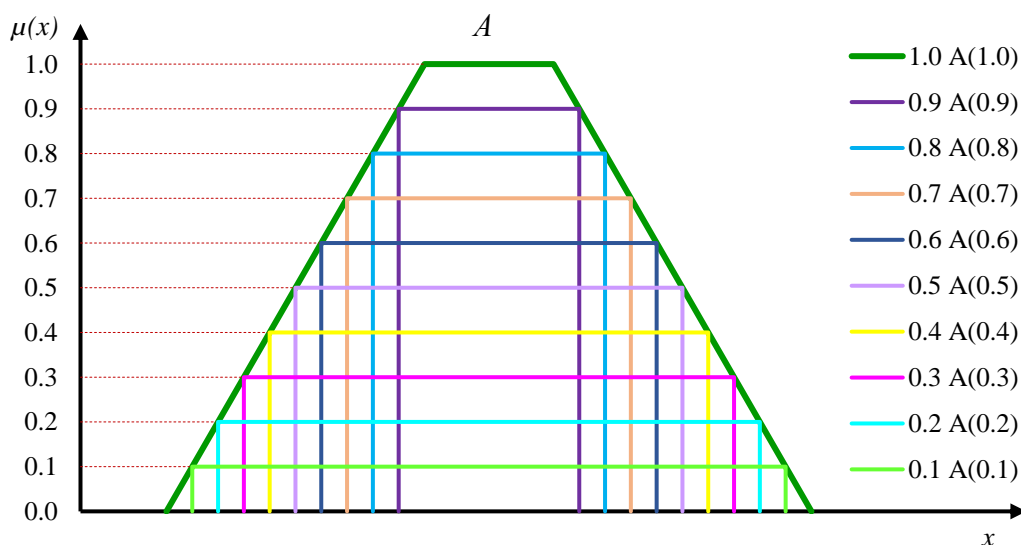
Фази број је један од основних појмова из фази аритметике, односно из основних концепата фази система. Под фази бројем A подразумева се скуп представљен функцијом припадности $\mu_A(x)$ са следећим особинама:

- $\mu_A(x)$ је дефинисана над скупом Re ,
- $\mu_A(x)$ је конвексна,
- $\mu_A(x)$ је нормална,
- $\mu_A(x)$ је део по део непрекидна функција.



Слика 6.2.1.8. Фази скупови и испуњеност услова за фази број: A и B јесу фази бројеви; C не испуњава услов нормалности; D не испуњава услов конвексности, [115]

Нормализован и конвексан фази скуп кога карактерише интервал поверења $[a_1, a_2]$ и степен сигурности α представља фази број. Фази скуп се може разложити на више α -пресека који представљају дискретне скупове, при чему унија свих дискретних скупова представља тај фази скуп (α -пресек фази скупа A представља све елементе надскупа или универзалног скупа који у оригиналном фази скупу имају вредности степена припадности веће од α). Пример фази скупа A са α -пресецима према [116] дат је на слици 6.2.1.9.



Слика 6.2.1.9. Фази скуп са α -пресецима, [116]

Дефинисане су основне операције над фази бројевима са степеном поверења α : сабирање, одузимање, множење и дељење. Нека су дата два фази броја са степеном поверења α :

$$X_\alpha = [x_1\alpha, x_2\alpha], \quad Y_\alpha = [y_1\alpha, y_2\alpha]$$

Основне операције над ова два фази броја приказане су у општем облику:

$$X_\alpha * Y_\alpha = [x_1\alpha * y_1\alpha, x_2\alpha * y_2\alpha],$$

При чему ознака "*" представља једну од четири основне рачунске операције (+, -, ×, /).

6.2.3 Лингвистичка вредност и лингвистичка променљива

Важан концепт у фази логици представља лингвистичка променљива са кључном улогом у домену фази експертским системима и многих апликација. Лингвистичка променљива је она променљива чије су дозвољене вредности речи природног језика. Назива се и фази променљивом. Основној лингвистичкој вредности често се додају лингвистички модификатори (веома, добро, средње, прихватљиво и сл.) и везници (и, или и др.) тако да се добијају сложени лингвистички изрази. Лингвистичким променљивим могу да се доделе једна или више лингвистичких вредности које се повезују са нумеричким вредностима преко функције припадности и класе [117].

Лингвистички модификатори и везници дефинишу се у зависности од намене и употребе. Лингвистичке променљиве и модификатори могу при комбиновању да изгубе своју основну улогу променљиве, односно модификатора, с' обзиром на језичке манипулације и двосмисленост појмова. Овај проблем се превазилази дефинисањем фази променљивих (давањем назива фази скуповима) на начин који најбоље описује посматране феномене. Лингвистичка променљива је практично веза између рачунара и човека.

Оператори модификације су дефинисани на следећи начин: нека је скуп A фази скуп са функцијом припадности $\mu_A(x)$, при чему $x \in X$ (X је универзални скуп) и $A \subset X$.

Деловање лингвистичких модификатора на функцију припадности је произвољно, може се класификовати на следечи начин [118]:

- Јак модификатор (појачава значење функције припадности при чему се смањује број елемената у том фази скупу);
- Слаб модификатор (слаби функцију припадности при чему се повећава број елемената у том фази скупу);
- Једнако дејство (додатно слаби функцију припадности).

У литератури је дефинисано више група опште прихваћених оператора модификације, стога у овом раду нису детаљно обрађивани.

Приказивање лингвистичких вредности врши се у поступку фази пропозиције где се реалност сагледава тако да може да се представи у рачунару. Поступак фази пропозиције је сигурно најзахтевнији корак у формирању коначне оцене на бази фази скупова управо због комплексности систематизовања знања, искустава, измерених вредности и слично.

6.2.4 Фази релације

Непрецизни односи између две величине описују се фази релацијама. Ако су X и Y два универзална скупа, тада је:

$$R = \left\{ \left((x, y), \mu_R(x, y) \right) \mid (x, y) \in X \times Y \right\},$$

где је:

R - бинарна фази релација,

$\mu_R(x, y)$: - дводимензионална функција припадности.

Најчешће коришћене 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.

6.2.5 Композиција фази релација

Дате су две бинарне релације R_1 и R_2 фази релације дефинисане у $X \times Y$ и $Y \times Z$, поштујући наведени редослед. Са изразом $R_1 \circ R_2$ означена је композиција релација R_1 и R_2 која је дефинисана над производом $X \times Z$:

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

На основу датих релација R_1 и R_2 композиција две релације посматра се као израчунавање нове релације $R_1 \circ R_2$. Најчешће примењиван модел фази композиције је *max-min* композиција. За дате опште услове дефинисана је композиција релација R_1 и R_2 на следећи начин:

$$R_1 \circ R_2 = \left\{ \left[(x, z), \max - \min \left(\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z) \right) \right] \mid x \in X, y \in Y, z \in Z \right\}$$

Композиција релација R_1 и R_2 се конкретно рачуна као:

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

где оператори " \vee " и " \wedge " означавају следеће: $\vee = \max$ и $\wedge = \min$.

Ако се R_1 и R_2 представе у матричном облику онда израчунавање композиције веома личи матричном множењу само што се множење и сабирање мењају са \vee и \wedge поштујући редослед. Стога се композиција *max-min* често назива *max-min* производ.

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

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

Још једна композиција може да се дефинише применом истог записа као код *max-min* композиције, назива се *max*-производ композиција:

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

7 РАЗВОЈ МОДЕЛА УПОТРЕБНОГ КВАЛИТЕТА РУДАРСКИХ МАШИНА

Употребни квалитет (*Quality of service*) представља основни појам за исказивање укупних својстава техничког система који обухвата особине техничког система везане за његов рад и елементе подршке нужне да би технички систем могао успешно да ради. Дефинише се као укупни ефекат радних перформанси који одређује степен задовољења корисника. Анализа употребног квалитета је комплексан процес који обухвата све битне чиниоце који непосредно или посредно утичу на рад техничког система и извршавање задате функције циља. Омогућава дефинисање свих важних параметара животног циклуса техничких система и доношење бројних управљачких одлука везаних за њихову експлоатацију и одржавање ради постизања планираних ефеката рада и обезбеђивања економичног пословања. Проблем у имплементацији синтетних феномена као што је употребни квалитет је непостојање стриктно дефинисаног математичког и концепцијског модела за њихово рачунање.

У том смислу развијен је модел употребног квалитета помоћне механизације на површинским коповима лигнита у циљу анализе техничких и економских показатеља и њихове синтезе на ниво употребног квалитета. Показатеље употребног квалитета техничког система и њихове међузависности одликује неодређеност, вишезначност и релативност. Исказују се у нумеричком и лингвистичком облику. Применом теорије фази скупова и фази логике формиран је математичко-концепцијски модел који омогућава анализу и структурирање техничких и економских показатеља и њихову синтезу на ниво употребног квалитета техничког система. Коришћена је теорија фази скупова и фази логике као погодан математички апарат за рачунање са хибридним подацима.

На основу теоријске анализе употребног квалитета формиран је модел који обухвата анализу и синтезу следећих показатеља:

- парцијалних показатеља употребног квалитета (поузданости, погодности одржавања, функционалности, логистичке подршке одржавању, озбиљности отказа и његових индикатора (времена потребног за враћање машине у стање рада, утицаја отказа на радно окружење, утицаја отказа на животну средину), учесталости појављивања отказа и детектабилности);
- синтетних показатеља употребног квалитета (ефективности, расположивости, сигурност функционисања и ризика);
- економских показатеља употребног квалитета на бази трошкова животног циклуса техничког система.

Формирани синтетни модел у потпуности апсорбије наведене показатеље који дефинишу употребни квалитет техничког система дајући синергетски ефекат. Омогућава интеграцију квантитативних и квалитативних описа парцијалних показатеља употребног квалитета и њихову синтезу. Најкраће се може приказати у четири фазе:

- Прва фаза - модел пропозиције:

За креирање синтетног модел за оцену нивоа употребног квалитета техничког система пропозицијом су дефинисани фази скупови са одговарајућим лингвистичким променљивим које описују употребни квалитет и његове показатеље.

- Друга фаза - модел фазификације:

У зависности од природе улазних података формиран је модел фазификације кумулативних временски зависних функција за поузданост и погодност одржавања које се дефинишу теоријом поузданости (на бази временске слике стања машине), нумеричких измерених вредности са одступањем за функционалну погодност (на бази радног учинка-капацитета), нумеричких вредности добијених одређивањем функционалне зависности из измерених података и применом методе тежишта за економске показатеље (на бази података о трошковима) и лингвистичких вредности за показатеље логистичка подршка одржавању,

утицај отказа на радно окружење, утицај отказа на животну средину и детектабилност (на бази експертских процена запослених у експлоатацији и одржавању машина).

- Трећа фаза - модел фази логичког закључивања (фази композиција):

Фази модел закључивања структурно и хијерархијски је формиран у три нивоа, применом одговарајућих модела фази композиције у 14 поступака синтезе: на првом нивоу пет, на другом нивоу осам и на трећем нивоу један поступак синтезе.

I ниво синтезе:

Композиција парцијалних показатеља у оцену синтезних показатеља употребног квалитета техничког система, применом *max-min* и *min-max* фази композиције.

II ниво синтезе:

Синтеза техничких и економских показатеља употребног квалитета, применом *модела композиције у форми картезијанског производа*, што подразумева:

- пропозицију (дефинисање лингвистичких променљивих за оцену употребног квалитета на овом нивоу синтезе),
- композицију (дефинисање исхода у форми картезијанског производа - уређених парова синтезних показатеља употребног квалитета и трошкова).
- композицију сваког исхода применом *max-min* фази композиције, ради добијања синтезне оцене одређеног техничког и економског показатеља употребног квалитета.

III ниво синтезе:

Фази композиција синтезних "техничко-економских" показатеља у оцену употребног квалитета техничког система.

- Четврта фаза – модел идентификације и дефазификације:

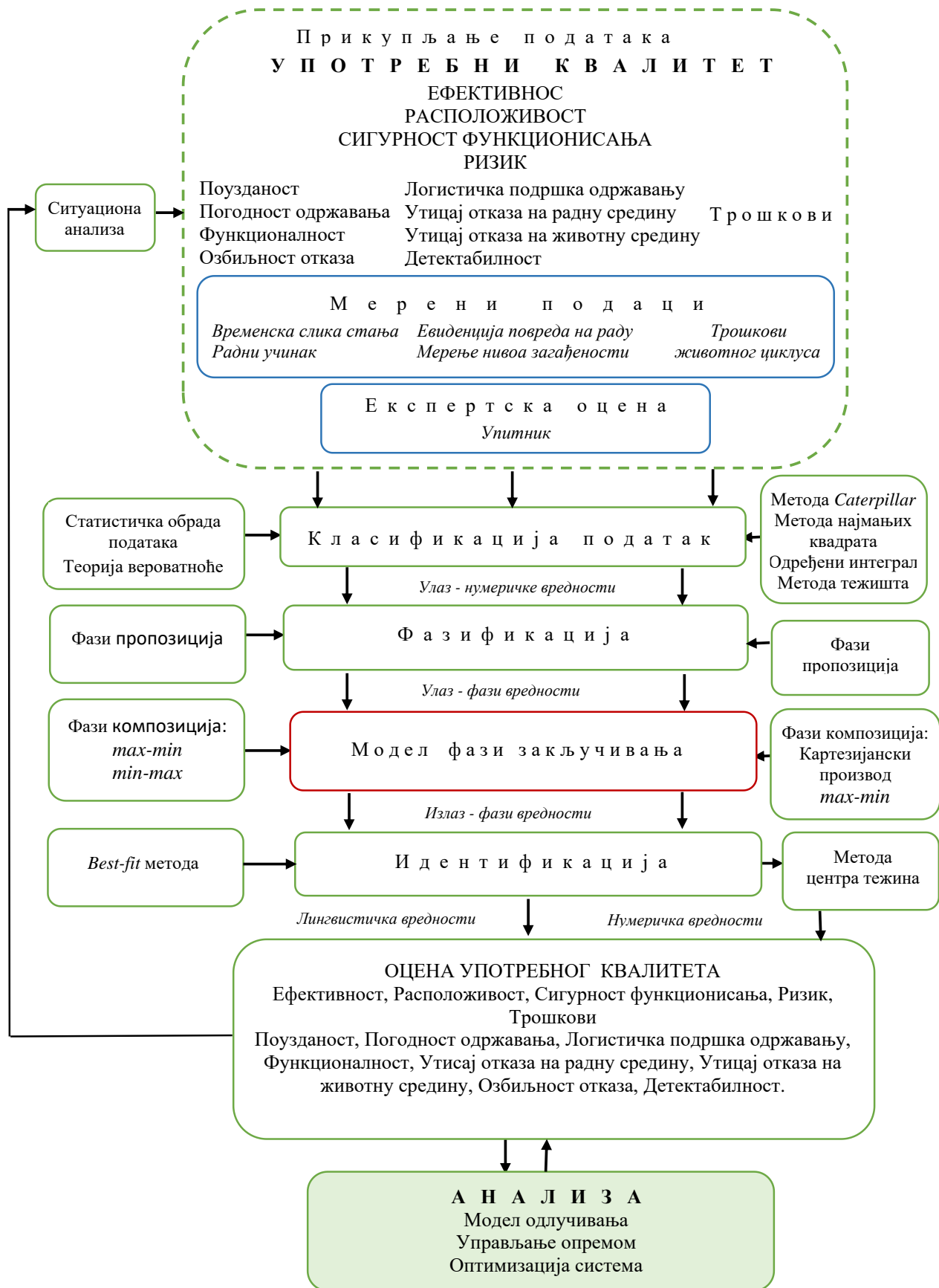
Применом *Best-fit* методе врши се идентификација оцене употребног квалитета и његових синтезних показатеља у зависности од дефинисаних лингвистичких променљивих које описују ове феномене. Поступак дефазификације добијених резултата у реалне бројеве врши се *методом центра тежине*, чиме се омогућава мерљивост, упоредивост и даља примена оцена.

Креирани модел употребног квалитета омогућава рад са хибридним подацима, евалуацију знања и искуства стеченог у експлоатацији и одржавању и даје објективну слику стања техничког система. Излаз из модела је у облику лингвистичког записа у континуалном облику што даје вишедимензионални карактер оцене техничког система.

Синтезни модел употребног квалитета помоћне механизације на површинским коповима лигнита даје свеобухватну анализу и оцену употребног квалитета са аспекта ефикасности, расположивости, сигурности функционисања, ризика, трошкова животног циклуса и преосталих могућности, омогућавајући кориснику доношење бројних управљачких одлука везаних за експлоатацију и одржавање ових машина, као што су оптимално време замене, корективне мере, оптимизација и сл.

Модел је креиран за процену употребног квалитета и преосталих радних могућности помоћне механизације на површинским коповима лигнита а може се примењивати и код других техничких система у рударству и индустрији уопште.

На слици 7.1. приказан је алгоритам фази модела за оцену употребног квалитета помоћне механизације на површинским коповима лигнита.



Слика 7.1. Алгоритам фази модела за оцену употребног квалитета

7.1 Модел пропозиције употребног квалитета

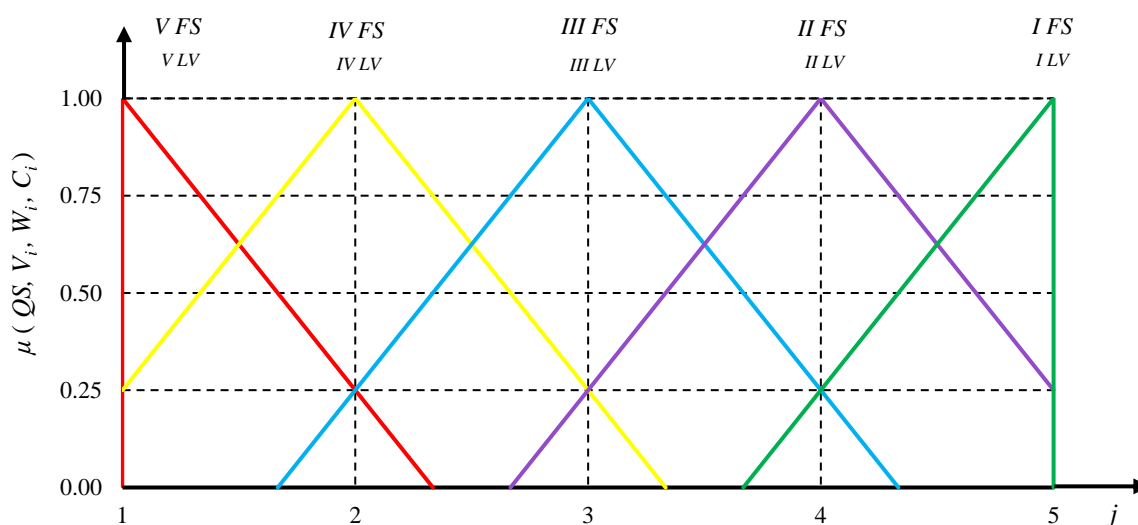
За креирање синтезног модела за оцену употребног квалитета (QS) потребно је дефинисати лингвистичке променљиве које описују овај феномен, односно доделити лингвистичке вредности показатељима употребног квалитета.

Ради стварања окружења за фази синтезни модел (*fuzzy inference engine* – фази логичко закључивање) потребно је дефинисати лингвистичке променљиве за употребни квалитет (QS) машина и његове показатеље, и то:

- техничке показатеље:
 - парцијалне показатеља употребног квалитета {поузданост (R), погодност одржавања (M), функционалност (F), логистичка подршка одржавању (MS), озбиљност отказа (S) и његови индикатори (време потребно за враћање машине у стање рада (St), утицај отказа на радно окружење (Sro), утицај отказа на животну средину ($Sžs$)), учесталост појављивања отказа (O) и детектабилност (Dt)};
 - синтезне показатеље употребног квалитета {ефективност (E), расположивост (A), сигурност функционисања (D), ризик (R)};
- економске показатеље: трошкове животног циклуса машина (C).

Дефинише се пет фази скупова са одговарајућим лингвистичким променљивим за оцену употребног квалитета машина и његових показатеља. Фази скупови су троугаоног облика, дефинисани у координатном систему μ_j , чија је ордината функција припадности (μ), а апциса класа која представља јединицу мере ($j=1, \dots, n$) којом се исказује QS и његови показатељи. Када је у питању број лингвистичких променљивих из литературе се може закључити да је седам максималан број различитих појмова које људски ум може једновремено да разграничи (*Wang* и остали, 1995) [21]. Из наведеног разлога је усвојено пет лингвистичких променљивих за презентацију употребног квалитета и његових показатеља.

На слици 7.1.1 приказан је општи облик фази скупова (FS) са лингвистичким променљивим (LV) за оцену употребног квалитета (QS) и његових показатеља, где следеће ознаке подразумевају: парцијалне показатеље употребног квалитета (V_i), синтезне показатеље употребног квалитета (W_i) и економске показатеље - трошкове (C_i).



Слика 7.1.1. Општи облик фази скупова са лингвистичким променљивим за оцену употребног квалитета и његових показатеља

Фази број (FN) у зависности од μ може да се напише у следећој форми:

$$FN = (\mu_{j=1}, \dots, \mu_{j=5}). \quad (7.1)$$

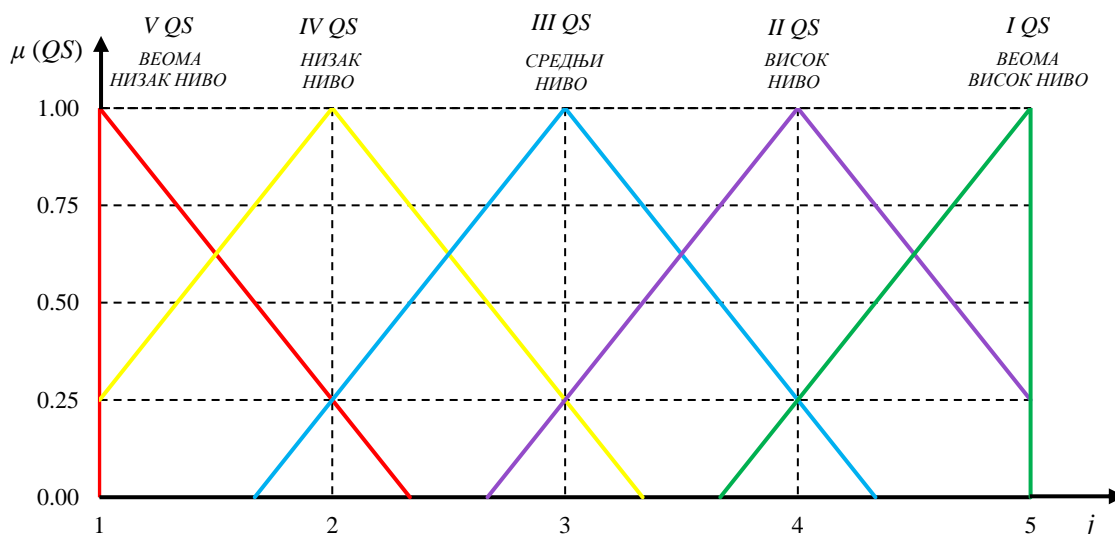
У истој форми могу да се напишу и лингвистичке променљиве (LV). У случају $LV = VLV$ (VFS): $\mu = 1$ за $j = 1$; $\mu = 0,25$ за $j = 2$; $\mu = 0$ за $j = 3, 4, 5$.

Дефинисани фази скупови FS са лингвистичким променљивим LV (слика 7.1.1.) могу да се запишу као:

$$\begin{aligned} IFS (ILV) &= (0,00_{(1)}; 0,00_{(2)}; 0,00_{(3)}; 0,25_{(4)}; 1,00_{(5)}); \\ IIFS (IILV) &= (0,00_{(1)}; 0,00_{(2)}; 0,25_{(3)}; 1,00_{(4)}; 0,25_{(5)}); \\ IIIFS (IIILV) &= (0,00_{(1)}; 0,25_{(2)}; 1,00_{(3)}; 0,25_{(4)}; 0,00_{(5)}); \\ IIIIFS (IIIILV) &= (0,25_{(1)}; 1,00_{(2)}; 0,25_{(3)}; 0,00_{(4)}; 0,00_{(5)}); \\ VFS (VLV) &= (1,00_{(1)}; 0,25_{(2)}; 0,00_{(3)}; 0,00_{(4)}; 0,00_{(5)}). \end{aligned} \quad (7.2)$$

Дефинисани су фази скупови са одговарајућим лингвистичким променљивим за оцену нивоа употребног квалитета машина (слика 7.1.2):

- I QS - "ВЕОМА ВИСОК НИВО",*
- II QS - "ВИСОК НИВО",*
- III QS - "СРЕДЊИ НИВО",*
- IV QS - "НИЗАК НИВО",*
- V QS - "ВЕОМА НИЗАК НИВО".*



Слика 7.1.2. Фази скупови са дефинисаним лингвистичким променљивим за оцену употребног квалитета

У наставку су дати дефинисани фази скупови са одговарајућим лингвистичким променљивим и њиховим описима за све показатеље употребног квалитета машина.

Парцијални показатељи употребног квалитета

Поузданост (R):

- I R - "ОДЛИЧНА"* — Стабилан радни процес, откази машине су ретки. Дизајн машине је прилагођен задатим условима рада. Стабилна су физичко-хемијска својства конструктивних материјала.
- II R - "ДОБРА"* — Рад машине је праћен са повременим отказима који се отклањају у кратком временском интервалу. Ниски су трошкови поправке.
- III R - "ПРОСЕЧНА"* — Време рада машине се смењује са временом у отказу, које има утицаја на временску слику стања машине. Највећи број поправки се изврши пре отказа главних компонената машине превентивним одржавањем. Трошкови поправке су умерени.
- IV R - "ПРИХВАТЉИВА"* — Откази машине су чести, укључујући и отказе главних компонената. Поправке се све чешће врше корективним одржавањем уз повишене трошкове одржавања. Поузданост машине није на потребном нивоу. Рад машине је на све нижем степену ефикасности.
- VR - "ЛОША"* — Машина је највећи део времена у отказу. Трошкови одржавања су веома високи. Вредности основних параметара нису у задатим границама. Машина није на потребном нивоу радних перформанси.

Погодност одржавања (M):

- IM - "ОДЛИЧНА"* — Добра је прилагођеност машине за обављање поступака одржавања. Висок степен унификације и стандардизације примењених делова. Поступци одржавања се спроводе сходно планираном превентивном одржавању. Време трајања поступака одржавања је кратко. Трошкови одржавања су ниски.
- II M - "ДОБРА"* — Благовремено се идентификују и лоцирају слаба места, добра је обученост радника за дијагностику. Приступачност местима на којима је потребно применити поступке одржавања је добра. Поступци одржавања се обављају у времену планираног превентивног одржавања.
- III M - "ПРОСЕЧНА"* — Поправке се најчешће обављају превентивним одржавањем чиме се спречавају или одлажу откази главних компонената машине. Повремено долази до изненадних кварова. Време обављања поступака одржавања некад је дуже од планираног услед нерасположивости резервних делова и адекватних алата и опреме, отежане приступачности местима поправке, корозије и сл. Трошкови одржавања су умерени.
- IV M - "ПРИХВАТЉИВА"* — Извођење поступака одржавања је отежано чије се време трајања не може планирати. Поправке главних компонената машине се изводе у сложеним операцијама расклапања и склапања. Чека се на обезбеђивње резервних делова, алата и опреме. Недовољан је број квалификованих и обучених радника на пословима одржавања. Трошкови одржавања су повишени.

- V M - "ЛОША"* — Машина се не може довести у функционално стање дужи временски период поступцима одржавања под датим условима уз прихватљиву висину трошкова. Отежан је транспорт машине са места рада до места одржавања - радионице.

Логистичка подршка одржавању (MS):

- I MS - "ОДЛИЧНА"* — Организацијом система одржавања обезбеђено је извођење неопходних поступака одржавања. Опремљен је простор и радионица за одржавање потребним уређајима и алатима за одржавање. Обезбеђен је довољан број квалификованих и оспособљених радника за послове одржавања и коришћења машине. Добра је снабдевеност резервним деловима, потрошним материјалом, енергијом, документацијом, информатиком, администрацијом и сл.
- II MS - "ДОБРА"* — Сви елементи логистичке подршке одржавању су на високом нивоу. Обезбеђено је стабилно снабдевање резервним деловима. Радници на одржавању су обучени. Доступна је техничка документација и информатичка подршка и др.
- III MS - "ПРОСЕЧНА"* — Подршка одржавању машине је задовољавајућа. Повремено се јавља нестабилност у снабдевању резервним деловима и потребним алатима.
- IV MS - "ПРИХВАТЉИВА"* — Подршка одржавању машине није задовољавајућа. Снабдевање резервним деловима и алатима је отежано. Недостаје одређен број квалификованих и обучених радника на пословима одржавања. Информатичка и административна подршка нису на потребном нивоу.
- V MS - "ЛОША"* — Логистичком подршком под датим условима није обезбеђено потребно одржавање машине. Велика удаљеност радионице од места рада машине. Трајање поступака одржавања је неизвесно, услед недостатка резервних делова, алата, недовољне обучености радника и других елемената логистичке подршке.

Функционалност (F):

- I F - "ВЕОМА ВИСОК НИВО"* — Веома висок степен задовољења функционалних захтева машине. Машина се успешно прилагођава условима радне средине и лако користи. Одступања радног учинка (капацитета) од теоријског су занемаљива.
- II F - "ВИСОК НИВО"* — Машина остаје у функционалном стању при промени услова рада (карактеристика радне средине, влажности, температуре, присуства прашине, вибрација, динамичких утицаја и сл.). Одступања радног учинка од теоријског су мала.
- III F - "ПРОСЕЧАН НИВО"* — Машина се у највећем броју случајева успешно прилагођава променама услова рада. Одступања радног учинка од теоријског су на задовољавајућем нивоу.
- IV F - "ПРИХВАТЉИВ НИВО"* — Машина се отежано прилагођава условима радне средине. Одступања радног учинка од теоријског су значајна.

V F - "НИЗАК НИВО" — Машина при промени услова рада не задржава функционалне способности. Тешко се користи. Неприхватљива су одступања радног учинка од теоријског.

Утицај отказа на радно окружење (S_{ro}):

- I S_{ro} - "МИНОРАН"* — Утицаја отказа на запослене раднике је миноран. Нема повреда запослених радника.
- II S_{ro} - "НИЗАК"* — Ретке су лакше телесне повреде запослених радника које су саниране једноставним третманима.
- III S_{ro} - "УМЕРЕН"* — Повреде код запослених су умерене. Потребна је одређена нега.
- IV S_{ro} - "ВИСОК"* — Евидентирани су озбиљне повреде запослених или трајна професионална болест.
- V S_{ro} - "ЕКСТРЕМАН"* — Евидентирани су трајне инвалидности запослених радника, тешке професионалне болести или смртни случајеви.

Утицај отказа на животну средину (S_{zs}):

- I S_{zs} - "МИНОРАН"* — Занемаљив је утицај на животну средину. Нема хемијске задржаности земљишта, површинских и подземних вода нафтним дериватима, мастима и техничким уљем из механизације. Утицај емисије прашине и полутаната насталих сагоревањем горива на квалитет ваздуха је занемарљив. Ниво буке је занемарљив. Мерама ублажавања и спречавања емисије штетних материја, технолошким дисциплином, ефикасним одржавањем и прописним руковањем механизацијом штетни утицаји се своде на безначајне. Мере ублажавања и спречавања не захтевају додатне трошкове.
- II S_{zs} - "НИЗАК"* — Ретко долази до значајног утицаја на животну средину. Ниво буке и загађење ваздуха емисијом прашине и полутаната је ниско. Ублажавање штетних ефеката се постиже обарањем прашине водом, ефикасним одржавањем и прописним руковањем механизацијом. Ниски су трошкови предузетих мера.
- III S_{zs} - "УМЕРЕН"* — Штетни утицаји на животну средину су умерени и локализовани мерама ублажавања и спречавања. Ниво буке и загађење ваздуха емисијом прашине и полутаната је умерено. Повремено долази до локалне хемијске задржаности земљишта нафтним дериватима, мастима и техничким уљем из механизације. Ублажавање штетних ефеката на прихватљив ниво постиже се технолошким дисциплином и надзором, благовременим реаговањем на сваку појаву нерегуларности и адекватним одржавањем. Трошкови предузетих мера су прихватљиви.
- IV S_{zs} - "ВИСОК"* — Негативни ефекти на животну средину су значајни и чести. Ниво буке и загађење ваздуха емисијом штетних материја је високо. Долази до хемијске задржаности земљишта нафтним дериватима, мастима и техничким уљем из механизације. Може доћи (услед акцидентних ситуација) до њиховог расипања по површини тла и спирања атмосферским водама са штетним последицама по околну тло, водотокове и подземне воде. Отежано је предузимање мера за

ублажавање штетног утицаја на животну средину, захтева значајна материјална средства.

- V S_{zs} - "ЕКСТРЕМАН"* — Неприхватљив је штетан утицај на животну средину. Ниво буке и загађење ваздуха емисијом штетних материја је екстремно високо. Постоји ризик од удеса који се манифестује пуцањем и истакањем нафте из резервоара, који може довести до ширења опасних експлозивних гасова услед наглог испаравања, упала или експлозија, појаве буке већег интензитета и сл. Негативни ефекти на животну средину се не могу спречити предузимањем ублажавајућих мера и ангажовањем значајних ресурса.

Озбиљност отказа (*S*):

Озбиљност отказа (*S*) као показатељ нивоа ризика (*R_i*) сагледава се преко три индикатора негативног утицаја отказа:

- време потребно за враћање машине у стање рада, тј. време у застоју потребно за отклањање квара (*S_t*),
- утицај отказа на безбедност и здравље запослених, тј. утицај на радно окружење (*S_{ro}*),
- утицај отказа на животну средину (*S_{zs}*).

Време потребно за отклањање квара (*S_t*) се сагледава преко функције погодности одржавања (*M*) као мере времена проведеног у застоју. У претходном делу овог поглавља дефинисани су фази скупови са одговарајућим лингвистичким променљивим за оцену погодности одржавања машина.

На основу индикатора *S_t*, *S_{ro}* и *S_{zs}* дефинисани су фази скупови са одговарајућим лингвистичким променљивим за озбиљност отказа (*S*) као показатеља ризика (*R_i*):

I S - "ВЕОМА НИЗАК НИВО", *II S - "НИЗАК НИВО"*, *III S - "ПРОСЕЧАН НИВО"*, *IV S - "ВИСОК НИВО"*,
V S - "ВЕОМА ВИСОК НИВО".

Детектабилност (*D_i*):

- I D_t - "СКОРО СИГУРНА"* — Редовним прегледима машине скоро сигурно се откривају потенцијални откази и предузимају мере за спречавање појаве инцидента и минимизирање последица отказа.
- II D_t - "МОГУЋА"* — Свако сваки потенцијални отказ је могуће идентификовати редовним прегледима машине и запажањима руковаоца без посебне обуке радника за те активности.
- III D_t - "УМЕРЕНА"* — Потенцијални откази се могу идентификовати само анализом радника који су специјално обучени и/или поседују знање и вештине о тој активности (експертска анализа).
- IV D_t - "ТЕШКА"* — Потенцијални откази се тешко идентификују, само корективно (инциденти) или редовним надгледањем машине (мониторинг ризика).
- V D_t - "НЕМОГУЋА"* — Не постоји начин за откривање потенцијалне опасности од отказа машине или је њихово надгледање и откривање изузетно тешко.

Синтезни показатељи употребног квалитета

Ефективност (E):

Ефективност (E) као синтезни показатељ употребног квалитета дефинисан је преко парцијалних показатеља поузданости (R), погодности одржавања (M) и функционалности (F). За процену ефективности (E) дефинисани су фази скупови са одговарајућим лингвистичким променљивим:

I E - "ОДЛИЧНА", II E - "ДОБРА", III E - "ПРОСЕЧНА", IV E - "ПРИХВАТЉИВА", V E - "ЛОША".

Расположивост (A):

Расположивост (A) као синтезни показатељ употребног квалитета дефинисан је преко парцијалних показатеља поузданости (R) и погодности одржавања (M). За процену расположивости (A) дефинисани су фази скупови са одговарајућим лингвистичким променљивим:

IA - "ОДЛИЧНА", IIA - "ДОБРА", IIIA - "ПРОСЕЧНА", IVA - "ПРИХВАТЉИВА", VA - "ЛОША".

Сигурност функционисања (D):

Сигурност функционисања (D) као синтезни показатељ употребног квалитета дефинисан је преко парцијалних показатеља поузданости (R), погодности одржавања (M) и логистичке подршке одржавању (MS). За процену сигурности функционисања (D) дефинисани су фази скупови са одговарајућим лингвистичким променљивим:

ID - "ОДЛИЧНА", IID - "ДОБРА", IIID - "ПРОСЕЧНА", IVD - "ПРИХВАТЉИВА", VID - "ЛОША".

Ризик (R_i):

Ризик (R_i) као синтезни показатељ употребног квалитета дефинисан је преко парцијалних показатеља озбиљности отказа (S), учесталости појављивања отказа (O) и детектабилност (Dt).

Учесталост појављивања отказа (O) се сагледава преко функције поузданост (R) као мере учесталости појављивања отказа. У претходном делу овог поглавља дефинисани су фази скупови са одговарајућим лингвистичким променљивим за оцену поузданости машина.

За процену ризика (R_i) дефинисани су фази скупови са одговарајућим лингвистичким променљивим:

IRi - "МИНОРАН", IIRi - "НИЗАК", IIIRi - "УМЕРЕН", IIVRi - "ВИСОК", IIVRi - "ЕКСТРЕМАН".

Економски показатељи употребног квалитета

Економски показатељи употребног квалитета дефинисани су на бази трошкова животног циклуса машина (C), преко укупних трошкова по мото часу машине на годишњем нивоу (C_i).

Трошкови (C):

За процену трошкова (C) дефинисани су фази скупови са одговарајућим лингвистичким променљивим:

- I C - "ВЕОМА НИСКИ"* — Укупни трошкови животног циклуса машине су веома ниски. Трошкови испоруке из фабрике, каматне стопе и др. су изузетно повољни. Трошкови одржавања су веома ниски. Локалне цене горива и радне снаге су изузетно повољне.
- II C - "НИСКИ"* — Укупни трошкови машине су ниски. Значајан удео имају трошкови горива, радне снаге и превентивног одржавања (трошкови уља, мазива, расхладне течности, филтера, планских сервиса).
- III C - "УМЕРЕНИ"* — Трошкови горива и радне снаге су прихватљиви (локалне цене су нешто више). Приметан је раст трошкова превентивног одржавања, нарочито трошкова резервних делова (плански сервис и ретко генералне оправке). Трошкови поправке кварова и застоја изван планираних периода одржавања су прихватљиви. Укупни трошкови машине су умерени.
- IV C - "ВИСОКИ"* — Евидентан је раст оперативних трошкова. Трошкови горива, резервних делова, потрошног материјала и опреме за обављање сервиса и генералних оправки су све виши. Трошкови корективног одржавања и утрошеног времена (радних сати) су високи. Укупни трошкови машине су високи.
- V C - "ЕКСТРЕМНО ВИСОКИ"* — Укупни трошкови машине су екстремно високи. Даље ангажовање машине није економски оправдано.

7.2 Модел фазификације

Фазификација је процес у коме се улазни подаци преводе у фази вредности.

Уколико су улазни подаци у нумеричком облику неопходно је извршити трансформацију ових података у фази форму (бројеве), (7.1).

У случају парцијалних показатеља поузданости (R) и погодности одржавања (M), који су дефинисани на основу теорије поузданости, неопходно је фазификовати функције поузданости $R(t)$ и погодности одржавања $M(\tau)$, односно функције густине отказа $f(t)$ и времена одржавања $f(\tau)$.

Код парцијалног показатеља функционалност (F) потребно је фазификовати статистички обрађене податке о резултатима радног учинка, односно о капацитету машине, што представља измерене нумеричке вредности које у реалном систему имају одређена одступања зависно од услова радне средине.

Када су улазни подаци у лингвистичкој форми неопходно је извршити њихово превођење у фази бројеве. У случају показатеља логистичка подршка одржавању MS , утицаја отказа на радно окружење S_{ro} и утицаја отказа на животну средину S_{zs} као индикатора показатеља озбиљност отказа S и показатеља детектабилност Dt потребно је фазификовање резултата експертских процена ових парцијалних показатеља употребног квалитета машина QS , добијених на бази попуњених анкетних упитника од стане запослених у експлоатацији и одржавању посматраних машина.

Када су у питању економски показатељи C употребног квалитета машина QS , који се репрезентују преко егзактних података о укупним трошковима C_t по мото часу на годишњем нивоу, обрађених применом *Caterpillar*-овог трошковог модела, на основу података добијених праћењем трошкова током свих фаза животног циклуса машина. Како је висина трошкова током експлоатације машина променљива величина, потребно је одредити функционалну зависност из измерених података и фазификовати вредности трошкова добијене методом тежишта.

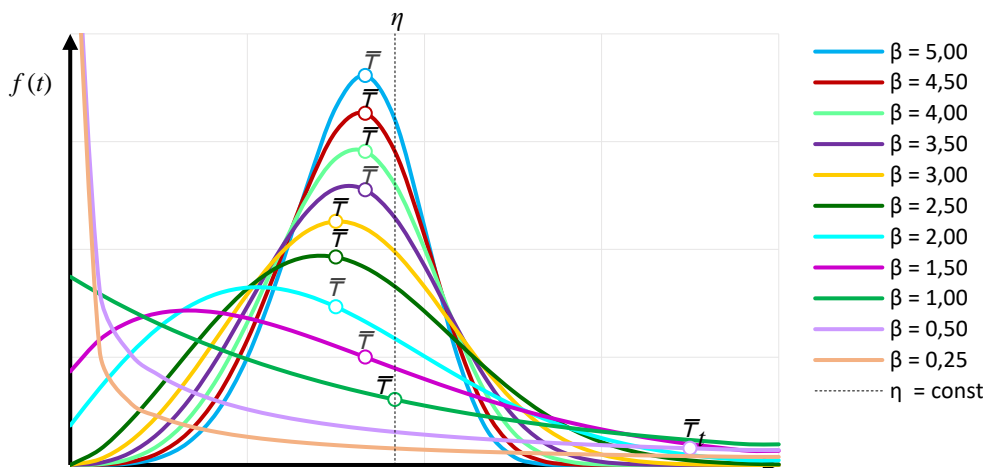
7.2.1 Фазификовање кумулативне временски зависне функције

У инжењерству поузданости и одржавања најчешће се користи *Weibull*-ова двопараметарска расподела са којом могу да се интерпретирају различите и многобројне појаве и феномени захваљујући њеној параметарској природи, параметру облика (β) и параметру размере (η). У специјалним случајевима ова расподела покрива и друге законе расподеле. Применом ове расподеле може се моделирати велики број података и животних карактеристика (*Weibull*, 1951) [46].

Подаци са којима се улази у модел су измерени временски периоди у раду $t = t_1, \dots, t_n$ и у отказу $\tau = \tau_1, \dots, \tau_n$ према временској слици стања машине. На основу наведених података може се израчунати функција густине отказа (*Dhillon*, 2008) [20]:

$$f_t = \frac{\beta}{\eta^\beta} \cdot t^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad f_\tau = \frac{\beta}{\eta^\beta} \cdot \tau^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{\eta}\right)^\beta} \quad (7.3)$$

Дијаграми функције густине отказа $f(t)$ и средње време \bar{T} за *Weibull*-ову двопараметарску расподелу, када су вредности параметра облика β различите а вредности параметра размере η константне, приказани су на слици 7.2.1.1.

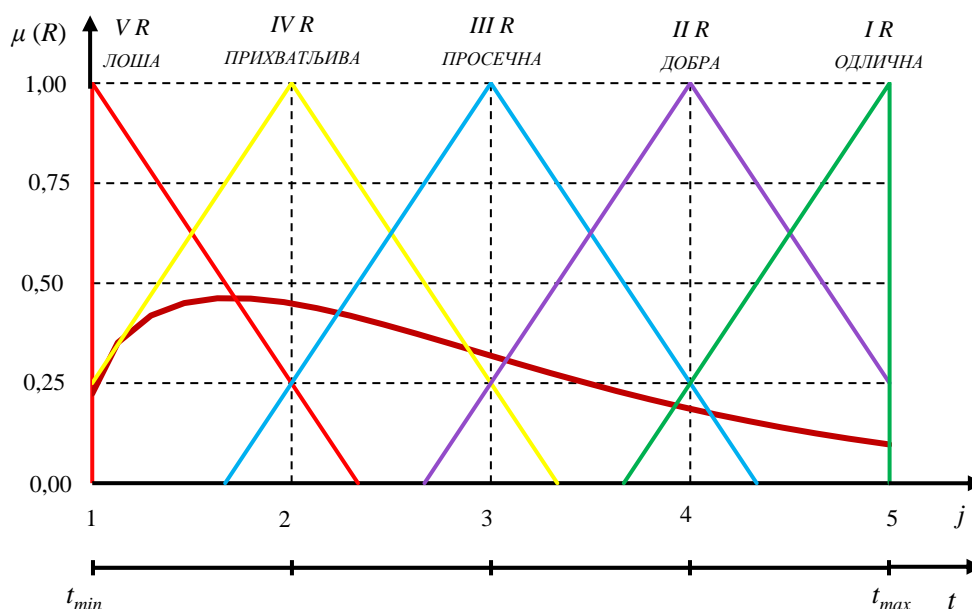


Слика 7.2.1.1. Функције густине отказа $f(t)$ са средњим временом \bar{T} — *Weibull*-ова двопараметарска расподела, прилагођено према [26]

Функције $f(t)$ и $f(\tau)$ се пресликавају, односно мапирају на фази скупове показатеља R и M дефинисаних у координатном систему μ - j (7.1.1) да би се добили резултати за R и M у фази облику (7.1). Дефинисањем односа између j и реалног времена t , односно τ , дефинишу се позиције фази бројева према j -вредностима као мере поузданости и погодности одржавања (слике 7.2.1.2 и 7.2.1.3).

Евидентиране минималне (t_{min}) и максималне (t_{max}) периоде у раду треба користити редом, за прве ($j=1$ – најлошије) и пете ($j=5$ – најбоље) j -вредности R . Линеарном интерполацијом се добијају остале вредности:

$$\begin{aligned} j=2, t_2 &= t_{min} + ((t_{max} - t_{min}) / 4) ; \\ j=3, t_3 &= t_2 + ((t_{max} - t_{min}) / 4) ; \\ j=4, t_4 &= t_3 + ((t_{max} - t_{min}) / 4) . \end{aligned}$$



Слика 7.2.1.2. Процес мапирања функције густине отказа на фази скупове поузданости

Када је у питању мерење M најкраће време за отклањање отказа (τ_{min}) приказује се са $j=5$, а најдуже време (τ_{max}) са $j=1$, тј. оцена ће бити "ОДЛИЧНА" ако је потребно што краће време τ за отклањање отказа и обрнуто. Линеарном интерполацијом се добијају остале вредности:

$$\begin{aligned} j=2, \tau_2 &= \tau_{max} - ((\tau_{max} - \tau_{min}) / 4) ; \\ j=3, \tau_3 &= \tau_2 - ((\tau_{max} - \tau_{min}) / 4) ; \\ j=4, \tau_4 &= \tau_3 - ((\tau_{max} - \tau_{min}) / 4) . \end{aligned} \tag{7.4}$$

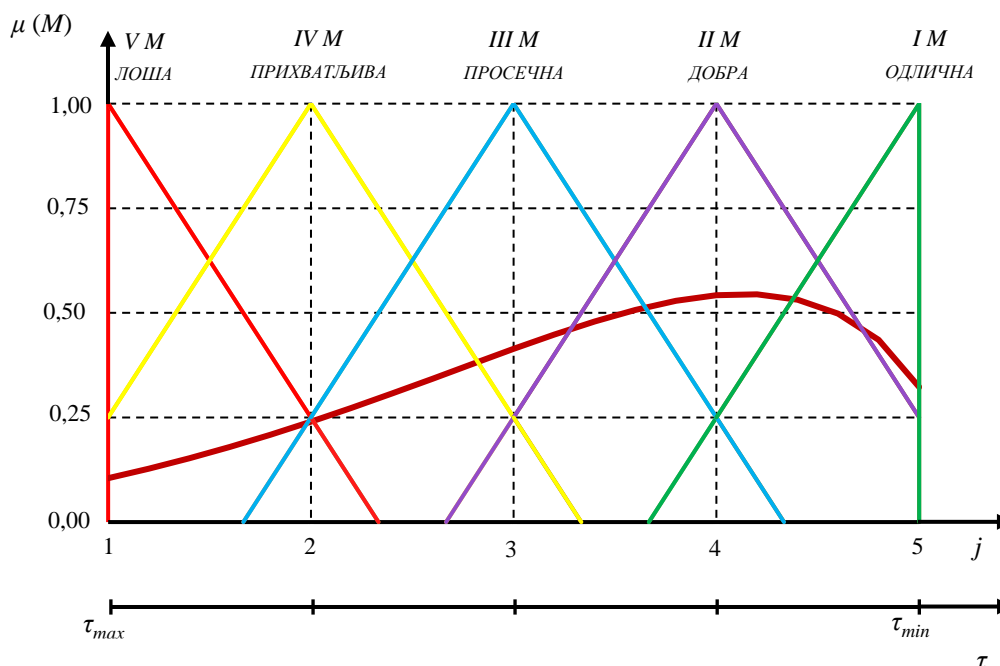
Овакав приступ фазификовању кумулативне временски зависне функције потенцијално може да прави проблем код малог статистичког узорка, када се доводи у питање адекватност ових времена. Теоретски, треба разматрати најкраће и најдуже очекивано време, тј. време t за $R(t) \rightarrow 0$ и $R(t) \rightarrow 1$, односно време τ за $M(\tau) \rightarrow 0$ и $M(\tau) \rightarrow 1$. Ова времена се најчешће не узимају у обзир пошто се процењују као нерeална.

Процеси мапирања функције $f(t)$ и $f(\tau)$ на фази скупове показатеља R и M приказани су на сликама 7.2.1.2 и 7.2.1.3. Површине ограничене кривим $f(t)$ и $f(\tau)$ и j -осом на сегменту од $j=1$ до $j=5$, подељене су на одговарајуће фази скупове $I R (I M)$, ..., $V R (V M)$ са одговарајућим лингвистичким променљивим ("ОДЛИЧНА",, "ЛОША") у зависности од површине преклапања. Одређује се процентуално преклапање површине са сваким фази скупом, односно функције припадности одговарајућим фази скуповима. Добијене вредности се скалирају како би њихов збир био 1:

где је:

$$\mu (R_{fn-ОДЛИЧНА}) + \mu (R_{fn-ДОБРА}) + \mu (R_{fn-ПРОСЕЧНА}) + \mu (R_{fn-ПРИХВАТЉИВА}) + \mu (R_{fn-ЛОША}) = 1; \tag{7.5}$$

$$\mu (M_{fn-ОДЛИЧНА}) + \mu (M_{fn-ДОБРА}) + \mu (M_{fn-ПРОСЕЧНА}) + \mu (M_{fn-ПРИХВАТЉИВА}) + \mu (M_{fn-ЛОША}) = 1. \tag{7.6}$$



Слика 7.2.1.3. Процес мапирења функције густине времена одржавања на фази скупове погодности одржавања

Оцене парцијалних показатеља поузданост (R) и погодност одржавања (M) се добијају у следећем облику:

$$R = (R_{\text{фн}} \text{ "ОДЛИЧНА"}; R_{\text{фн}} \text{ "ДОБРА"}; R_{\text{фн}} \text{ "ПРОСЕЧНА"}; R_{\text{фн}} \text{ "ПРИХВАТЉИВА"}; R_{\text{фн}} \text{ "ЛОША"}). \quad (7.7)$$

$$M = (M_{\text{фн}} \text{ "ОДЛИЧНА"}; M_{\text{фн}} \text{ "ДОБРА"}; M_{\text{фн}} \text{ "ПРОСЕЧНА"}; M_{\text{фн}} \text{ "ПРИХВАТЉИВА"}; M_{\text{фн}} \text{ "ЛОША"}). \quad (7.8)$$

где је:

R - оцена парцијалног показатеља поузданост,

M - оцена парцијалног показатеља погодност одржавања,

$R_{\text{фн-одлична}}, \dots, R_{\text{фн-лоша}}$ - функције припадности фази скуповима дефинисаним фази пропозицијом за оцену показатеља поузданост,

$M_{\text{фн-одлична}}, \dots, M_{\text{фн-лоша}}$ - функције припадности фази скуповима дефинисаним фази пропозицијом за оцену показатеља погодност одржавања.

Вредности функција припадности се уносе у фази скупове дефинисане релацијама 7.2 за показатеље R и M . На овај начин добијају се специфичне вредности фази скупова за оцену ових показатеља.

Фази суп $I R$ са лингвистичком променљивом "ОДЛИЧНА" показатеља R је дефинисан као: $R_{\text{одлична}} = (0,00_{(1)}; 0,00_{(2)}; 0,00_{(3)}; 0,25_{(4)}; 1,00_{(5)})$ према слици 7.1.1. Специфична вредност фази скупа $I R$ ("ОДЛИЧНА") за посматрану машину се добија на следећи начин: $R_{\text{одлична}} = \{(0,00 \times R_{\text{фн-одлична}})_{(1)}; (0,00 \times R_{\text{фн-одлична}})_{(2)}; (0,00 \times R_{\text{фн-одлична}})_{(3)}; (0,25 \times R_{\text{фн-одлична}})_{(4)}; (1,00 \times R_{\text{фн-одлична}})_{(5)}\}$. На исти начин се третирају остали фази скупови показатеља R .

Коначно се специфичне вредности сабирају међу собом за сваку вредност $j = 1, \dots, 5$ и уносе у фази образац (7.1), тако да се добија оцена показатеља R за посматрану машину у фази форми:

$$\mu_R = (\mu_{R(j=1)}, \mu_{R(j=2)}, \mu_{R(j=3)}, \mu_{R(j=4)}, \mu_{R(j=5)}). \quad (7.9)$$

Табела 7.2.1.1. Специфичне вредности фази скупова показатеља поузданости

$j =$	1	2	3	4	5
$R_{\text{ОДЛИЧНА}}$	$0,00 \times R_{\text{фп-ОДЛИЧНА}}$	$0,00 \times R_{\text{фп-ОДЛИЧНА}}$	$0,00 \times R_{\text{фп-ОДЛИЧНА}}$	$0,25 \times R_{\text{фп-ОДЛИЧНА}}$	$1,00 \times R_{\text{фп-ОДЛИЧНА}}$
$R_{\text{ДОБРА}}$	$0,00 \times R_{\text{фп-ДОБРА}}$	$0,00 \times R_{\text{фп-ДОБРА}}$	$0,25 \times R_{\text{фп-ДОБРА}}$	$1,00 \times R_{\text{фп-ДОБРА}}$	$0,25 \times R_{\text{фп-ДОБРА}}$
$R_{\text{ПРОСЕЧНА}}$	$0,00 \times R_{\text{фп-ПРОСЕЧНА}}$	$0,25 \times R_{\text{фп-ПРОСЕЧНА}}$	$1,00 \times R_{\text{фп-ПРОСЕЧНА}}$	$0,25 \times R_{\text{фп-ПРОСЕЧНА}}$	$0,00 \times R_{\text{фп-ПРОСЕЧНА}}$
$R_{\text{ПРИХВАТЉИВА}}$	$0,25 \times R_{\text{фп-ПРИХВАТ.}}$	$1,00 \times R_{\text{фп-ПРИХВАТ.}}$	$0,25 \times R_{\text{фп-ПРИХВАТ.}}$	$0,00 \times R_{\text{фп-ПРИХВАТ.}}$	$0,00 \times R_{\text{фп-ПРИХВАТ.}}$
$R_{\text{ЛОША}}$	$1,00 \times R_{\text{фп-ЛОША}}$	$0,25 \times R_{\text{фп-ЛОША}}$	$0,00 \times R_{\text{фп-ЛОША}}$	$0,00 \times R_{\text{фп-ЛОША}}$	$0,00 \times R_{\text{фп-ЛОША}}$
ΣR	$\mu_{R(j=1)}$	$\mu_{R(j=2)}$	$\mu_{R(j=3)}$	$\mu_{R(j=4)}$	$\mu_{R(j=5)}$

Специфичне вредности фази скупова и коначна оцена у фази облику (7.1) за парцијални показатељ погодност одржавања (M) се добијају на исти начин:

$$\mu_M = (\mu_{M(j=1)}, \mu_{M(j=2)}, \mu_{M(j=3)}, \mu_{M(j=4)}, \mu_{M(j=5)}). \quad (7.10)$$

7.2.2 Фазификовање нумеричких вредности – измерених података са одступањем

Парцијални показатељ функционална погодност (F) је у корелацији са радним капацитетом који представља измерену нумеричку вредност. Оцена показатеља F врши се на бази статистички обрађених измерених података о резултатима радног учинка, односно капацитета машине (Q).

Теоријски капацитет (Q_t) се израчунава на основу параметара који га детерминишу, у зависности од техничких карактеристика машине. Вредност реалног капацитета сваке машине се може измерити у процесу експлоатације. У стварности, вредности остварених капацитета одступају од теоријских, у зависности од услова радне средине. Велико одступање између оствареног и теоријског капацитета указује на значајне проблеме при раду машине, нефлексибилност и неприлагођавање условима радне средине (низак ниво функционалности). Мало одступање између оствареног и теоријског капацитета указује на значајну способност прилагођавања условима радне средине, односно висок степен задовољења функционалних захтева (висок ниво функционалности).

С' обзиром да је вредност капацитета варијабилна, у зависности од услова рада, подаци са којима се улази у модел за оцену показатеља функционалност (F) су средња одступања између оствареног и теоријског капацитета (ΔQ_{sr}) посматраних машина.

$$\Delta Q_{sr} = \frac{(Q_t - Q_{min}) + (Q_{max} - Q_t)}{2} \quad (7.11)$$

Статистичком обрадом резултата одређеног броја (n) мерења капацитета (Q_1, Q_2, \dots, Q_n) у датим условима рада добијају се максималне (Q_{max}) и минималне (Q_{min}) вредности капацитета које су оствариле посматране машине.

Фазификација улазних података за оцену показатеља F се врши на следећи начин:

Идентификује се максимално (ΔQ_{max}) и минимално (ΔQ_{min}) одступње између оствареног и теоријског капацитета код посматраних машина:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{min} &= |Q_{tp} - Q_{rp}| \\ \Delta Q_{max} &= |Q_{tq} - Q_{rq}| \end{aligned} \quad (7.12)$$

где је:

Q_{rp} – теоријски капацитет машине "p",

Q_{rp} – реални капацитет машине "p", код које је идентификовано најмање одступање између оствареног и теоријског капацитета,

Q_{rq} – теоријски капацитет машине "q",

Q_{rq} – реални капацитет машине "q", код које је идентификовано највеће одступање између оствареног и теоријског капацитета.

Дефинисањем односа између j и вредности одступања између остварених и теоријских капацитета (ΔQ) дефинишу се позиције фази бројева према j -вредностима као мере функционалности посматраних машина (слика 7.2.2.1).

Евидентирано максимално (ΔQ_{max}) одступање између оствареног и теоријског капацитета представља вредност $j=1$ (низак ниво функционалности), а минимално (ΔQ_{min}) одступање капацитета представља вредност $j=5$ (веома висок ниво функционалности). Линеарном интерполацијом се добијају остале вредности:

$$\begin{aligned} j=2, \Delta Q_2 &= \Delta Q_{max} - ((\Delta Q_{max} - \Delta Q_{min}) / 4); \\ j=3, \Delta Q_3 &= \Delta Q_2 - ((\Delta Q_{max} - \Delta Q_{min}) / 4); \\ j=4, \Delta Q_4 &= \Delta Q_3 - ((\Delta Q_{max} - \Delta Q_{min}) / 4). \end{aligned} \quad (7.13)$$

Евидентирани средње вредности одступања између оствареног и теоријског капацитета (ΔQ_{sr}) се мапирају на μ - j координатни систем, односно на фази скупове дефинисане фази пропозицијом за оцену показатеља F (слика 7.1.1). Овим поступком се добијају оцене показатеља F у форми фази броја (7.1). За одређену вредност ΔQ_{sr} повлачи се права управна на апсису тако да пресеца координатни систем μ - j са дефинисаним фази скуповима показатеља F . Из пресечних тачака са границама одговарајућих фази скупова повлаче се линије нормалне на ординату μ , са које се читавају функције припадности одговарајућим фази скуповима.

Очитане вредности се скалирају како би њихов збир био 1:

$$\mu (F_{\text{фн-в.висок ниво}}) + \mu (F_{\text{фн-висок ниво}}) + \mu (F_{\text{фн-прос. ниво}}) + \mu (F_{\text{фн-прих. ниво}}) + \mu (F_{\text{фн-низак ниво}}) = 1 \quad (7.13)$$

Оцена парцијалног показатеља функционалност (F) се добија у следећем облику:

$$F = (F_{\text{фн "ВЕОМА ВИСОК НИВО"}}; F_{\text{фн "ВИСОК НИВО"}}; F_{\text{фн "ПРОСЕЧАН НИВО"}}; F_{\text{фн "ПРИХВАТЉИВ НИВО"}}; F_{\text{фн "НИЗАК НИВО"}}). \quad (7.14)$$

где је:

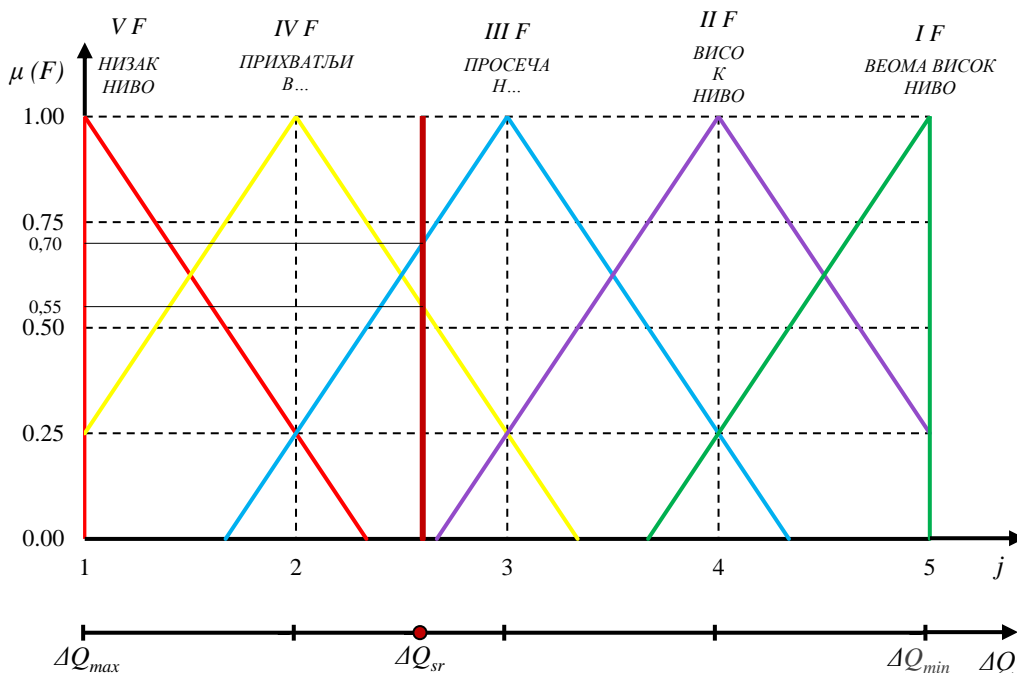
F - оцена парцијалног показатеља функционалност,

$F_{\text{фн-в.висок ниво}}, \dots, F_{\text{фн-низак ниво}}$ - функције припадности фази скуповима дефинисаним фази пропозицијом за оцену показатеља функционалност.

Вредности функција припадности се уносе у фази скупове дефинисане релацијама 7.2 за показатељ F . На овај начин добијају се специфичне вредности фази скупова за оцену показатеља функционалност.

Фази суп $I F$ са лингвистичком променљивом "ВЕОМА ВИСОК НИВО" показатеља F је дефинисан као: $F_{\text{в.висок ниво}} = (0,00_{(1)}; 0,00_{(2)}; 0,00_{(3)}; 0,25_{(4)}; 1,00_{(5)})$ према слици 7.1.1. Специфична вредност фази скупа $I F$ ("ВЕОМА ВИСОК НИВО") за посматрану машину се добија на следећи начин: $F_{\text{в.висок ниво}} = \{(0,00 \times F_{\text{фн-в.висок ниво}})_{(1)}; (0,00 \times F_{\text{фн-в.висок ниво}})_{(2)}; (0,00 \times F_{\text{фн-в.висок ниво}})_{(3)};$

$(0,25 \times F_{\text{фн-в.висок ниво}})(4)$; $(1,00 \times F_{\text{фн-в.висок ниво}})(5)$. На исти начин се третирају остали фази скупови показатеља F .



Слика 7.2.2.1. Процес фазификације улазних података за оцену функционалности

Коначно се специфичне вредности сабирају међу собом за сваку вредност $j = 1, \dots, 5$ и уносе у фази образац (7.1), тако да се добија оцена показатеља F за посматрану машину у фази форми:

$$\mu F = (\mu_{F(j=1)}, \mu_{F(j=2)}, \mu_{F(j=3)}, \mu_{F(j=4)}, \mu_{F(j=5)}). \quad (7.15)$$

Табела 7.2.2.1. Специфичне вредности фази скупова показатеља функционалности

$j =$	1	2	3	4	5
$F_{\text{в.висок ниво}}$	$0,00 \times F_{\text{фн-в.висок н.}}$	$0,00 \times F_{\text{фн-в.висок н.}}$	$0,00 \times F_{\text{фн-в.висок н.}}$	$0,25 \times F_{\text{фн-в.висок н.}}$	$1,00 \times F_{\text{фн-в.висок н.}}$
$F_{\text{висок ниво}}$	$0,00 \times F_{\text{фн-висок н.}}$	$0,00 \times F_{\text{фн-висок н.}}$	$0,25 \times F_{\text{фн-висок н.}}$	$1,00 \times F_{\text{фн-висок н.}}$	$0,25 \times F_{\text{фн-висок н.}}$
$F_{\text{прос. ниво}}$	$0,00 \times F_{\text{фн-прос. н.}}$	$0,25 \times F_{\text{фн-прос. н.}}$	$1,00 \times F_{\text{фн-прос. н.}}$	$0,25 \times F_{\text{фн-прос. н.}}$	$0,00 \times F_{\text{фн-прос. н.}}$
$F_{\text{прих. ниво}}$	$0,25 \times F_{\text{фн-прих. н.}}$	$1,00 \times F_{\text{фн-прих. н.}}$	$0,25 \times F_{\text{фн-прих. н.}}$	$0,00 \times F_{\text{фн-прих. н.}}$	$0,00 \times F_{\text{фн-прих. н.}}$
$F_{\text{низак ниво}}$	$1,00 \times F_{\text{фн-низак н.}}$	$0,25 \times F_{\text{фн-низак н.}}$	$0,00 \times F_{\text{фн-низак н.}}$	$0,00 \times F_{\text{фн-низак н.}}$	$0,00 \times F_{\text{фн-низак н.}}$
ΣF	$\mu_{F(j=1)}$	$\mu_{F(j=2)}$	$\mu_{F(j=3)}$	$\mu_{F(j=4)}$	$\mu_{F(j=5)}$

Процес фазификације нумеричких вредности који представљају улазне податке у модел за оцену показатеља F је приказан на слици 7.2.2.1.

Пример: Ако је за неку машину евидентирана вредност ΔQ_{sr} , као у случају приказаном на слици 7.2.2.1, на ординати μ читавају се вредности функција припадности фази скуповима показатеља F :

$$\mu (F_{\text{прих. ниво}}) = 0,55 ; \quad \mu (F_{\text{прос. ниво}}) = 0,70.$$

Очитане вредности се скалирају како би њихов збир био 1:

$$F_{\text{прих. ниво}} + F_{\text{прос. ниво}} = 1$$

$$F_{\text{ПРИХ. НИВО}} = 0,55 / (0,55 + 0,70) = 0,56 ; F_{\text{ПРОС. НИВО}} = 0,70 / (0,55 + 0,70) = 0,44 .$$

У овом случају оцена показатеља F је:

$$F = \{0,00 \text{ "ВЕОМА ВИСОК НИВО"} ; 0,00 \text{ "ВИСОК НИВО"} ; 0,44 \text{ "ПРОСЕЧАН НИВО"} ; 0,56 \text{ "ПРИХВАТЉИВ НИВО"} ; 0,00 \text{ "НИЗАК НИВО"} \} . \quad (7.16)$$

Следи примена горе описаног поступка за добијање специфичних вредности фази скупова и оцене параметра F у фази форми (μ_F).

7.2.3 Фазификовање лингвистичких вредности – експертских процена

Подаци са којима се улази у модел су експертске процене показатеља употребног квалитета (QS) машина дате у лингвистичкој форми. Одређеном броју запослених у експлоатацији и одржавању достављају се упитници за процену парцијалних показатеља употребног квалитета (QS) за сваку посматрану машину.

Упитник садржи понуђене оцене (лингвистичке променљиве) за сваки показатељ који се експертски процењује, у овом случају за следеће показатеље:

- логистичку подршку одржавању (MS),
- утицај отказа на радно окружење (S_{ro}) и утицај отказа на животну средину (S_{zs}) као индикатора озбиљности отказа (S),
- детектабилност (D_t).

Аналитичари оцењују сваку машину појединачно тако што датој лингвистичкој оцени додељују припадност од 100% или своју оцену расподељују на више лингвистичких променљивих. Оцене се дају у интервалу од 0 – 1, уз услов да збир оцена износи 1. Препоручује се да у истраживању учествује најмање пет аналитичара.

Коначне оцене анализираних парцијалних показатеља употребног квалитета (QS) за посматрану машину се добијају на основу појединачних оцена свих аналитичара, у следећем облику:

$$MS = (MS_{\text{фп-ОДЛИЧНА}}; MS_{\text{фп-ДОБРА}}; MS_{\text{фп-ПРОСЕЧНА}}; MS_{\text{фп-ПРИХВАТЉИВА}}; MS_{\text{фп-ЛОША}}), \quad (7.17)$$

где је:

MS - оцена парцијалног показатеља логистичке подршке одржавању;

$$\begin{aligned} MS_{\text{фп-ОДЛИЧНА}} &= (MS_{1(\text{ОДЛ.})} + MS_{2(\text{ОДЛ.})} + \dots + MS_{n(\text{ОДЛ.})}) / n , \\ MS_{\text{фп-ДОБРА}} &= (MS_{1(\text{ДОБРА})} + MS_{2(\text{ДОБРА})} + \dots + MS_{n(\text{ДОБРА})}) / n , \\ MS_{\text{фп-ПРОСЕЧНА}} &= (MS_{1(\text{ПРОС.})} + MS_{2(\text{ПРОС.})} + \dots + MS_{n(\text{ПРОС.})}) / n , \\ MS_{\text{фп-ПРИХВАТЉИВА}} &= (MS_{1(\text{ПРИХ.})} + MS_{2(\text{ПРИХ.})} + \dots + MS_{n(\text{ПРИХ.})}) / n , \\ MS_{\text{фп-ЛОША}} &= (MS_{1(\text{ЛОША})} + MS_{2(\text{ЛОША})} + \dots + MS_{n(\text{ЛОША})}) / n , \end{aligned} \quad (7.18)$$

$MS_{\text{фп-ОДЛИЧНА}}, \dots, MS_{\text{фп-ЛОША}}$ - функција припадности свакој лингвистичкој променљивој дефинисаној фази пропозицијом за оцену показатеља логистичка подршка одржавању, чија се вредност добија када се збир парцијалних оцена ("ОДЛИЧНА", "ДОБРА", ..., "ЛОША") у припадајућој мери подели са бројем аналитичара који учествује у истраживању;

$MS_{1(одл.)}, \dots, MS_{n(одл.)}, \dots, MS_{1(лоша)}, \dots, MS_{n(лоша)}$ - парцијалне оцене аналитичара за посматрану машину додељене у припадајућој мери дефинисаним лингвистичким променљивим за оцену показатеља логистичка подршка одржавању;

n - број аналитичара који учествује у истраживању.

Табела 7.2.3.1. Упитник - експертска процена логистичке подршке одржавањ

Погодност одржавања (MS)		Експерт					$\frac{\sum_1^n MS_{(LV)}}{n}$
МАШИНА / ОЦЕНА		1	2	.....	n		
A_1	$MS_{(LV)}$	"ОДЛИЧНА"	$MS_{1(одл.)}$	$MS_{2(одл.)}$	.....	$MS_{n(одл.)}$	$MS_{\phi n-одлична}$
		"ДОБРА"	$MS_{1(добра)}$	$MS_{2(добра)}$	.....	$MS_{n(добра)}$	$MS_{\phi n-добра}$
		"ПРОСЕЧНА"	$MS_{1(прос.)}$	$MS_{2(прос.)}$	.....	$MS_{n(прос.)}$	$MS_{\phi n-просечна}$
		"ПРИХВАТЉИВА"	$MS_{1(прих.)}$	$MS_{2(прих.)}$	.....	$MS_{n(прих.)}$	$MS_{\phi n-прихватљива}$
		"ЛОША"	$MS_{1(лоша)}$	$MS_{2(лоша)}$	.....	$MS_{n(лоша)}$	$MS_{\phi n-лоша}$
A_2	$MS_{(LV)}$	"ОДЛИЧНА"	$MS_{1(одл.)}$	$MS_{2(одл.)}$	.....	$MS_{n(одл.)}$	$MS_{\phi n-одлична}$
		"ДОБРА"	$MS_{1(добра)}$	$MS_{2(добра)}$	.....	$MS_{n(добра)}$	$MS_{\phi n-добра}$
		"ПРОСЕЧНА"	$MS_{1(прос.)}$	$MS_{2(прос.)}$	.....	$MS_{n(прос.)}$	$MS_{\phi n-просечна}$
		"ПРИХВАТЉИВА"	$MS_{1(прих.)}$	$MS_{2(прих.)}$	.....	$MS_{n(прих.)}$	$MS_{\phi n-прихватљива}$
		"ЛОША"	$MS_{1(лоша)}$	$MS_{2(лоша)}$	.....	$MS_{n(лоша)}$	$MS_{\phi n-лоша}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
A_k	$MS_{(LV)}$	"ОДЛИЧНА"	$MS_{1(одл.)}$	$MS_{2(одл.)}$	.....	$MS_{n(одл.)}$	$MS_{\phi n-одлична}$
		"ДОБРА"	$MS_{1(добра)}$	$MS_{2(добра)}$	.....	$MS_{n(добра)}$	$MS_{\phi n-добра}$
		"ПРОСЕЧНА"	$MS_{1(прос.)}$	$MS_{2(прос.)}$	.....	$MS_{n(прос.)}$	$MS_{\phi n-просечна}$
		"ПРИХВАТЉИВА"	$MS_{1(прих.)}$	$MS_{2(прих.)}$	.....	$MS_{n(прих.)}$	$MS_{\phi n-прихватљива}$
		"ЛОША"	$MS_{1(лоша)}$	$MS_{2(лоша)}$	.....	$MS_{n(лоша)}$	$MS_{\phi n-лоша}$

Истим поступком се добијају оцене осталих анализираних показатеља за посматрану машину:

$$S_{ro} = (S_{ro \phi n-миноран}; S_{ro \phi n-низак}; S_{ro \phi n-умерен}; S_{ro \phi n-висок}; S_{ro \phi n-екстреман}), \quad (7.19)$$

где је:

S_{ro} - оцена утицаја отказа на радно окружење, индикатора озбиљности отказа S ,

$S_{ro \phi n-миноран}, \dots, S_{ro \phi n-екстреман}$ - функција припадности свакој лингвистичкој променљивој дефинисаној фази пропозицијом за оцену утицаја отказа на радно окружење, чија се вредност добија када се збир парцијалних оцена ("МИНОРАН", "НИЗАК", ..., "ЕКСТРЕМАН") у припадајућој мери подели са бројем аналитичара који учествује у истраживању;

$$S_{zs} = (S_{zs \phi n-миноран}; S_{zs \phi n-низак}; S_{zs \phi n-умерен}; S_{zs \phi n-висок}; S_{zs \phi n-екстреман}), \quad (7.20)$$

где је:

S_{zs} - оцена утицај отказа на животну средину, индикатора озбиљности отказа S ,

$S_{zs \phi n-миноран}, \dots, S_{zs \phi n-екстреман}$ - функција припадности свакој лингвистичкој променљивој дефинисаној фази пропозицијом за оцену утицаја отказа на животну средину, чија се вредност добија када се збир парцијалних оцена ("МИНОРАН", "НИЗАК", ..., "ЕКСТРЕМАН") у припадајућој мери подели са бројем аналитичара који учествује у истраживању;

$$D_t = (D_t \text{ фн-СКОРО СИГУРНА}; D_t \text{ фн-МОГУЋА}; D_t \text{ фн-УМЕРЕНА}; D_t \text{ фн-ТЕШКА}; D_t \text{ фн-НЕМОГУЋА}), \quad (7.21)$$

где је:

D_t - оцена парцијалног показатеља детектабилност,

$D_t \text{ фн-СКОРО СИГУРНА}, \dots, D_t \text{ фн-НЕМОГУЋА}$ - функција припадности свакој лингвистичкој променљивој дефинисаној фази пропозицијом за оцену парцијалног показатеља детектабилност, чија се вредност добија када се збир парцијалних оцена ("*СКОРО СИГУРНА*", "*МОГУЋА*", ..., "*НЕМОГУЋА*") у припадајућој мери подели са бројем аналитичара који учествује у истраживању.

Оцене показатеља логистичка подршка одржавању (MS), утицај отказа на радно окружење (S_{ro}), утицај отказа на животну средину (S_{zs}) и детектабилност (D_t) се мапирају на фази скупове дефинисане фази пропозицијом за оцену истих показатеља (слика 7.1.1). Овим поступком се добијају оцене анализираних показатеља у форми фази броја (7.1). Функције припадности за сваку лингвистичку променљиву које су одређене у релацијама 7.17, 7.19, 7.20 и 7.21 уносе се у фази скупове дефинисане релацијама 7.2. На овај начин добијају се специфичне вредности фази скупова анализираних показатеља.

Пример: фази суп $I MS$ са лингвистичком променљивом "*ОДЛИЧНА*" показатеља MS је дефинисан као: $MS_{одл.} = (0,00_{(1)}; 0,00_{(2)}; 0,00_{(3)}; 0,25_{(4)}; 1,00_{(5)})$ према слици 7.1.1. Специфична вредност фази скупа $I MS$ ("*ОДЛИЧНА*") за посматрану машину се добија на следећи начин: $MS_{одл.} = \{(0,00 \times MS_{фн-одл.})_{(1)}; (0,00 \times MS_{фн-одл.})_{(2)}; (0,00 \times MS_{фн-одл.})_{(3)}; (0,25 \times MS_{фн-одл.})_{(4)}; (1,00 \times MS_{фн-одл.})_{(5)}\}$. На исти начин се третирају остали фази скупови показатеља MS .

Коначно се специфичне вредности сабирају међу собом за сваку вредност $j = 1, \dots, 5$ и уносе у фази образац (7.1), тако да се добија оцена показатеља MS за посматрану машину у фази форми:

$$\mu_{MS} = (\mu_{MS(j=1)}, \mu_{MS(j=2)}, \mu_{MS(j=3)}, \mu_{MS(j=4)}, \mu_{MS(j=5)}). \quad (7.22)$$

Табела 7.2.3.2. Специфичне вредности фази скупова логистичке подршке одржавању

$j =$	1	2	3	4	5
$MS_{одл.}$	$0,00 \times MS_{фн-одл.}$	$0,00 \times MS_{фн-одл.}$	$0,00 \times MS_{фн-одл.}$	$0,25 \times MS_{фн-одл.}$	$1,00 \times MS_{фн-одл.}$
$MS_{ДОБРА}$	$0,00 \times MS_{фн-ДОБРА}$	$0,00 \times MS_{фн-ДОБРА}$	$0,25 \times MS_{фн-ДОБРА}$	$1,00 \times MS_{фн-ДОБРА}$	$0,25 \times MS_{фн-ДОБРА}$
$MS_{ПРОС.}$	$0,00 \times MS_{фн-ПРОС.}$	$0,25 \times MS_{фн-ПРОС.}$	$1,00 \times MS_{фн-ПРОС.}$	$0,25 \times MS_{фн-ПРОС.}$	$0,00 \times MS_{фн-ПРОС.}$
$MS_{ПРИХ.}$	$0,25 \times MS_{фн-ПРИХ.}$	$1,00 \times MS_{фн-ПРИХ.}$	$0,25 \times MS_{фн-ПРИХ.}$	$0,00 \times MS_{фн-ПРИХ.}$	$0,00 \times MS_{фн-ПРИХ.}$
$MS_{ЛОША}$	$1,00 \times MS_{фн-ЛОША}$	$0,25 \times MS_{фн-ЛОША}$	$0,00 \times MS_{фн-ЛОША}$	$0,00 \times MS_{фн-ЛОША}$	$0,00 \times MS_{фн-ЛОША}$
ΣMS	$\mu_{MS(j=1)}$	$\mu_{MS(j=2)}$	$\mu_{MS(j=3)}$	$\mu_{MS(j=4)}$	$\mu_{MS(j=5)}$

Специфичне вредности фази скупова и коначне оцене у фази облику (7.1) за утицај отказа на радно окружење (S_{ro}) и утицај отказа на животну средину (S_{zs}) као индикаторе парцијалног показатеља озбиљност отказа S , као и за парцијални показатељ детектабилност (D_t) се добијају на исти начин:

$$\mu_{S_{ro}} = (\mu_{S_{ro}(j=1)}, \mu_{S_{ro}(j=2)}, \mu_{S_{ro}(j=3)}, \mu_{S_{ro}(j=4)}, \mu_{S_{ro}(j=5)}), \quad (7.23)$$

$$\mu_{S_{zs}} = (\mu_{S_{zs}(j=1)}, \mu_{S_{zs}(j=2)}, \mu_{S_{zs}(j=3)}, \mu_{S_{zs}(j=4)}, \mu_{S_{zs}(j=5)}), \quad (7.24)$$

$$\mu_{D_t} = (\mu_{D_t(j=1)}, \mu_{D_t(j=2)}, \mu_{D_t(j=3)}, \mu_{D_t(j=4)}, \mu_{D_t(j=5)}). \quad (7.25)$$

7.2.4 Фазификовање нумеричких вредности – одређивање функционалне зависности из измерених података - примена методе тежишта

За оцену економских показатеља употребног квалитета користе се подаци о трошковима (C), добијени систематским праћењем машина током свих фаза животног циклуса. Прикупљени подаци о трошковима се обрађују неком од економетријских метода за процену трошкова животног циклуса техничких система. Најчешће се користи *Caterpillar*-ов модел процене трошкова власништва и оперативних трошкова опреме и машина [99] као методолошки једноставан и практичан за примену (детаљно објашњење овог трошковног модела је дато у поглављу 4.2.2).

Оцена показатеља C се врши на бази измерених података о укупним трошковима (C_t) по мото часу машине ($C_t/moto\ h$) на годишњем нивоу, за одређени број година експлоатације машине t , који представљају измерене нумеричке вредности.

C' обзиром да је висина трошкова током експлоатације посматраних машина променљива величина, подаци са којима се улази у модел за оцену показатеља C су емпиријске вредности трошкова добијене одређивањем функционалне зависности из измерених података и тежишта површине омеђене контуром регресионе праве/криве и апцисе правоугаоног координатног система.

Поступак за оцену економских показатеља употребног квалитета посматраних машина подразумева следеће кораке:

- Добијање функционалне зависности трошкова од година експлоатације посматраних машина;
- Одређивање тежишта површине омеђене контуром регресионе праве/криве трошкова и апцисе правоугаоног координатног система;
- Фазификовање емпиријске вредности трошкова - вредности коју има функција апроксимације трошкова за временски период (број година) експлоатације машине у тежишту површине омеђене контуром регресионе праве/криве трошкова и апцисе правоугаоног координатног система.

7.2.4.1 Апроксимација измерених података методом најмањих квадрата

Као једна од најважнијих метода за добијање функционалне зависности из датих експерименталних података примењује се метода најмањих квадрат [119], која има елементе нумеричке математике и статистике. Крива која најмање одступа од експерименталних тачака најбоље апроксимира зависност, при чему се одступање мери квадратима како би се неутралисала позитивна и негативна одступања (изнад и испод криве). Пошто се не могу тотално неутралисати тражи се крива по методи најмањих квадрата одступања.

Претпоставимо да имамо задати низ парова $(x_i ; y_i)$, где је $i = 1, 2, \dots, n$ (број експерименталних тачака). Потребно је пронаћи функцију $y = f(x)$ тако да укупна грешка апроксимације буде минимална, где f представља правило по коме y зависи од x .

Тражена функција не мора да пролази кроз све задате тачке, већ укупно "расипање" задатих тачака око њеног графичког приказа треба да буде што мање ($f(x_i) \approx y_i$).

Правила функционалне зависности и графички прикази истих могу бити:

- линеарна: $y = a \cdot x + b$ (права),
- квадратна: $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$ (парабола),
- кубна: $y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$,

- реципрочна (обрнута пропорционалност): $y = a / x$ (хипербола),
- експоненцијална: $y = a \cdot e^{bx}$,
- потенцијска: $y = a \cdot b^x$ и др.

Одступање емпиријске функције f од експерименталне тачке $(x_i; y_i)$ се мери изразом:

$$F_i = (y_i - f(x_i))^2 \quad (7.26)$$

Укупну грешку апроксимације чини сума квадрата одступања функције f од експерименталних тачака:

$$F = \sum_{i=1}^n F_i = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i)]^2 \quad (7.27)$$

Да би сума квадрата одступања била минимизирана треба претпоставити облик функције f са којом ће бири апроксимирани експериментални подаци: $f(x_i, a, b, c, \dots)$. Вредности $(x_i; y_i)$ су познате, за $i = 1, 2, \dots, n$. Непознати су параметри a, b, c, \dots . Укупан број параметра a, b, c, \dots је m ($m < n$).

Метода најмањих квадрата подразумева да су најбоље оне вредности параметара a, b, c, \dots за које је сума квадрата одступања између измерених вредности y_i ($i = 1, 2, \dots, n$) и израчунатих вредности $f(x_i, a, b, c, \dots)$ минимална [119]:

$$F = \sum_{i=1}^n F_i = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, a, b, c, \dots)]^2 \rightarrow \min \quad (7.28)$$

Функција F се назива функцијом циља. Ако је F функција непознатих параметара функције f , онда тражимо минимум (глобални) функције облика $F(a, b, c, \dots)$. Вредности параметара a, b, c, \dots се добијају тако што се нађу парцијални изводи функције F по a, b, c, \dots и изједначе се са нулом:

$$\frac{\partial F(a, b, c, \dots)}{\partial a} = \frac{\partial F(a, b, c, \dots)}{\partial b} = \frac{\partial F(a, b, c, \dots)}{\partial c} = \dots = 0 \quad (7.29)$$

Решавањем система једначина и одређивањем вредности параметра a, b, c, \dots добија се најбоља функција f апроксимације, односно једначина регресионе праве/криве, као и вредност функције циља F .

За одређивање квалитета апроксимације експерименталних података добијеном емпиријском функцијом користи се средње квадратно одступање:

$$f_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, a, b, c, \dots)]^2}{n - m} \quad (7.30)$$

Разлика између броја експерименталних тачака n и укупног броја параметра m представља број степени слободе. Што је вредност f_{sr} мања то емпиријска функција боље

апроксимира експерименталне податке. Користи се за анализу квалитета апроксимације истих експерименталних података различитим емпиријским функцијама.

Најчешће се примењују линеарне $f(x) = a \cdot x + b$ и квадратне $f(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$ функције за апроксимацију експерименталних података.

У случају квадратне функције биће:

$$F = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, a, b, c)]^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i + c)]^2 \rightarrow \min \quad (7.31)$$

Тражи се минимум функције облика $F(a, b, c)$:

$$\frac{\partial F(a, b, c)}{\partial a} = \frac{\partial F(a, b, c)}{\partial b} = \frac{\partial F(a, b, c)}{\partial c} = 0 \quad (7.32)$$

Парцијални изводи функције F по a, b, c :

$$\begin{aligned} -2 \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, a, b, c)] \cdot \frac{\partial f(x_i, a, b, c)}{\partial a} &= 0 \\ -2 \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, a, b, c)] \cdot \frac{\partial f(x_i, a, b, c)}{\partial b} &= 0 \\ -2 \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, a, b, c)] \cdot \frac{\partial f(x_i, a, b, c)}{\partial c} &= 0 \end{aligned} \quad (7.33)$$

Након сређивања добија се систем једначина са три непозната параметра a, b, c :

$$\begin{aligned} \frac{\partial F(a, b, c)}{\partial a} &= -2 \cdot \sum_{i=1}^n [y_i - a \cdot x_i^2 - b \cdot x_i - c] \cdot x_i^2 = 0, \\ \frac{\partial F(a, b, c)}{\partial b} &= -2 \cdot \sum_{i=1}^n [y_i - a \cdot x_i^2 - b \cdot x_i - c] \cdot x_i = 0, \\ \frac{\partial F(a, b, c)}{\partial c} &= -2 \cdot \sum_{i=1}^n [y_i - a \cdot x_i^2 - b \cdot x_i - c] = 0. \end{aligned} \quad (7.34)$$

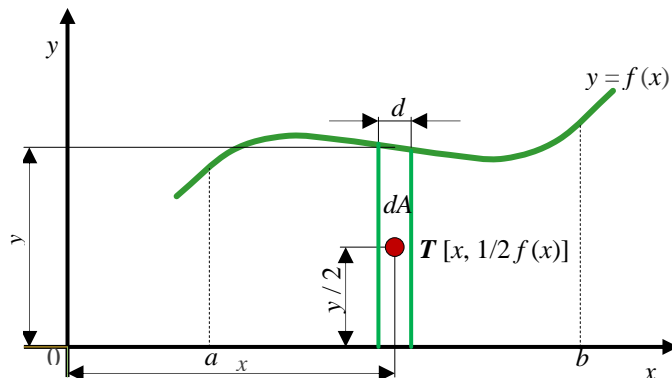
Решавањем овог система једначина одређују се вредности параметра a, b и c . Добија се најбоља квадратна апроксимација експерименталних података, односно једначина регресионе параболе:

$$f(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c \quad (7.35)$$

7.2.4.2 Одређивање тежишта површине омеђене контуром регресионе праве/криве и апцисе правоугаоног координатног система применом одређеног интеграла

Тежиште површине омеђене контуром одређује се следећим поступком:

У равни xOy имамо произвољну функцију $y = f(x)$.



Слика 7.2.4.2.1. Одређивање тежишта површине омеђене контуром регресионе праве/криве и апцисе правоугаоног координатног система применом одређеног интеграла

На произвољно изабраном сегменту $a-b$, на неком произвољном растојању x формирана је површина мале ширине dx . Тежиште ове мале површине, коју можемо сматрати правоугаоником, је на средини истог.

Координате тежишта површине A се добијају интеграцијом по површини:

$$x_T = \frac{1}{A} \int x \cdot dA \quad , \quad y_T = \frac{1}{A} \int y \cdot dA \quad (7.36)$$

Површина формираног правоугаоника (слика ??) је $dA = y \cdot dx$, односно $dA = f(x) dx$.

Претпоставимо да је функција f непрекидна и ненегативна $x \in [a, b]$, онда се површина фигуре у равни xOy која је ограничена x -осом, графиком функције $f(x)$ и правима $x=a$ и $x=b$ (криволинијски трапез) израчунава применом одређеног интеграла:

$$A = \int_a^b f(x) dx \quad (7.37)$$

У овом случају "у" ће бити тежиште сваке произвољно мале површине ширине dx , и то на растојању $y/2$. У горе наведеним изразима имамо dA , A , x и y , где место "у" уносимо $y/2$, при чему се добија општи облик координата тежишта за површину која је омеђена контуром:

Апциса тежишта:

$$x_T = \frac{\int_a^b x \cdot f(x) dx}{\int_a^b f(x) dx} \quad (7.38)$$

Ордината тежишта:

$$y_T = \frac{\int_a^b [f(x)]^2 dx}{2 \cdot \int_a^b f(x) dx} \quad (7.39)$$

Функција $f(x)$ може бити било која произвољна функција у равни. Специјални случајеви се могу одређивати на основу ових општих образаца за координате тежишта површине омеђене контуром.

7.2.4.3 Фазификовање нумеричких вредности – примена методе тежишта

Обрадом података *Caterpillar*-овим трошковним моделом (поглавље 4.2.2. и ПРИЛОГ 2) за одређен број година експлоатације посматраних машина t_i ($i=1, \dots, n$) добијају се укупни трошкови по мото часу на годишњем нивоу $C_{t(i)}$.

Оцена показатеља C се врши на бази измерених података о укупним трошковима по мото часу на годишњем нивоу $C_{t(i)}$.

- **Одређивање функционалне зависности трошкова од броја година експлоатације посматраних машина**

Зависност трошкова од броја година експлоатације посматраних машина се добија применом методе најмањих квадрата (поглавље 7.2.4.1).

У овом склучају имамо задати низ парова ($t_i; C_{t(i)}$), где је $i = 1, 2, \dots, n$ (број година експлоатације посматраних машина).

Потребно је пронаћи функцију $c_t = f(t)$ тако да укупна грешка апроксимације буде минимална, где f представља правило по коме укупни трошкови по мото часу на годишњем нивоу, зависе од броја година експлоатације посматраних машина t .

Применом једначина од 7.26 до 7.35 добија се најбоља функција f апроксимације, односно једначина регресионе праве/криве укупних трошкова по мото часу машине на годишњем нивоу.

Претпоставимо да се измерени подаци ($t_i; C_{t(i)}$) апроксимирају квадратном функцијом, онда једначина регресионе параболе има следећи облик (према 7.35):

$$f(t) = a \cdot t^2 + b \cdot t + c \quad (7.40)$$

Графички приказ регресионе параболе приказан је на слици 7.2.4.3.1.

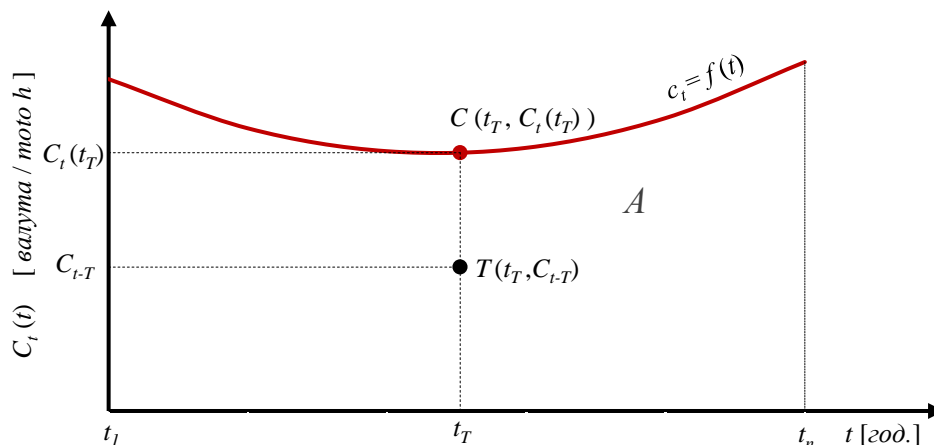
- **Одређивање тежишта површине омеђене контуром регресионе криве трошкова и апсисе правоугаоног координатног система**

У координатном правоугаоном систему на апсиси је приказан број година експлоатације посматраних машина t , а на ординати укупни трошкови $C_t(t)$ по мото часу на годишњем нивоу (слика 7.2.4.3.1.).

Применом одређеног интеграла израчунавају се координате тежишта T површине A омеђене контуром регресионе праве/криве трошкова $c_t = f(t)$ и апсисе правоугаоног

ординатног система, на сегменту од $t = t_1$ до $t = t_n$ година експлоатације посматране машине (према једначинама 7.36 – 7.39), односно координате тежишта $T(t_T, C_{t-T})$ су:

$$t_T = \frac{\int_{t=t_1}^{t=t_n} t \cdot f(t) \cdot d(t)}{\int_{t=t_1}^{t=t_n} f(t) \cdot d(t)}, \quad C_{t-T} = \frac{\int_{t=t_1}^{t=t_n} [f(t)]^2 \cdot d(t)}{2 \cdot \int_{t=t_1}^{t=t_n} f(t) \cdot d(t)} \quad (7.41)$$



Слика 7.2.4.3.1. Одређивање вредности функције апроксимације измерених података у тежишту површине омеђене контуром регресионе криве и апцисе правоугаоног координатног система

- **Фазификовање трошкова – вредности функције апроксимације трошкова за период експлоатације у тежишту површине омеђене контуром регресионе криве трошкова и апцисе правоугаоног координатног система**

С обзиром да је висина трошкова током експлоатације посматраних машина променљива величина, подаци са којима се улази у модел за оцену показатеља C су вредности трошкова које се добијају одређивањем функционалне зависности из измерених података о трошковима $c_t = f(t)$, затим одређивањем тежишта површине омеђене контуром регресионе праве/криве трошкова и апцисе правоугаоног координатног система $T(t_T, C_{t-T})$, и на крају одређивањем вредности функције апроксимације трошкова за период експлоатације t_T у тежишту површине омеђене контуром регресионе праве/криве трошкова и апцисе правоугаоног координатног система (у тачки на регресионој правој/кривој $C(t_T, C_t(t_T))$ чија је апциса једнака апциси тежишта $T(t_T, C_{t-T})$, слика 7.2.4.3.1.).

На основу израчунатих координата тежишта површине омеђене регресионом правом/кривом трошкова и апцисе правоугаоног координатног система (према релацији 7.38 и 7.39) одређује се вредност укупних трошкова $C_t(t_T)$ по мото часу на годишњем нивоу са којом се улази у модел за оцену показатеља C , где је:

$$C_t(t_T) = f(t_T) \quad (7.42)$$

$C_t(t_T)$ - вредност функције апроксимације измерених података о укупним трошковима по мото часу посматране машине на годишњем нивоу, за број година експлоатације t_T у тежишту површине омеђене контуром регресионе праве/криве и апцисе правоугаоног координатног система $T(t_T, C_{t-T})$.

Уколико се измерени подаци (t_i ; $C_{t(i)}$) апроксимирају квадратном функцијом, онда се вредност укупним трошковима по мото часу посматране машине на годишњем нивоу са којом се улази у модел за оцену показатеља C одређује на следећи начин (релација 7.34, слика 7.2.4.3.1.):

$$C_t(t_T) = f(t_T) = a \cdot t_T^2 + b \cdot t_T + c \quad (7.43)$$

Фазификација улазних података за оцену показатеља C се врши на следећи начин:

Идентификују се максималне ($C_{t \max}$) и минималне ($C_{t \min}$) вредности укупних трошкова по мото часу на годишњем нивоу код посматраних машина.

Дефинисањем односа између j -осе координатног система (класе) и израчунатих вредности укупних трошкова по мото часу машине на годишњем нивоу $C_t(t_T)$, дефинишу се позиције фази бројева према j -вредностима као мере економских показатеља употребног квалитета на бази трошкова C посматраних машина (7.2.4.3.2.).

Евидентирана максимална вредност ($C_{t \max}$) укупних трошкова по мото часу на годишњем нивоу код посматраних машина представља вредност $j=1$ (екстремно високи трошкови), а минимална вредност ($C_{t \min}$) представља вредност $j=5$ (веома ниски трошкови). Линеарном интерполацијом се добијају остале вредности:

$$\begin{aligned} j=2, C_{t2} &= C_{t \max} - ((C_{t \max} - C_{t \min}) / 4); \\ j=3, C_{t3} &= C_{t2} - ((C_{t \max} - C_{t \min}) / 4); \\ j=4, C_{t4} &= C_{t3} - ((C_{t \max} - C_{t \min}) / 4). \end{aligned} \quad (7.44)$$

Израчунате вредности укупних трошкова $C_t(t_T)$ по мото часу на годишњем нивоу се мапирају на μ - j координатни систем, односно на фази скупове дефинисане фази пропозицијом за оцену показатеља C (слика 7.1.1.). Овим поступком се добијају оцене показатеља C у форми фази броја (1). За одређену вредност $C_t(t_T)$ повлачи се права управна на апсису тако да пресеца координатни систем μ - j са дефинисаним фази скуповима показатеља C . Из пресечних тачака са границама одговарајућих фази скупова повлаче се линије нормалне на ординату μ , са које се читавају функције припадности одговарајућим фази скуповима.

Оцена економских показатеља употребног квалитета машине, односно трошкова (C) се добија у следећем облику:

$$C = (C_{\text{фп-в.НИСКИ}}; C_{\text{фп-НИСКИ}}; C_{\text{фп-УМЕРЕНИ}}; C_{\text{фп-ВИСОКИ}}; C_{\text{фп-ЕКС.ВИСОКИ}}), \quad (7.45)$$

где је:

C - оцена економских показатеља употребног квалитета машине на бази трошкова,

$C_{\text{фп-в.НИСКИ}}, \dots, C_{\text{фп-ЕКС.ВИСОКИ}}$ - функције припадности фази скуповима дефинисаним фази пропозицијом за оцену показатеља трошкови.

Вредности функција припадности се уносе у фази скупове дефинисане релацијама 7.2 за показатељ C . На овај начин добијају се специфичне вредности фази скупова за оцену показатеља трошкови.

Фази суп $I C$ са лингвистичком променљивом "ВЕОМА НИСКИ" показатеља C је дефинисан као: $C_{\text{в.НИСКИ}} = (0,00_{(1)}; 0,00_{(2)}; 0,00_{(3)}; 0,25_{(4)}; 1,00_{(5)})$ према слици 7.1.1. Специфична вредност фази скупа $I C$ ("ВЕОМА НИСКИ") за посматрану машину се добија на следећи начин: $C_{\text{в.НИСКИ}} = \{(0,00 \times C_{\text{фп-в.НИСКИ}})_{(1)}; (0,00 \times C_{\text{фп-в.НИСКИ}})_{(2)}; (0,00 \times C_{\text{фп-в.НИСКИ}})_{(3)}; (0,25 \times C_{\text{фп-в.НИСКИ}})_{(4)}; (1,00 \times C_{\text{фп-в.НИСКИ}})_{(5)}\}$. На исти начин се третирају остали фази скупови показатеља C .

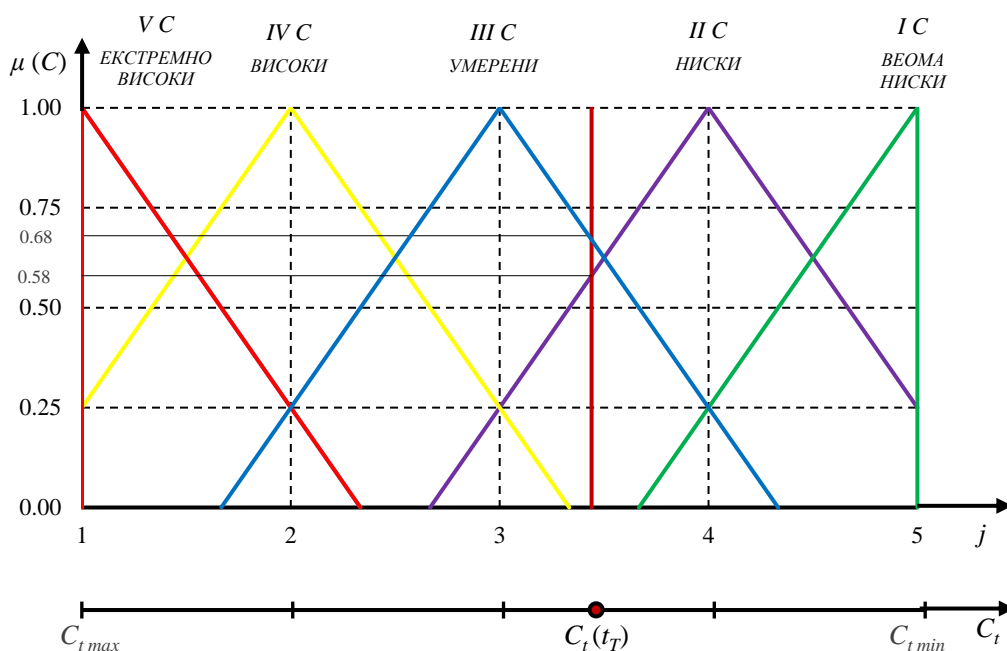
Конечно се специфичне вредности сабирају међу собом за сваку вредност $j = 1, \dots, 5$ и уносе у фази образац (7.1), тако да се добија оцена показатеља C за посматрану машину у фази форми:

$$\mu_C = (\mu_{C(j=1)}, \mu_{C(j=2)}, \mu_{C(j=3)}, \mu_{C(j=4)}, \mu_{C(j=5)}). \quad (7.46)$$

Табела 7.2.4.3. Специфичне вредности фази скупова економских показатеља (трошкова)

$j =$	1	2	3	4	5
$C_{\text{В.НИСКИ}}$	$0,00 \times C_{\text{фп-В.НИСКИ}}$	$0,00 \times C_{\text{фп-В.НИСКИ}}$	$0,00 \times C_{\text{фп-В.НИСКИ}}$	$0,25 \times C_{\text{фп-В.НИСКИ}}$	$1,00 \times C_{\text{фп-В.НИСКИ}}$
$C_{\text{НИСКИ}}$	$0,00 \times C_{\text{фп-НИСКИ}}$	$0,00 \times C_{\text{фп-НИСКИ}}$	$0,25 \times C_{\text{фп-НИСКИ}}$	$1,00 \times C_{\text{фп-НИСКИ}}$	$0,25 \times C_{\text{фп-НИСКИ}}$
$C_{\text{УМЕРЕНИ}}$	$0,00 \times C_{\text{фп-УМЕРЕНИ}}$	$0,25 \times C_{\text{фп-УМЕРЕНИ}}$	$1,00 \times C_{\text{фп-УМЕРЕНИ}}$	$0,25 \times C_{\text{фп-УМЕРЕНИ}}$	$0,00 \times C_{\text{фп-УМЕРЕНИ}}$
$C_{\text{ВИСОКИ}}$	$0,25 \times C_{\text{фп-ВИСОКИ}}$	$1,00 \times C_{\text{фп-ВИСОКИ}}$	$0,25 \times C_{\text{фп-ВИСОКИ}}$	$0,00 \times C_{\text{фп-ВИСОКИ}}$	$0,00 \times C_{\text{фп-ВИСОКИ}}$
$C_{\text{ЕКС.ВИСОКИ}}$	$1,00 \times C_{\text{фп-ВИСОКИ}}$	$0,25 \times C_{\text{фп-ВИСОКИ}}$	$0,00 \times C_{\text{фп-ВИСОКИ}}$	$0,00 \times C_{\text{фп-ВИСОКИ}}$	$0,00 \times C_{\text{фп-ВИСОКИ}}$
ΣC	$\mu_{C(j=1)}$	$\mu_{C(j=2)}$	$\mu_{C(j=3)}$	$\mu_{C(j=4)}$	$\mu_{C(j=5)}$

Процес фазификације вредности трошкова добијених применом методе тежишта који представљају улазне податке у модел за оцену показатеља C је приказан на слици 7.2.4.3.2.



Слика 7.2.4.3.2. Процес фазификације података за оцену економских показатеља – метода тежишта

Пример: Ако је за неку машину израчуната вредност $C_t(t_T)$, као у случају приказаном на слици 7.2.4.3.2, на ординати μ читавају се вредности функција припадности фази скуповима показатеља C :

$$\mu(C_{\text{НИСКИ}}) = 0,58; \quad \mu(C_{\text{УМЕРЕНИ}}) = 0,68.$$

Очитане вредности се скалирају како би њихов збир био 1:

$$C_{\text{НИСКИ}} + C_{\text{УМЕРЕНИ}} = 1$$

$$C_{\text{НИСКИ}} = 0,58 / (0,58 + 0,68) = 0,46; \quad C_{\text{УМЕРЕНИ}} = 0,68 / (0,58 + 0,68) = 0,54.$$

У овом случају оцена показатеља C је:

$C = \{ 0,00 \text{ "ВЕОМА НИСКИ"}; 0,46 \text{ "НИСКИ"}; 0,54 \text{ "УМЕРЕНИ"}; 0,00 \text{ "ВИСОКИ"}; 0,00 \text{ "ЕКСТРЕМНО ВИСОКИ"} \}$.

Следи примена горе описаног поступка за добијање специфичних вредности фази скупова и оцене параметра C у фази форми (μc).

7.3 Модел фази логичког закључивања - фази композиција

Фази композиција представља поступак у коме се применом теорије фази скупова врши интеграција и синтеза парцијалних показатеља неког феномена на синтезни ниво. У основи фази логичког закључивања је дефинисање скупа фази правила, облика "*if-then*". Синтеза парцијалних показатеља се врши применом одговарајућег модела фази композиције. Најчешће се примењују модели *max-min* и *min-max* фази композиције.

Фази модел закључивања је структурно и хијерархијски формиран у три нивоа, применом одговарајућих модела фази композиције у 14 поступака синтезе: на првом нивоу пет, на другом нивоу осам и на трећем нивоу један поступак синтезе.

Због сложености модела, услед већег броја показатеља које треба интегрисати и применом више модела композиције омогућити њихову синтезу на ниво употребног квалитета, ради прегледности, фази синтезни модел је дефинисан по нивоима, а одговарајући модели фази композиције су приказани у општем облику.

У моделу фази композиције подразумевају се следеће уопштене ознаке: парцијални показатељи употребног квалитета (V_i), синтезни показатељи употребног квалитета (W_i), економски показатељи - трошкови (C_i), синтезни "техничко-економски" показатељи (Q_i) и употребни квалитет (QS).

І ниво синтезе: модел *max-min* фази композиције

На првом нивоу синтезе врши се следећа композиција:

Фази композиција парцијалних показатеља у оцену синтезних показатеља употребног квалитета посматраних машина:

- поузданост (R), погодност одржавања (M), функционалност (F) \rightarrow ефективност (E);
- поузданост (R), погодност одржавања - конструкцијска (M) \rightarrow расположивост (A);
- поузданост (R), погодност одржавања (M), логистичка подршка одржавању (MS) \rightarrow сигурност функционисања (D).

Код оцене феномена, као што су расположивост, ефективност и сигурност функционисања, који представљају позитивне показатеље употребног квалитета, што подразумева да је за корисника боље ако су њихове вредности што више, примењује се *max-min* фази композиција. Резултат овог модела композиције ће бити најбољи могући од најлошије очекиваних исхода.

На I нивоу синтезе примењује се модел *max-min* композиције, приказан у општем облику у поглављу 8.3.1.

На овом нивоу синтезе, у општем облику модела *max-min* композиције, ознаке за парцијалне и синтезне показатеље подразумевају следеће:

$$V_1 = R, V_2 = M, V_3 = F \rightarrow W = E;$$

$$V_1 = R, V_2 = M \rightarrow W = A;$$

$$V_1 = R, V_2 = M, V_3 = MS \rightarrow W = D.$$

I-a ниво синтезе: модел *min-max* фази композиције

У даљем поступку синтезе примењује се следећа композиција:

Фази композиција утицајних индикатора у оцену озбиљности отказа, као парцијалног показатеља ризика посматраних машина.

Озбиљност отказа (S) као показатељ нивоа ризика (R_i) сагледава се преко три индикатора негативног утицаја отказа:

- време потребно за враћање машине у стање рада (у функционално стање), тј. време у застоју потребно за отклањање квара (S_t),
- утицај отказа на безбедност и здравље запослених, тј. утицај на радно окружење (S_{ro}),
- утицај отказа на животну средину (S_{zs}).

Време потребно за отклањање квара (S_t) се сагледава преко функције погодности одржавања (M) као мере времена проведеног у застоју.

У том смислу фази композиција утицајних индикатора у оцену озбиљности отказа подразумева следеће:

- погодност одржавања (M), утицај на радно окружење (S_{ro}), утицај на животну средину (S_{zs}) \rightarrow озбиљност отказа (S).

Фази композиција парцијалних показатеља у оцену ризика као синтезног показатеља употребног квалитета посматраних машина.

Ризик (R_i) као синтезни показатељ употребног квалитета дефинисан је преко парцијалних показатеља озбиљност отказа (S), учесталост појављивања отказа (O) и детектабилност (D_t).

Учесталост појављивања отказа (O) се сагледава преко функције поузданост (R) као мере показатеља O .

У том смислу фази композиција парцијалних показатеља у оцену ризика подразумева следеће:

- озбиљност отказа (S), поузданост (R), детектабилност (D_t) \rightarrow ризик (R_i).

Код оцене феномена који су негативни показатељи употребног квалитета (озбиљност отказа, ризик и др.), што подразумева да је за корисника боље ако су њихове вредности што ниже, примењује се *min-max* фази композиција. Синтезна оцена *min-max* модела ће бити идентификова као најлошија оцена од најбоље очекиваних парцијалних оцена.

На I-a нивоу синтезе примењује се модел *min-max* композиције, приказан у општем облику у поглављу 8.3.1.

На овом нивоу синтезе, у општем облику модела *min-max* композиције, ознаке за парцијалне и синтезне показатеље подразумевају следеће:

$$V_1 = M, V_2 = S_{ro}, V_3 = S_{zs} \rightarrow W = S;$$

$$V_1 = S, V_2 = R, V_3 = D_t \rightarrow W = R_i.$$

II ниво синтезе: модел композиције у форми картезијанског производа

На другом нивоу синтезе врши се обједињавање техничких и економских показатеља:

- синтезних показатеља употребног квалитета: ефективност (E), расположивост (A), сигурност функционисања (D) и ризик (R_i) и
- трошкова машина (C).

За креирање модела композиције у форми картезијанског производа, у односу на техничке и економске показатеље, потребно је дефинисати лингвистичке променљиве које описују употребни квалитет посматраних машина на овом нивоу синтезе.

Формирање овог модела се врши у следећа два корака:

Пропозиција - Дефинисање лингвистичких променљивих за оцену нивоа употребног квалитета, у односу на одређени синтезни показатељ употребног квалитета и трошкове машина (детаљно приказано у поглављу 8.3.2):

$EC_{(1)}, EC_{(2)}, \dots, EC_{(b)},$

$AC_{(1)}, AC_{(2)}, \dots, AC_{(b)},$

$DC_{(1)}, DC_{(2)}, \dots, DC_{(b)},$

$RiC_{(1)}, RiC_{(2)}, \dots, RiC_{(b)};$

Композиција - дефинисање исхода у форми картезијанског производа (уређених парова) синтезних показатеља употребног квалитета и економских показатеља (трошкова):

- ефективност (E) x трошкови (C) → исходи: $EC_{(1)}, EC_{(2)}, \dots, EC_{(b)}$;
- расположивост (A) x трошкови (C) → исходи: $AC_{(1)}, AC_{(2)}, \dots, AC_{(b)}$;
- сигурност функционисања (D) x трошкови (C) → исходи: $DC_{(1)}, DC_{(2)}, \dots, DC_{(b)}$;
- ризик (R_i) x трошкови (C) → исходи: $RiC_{(1)}, RiC_{(2)}, \dots, RiC_{(b)}$;

где је: b - број могућих исхода као репрезентата употребног квалитета на овом нивоу синтезе, дефинисаних на бази експертске процене.

Модел композиције у форми картезијанског производа приказан је у општем облику у поглављу 8.3.2.

На овом нивоу синтезе, у општем облику модела композиције у форми картезијанског производа, ознаке за синтезне показатеље употребног квалитета и дефинисане исходе (уређене парове) синтезних показатеља употребног квалитета и економских показатеља (трошкова) подразумевају следеће:

$W = E, Q_{(1)} = EC_{(1)}, Q_{(2)} = EC_{(2)}, \dots, Q_{(b)} = EC_{(b)};$

$W = A, Q_{(1)} = AC_{(1)}, Q_{(2)} = AC_{(2)}, \dots, Q_{(b)} = AC_{(b)};$

$W = D, Q_{(1)} = DC_{(1)}, Q_{(2)} = DC_{(2)}, \dots, Q_{(b)} = DC_{(b)};$

$W = Ri, Q_{(1)} = RiC_{(1)}, Q_{(2)} = RiC_{(2)}, \dots, Q_{(b)} = RiC_{(b)},$

II-a ниво синтезе: модел *max-min* фази композиције

У даљем поступку синтезе примењује се следећа композиција:

Сваки исход (дефинисан за сваку могућу комбинацију-уређени пар) се третира са *max-min* фази композицијом, ради добијања синтезне оцене одређеног техничког и економског показатеља употребног квалитета посматране машине:

- $E \times C \rightarrow$ исходи: $EC_{(1)}, EC_{(2)}, \dots, EC_{(b)}$ (могуће комбинације-уређени парови) \rightarrow синтезна оцена EC ;
- $A \times C \rightarrow$ исходи: $AC_{(1)}, AC_{(2)}, \dots, AC_{(b)}$ (могуће комбинације-уређени парови) \rightarrow синтезна оцена AC ;
- $D \times C \rightarrow$ исходи: $DC_{(1)}, DC_{(2)}, \dots, DC_{(b)}$ (могуће комбинације-уређени парови) \rightarrow синтезна оцена DC ;
- $R_i \times C \rightarrow$ исходи: $R_iC_{(1)}, R_iC_{(2)}, \dots, R_iC_{(b)}$ (могуће комбинације-уређени парови) \rightarrow синтезна оцена R_iC .

На II-a нивоу синтезе за сваки исход примењује се модел *max-min* композиције, приказан у општем облику у поглављу 8.3.2.

У општем облику модела *max-min* композиције, ознаке за одређене исходе и синтезне "техничко-економске" показатеље употребног квалитета на овом нивоу подразумевају следеће:

$$Q_{(1)} = EC_{(1)}, Q_{(2)} = EC_{(2)}, \dots, Q_{(b)} = EC_{(b)} \rightarrow Q = EC ;$$

$$Q_{(1)} = AC_{(1)}, Q_{(2)} = AC_{(2)}, \dots, Q_{(b)} = AC_{(b)} \rightarrow Q = AC ;$$

$$Q_{(1)} = DC_{(1)}, Q_{(2)} = DC_{(2)}, \dots, Q_{(b)} = DC_{(b)} \rightarrow Q = DC ;$$

$$Q_{(1)} = R_iC_{(1)}, Q_{(2)} = R_iC_{(2)}, \dots, Q_{(b)} = R_iC_{(b)} \rightarrow Q = R_iC .$$

III ниво синтезе: модел *max-min* фази композиције

Следи завршни ниво у развоју фази модела употребног квалитета посматраног техничког система:

Фази композиција синтезних "техничко-економских" показатеља у оцену употребног квалитета посматраног техничког система:

- синтезне оцене: "ефективност-трошкови" (EC), "расположивост-трошкови" (AC), "сигурност функционисања-трошкови" (DC), "ризик-трошкови" (R_iC) \rightarrow употребни квалитет (QS) машине.

На III нивоу синтезе примењује се модел *max-min* композиције, приказан у општем облику у поглављу 8.3.3.

Коначно, у општем облику модела *max-min* композиције, ознаке за синтезне "техничко-економске" показатеље и употребни квалитет подразумевају следеће:

$$Q_1 = EC, Q_2 = AC, Q_3 = DC, Q_4 = R_iC \rightarrow QS .$$

где је: j_k - класа којој припада фази број сваког појединачног парцијалног показатеља (7.49) за одређену функцију припадности и конкретну комбинацију k , при чему је $j_k = 1, \dots, n$.

V корак: Сходно одговарајућем нивоу синтезе:

a) Детектују се минималне вредности $\mu_{V1, V2, V3, \dots, Vm}$ у вектору W_k (7.50) за сваки исход. Минимум који одговара исходу o израчунава се на следећи начин:

$$MIN_o = \min\{\mu_{V1(j)o}, \mu_{V2(j)o}, \mu_{V3(j)o}, \dots, \mu_{Vm(j)o}\}, \text{ за } o = 1 \text{ до } O; \quad (7.52)$$

б) Детектују се максималне вредности $\mu_{V1, V2, V3, \dots, Vm}$ у вектору W_k (7.50) за сваки исход. Максимум који одговара исходу o израчунава се на следећи начин:

$$MAX_o = \max\{\mu_{V1(j)o}, \mu_{V2(j)o}, \mu_{V3(j)o}, \dots, \mu_{Vm(j)o}\}, \text{ за } o = 1 \text{ до } O. \quad (7.53)$$

VI корак: Исходи се групишу у складу са вредностима Ω_k . Број формираних група може да буде од 0 до $n=5$.

VII корак: Сходно одговарајућем нивоу синтезе:

a) Идентификује се максимална вредност међу претходно детектованим минимумима (*V корак, тачка а*)) за сваку групу исхода (*VI корак*). Максимум који одговара j вредности израчунава се на следећи начин:

$$MAX_j = \max\{MIN_1, \dots, MIN_o, \dots, MIN_O\}_{\omega_k}, \text{ за свако } j = o; \quad (7.54)$$

б) Идентификује се минимална вредност међу претходно детектованим максимумима (*V корак, тачка б*)) за сваку групу исхода (*VI корак*). Минимум који одговара j вредности израчунава се на следећи начин:

$$MIN_j = \min\{MAX_1, \dots, MAX_o, \dots, MAX_O\}_{\omega_k}, \text{ за свако } j = o. \quad (7.55)$$

Оцена синтезних показатеља употребног квалитета на овом нивоу синтезе добија се у складу са 7.47) и (7.50) у форми (7.56), односно у складу са (7.48) и (7.50) у форми (7.57):

$$W = (MAX_{j=1}, MAX_{j=2}, \dots, MAX_{j=n=5}) = \mu_W = (\mu_{W(1)}, \dots, \mu_{W(j)}, \dots, \mu_{W(n=5)}); \quad (7.56)$$

$$W = (MIN_{j=1}, MIN_{j=2}, \dots, MIN_{j=n=5}) = \mu_W = (\mu_{W(1)}, \dots, \mu_{W(j)}, \dots, \mu_{W(n=5)}). \quad (7.57)$$

VIII корак: Композиција синтезних показатеља употребног квалитета и економских показатеља (трошкова) подразумева дефинисање исхода у форми картезијанског (Декартовог) производа - уређених парова (II ниво синтезе).

Производ два скупа W_i (синтезни показатељ употребног квалитета) и C_i (трошкови) у ознаци $W_i \times C_i$, представља скуп свих могућих уређених парова код којих је први члан елемент скупа W_i а други члан елемент скупа C_i .

a) Синтезни показатељи употребног квалитета су дефинисани у форми фази бројева $W_{1i}, W_{2i}, \dots, W_{qi}$, према (7.56) и (7.57):

$$W_{1i} = (\mu_{W1(1)}, \dots, \mu_{W1(j)}, \dots, \mu_{W1(n=5)});$$

$$QS = (MAX_{j=1}, MAX_{j=2}, \dots, MAX_{j=b=5}) = \mu_{QS} = (\mu_{QS(1)}, \dots, \mu_{QS(j)}, \dots, \mu_{QS(b=5)}). \quad (7.70)$$

У студији случаја биће примењен овај модел композиције парцијалних и синтетних показатеља на синтетни ниво, са детаљним објашњењем процедуре евалуације употребног квалитета посматраног техничког система.

7.4 Модел идентификације - дефазификације коначне оцене употребног квалитета и његових показатеља

Идентификација представља поступак у коме се дефинише степен припадности оцене посматраног феномена, добијене у зависности од функције припадности класи као јединици мере којом се исказује исти феномен применом одговарајућих модела фази композиције, одређеном фази скупу за оцену истог феномена. Применом постојећих метода идентификације оцена посматраног феномена се изражава у зависности од дефинисаних лингвистичких променљивих које описују исти феномен.

Као одговарајућа метода за реализацију овог поступка препозната је *Best-fit* метода (*Wang et al., 1995*) [21]. Ова метода ће бити коришћена у докторској дисертацији за трансформацију оцене употребног квалитета (QS_i), као и оцена показатеља употребног квалитета на одређеном нивоу синтезе (W_i) у форму којом се изражава степен припадности добијене оцене дефинисаним фази скуповима $I FS, \dots, V FS$, односно лингвистичким променљивим $I LV, \dots, V LV$ (слика 7.1.1.).

У наставку је приказана примена *Best-fit* методе за идентификацију оцене употребног квалитета посматраног техничког система (QS), која подразумева пресликавање израза 7.70 према конфигурацији фази скупова употребног квалитета (слика 7.1.1.). Оцена употребног квалитета (QS) (7.70) се трансформише у форму која дефинише степен припадности оцене QS фази скуповима са одговарајућим лингвистичким променљивим: $I QS$ - "ВЕОМА ВИСОК НИВО", $II QS$ - "ВИСОК НИВО", $III QS$ - "СРЕДЊИ НИВО", $IV QS$ - "НИЗАК НИВО", $V QS$ - "ВЕОМА НИЗАК НИВО".

Best-fit метода се заснива на одређивању растојања (d_i) између вредности функција припадности класама $\mu_{QS(1, \dots, b=5)}$ добијене оцене употребног квалитета μ_{QS} (7.70) и вредности функција припадности фази бројевима дефинисаних фази скупова $\mu_{FS(j=1, \dots, j=5)}$, са одговарајућим лингвистичким променљивим LV_i које описују ниво употребног квалитета посматраног техничког система, у складу са изразом 7.2, према слици 7.1.1.

$$d_i(QS_i, FS_i(LV_i)) = \sqrt{\sum_{j=1}^{j=5} (\mu_{QS_i}^j - \mu_{FS_i(LV_i)}^j)^2}, \quad j = 1, \dots, 5; \quad (7.71)$$

где су:

FS_i - дефинисани фази скупови $\{I QS, II QS, III QS, IV QS, V QS\}$;

LV_i - лингвистичке променљиве дефинисане за оцену нивоа употребног квалитета $\{\text{"ВЕОМА ВИСОК НИВО"}, \text{"ВИСОК НИВО"}, \text{"СРЕДЊИ НИВО"}, \text{"НИЗАК НИВО"}, \text{"ВЕОМА НИЗАК НИВО"}\}$;

$\mu_{QS_i}^j$ - вредности функција припадности класама добијене оцене употребног квалитета;

$\mu_{FS_i(LV_i)}^j$ - вредности функција припадности фази бројевима којима су дефинисани фази скупови FS_i , са одговарајућим лингвистичким променљивим LV_i , за оцену нивоа употребног квалитета.

Што је вредност оцене употребног квалитета μ_{QS} (7.70) ближа вредности i -тог фази скупа, мање је растојање d_i . Растојање d_i има вредност једнаку нули, уколико је степен припадности добијене оцене употребног квалитета одређеној класи једнак вредности одговарајуће функције припадности фази броја дефинисаног i -тог фази скупа (када је $d_i=0$ даљи поступак припадности оцене употребног квалитета одређеном фази скупу не треба спроводити).

Уводи се величина α_i као релативно растојање, које представља однос одговарајућег растојања d_i и најмањег добијеног растојања $d_{i \min}$ у односу на задате фази скупове:

$$\alpha_i = \frac{1}{d_i / d_{i \min}}, \quad i = 1, \dots, 5 ; \quad (7.72)$$

где је: $d_{i \min}$ - најмање међу добијеним растојањима d_i .

Релативно растојање α_i је једнако јединици ако је растојање d_i једнако најмањем добијеном растојању $d_{i \min}$. Ако је добијено растојања d_i једнако нули тада је релативно растојање α_i недефинисано.

Релативна растојања је потребно нормализовати како би се добио степен припадности оцене употребног квалитета дефинисаним фази скуповима са одговарајућим лингвистичким променљивим ($I \text{ QS}$ - "ВЕОМА ВИСОК НИВО",, $V \text{ QS}$ - "ВЕОМА НИЗАК НИВО") у распону $0 \leq \beta \leq 1$:

$$\beta_i = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^{i=5} \alpha_i}, \quad i = 1, \dots, 5 ; \quad \sum_{i=1}^{i=5} \beta_i = 1 . \quad (7.73)$$

Коначно се добија оцена употребног квалитета техничког система изражена у складу са дефинисаним лингвистичким променљивим које га описују (слика 7.1.1.):

$$QS = \{(\beta_{i=1}, \text{"ВЕОМА ВИСОК НИВО"}), (\beta_{i=2}, \text{"ВИСОК НИВО"}), (\beta_{i=3}, \text{"СРЕДЊИ НИВО"}), (\beta_{i=4}, \text{"НИЗАК НИВО"}), (\beta_{i=5}, \text{"ВЕОМА НИЗАК НИВО"})\}. \quad (7.74)$$

Применом приказаног поступка за индетификацију оцене употребног квалитета (QS_i) добијају се и коначне оцене показатеља употребног квалитета на одређеном нивоу синтезе (W_i), у складу са дефинисаним лингвистичким променљивим које их описују, општег облика (слика 7.1.1.):

$$W, QS = \{(\beta_{i=1}, I LV), (\beta_{i=2}, II LV), (\beta_{i=3}, III LV), (\beta_{i=4}, IV LV), (\beta_{i=5}, V LV)\}. \quad (7.75)$$

Последњи корак у дефинисању оцене употребног квалитета техничког система је поступак у коме се добија нумеричка вредност оцене која изражава њено квантитативно вредновање.

Дефазификација представља поступак у коме се оцена посматраног феномена, изражена у складу са дефинисаним лингвистичким променљивим које описују исти феномен, претвара у реалан број, како би се омогућила даља примена исте у смислу мерљивости и упоредивости самог феномена.

За дефазификацију оцене употребног квалитета QS_i (7.74) користи се метода центра тежина (Ying, 2009) [120], при чему се добијају подаци за упоредну анализу:

$$Z_{QS} = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} \beta_i \cdot C_{LV_i}}{\sum_{i=1}^{i=5} \beta_i}, \quad (7.76)$$

где је:

Z_{QS} – тежиште оцене употребног квалитета QS техничког система;

β_i – степен припадности оцене употребног квалитета дефинисаним фази скуповима (објашњено у (7.72) и (7.73));

C_{LV_i} – нумерички еквивалент за лингвистичке променљиве LV_i .

Иста метода се користи за дефазификацију оцена показатеља употребног квалитета на одређеном нивоу синтезе (V_i, W_i), при чему се добијају тежишта њихових оцена Z_V и Z_W .

8 СТУДИЈА СЛУЧАЈА – ЕВАУЛАЦИЈА УПОТРЕБНОГ КВАЛИТЕТА ДОЗЕРА

На површинским коповима лигнита Електропривреде Србије основни технолошки процеси се врше системима континуалног дејства. Предуслов за стабилан и ефикасан рад основне опреме представља благовремено обављање бројних и разноврсних помоћних радова, што захтева да површински коп располаже са довољним бројем машина помоћне механизације различите врсте и типова, одговарајућих техничких карактеристика (дозери, утоварачи, цевополагачи, хидраулични багери и др.). Ове машине раде у специфичним, сложеним и изузетно тешким условима радне средине, у изразито променљивим режимима рада, што проузрокује њихов релативно кратак радни век.

Примена модела употребног квалитета помоћне механизације на површинским коповима лигнита дата је на примерима дозера. Најбројније и најоптерећеније помоћне машине на површинским коповима лигнита Електропривреде Србије су дозери, обим и поузданост расположивих података добијених вишегодишњим праћењем њиховог рада и одржавања су разлог избора ових машина.

Истраживањима је обухваћен 21 дозер три позната произвођача, који су били у експлоатацији од 6 до 11 година на површинским коповима лигнита Рударског басена „Колубара”: Stalowa Wola TD25H (у даљем тексту: A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8); Liebherr PR 752 и PR 754 (у даљем тексту: B1, B2, B3, B4, B5, B6); Caterpillar D8R (у даљем тексту: C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7).

Оцена употребног квалитета дозера је извршена на бази анализе техничких и економских показатеља и њиховом синтезом на ниво употребног квалитета:

– парцијалних показатеља употребног квалитета {поузданост (R), погодност одржавања (M), функционалност (F), логистичка подршка одржавању (MS), озбиљност отказа (S) и његови индикатори (време потребно за враћање машине у стање рада (S_i), утицај отказа на радно окружење (S_{ro}), утицај отказа на животну средину (S_{zs})), учесталост појављивања отказа (O) и детектабилност (D_i)};

– синтезних показатеља употребног квалитета {ефективност (E), расположивост (A), сигурност функционисања (D), ризик (R)};

– економским показатељима употребног квалитета на бази трошкова животног циклуса машина (C).

Улазни подаци за оцену употребног квалитета дозера су измерени и статистички обрађени подаци на бази временске слике стања машина, резултата радног учинка – капацитета и трошкова машина, као и експертске процене запослених у експлоатацији и одржавању машина.

За креирање математичког синтезног модел за оцену нивоа употребног квалитета посматраних машина фази пропозицијом су дефинисане лингвистичке променљиве које описују употребни квалитет, као и његове показатеље. Извршено је фазификовање улазних података (кумулативних временски зависних функција, нумеричких и лингвистичких вредности) у фази бројеве. Применом одговарајућих модела извршена је фази композиција показатеља употребног квалитета на више нивоа синтезе. На првом нивоу синтезе извршена је фази композиција парцијалних показатеља у оцену синтезних показатеља употребног квалитета посматраних машина, применом *max-min* и *min-max* фази композиције. На другом нивоу извршена је синтеза техничких и економских показатеља употребног квалитета, применом *модела композиције у форми картезијанског производа*, што подразумева пропозицију (дефинисање лингвистичких променљивих за оцену употребног квалитета на овом нивоу синтезе) и композицију (дефинисање исхода у форми картезијанског производа - уређених парова синтезних показатеља употребног квалитета и трошкова). Сваки исход је третиран са *max-min* фази композицијом, ради добијања синтезне оцене одређеног техничког и економског показатеља употребног квалитета посматраних машина. На трећем нивоу

синтезе извршена је фази композиција синтезних "техничко-економских" показатеља у оцену употребног квалитета посматраних машина. Применом *Best-fit* методе извршена је идентификације оцене употребног квалитета и његових показатеља у зависности од дефинисаних лингвистичких променљивих које описују ове феномене. Поступак дефазификације добијених резултата у реалне бројеве извршена је *методом центра тежине*, чиме је омогућена мерљивост, упоредивост и даља примена истих оцена. Добијени резултати су анализирани, а математички синтезни фази модел је тестиран *Монте Карло* методом.

8.1 Анализа техничких показатеља рада у функцији оцене употребног квалитета дозера

8.1.1 Прикупљање података на основу временске слике стања дозера

Вишегодишњим праћењем рада дозера [121], на основу временске слике стања, прикупљени су подаци о временима у раду и временима појављивања отказа посматраних машина, систематизовно приказани у табелама 1 и 2, ПРИЛОГ 1.

Обрадом података добијени су параметри *Weibull*-ове двопараметаске расподеле (*Weibull*, 1951) [46]. Поступак примењен за одређивање функције расподеле, у случају када је број прикупљених експерименталних података довољно велик, подразумева најпре груписање података у интервале према формули: број интервала = $1+3,3 \log n$, где је n број података. У случају мањег броја података ($n < 30$) коришћена је метода медијалног рангирања (*MR*). Применом Вејбуловог папира вероватноће и методе најмањих квадрата добијене су вредности параметара облика β и параметара размере η *Weibull*-ове двопараметаске расподеле.

С' обзиром на чињеницу да је ова методологија позната, овде су дате само вредности параметара облика β и параметара размере η *Weibull*-ове расподеле, средње време до отказа и средње време у отказу, функција поузданости, интезитета и густине отказа, функција погодности одржавања и густине времена одржавања дозера, систематизовно приказане у табелама 8.1.1.1., 8.1.1.2., 8.1.1.3. и 8.1.1.4.

Табела 8.1.1.1. Параметри функција поузданости дозера

МАШИНА	β	η	\bar{T} [mh]
A1	1,33	18958,82	17425,05
A2	1,41	19903,01	18123,68
A3	1,33	18917,94	17387,48
A4	1,52	22742,63	20507,03
A5	1,56	17581,52	15798,76
A6	1,61	19874,29	17805,38
A7	1,74	23028,31	20506,71
A8	1,60	19309,26	17299,16
B1	1,94	13988,81	12402,48
B2	1,72	20501,51	18275,05
B3	1,44	19448,95	17671,31
B4	2,34	15282,59	13540,38
B5	1,66	12242,20	10938,41
B6	1,39	11682,68	10661,62
C1	2,34	18843,62	16695,44
C2	1,34	16904,30	15497,86
C3	1,81	19861,54	17654,92

C4	1,43	17470,44	15873,65
C5	1,63	13298,40	11898,08
C6	2,08	12578,99	11141,21
C7	2,72	12888,20	11461,47

Табела 8.1.1.2. Функције поузданости, интезитета и густине отказа дозера

МАШИНА	ФУНКЦИЈА ПОУЗДАНОСТИ	ФУНКЦИЈА ИНТЕЗИТЕТА ОТКАЗА	ФУНКЦИЈА ГУСТИНЕ ОТКАЗА
	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$	$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$	$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} \cdot t^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$
A1	$e^{-\left(\frac{t}{18958,82}\right)^{1,33}}$	$0,70 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t}{18958,82}\right)^{0,33}$	$2,731 \cdot 10^{-6} \cdot t^{0,33} \cdot e^{-\left(\frac{t}{18958,82}\right)^{1,33}}$
A2	$e^{-\left(\frac{t}{19903,01}\right)^{1,41}}$	$0,71 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t}{19903,01}\right)^{0,41}$	$1,265 \cdot 10^{-6} \cdot t^{0,41} \cdot e^{-\left(\frac{t}{19903,01}\right)^{1,41}}$
A3	$e^{-\left(\frac{t}{18917,94}\right)^{1,33}}$	$0,70 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t}{18917,94}\right)^{0,33}$	$2,672 \cdot 10^{-6} \cdot t^{0,33} \cdot e^{-\left(\frac{t}{18917,94}\right)^{1,33}}$
A4	$e^{-\left(\frac{t}{22742,63}\right)^{1,52}}$	$0,67 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t}{22742,63}\right)^{0,52}$	$3,578 \cdot 10^{-7} \cdot t^{0,52} \cdot e^{-\left(\frac{t}{22742,63}\right)^{1,52}}$
A5	$e^{-\left(\frac{t}{17581,52}\right)^{1,56}}$	$0,88 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t}{17581,52}\right)^{0,56}$	$3,887 \cdot 10^{-7} \cdot t^{0,56} \cdot e^{-\left(\frac{t}{17581,52}\right)^{1,56}}$
A6	$e^{-\left(\frac{t}{19874,29}\right)^{1,61}}$	$0,81 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t}{19874,29}\right)^{0,61}$	$1,901 \cdot 10^{-7} \cdot t^{0,61} \cdot e^{-\left(\frac{t}{19874,29}\right)^{1,61}}$
A7	$e^{-\left(\frac{t}{23028,31}\right)^{1,74}}$	$0,76 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t}{23028,31}\right)^{0,74}$	$4,264 \cdot 10^{-8} \cdot t^{0,74} \cdot e^{-\left(\frac{t}{23028,31}\right)^{1,74}}$
A8	$e^{-\left(\frac{t}{19309,26}\right)^{1,60}}$	$0,83 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t}{19309,26}\right)^{0,60}$	$2,210 \cdot 10^{-7} \cdot t^{0,60} \cdot e^{-\left(\frac{t}{19309,26}\right)^{1,60}}$
B1	$e^{-\left(\frac{t}{13988,81}\right)^{1,94}}$	$0,139 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{t}{13988,81}\right)^{0,94}$	$0,171 \cdot 10^{-7} \cdot t^{0,94} \cdot e^{-\left(\frac{t}{13988,81}\right)^{1,94}}$
B2	$e^{-\left(\frac{t}{20501,51}\right)^{1,72}}$	$0,84 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t}{20501,51}\right)^{0,72}$	$0,642 \cdot 10^{-7} \cdot t^{0,72} \cdot e^{-\left(\frac{t}{20501,51}\right)^{1,72}}$
B3	$e^{-\left(\frac{t}{19448,95}\right)^{1,44}}$	$0,74 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t}{19448,95}\right)^{0,44}$	$0,981 \cdot 10^{-8} \cdot t^{0,44} \cdot e^{-\left(\frac{t}{19448,95}\right)^{1,44}}$
B4	$e^{-\left(\frac{t}{15282,59}\right)^{2,34}}$	$0,153 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{t}{15281,59}\right)^{1,34}$	$0,362 \cdot 10^{-9} \cdot t^{1,34} \cdot e^{-\left(\frac{t}{15281,59}\right)^{2,34}}$
B5	$e^{-\left(\frac{t}{12242,20}\right)^{1,66}}$	$0,136 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{t}{12242,20}\right)^{0,66}$	$2,700 \cdot 10^{-7} \cdot t^{0,66} \cdot e^{-\left(\frac{t}{12242,20}\right)^{1,66}}$
B6	$e^{-\left(\frac{t}{11682,68}\right)^{1,39}}$	$0,119 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{t}{11682,68}\right)^{0,39}$	$0,311 \cdot 10^{-7} \cdot t^{0,39} \cdot e^{-\left(\frac{t}{11682,68}\right)^{1,39}}$
C1	$e^{-\left(\frac{t}{18843,62}\right)^{2,34}}$	$0,124 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{t}{18843,62}\right)^{1,34}$	$0,225 \cdot 10^{-9} \cdot t^{1,34} \cdot e^{-\left(\frac{t}{18843,62}\right)^{2,34}}$

C2	$e^{-\left(\frac{t}{16904,30}\right)^{1,34}}$	$0,80 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t}{16904,30}\right)^{0,34}$	$0,279 \cdot 10^{-7} \cdot t^{0,34} \cdot e^{-\left(\frac{t}{16904,30}\right)^{1,34}}$
C3	$e^{-\left(\frac{t}{19861,54}\right)^{1,81}}$	$0,91 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t}{19861,54}\right)^{0,81}$	$0,309 \cdot 10^{-7} \cdot t^{0,81} \cdot e^{-\left(\frac{t}{19861,54}\right)^{1,81}}$
C4	$e^{-\left(\frac{t}{17470,44}\right)^{1,43}}$	$0,82 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t}{17470,44}\right)^{0,43}$	$0,120 \cdot 10^{-7} \cdot t^{0,43} \cdot e^{-\left(\frac{t}{17470,44}\right)^{1,43}}$
C5	$e^{-\left(\frac{t}{13298,40}\right)^{1,63}}$	$0,123 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{t}{13298,40}\right)^{0,63}$	$3,100 \cdot 10^{-7} \cdot t^{0,63} \cdot e^{-\left(\frac{t}{13298,40}\right)^{1,63}}$
C6	$e^{-\left(\frac{t}{12578,99}\right)^{2,08}}$	$0,165 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{t}{12578,99}\right)^{1,08}$	$0,634 \cdot 10^{-8} \cdot t^{1,08} \cdot e^{-\left(\frac{t}{12578,99}\right)^{2,08}}$
C7	$e^{-\left(\frac{t}{12888,20}\right)^{2,72}}$	$0,211 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{t}{12888,20}\right)^{1,72}$	$0,183 \cdot 10^{-10} \cdot t^{1,72} \cdot e^{-\left(\frac{t}{12888,20}\right)^{2,72}}$

За тестирање хипотезе добијеног закона дистрибуције коришћен је тест *Kolmogorov-Smirnova - KS тест* [122] који се често примењује у анализи поузданости реалних система [93].

Тест се заснива на претпоставци да добијена расподела заиста одговара теоријској. Степен сагласности се оцењује на бази одступања појединих тачака од претпостављене расподеле – праве линије, упоређујући ова одступања са критичним вредностима која су дата у одговарајућим табелама *Kolmogorova-Smirnova (O'Connor and Kleyner, 2012)* [122]. Неопходно је да одступање између емпиријске и теоријске вредности функције расподеле буде мање од критичне вредности $D_{n;\alpha}$, када се може закључити да се подаци добро уклапају са наведеним законом дистрибуције.

У табели 9. приказани су елементи тестирања хипотезе о једнакости емпиријске и теоријске функције расподеле времена до отказа дозера, односно *Weibull*-ове расподеле, применом теста *Kolmogorov-Smirnov- KS тест* [122].

Пример: За машину А1, број података је $n=77$, број интервала је $i=8$, максимално одступање је $D_n=0,08$, критични интервал је $i_k=7$, рачунато са нивоом значајности $\alpha=0,05$ прихватљиво одступање између емпиријске и теоријске вредности износи $D_{n;\alpha}=D_{77;0.05}=0,15500$. Пошто је $D_n=0,08 < D_{n;\alpha}=0,15500$ закључак је да се подаци добро уклапају у *Weibull*-ову расподелу.

Може се рећи да је утврђивање теоријских закона расподеле крајњи циљ анализе поузданости техничких система. Понашање елемената и система у времену може се предвидети ако је познат закон расподеле непрекидне промењиве која је у највећем броју случајева време.

Табела 8.1.1.3. Тестирање хипотезе о једнакости емпиријске и теоријске функције расподеле времена до отказа дозера - Weibull-ова расподела - елементи теста Kolmogorov-Smirnov [122]

МАШИНА	Број података (n)	Број интервала (i)	Прихватљиво одступање ($D_{n,\alpha}$)	Критични интервал (i_k)	Максимално одступање (D_n)	Критеријум сагласности $F_e(t)$ и $F_t(t)$ расподеле: $D_n < D_{n,\alpha}$
	Праг значајности: $\alpha = 0,05$					
A1	77	8	0,15500	7	0,08	$0,08 < 0,15500$
A2	82	8	0,15020	7	0,05	$0,05 < 0,15020$
A3	85	8	0,14750	7	0,08	$0,08 < 0,14750$
A4	112	8	0,12850	4	0,06	$0,06 < 0,12850$
A5	90	8	0,14340	7	0,07	$0,07 < 0,14340$
A6	106	8	0,13210	7	0,03	$0,03 < 0,13210$
A7	112	8	0,12850	7	0,08	$0,08 < 0,12850$
A8	90	8	0,14340	6	0,03	$0,03 < 0,14340$
B1	34	7	0,22743	3	0,04	$0,04 < 0,22743$
B2	40	7	0,21012	6	0,09	$0,09 < 0,21012$
B3	35	7	0,22425	6	0,10	$0,10 < 0,22425$
B4	47	7	0,19840	6	0,03	$0,03 < 0,19840$
B5	34	7	0,22743	6	0,07	$0,07 < 0,22743$
B6	31	6	0,23788	5	0,10	$0,10 < 0,23788$
C1	24	*	0,26931	24	0,13	$0,13 < 0,26931$
C2	28	*	0,24993	28	0,18	$0,18 < 0,24993$
C3	24	*	0,26931	24	0,21	$0,21 < 0,26931$
C4	21	*	0,28724	21	0,26	$0,26 < 0,28724$
C5	23	*	0,27490	23	0,18	$0,18 < 0,27490$
C6	29	*	0,24571	29	0,09	$0,09 < 0,24571$
C7	25	*	0,26404	25	0,07	$0,07 < 0,26404$

* Број података мали – примењена је Метода медијалног рангирања.

Табела 8.1.1.4. Параметри функција погодности одржавања дозера

МАШИНА	β	η	\bar{T} [h]
A1	1,35	2950,33	2704,86
A2	1,37	2981,61	2727,28
A3	1,02	3664,49	3634,07
A4	1,17	2371,59	2242,58
A5	0,94	2123,90	2145,14
A6	1,24	2924,95	2724,30
A7	1,56	4326,61	3887,89
A8	1,35	4086,70	3746,68
B1	1,02	1042,30	1033,65
B2	1,37	1877,84	1717,66
B3	0,93	1666,36	2770,33
B4	0,92	1423,54	1452,01

B5	1,19	1329,00	1252,72
B6	0,90	1200,39	1518,38
C1	0,75	1592,51	1627,54
C2	0,89	1458,99	1553,82
C3	0,75	1354,33	1662,34
C4	0,74	1209,24	1484,26
C5	1,03	905,19	894,05
C6	0,81	1023,63	1156,67
C7	0,86	700,32	768,58

Табела 8.1.1.5. Функције погодности одржавања и густине времена одржавања

МАШИНА	ФУНКЦИЈА ПОГОДНОСТИ ОДРЖАВАЊА	ФУНКЦИЈА ГУСТИНЕ ВРЕМЕНА ОДРЖАВАЊА
	$M(\tau) = 1 - e^{-\left(\frac{\tau}{\eta}\right)^\beta}$	$f(\tau) = \frac{\beta}{\eta^\beta} \cdot \tau^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{\eta}\right)^\beta}$
A1	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{2950,33}\right)^{1,35}}$	$2,878 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^{0,35} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{2950,33}\right)^{1,35}}$
A2	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{2981,61}\right)^{1,37}}$	$2,371 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^{0,37} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{2981,61}\right)^{1,37}}$
A3	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{3664,49}\right)^{1,02}}$	$0,236 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^{0,02} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{3664,49}\right)^{1,02}}$
A4	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{2371,59}\right)^{1,17}}$	$1,307 \cdot 10^{-4} \cdot \tau^{0,17} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{2371,59}\right)^{1,17}}$
A5	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{2123,90}\right)^{0,94}}$	$7,031 \cdot 10^{-4} \cdot \tau^{-0,06} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{2123,90}\right)^{0,94}}$
A6	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{2924,95}\right)^{1,24}}$	$0,614 \cdot 10^{-4} \cdot \tau^{0,24} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{2924,95}\right)^{1,24}}$
A7	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{4326,61}\right)^{1,56}}$	$0,332 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^{0,56} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{4326,61}\right)^{1,56}}$
A8	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{4086,70}\right)^{1,35}}$	$1,849 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^{0,35} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{4086,70}\right)^{1,35}}$
B1	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{1042,30}\right)^{1,02}}$	$0,847 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^{0,02} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{1042,30}\right)^{1,02}}$
B2	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{1877,84}\right)^{1,37}}$	$0,431 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^{0,37} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{1877,84}\right)^{1,37}}$
B3	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{1666,36}\right)^{0,93}}$	$0,924 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^{0,07} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{1666,36}\right)^{0,93}}$
B4	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{1423,54}\right)^{0,92}}$	$1,131 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^{-0,08} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{1423,54}\right)^{0,92}}$

B5	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{1329,00}\right)^{1,19}}$	$0,222 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^{0,19} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{1329,00}\right)^{1,19}}$
B6	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{1104,56}\right)^{0,90}}$	$0,154 \cdot 10^{-4} \cdot \tau^{-0,10} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{1104,56}\right)^{0,90}}$
C1	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{1592,51}\right)^{0,75}}$	$0,290 \cdot 10^{-4} \cdot \tau^{-0,35} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{1592,51}\right)^{0,75}}$
C2	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{1458,99}\right)^{0,89}}$	$0,140 \cdot 10^{-4} \cdot \tau^{-0,11} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{1458,99}\right)^{0,89}}$
C3	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{1354,33}\right)^{0,75}}$	$0,344 \cdot 10^{-4} \cdot \tau^{-0,25} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{1354,33}\right)^{0,75}}$
C4	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{1209,24}\right)^{0,74}}$	$0,394 \cdot 10^{-4} \cdot \tau^{-0,26} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{1209,24}\right)^{0,74}}$
C5	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{905,19}\right)^{1,03}}$	$0,938 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^{0,03} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{905,19}\right)^{1,03}}$
C6	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{1023,63}\right)^{0,81}}$	$0,290 \cdot 10^{-4} \cdot \tau^{-0,19} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{1023,63}\right)^{0,81}}$
C7	$1 - e^{-\left(\frac{\tau}{700,32}\right)^{0,86}}$	$0,303 \cdot 10^{-4} \cdot \tau^{-0,14} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{700,32}\right)^{0,86}}$

У табели 8.1.1.6 приказани су елементи тестирања хипотезе о једнакости емпиријске и теоријске функције расподеле времена отказа дозера, односно Weibull-ове расподеле, применом теста *Kolmogorov-Smirnov- KS тест* [122].

Табела 8.1.1.6. Тестирање хипотезе о једнакости емпиријске и теоријске функције расподеле времена отказа дозера - Weibull-ова расподела - елементи теста *Kolmogorov-Smirnov* [122]

МАШИНА	Број података (<i>n</i>)	Број интервала (<i>i</i>)	Прихватљиво одступање (<i>D_{n,α}</i>)	Критични интервал (<i>i_k</i>)	Максимално одступање (<i>D_n</i>)	Критеријум сагласности <i>F_e(t)</i> и <i>F_t(t)</i> расподеле: <i>D_n < D_{n,α}</i>
A1	77	8	0,15500	4	0,13	0,13 < 0,15500
A2	82	8	0,15020	7	0,07	0,07 < 0,15020
A3	85	8	0,14750	7	0,05	0,05 < 0,14750
A4	112	8	0,12850	3	0,05	0,05 < 0,12850
A5	89	8	0,14420	4	0,06	0,06 < 0,14420
A6	106	8	0,13210	4	0,09	0,09 < 0,13210
A7	111	8	0,12910	4	0,07	0,07 < 0,12910
A8	90	8	0,14340	2	0,13	0,13 < 0,14340
B1	34	7	0,22743	3	0,11	0,11 < 0,22743
B2	40	7	0,21012	3	0,06	0,06 < 0,21012
B3	35	7	0,22425	6	0,13	0,13 < 0,22425
B4	47	7	0,19840	3	0,10	0,10 < 0,19840
B5	34	7	0,22743	6	0,09	0,09 < 0,22743

B6	30	*	0,24170	11	0,17	0,17 < 0,24170
C1	23	*	0,27490	23	0,20	0,20 < 0,27490
C2	27	*	0,25438	27	0,19	0,19 < 0,25438
C3	24	*	0,26931	24	0,19	0,19 < 0,26931
C4	20	*	0,29408	20	0,20	0,20 < 0,29408
C5	22	*	0,28087	22	0,12	0,12 < 0,28087
C6	29	*	0,24571	27	0,16	0,16 < 0,24571
C7	25	*	0,26404	25	0,13	0,13 < 0,26404

* Број података је мали – примењена је Метода медијалног рангирања.

8.1.2 Процена парцијалних показатеља употребног квалитета дозера

8.1.2.1 Фазификовање функције поузданости дозера

У циљу процене поузданости (R), анализирани су измерени временски периоди у раду посматраних машина, односно времена до отказа (ПРИЛОГ 1, табеле 1, 2 и 3). С' обзиром да се посматра већи број машина, однос између j и реалног времена t је дефинисан на следећи начин: $j = 1$ за $t_{min} = 350 mh$, а $j = 5$ за $t_{max} = 36.337 mh$. Најкраћи евидентиран интервал у раду је 350 мото часова код машине А2, а најдужи евидентиран интервал у раду је 36.337 мото часова код машине А7 (ПРИЛОГ 1, табела 1). Остале вредности су добијене коришћењем линеарне интерполације (релација ?): $j = 2, t = 9.347 mh$; $j = 3, t = 18.343 mh$; $j = 4, t = 27.340 mh$.

На основу вредности параметара β и η (табела 8.1.1.4.) добија се функција густине отказа $f(t)$ (7.3), а њен графички приказ је мапиран на графикон фази скупова дефинисаних у координатном систему μ - j за оцену употребног квалитета (слика 7.1.1). Процес мапирања за машину А1 приказан је на слици 8.1.2.1. Површина ограничена кривом $f(t)$ и j -осом подељена је на одговарајуће фази скупове VR, \dots, IR ("ЛОША",, "ОДЛИЧНА") у зависности од површине преклапања, односно припадности одређеном фази скупу са одговарајућом лингвистичком променљивом. Фази скупови су покривени у следећим процентима: VR - "ЛОША" је покривен са 64%, IVR - "ПРИХВАТЉИВА" са 66%, $III R$ - "ПРОСЕЧНА" са 52%, $II R$ - "ДОБРА" са 33% и $I R$ - "ОДЛИЧНА" са 27%. Добијене вредности су скалиране како би њихов збир био 1, сходно релацији (8.1):

$$\begin{aligned}
\mu(R_{A1-одл.}) &= 0,27/(0,27+0,33+0,52+0,66+0,64) = 0,11; \\
\mu(R_{A1-доб.}) &= 0,33/(0,27+0,33+0,52+0,66+0,64) = 0,14; \\
\mu(R_{A1-прос.}) &= 0,52/(0,27+0,33+0,52+0,66+0,64) = 0,22; \\
\mu(R_{A1-прих.}) &= 0,66/(0,27+0,33+0,52+0,66+0,64) = 0,27; \\
\mu(R_{A1-лоша}) &= 0,64/(0,27+0,33+0,52+0,66+0,64) = 0,27;
\end{aligned} \tag{8.1}$$

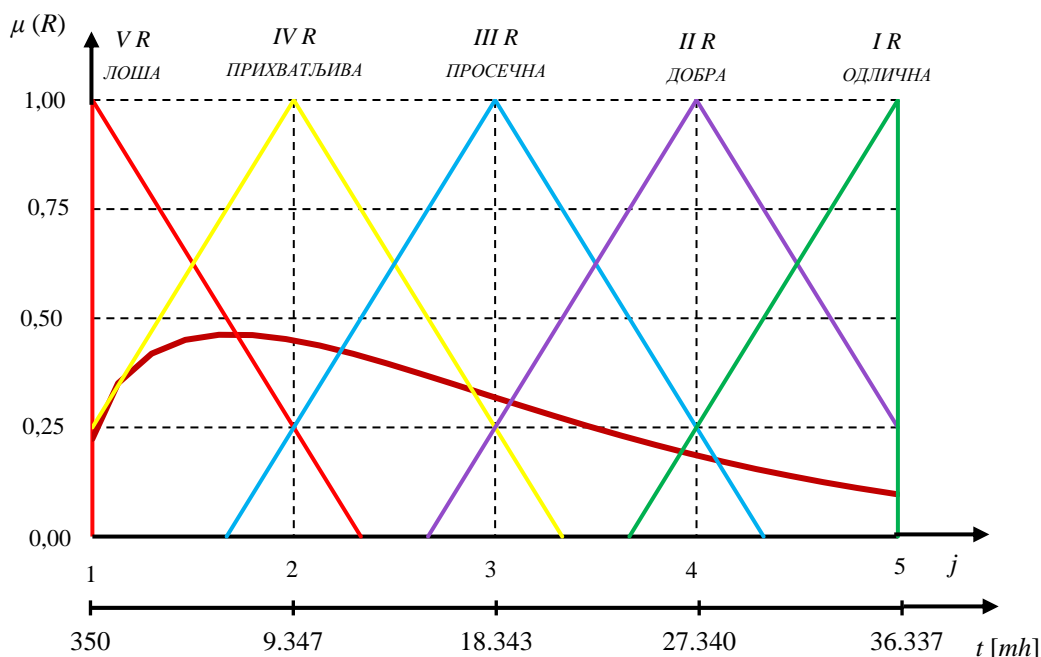
где је:

$$\mu(R_{A1-одл.}) + \mu(R_{A1-доб.}) + \mu(R_{A1-прос.}) + \mu(R_{A1-прих.}) + \mu(R_{A1-лоша}) = 1. \tag{8.2}$$

Процена показатеља R за машину А1 добија се према релацији (8.2) у облику:

$$R_{A1} = (0,11 \text{ "ОДЛИЧНА"}; 0,14 \text{ "ДОБРА"}; 0,22 \text{ "ПРОСЕЧНА"}; 0,27 \text{ "ПРИХВАТЉИВА"}; 0,27 \text{ "ЛОША"}). \tag{8.3}$$

Како је показатељ R за машину A1 дефинисан преко релације (8.3), за фази скуп $I R$ са лингвистичком променљивом "ОДЛИЧНА" функција припадности је 0,11. Фази скуп $I R$ - "ОДЛИЧНА" је дефинисан као: $R_{\text{ОДЛИЧНА}} = (0,00_{(1)}; 0,00_{(2)}; 0,00_{(3)}; 0,25_{(4)}; 1,00_{(5)})$ према слици 7.1.1. На овај начин добијена је специфична вредност фази скупа $I R$ - "ОДЛИЧНА" за машину A1: $R_{\text{ОДЛИЧНА}} = \{(0,00 \times 0,11)_{(1)}; (0,00 \times 0,11)_{(2)}; (0,00 \times 0,11)_{(3)}; (0,25 \times 0,11)_{(4)}; (1,00 \times 0,11)_{(5)}\}$. Применом истог поступка израчунате су специфичне вредности осталих фази скупова за машину A1 (табела 8.1.2.1.2).



Слика 8.1.2.1. Процес мапирања функције густине отказа на фази скупове поузданости – дозер A1

У табели 8.1.2.1.1 дате су процене показатеља R за све посматране машине.

Табела 8.1.2.1.1. Процена поузданости посматраних дозера

		ПОУЗДАНОСТ (R)				
		j				
Машина		5	4	3	2	1
		О Ц Е Н А				
		"ОДЛИЧНА"	"ДОБРА"	"ПРОСЕЧНА"	"ПРИХВАТЉИВА"	"ЛОША"
A1		0,11	0,14	0,22	0,27	0,27
A2		0,12	0,15	0,22	0,26	0,25
A3		0,11	0,13	0,21	0,27	0,27
A4		0,14	0,17	0,24	0,24	0,21
A5		0,10	0,14	0,24	0,28	0,25
A6		0,12	0,16	0,25	0,26	0,22
A7		0,15	0,19	0,26	0,22	0,18
A8		0,12	0,15	0,24	0,26	0,23
B1		0,04	0,09	0,24	0,36	0,27
B2		0,13	0,17	0,26	0,25	0,20

B3	0,11	0,14	0,23	0,26	0,25
B4	0,03	0,11	0,29	0,35	0,22
B5	0,03	0,07	0,20	0,37	0,32
B6	0,04	0,08	0,18	0,34	0,37
C1	0,10	0,17	0,32	0,25	0,16
C2	0,09	0,12	0,21	0,29	0,29
C3	0,12	0,16	0,26	0,25	0,20
C4	0,10	0,13	0,22	0,28	0,27
C5	0,04	0,09	0,21	0,35	0,31
C6	0,01	0,07	0,22	0,42	0,29
C7	0,01	0,05	0,24	0,44	0,26

Табела 8.1.2.1.2. Специфичне вредности фази скупова поузданости - дозер А1

$\mu(R_{A1})$	ОЦЕНА	j				
		1	2	3	4	5
0,11	"ОДЛИЧНА"	0,00 x 0,11	0,00 x 0,11	0,00 x 0,11	0,25 x 0,11	1,00 x 0,11
0,14	"ДОБРА"	0,00 x 0,14	0,00 x 0,14	0,25 x 0,14	1,00 x 0,14	0,25 x 0,14
0,22	"ПРОСЕЧНА"	0,00 x 0,22	0,25 x 0,22	1,00 x 0,22	0,25 x 0,22	0,00 x 0,22
0,27	"ПРИХВАТЉИВА"	0,25 x 0,27	1,00 x 0,27	0,25 x 0,27	0,00 x 0,27	0,00 x 0,27
0,27	"ЛОША"	1,00 x 0,27	0,25 x 0,27	0,00 x 0,27	0,00 x 0,27	0,00 x 0,27
Σ						
1,00	μ_{R-A1}	0,33	0,39	0,32	0,22	0,15

Коначно се специфичне вредности сабирају међу собом за сваку вредност $j = 1, \dots, 5$ и уносе у фази образац (7.1), са чиме се добија оцена показатеља R за машину А1 у фази облику (8.4). Истим поступком су добијене специфичне вредности фази скупова показатеља R за остале машине, а овде су дате коначне оцене у фази облику:

$$\begin{aligned}
\mu_{R-A1} &= (0,33 \ 0,39 \ 0,32 \ 0,22 \ 0,15), \\
\mu_{R-A2} &= (0,31 \ 0,38 \ 0,33 \ 0,23 \ 0,15), \\
\mu_{R-A3} &= (0,34 \ 0,39 \ 0,32 \ 0,22 \ 0,14), \\
\mu_{R-A4} &= (0,27 \ 0,35 \ 0,34 \ 0,26 \ 0,19), \\
\mu_{R-A5} &= (0,32 \ 0,40 \ 0,34 \ 0,22 \ 0,13), \\
\mu_{R-A6} &= (0,29 \ 0,37 \ 0,35 \ 0,25 \ 0,16), \\
\mu_{R-A7} &= (0,24 \ 0,33 \ 0,36 \ 0,29 \ 0,20), \\
\mu_{R-A8} &= (0,30 \ 0,38 \ 0,35 \ 0,24 \ 0,15), \\
\mu_{R-B1} &= (0,36 \ 0,49 \ 0,35 \ 0,16 \ 0,06), \\
\mu_{R-B2} &= (0,26 \ 0,36 \ 0,36 \ 0,26 \ 0,17), \\
\mu_{R-B3} &= (0,32 \ 0,38 \ 0,33 \ 0,23 \ 0,15), \\
\mu_{R-B4} &= (0,31 \ 0,48 \ 0,41 \ 0,19 \ 0,06), \\
\mu_{R-B5} &= (0,42 \ 0,50 \ 0,31 \ 0,13 \ 0,05), \\
\mu_{R-B6} &= (0,45 \ 0,47 \ 0,28 \ 0,13 \ 0,06), \\
\mu_{R-C1} &= (0,23 \ 0,37 \ 0,42 \ 0,27 \ 0,14), \\
\mu_{R-C2} &= (0,36 \ 0,41 \ 0,31 \ 0,20 \ 0,12), \\
\mu_{R-C3} &= (0,26 \ 0,37 \ 0,37 \ 0,26 \ 0,16), \\
\mu_{R-C4} &= (0,34 \ 0,41 \ 0,33 \ 0,21 \ 0,13), \\
\mu_{R-C5} &= (0,40 \ 0,48 \ 0,32 \ 0,15 \ 0,07), \\
\mu_{R-C6} &= (0,39 \ 0,54 \ 0,34 \ 0,12 \ 0,03), \\
\mu_{R-C7} &= (0,37 \ 0,56 \ 0,36 \ 0,11 \ 0,02).
\end{aligned}
\tag{8.4}$$

8.1.2.2 Фазификовање функција погодности одржавања дозера

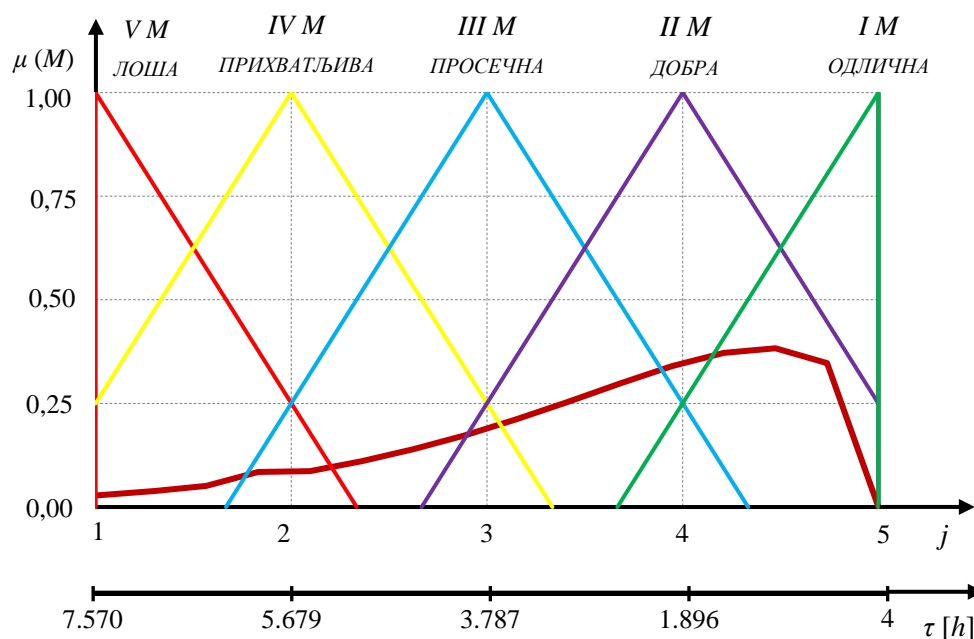
У процесу процене погодности одржавања (M), анализирана су измерена времена потребна за отклањање отказа посматраних машина (ПРИЛОГ 1, табеле 4, 5 и 6). Однос између j и реалног времена τ је дефинисан на следећи начин: $j = 1$ за $\tau_{max} = 7.570 h$, а $j = 5$ за $\tau_{min} = 4 h$. Најдуже евидентирано време за отклањање отказа је 7.570 часова код машине А7, а најкраћа евидентирана времена за отклањање отказа су 4 часа код машина В3, С4 и С6. Остале вредности су добијене коришћењем линеарне интерполације (релација 8.5): $j = 2, \tau = 5.679 h$; $j = 3, \tau = 3.787 h$; $j = 4, \tau = 1.896 h$.

На основу вредности параметара β и η (табела 8.1.1.4) добија се функција густине времена одржавања $f(\tau)$ (7.3). Графички приказ функције $f(\tau)$ је мапиран на графикон фази скупова дефинисаних у координатном систему μ - j за оцену употребног квалитета (слика 7.1.1). Процес мапирања за машину А1 приказан је на слици 8.1.2.2. Површина ограничена кривом $f(\tau)$ и j -осом подељена је на одговарајуће фази скупове VM, \dots, IM ("ЛОША",, "ОДЛИЧНА") у зависности од површине преклапања, односно припадности одређеном фази скупу са одговарајућом лингвистичком променљивом. Фази скупови су покривени у следећим процентима: VM - "ЛОША" је покривен са 8%, IVM - "ПРИХВАТЉИВА" са 12%, $IIIM$ - "ПРОСЕЧНА" са 26%, $IIIM$ - "ДОБРА" са 39% и IM - "ОДЛИЧНА" са 56%. Добијене вредности су скалиране како би њихов збир био 1, сходно релацији (8.5):

$$\begin{aligned} \mu(M_{A1-одл.}) &= 0,56/(0,56+0,39+0,26+0,12+0,08) = 0,40; \\ \mu(M_{A1-доб.}) &= 0,39/(0,56+0,39+0,26+0,12+0,08) = 0,28; \\ \mu(M_{A1-прос.}) &= 0,26/(0,56+0,39+0,26+0,12+0,08) = 0,18; \\ \mu(M_{A1-прих.}) &= 0,12/(0,56+0,39+0,26+0,12+0,08) = 0,08; \\ \mu(M_{A1-лоша}) &= 0,08/(0,56+0,39+0,26+0,12+0,08) = 0,05; \end{aligned} \quad (8.5)$$

где је, према 8.5:

$$\mu(M_{A1-одл.}) + \mu(M_{A1-доб.}) + \mu(M_{A1-прос.}) + \mu(M_{A1-прих.}) + \mu(M_{A1-лоша}) = 1 \quad (8.6)$$



Слика 8.1.2.2. Процес мапирања функције густине времена одржавања на фази скупове погодности одржавања - дозер А1

Процена показатеља M за машину A1 добија се према релацији (8.6) у облику:

$$M_{A1} = (0,40 \text{ "ОДЛИЧНА"}; 0,28 \text{ "ДОБРА"}; 0,18 \text{ "ПРОСЕЧНА"}; 0,08 \text{ "ПРИХВАТЉИВА"}; 0,05 \text{ "ЛОША"}). \quad (8.7)$$

У табели 8.1.2.2.1. дате су процене показатеља M за све посматране машине.

Табела 8.1.2.2.1. Процена погодности одржавања посматраних дозера

ПОГОДНОСТ ОДРЖАВАЊА (M)					
Машина	j				
	5	4	3	2	1
	О Ц Е Н А				
	"ОДЛИЧНА"	"ДОБРА"	"ПРОСЕЧНА"	"ПРИХВАТЉИВА"	"ЛОША"
A1	0,40	0,28	0,18	0,08	0,05
A2	0,22	0,21	0,18	0,13	0,10
A3	0,27	0,21	0,12	0,14	0,11
A4	0,33	0,24	0,11	0,10	0,08
A5	0,34	0,23	0,10	0,10	0,08
A6	0,25	0,21	0,13	0,13	0,12
A7	0,15	0,18	0,18	0,18	0,16
A8	0,19	0,18	0,16	0,17	0,16
B1	0,28	0,60	0,05	0,04	0,03
B2	0,36	0,29	0,10	0,06	0,04
B3	0,42	0,19	0,09	0,08	0,07
B4	0,42	0,20	0,07	0,08	0,08
B5	0,46	0,21	0,08	0,06	0,05
B6	0,40	0,21	0,10	0,07	0,07
C1	0,38	0,18	0,09	0,10	0,10
C2	0,36	0,19	0,10	0,10	0,10
C3	0,34	0,18	0,12	0,10	0,11
C4	0,38	0,20	0,08	0,10	0,10
C5	0,47	0,20	0,07	0,04	0,06
C6	0,42	0,19	0,05	0,08	0,10
C7	0,58	0,22	0,15	0,05	0,06

Како је показатељ M за машину A1 дефинисан преко релације (8.7), за фази скуп $I M$ са лингвистичком променљивом "ОДЛИЧНА" функција припадности је 0,40. Фази скуп $I M$ - "ОДЛИЧНА" је дефинисан као: $M_{\text{одлична}} = (0,00_{(1)}; 0,00_{(2)}; 0,00_{(3)}; 0,25_{(4)}; 1,00_{(5)})$ према слици 7.1.1. На овај начин добијена је специфична вредност фази скупа "ОДЛИЧНА" за машину A1: $M_{\text{одлична}} = \{(0,00 \times 0,40)_{(1)}; (0,00 \times 0,40)_{(2)}; (0,00 \times 0,40)_{(3)}; (0,25 \times 0,40)_{(4)}; (1,00 \times 0,40)_{(5)}\}$. Применом истог поступка израчунате су специфичне вредности осталих фази скупова за машину A1, (табела 8.1.2.2.2).

Табела 8.1.2.2.2. Специфичне вредности фази скупова погодности одржавања - дозер А1

$\mu (M_{A1})$	ОЦЕНА	j				
		1	2	3	4	5
0,11	"ОДЛИЧНА"	0,00 x 0,40	0,00 x 0,40	0,00 x 0,40	0,25 x 0,40	1,00 x 0,40
0,14	"ДОБРА"	0,00 x 0,28	0,00 x 0,28	0,25 x 0,28	1,00 x 0,28	0,25 x 0,28
0,22	"ПРОСЕЧНА"	0,00 x 0,18	0,25 x 0,18	1,00 x 0,18	0,25 x 0,18	0,00 x 0,18
0,27	"ПРИХВАТЉИВА"	0,25 x 0,08	1,00 x 0,08	0,25 x 0,08	0,00 x 0,08	0,00 x 0,08
0,27	"ЛОША"	1,00 x 0,05	0,25 x 0,05	0,00 x 0,05	0,00 x 0,05	0,00 x 0,05
Σ						
1,00	μ_{M-A1}	0,07	0,14	0,27	0,43	0,47

Коначно се специфичне вредности сабирају међу собом за сваку вредност $j = 1, \dots, 5$ и уносе у фази образац (7.2), са чиме се добија оцена показатеља M за машину А1 у фази облику (8.8). Истим поступком су добијене специфичне вредности фази скупова показатеља M за остале машине, а овде су дате коначне оцене у фази облику:

$$\begin{aligned}
 \mu_{M-A1} &= (0,07 \quad 0,14 \quad 0,27 \quad 0,43 \quad 0,47), \\
 \mu_{M-A2} &= (0,13 \quad 0,21 \quad 0,33 \quad 0,39 \quad 0,34), \\
 \mu_{M-A3} &= (0,15 \quad 0,21 \quad 0,27 \quad 0,38 \quad 0,38), \\
 \mu_{M-A4} &= (0,10 \quad 0,16 \quad 0,25 \quad 0,43 \quad 0,45), \\
 \mu_{M-A5} &= (0,10 \quad 0,16 \quad 0,24 \quad 0,41 \quad 0,46), \\
 \mu_{M-A6} &= (0,15 \quad 0,21 \quad 0,28 \quad 0,38 \quad 0,37), \\
 \mu_{M-A7} &= (0,20 \quad 0,28 \quad 0,33 \quad 0,34 \quad 0,25), \\
 \mu_{M-A8} &= (0,20 \quad 0,26 \quad 0,31 \quad 0,34 \quad 0,30), \\
 \mu_{M-B1} &= (0,04 \quad 0,07 \quad 0,17 \quad 0,41 \quad 0,64), \\
 \mu_{M-B2} &= (0,06 \quad 0,11 \quad 0,25 \quad 0,48 \quad 0,49), \\
 \mu_{M-B3} &= (0,09 \quad 0,13 \quad 0,22 \quad 0,40 \quad 0,53), \\
 \mu_{M-B4} &= (0,10 \quad 0,13 \quad 0,20 \quad 0,40 \quad 0,53), \\
 \mu_{M-B5} &= (0,06 \quad 0,10 \quad 0,21 \quad 0,42 \quad 0,58), \\
 \mu_{M-B6} &= (0,08 \quad 0,12 \quad 0,23 \quad 0,41 \quad 0,52), \\
 \mu_{M-C1} &= (0,12 \quad 0,16 \quad 0,23 \quad 0,37 \quad 0,49), \\
 \mu_{M-C2} &= (0,13 \quad 0,17 \quad 0,24 \quad 0,38 \quad 0,46), \\
 \mu_{M-C3} &= (0,14 \quad 0,17 \quad 0,25 \quad 0,37 \quad 0,45), \\
 \mu_{M-C4} &= (0,12 \quad 0,16 \quad 0,22 \quad 0,39 \quad 0,49), \\
 \mu_{M-C5} &= (0,07 \quad 0,09 \quad 0,20 \quad 0,41 \quad 0,58), \\
 \mu_{M-C6} &= (0,12 \quad 0,13 \quad 0,18 \quad 0,39 \quad 0,53), \\
 \mu_{M-C7} &= (0,07 \quad 0,11 \quad 0,21 \quad 0,38 \quad 0,58).
 \end{aligned}
 \tag{8.8}$$

8.1.2.3 Фазификовање резултата експертске процене логистичке подршке одржавању дизера

Процена показатеља логистичка подршка одржавању (MS), као једног од парцијалних показатеља употребног квалитета, вршена је на бази експертске процене посматраних машина, дате у лингвистичкој форми (сходно поглављу 7.2.2).

У истраживању је учествовало пет експерата запослених у експлоатацији и одржавању, којима су достављени упитници за оцену сваке посматране машине. Упитник садржи понуђене оцене (лингвистичке променљиве) за показатељ логистичка подршка одржавању (MS). Експерти су могли да оцењују сваку машину појединачно тако што су датој лингвистичкој оцени доделили припадност од 100% или су своју оцену расподелили на више лингвистичких променљивих (у интервалу од 0 до 1, тако да збир парцијалних оцена буде 1).

Резултати експертске процене логистичке подршке одржавању (MS) посматраних машина су приказани у табелама 8.1.2.3.1, 8.1.2.3.2. и 8.1.2.3.3.

Табела 8.1.2.3.1. Упитник - експертска процена логистичке подршке одржавању дозера – тип А

ЛОГИСТИЧКА ПОДРШКА ОДРЖАВАЊУ (MS)		Експерт					$\sum_1^5 MS_{(LV)}$	
МАШИНА / ОЦЕНА		1	2	3	4	5	5	
A ₁	$MS_{(LV)}$	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,9	0,5	0,6	0,8	0,6	0,68
		"ПРОСЕЧНА"	0,1	0,5	0,4	0,2	0,3	0,30
		"ПРИХВАТЉИВА"					0,1	0,02
		"ЛОША"						
A ₂	$MS_{(LV)}$	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,46
		"ПРОСЕЧНА"	0,5	0,4	0,6	0,6	0,4	0,50
		"ПРИХВАТЉИВА"		0,2				0,04
		"ЛОША"						
A ₃	$MS_{(LV)}$	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,6	0,3	0,5	0,3	0,6	0,46
		"ПРОСЕЧНА"	0,2	0,5	0,4	0,4	0,4	0,38
		"ПРИХВАТЉИВА"	0,2	0,2	0,1	0,3		0,16
		"ЛОША"						
A ₄	$MS_{(LV)}$	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,7	0,5	0,7	0,2	0,6	0,54
		"ПРОСЕЧНА"	0,3	0,5	0,3	0,7	0,4	0,44
		"ПРИХВАТЉИВА"				0,1		0,02
		"ЛОША"						
A ₅	$MS_{(LV)}$	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"					0,1	0,02
		"ПРОСЕЧНА"	0,6	0,7	0,5	0,4	0,2	0,48
		"ПРИХВАТЉИВА"	0,4	0,3	0,5	0,6	0,7	0,50
		"ЛОША"						
A ₆	$MS_{(LV)}$	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,5	0,6	0,7	0,5	0,7	0,60
		"ПРОСЕЧНА"	0,5	0,4	0,3	0,5	0,1	0,36
		"ПРИХВАТЉИВА"					0,2	0,04
		"ЛОША"						
A ₇	$MS_{(LV)}$	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,8	0,6	0,6	0,6	0,1	0,54
		"ПРОСЕЧНА"	0,2	0,4	0,2	0,4	0,9	0,42
		"ПРИХВАТЉИВА"			0,2			0,04
		"ЛОША"						
A ₈	$MS_{(LV)}$	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"			0,2			0,04
		"ПРОСЕЧНА"	0,4	0,5	0,4	0,6	0,3	0,44
		"ПРИХВАТЉИВА"	0,6	0,5	0,4	0,4	0,7	0,52
		"ЛОША"						

Табела 8.1.2.3.2. Упитник - експертска процена логистичке подршке одржавању дозера – тип В

ЛОГИСТИЧКА ПОДРШКА ОДРЖАВАЊУ (MS)		Експерт					$\frac{\sum_1^5 MS_{(LV)}}{5}$	
МАШИНА / ОЦЕНА		1	2	3	4	5	5	
В ₁	MS _(LV)	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,6	0,8	0,5	0,7	0,1	0,54
		"ПРОСЕЧНА"	0,4	0,2	0,5	0,3	0,4	0,36
		"ПРИХВАТЉИВА"					0,5	0,10
		"ЛОША"						
В ₂	MS _(LV)	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,9	0,9	0,8	0,2	1	0,76
		"ПРОСЕЧНА"	0,1	0,1	0,2	0,8		0,24
		"ПРИХВАТЉИВА"						0,00
		"ЛОША"						
В ₃	MS _(LV)	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	1	0,5	1	0,9	1	0,88
		"ПРОСЕЧНА"		0,5		0,1		0,12
		"ПРИХВАТЉИВА"						0,00
		"ЛОША"						
В ₄	MS _(LV)	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,9	0,7	0,5	0,8	0,6	0,70
		"ПРОСЕЧНА"	0,1	0,3	0,5	0,2	0,4	0,30
		"ПРИХВАТЉИВА"						0,00
		"ЛОША"						
В ₅	MS _(LV)	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,4	0,5	0,3	0,2	0,4	0,36
		"ПРОСЕЧНА"	0,6	0,5	0,7	0,8	0,6	0,64
		"ПРИХВАТЉИВА"						
		"ЛОША"						
В ₆	MS _(LV)	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"					0,1	0,02
		"ПРОСЕЧНА"	0,9	1	0,8	0,7	0,5	0,78
		"ПРИХВАТЉИВА"	0,1		0,2	0,3	0,4	0,20
		"ЛОША"						

Табела 8.1.2.3.3. Упитник - експертска процена логистичке подршке одржавању дозера – тип С

ЛОГИСТИЧКА ПОДРШКА ОДРЖАВАЊУ (MS)		Експерт					$\frac{\sum_1^5 MS_{(LV)}}{5}$	
МАШИНА / ОЦЕНА		1	2	3	4	5	5	
С ₁	MS _(LV)	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,42
		"ПРОСЕЧНА"	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,58
		"ПРИХВАТЉИВА"						
		"ЛОША"						
С ₂	MS _(LV)	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,2	0,1	0,2	0,1		0,12
		"ПРОСЕЧНА"	0,8	0,9	0,8	0,9	1	0,88
		"ПРИХВАТЉИВА"						
		"ЛОША"						
С ₃	MS	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	1		0,9	0,9	1	0,76

		"ПРОСЕЧНА"		1				0,20
		"ПРИХВАТЉИВА"						
		"ЛОША"						
C ₄	MS _(LV)	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,8	0,6	0,9	1	0,7	0,80
		"ПРОСЕЧНА"	0,2	0,4	0,1		0,3	0,20
		"ПРИХВАТЉИВА"						
		"ЛОША"						
C ₅	MS _(LV)	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,5	0,6				0,22
		"ПРОСЕЧНА"	0,3	0,4	0,7	0,5	0,6	0,50
		"ПРИХВАТЉИВА"	0,2		0,3	0,5	0,4	0,28
		"ЛОША"						
C ₆	MS _(LV)	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,32
		"ПРОСЕЧНА"		0,9	0,7	0,9	0,9	0,68
		"ПРИХВАТЉИВА"						
		"ЛОША"						
C ₇	MS _(LV)	"ОДЛИЧНА"						
		"ДОБРА"	0,8	0,7	0,9	0,9	0,8	0,82
		"ПРОСЕЧНА"	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,18
		"ПРИХВАТЉИВА"						
		"ЛОША"						

Поступак оцењивања машине A1 (сходно експертској процени датај у табели 8.1.2.3.1) приказан је у наставку:

Експерт број 1 оценио је показатељ *MS* на следћи начин: са оценом "ДОБРА" у висини од 90% и "ПРОСЕЧНА" у висини од 10% ;

Експерт број 2 оценио је показатељ *MS* на следћи начин: са оценом "ДОБРА" у висини од 50% и "ПРОСЕЧНА" у висини од 50% ;

Експерт број 3 оценио је показатељ *MS* на следћи начин: са оценом "ДОБРА" у висини од 60% и "ПРОСЕЧНА" у висини од 40% ;

Експерт број 4 оценио је показатељ *MS* на следћи начин: са оценом "ДОБРА" у висини од 80% и "ПРОСЕЧНА" у висини од 20% ;

Експерт број 5 оценио је показатељ *MS* на следћи начин: са оценом "ДОБРА" у висини од 60%, "ПРОСЕЧНА" у висини од 30%, "ПРИХВАТЉИВА" у висини од 10% .

На основу оцена свих пет експерата (табела 8.1.2.3.1) добија се коначна процена показатеља *MS* за машину A1:

- оцена "ОДЛИЧНА" није забележена у овом случају;
- оцена "ДОБРА" дата је од стране свих пет експерата у припадајућој мери:
 $((1 \times 0,0) + (1 \times 0,5) + (1 \times 0,6)) + (1 \times 0,8) + (1 \times 0,6) / 5 = 0,68$;
- оцена "ПРОСЕЧНА" дата је од стране свих пет експерата у припадајућој мери:
 $((1 \times 0,1) + (1 \times 0,5) + (1 \times 0,4) + (1 \times 0,2) + (1 \times 0,3)) / 5 = 0,30$;
- оцена "ПРИХВАТЉИВА" дата је од стране једног експерата у припадајућој мери:
 $(1 \times 0,1) / 5 = 0,02$;
- оцена "ЛОША" није забележена у овом случају.

Процена показатеља *MS* за машину A1 добија у облику:

$$MS_{A1} = (0,00 \text{ "ОДЛИЧНА"}; 0,68 \text{ "ДОБРА"}; 0,30 \text{ "ПРОСЕЧНА"}; 0,02 \text{ "ПРИХВАТЉИВА"}; 0,00 \text{ "ЛОША"}).$$

(8.9)

Применом истог поступка добијена је процена показатеља MS за остале машине.

У табели 8.1.2.3.4. дате су процене показатеља MS за све посматране машине.

Табела 8.1.2.3.4. Процена логистичке подршке одржавању посматраних дозера

ЛОГИСТИЧКА ПОДРШКА ОДРЖАВАЊУ (MS)					
Машина	j				
	5	4	3	2	1
	О Ц Е Н А				
	"ОДЛИЧНА"	"ДОБРА"	"ПРОСЕЧНА"	"ПРИХВАТЉИВА"	"ЛОША"
A1	0,00	0,68	0,30	0,02	0,00
A2	0,00	0,46	0,50	0,04	0,00
A3	0,00	0,46	0,38	0,16	0,00
A4	0,00	0,54	0,44	0,02	0,00
A5	0,00	0,02	0,48	0,50	0,00
A6	0,00	0,60	0,36	0,04	0,00
A7	0,00	0,54	0,42	0,04	0,00
A8	0,00	0,04	0,44	0,52	0,00
B1	0,00	0,54	0,36	0,10	0,00
B2	0,00	0,76	0,24	0,00	0,00
B3	0,00	0,88	0,12	0,00	0,00
B4	0,00	0,70	0,30	0,00	0,00
B5	0,00	0,36	0,64	0,00	0,00
B6	0,00	0,02	0,78	0,20	0,00
C1	0,00	0,42	0,58	0,00	0,00
C2	0,00	0,12	0,88	0,00	0,00
C3	0,00	0,76	0,20	0,00	0,00
C4	0,00	0,80	0,20	0,00	0,00
C5	0,00	0,22	0,50	0,28	0,00
C6	0,00	0,32	0,68	0,00	0,00
C7	0,00	0,82	0,18	0,00	0,00

Оцене показатеља логистичка подршка одржавању (MS) за посматране машине (табела 8.1.2.3.4) су мапиране на графикон фази скупова дефинисаних у координатном систему μ - j за оцену употребног квалитета (слика 7.1.1.) како би била омогућена њихова интеграција у синтезне оцене у облику (7.1).

Показатељ MS за машину A1 је дефинисан преко релације (8.9), за фази скуп $II MS$ са лингвистичком променљивом "ДОБРА" функција припадности је 0,58. Фази скуп $II MS$ - "ДОБРА" је дефинисан као: $MS_{ДОБРА} = (0,00_{(1)}; 0,00_{(2)}; 0,25_{(3)}; 1,00_{(4)}; 0,25_{(5)})$ према слици (7.1.1). На овај начин добијена је специфична вредност фази скупа $II MS$ - "ДОБРА" за машину A1: $MS_{ДОБРА} = \{(0,00 \times 0,68)_{(1)}; (0,00 \times 0,68)_{(2)}; (0,25 \times 0,68)_{(3)}; (1,00 \times 0,68)_{(4)}; (0,25 \times 0,68)_{(5)}\}$. На исти начин се третирају остали фази скупови показатеља MS , (табела 8.1.2.3.5).

Табела 8.1.2.3.5. Специфичне вредности фази скупова логистичке подршке одржавању - дозер А1

$\mu (MS_{A1})$	ОЦЕНА	j				
		1	2	3	4	5
0,00	"ОДЛИЧНА"	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,25 x 0,00	1,00 x 0,00
0,68	"ДОБРА"	0,00 x 0,68	0,00 x 0,68	0,25 x 0,68	1,00 x 0,68	0,25 x 0,68
0,30	"ПРОСЕЧНА"	0,00 x 0,30	0,25 x 0,30	1,00 x 0,30	0,25 x 0,30	0,00 x 0,30
0,02	"ПРИХВАТЉИВА"	0,25 x 0,02	1,00 x 0,02	0,25 x 0,02	0,00 x 0,02	0,00 x 0,02
0,00	"ЛОША"	1,00 x 0,00	0,25 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00
Σ						
1,00	μ_{MS-A1}	0,01	0,10	0,48	0,76	0,17

Специфичне вредности се сабирају међу собом за сваку вредност $j = 1, \dots, 5$ и уносе у фази образац (7.2), са чиме се добија оцена показатеља MS за машину А1 у фази облику (7.1). Истим поступком су добијене специфичне вредности фази скупова показатеља MS за остале машине, а овде су дате коначне оцене у фази облику:

$$\begin{aligned}
 \mu_{MS-A1} &= (0,01 \ 0,10 \ 0,48 \ 0,76 \ 0,17), \\
 \mu_{MS-A2} &= (0,01 \ 0,17 \ 0,63 \ 0,59 \ 0,12), \\
 \mu_{MS-A3} &= (0,04 \ 0,26 \ 0,54 \ 0,56 \ 0,12), \\
 \mu_{MS-A4} &= (0,01 \ 0,13 \ 0,58 \ 0,65 \ 0,14), \\
 \mu_{MS-A5} &= (0,13 \ 0,62 \ 0,61 \ 0,14 \ 0,01), \\
 \mu_{MS-A6} &= (0,01 \ 0,13 \ 0,52 \ 0,69 \ 0,15), \\
 \mu_{MS-A7} &= (0,01 \ 0,15 \ 0,57 \ 0,65 \ 0,14), \\
 \mu_{MS-A8} &= (0,13 \ 0,63 \ 0,58 \ 0,15 \ 0,01), \\
 \mu_{MS-B1} &= (0,03 \ 0,19 \ 0,52 \ 0,63 \ 0,14), \\
 \mu_{MS-B2} &= (0,00 \ 0,06 \ 0,43 \ 0,82 \ 0,19), \\
 \mu_{MS-B3} &= (0,00 \ 0,03 \ 0,34 \ 0,91 \ 0,22), \\
 \mu_{MS-B4} &= (0,00 \ 0,08 \ 0,48 \ 0,78 \ 0,18), \\
 \mu_{MS-B5} &= (0,00 \ 0,16 \ 0,73 \ 0,52 \ 0,09), \\
 \mu_{MS-B6} &= (0,05 \ 0,40 \ 0,84 \ 0,22 \ 0,01), \\
 \mu_{MS-C1} &= (0,00 \ 0,15 \ 0,69 \ 0,57 \ 0,11), \\
 \mu_{MS-C2} &= (0,00 \ 0,22 \ 0,91 \ 0,34 \ 0,03), \\
 \mu_{MS-C3} &= (0,00 \ 0,05 \ 0,39 \ 0,81 \ 0,19), \\
 \mu_{MS-C4} &= (0,00 \ 0,05 \ 0,40 \ 0,85 \ 0,20), \\
 \mu_{MS-C5} &= (0,07 \ 0,41 \ 0,63 \ 0,35 \ 0,06), \\
 \mu_{MS-C6} &= (0,00 \ 0,17 \ 0,76 \ 0,49 \ 0,08), \\
 \mu_{MS-C7} &= (0,00 \ 0,05 \ 0,39 \ 0,87 \ 0,21).
 \end{aligned} \tag{8.10}$$

8.1.2.4 Фазификовање средњих вредности одступања капацитета за процену функционалне погодности дозера

Процена парцијалног показатеља употребног квалитета функционална погодност (F) извршена је на бази измерених података о резултатима радног учинка - капацитета дозера (Q), и статистичке обраде података (сходно поглављу 7.2.2). У овом случају измерени су остварени капацитети дозера при резању-откопавању материјала и дозирању-гурању материјала.

Параметри који детерминишу капацитет дозера су:

- задата функција циља дозера (копање, транспорт, планирање површина и др.),
- дужина копања и транспорта материјала,
- нагиб терена на коме дозер ради,
- стање подлоге по којој се креће дозер (коэффициент трења између подлоге и гусеница/точкова дозера),
- физичко-механичка својстава материјала који се копа или транспортује,
- техничке карактеристике (тип) дозера: снага погонског мотора, маса дозера, облик и димензије плуга (дужина и висина), брзина кретања дозера.

Теоријски капацитет (Q_t) дозера се израчунава на следећи начин:

$$Q_t = \frac{3600 \cdot V_{vp} \cdot k_n \cdot k_g \cdot \eta_t}{T_c \cdot k_r} \left[\frac{m^3}{h} \right], \quad (8.11)$$

где су:

- V_{vp} — запремина вучне призме,
- k_n — коэффициент нагиба терена (за угао нагиба $\alpha_n = 0$, $k_n = 1$),
- k_g — коэффициент губитка са стране плуга при транспорту материјала (у зависиности је од дужине копања и дужине гурања материјала): $k_g = 1 - 0,005 \cdot l_t$, где је l_t дужина транспорта материјала,
- η_t — коэффициент временског искоришћења (у овом случају усвојено $\eta_t = 0,8$),
- T_c — време радног циклуса,
- k_r — коэффициент растреситости материјала (посматрани дозери раде у истој радној средини, односно истом материјалу, $k_r = 1,3$).

Запремина вучне призме се израчунава на следећи начин:

$$V_{vp} = \frac{L \cdot H^2}{2 \cdot K_1} [m^3], \quad (8.12)$$

где су:

- L — дужина плуга,
- H — висина плуга,
- K_1 — коэффициент односа висине и дужине плуга (у овом случају је одређен за компактни материјал).

Време радног циклуса износи:

$$T_c = t_r + t_t + t_p + t_v + t_{sp} + 2 \cdot t_o [s],$$

$$T_c = \frac{l_r}{v_r} + \frac{l_t}{v_t} + \frac{l_p}{v_p} + t_v + t_{sp} + 2 \cdot t_o [s], \quad (8.13)$$

где су:

- t_r — време резања материјала,
- t_t — време транспорта-гурања материјала,
- t_p — време повратног – празног кретања дозера,
- t_v — време потребно за промену брзина дозера: $\approx 5 [s]$,
- t_{sp} — време потребно за спуштање (подизање) плуга: $1,5 \div 2,5 [s]$,

- t_o – време потребно за окретање дозера: ≈ 10 [s] ,
 l_r – дужина пута при резању материјала,
 l_t – дужина пута при транспорту-гурању материјала,
 l_p – дужина пута при повратном – празном кретању дозера,
 v_r – брзина дозера при резању материјала,
 v_t – брзина дозера при транспорту-гурању материјала,
 v_p – брзина при повратном – празном кретању дозера.

У табели 8.1.2.4.1. дате су техничке карактеристике посматраних дозера од којих зависи вредност капацитета коју могу да остваре ове машине.

Табела 8.1.2.4.1. Техничке карактеристике дозера – параметри капацитета

Тип дозера	Снага [kW]	Маса [kg]	Притисак на тло [kPa]	Дужина плуга [mm]	Висина плуга [mm]	Прва брзина [km/h]	Мах брзина напред [km/h]	Мах брзина назад [km/h]
А	238	36.210	100	4.030	1.730	3,9	10,6	12,7
В	242 250	34.800 35.000	89	4.200	1.650	4,0	11,0	11,0
С	252	37.771	105	3.940	1.690	3,5	10,6	13,8

Просечне брзине кретања дозера, у зависности од процеса који обавља у радном циклусу, су:

- резање: $2 \div 4$ [km/h], формирање вучне призме до висине плуга, дужина копања до 10[m], дубина резања-засадања од $10 \div 50$ [cm] у зависности од компактности и чврстоће материјала (N. Popović, 1975),
- транспорт-гурање: $6 \div 12$ [km/h], за дозере на гусеницама оптимална дужина транспорта је $L = 30 \div 60$ [m] и не препоручује се преко 100[m], за дозере на пнеуматичима је $L = 40 \div 150$ [m],
- повратни ход: подигнут радни елемент, до максималне брзине напред/назад, у циљу скраћења радног циклуса. Код већих дужина транспорта ход дозера је само према напред.

У студији случаја радни циклус дозера подразумева:

- радни ход кретањем унапред: процес копања на дужини од 10 метара и процес транспорта-гурања материјала на дужини од 10 метара,
- повратни ход кретањем уназад (нема окретања машине) на дужини од 20 метара, са подигнутим радним елементом, у почетни положај (за следећи радни циклус).

Време радног циклуса за посматране дозере израчунато је према релацији (8.13) и приказано у табели 8.1.2.4.2.

Табела 8.1.2.4.2. Време радног циклуса посматраних дозера

Тип дозера	l_r [m]	v_r [km/h]	t_r [s]	l_t [m]	v_t [km/h]	t_t [s]	l_p [m]	v_p [km/h]	t_p [s]	t_v [s]	t_{sp} [s]	T_c [s]
	1	2	3=1/2	4	5	6=4/5	7	8	9=7/8	10	11	12=3+6+9+10+11
А	10	3,9	9,23	10	10,0	3,60	20	12,0	6,00	5,00	2,00	25,83
В	10	4,0	9,00	10	10,0	3,60	20	11,0	6,55	5,00	2,00	26,15
С	10	3,5	10,29	10	10,0	3,60	20	13,0	5,54	5,00	2,00	26,42

Добијене вредности теоријског капацитета посматраних дозера, са параметрима који га детерминишу, приказане су у табели 8.1.2.4.3.

Табела 8.1.2.4.3. Теоријске вредности капацитета дозера са утицајним параметрима

Тип дозера	L [mm]	H [mm]	K_l	V_{vp} [m ³]	k_n	k_g	η_t	T_c [s]	k_r	Q_t [m ³ /h]
A	4.030	1.730	0,93	6.48	1,0	0,95	0,8	25,83	1,3	528
B	4.200	1.650	0,89	6.42	1,0	0,95	0,8	26,15	1,3	517
C	3.940	1.690	0,93	6.05	1,0	0,95	0,8	26,42	1,3	482

Како је вредност оствареног капацитета променљива, зависно од услова рада, процена показатеља функционалност (F) је извршена на основу средњег одступања (ΔQ_{sr}) између оствареног и теоријског капацитета посматраних дозера. Мерењем су утврђене минималне (Q_{min}) и максималне (Q_{max}) вредности оствареног капацитета посматраних дозера, на основу којих су добијена средња одступања (ΔQ_{sr}) од теоријских капацитета (Q_t), табела 8.1.2.4.4.

Табела 8.1.2.4.4. Одступања оствареног од теоријског капацитета дозера

Машина	Q_{min}	Q_{max}	Q_t	$\Delta Q = Q_t - Q_{min}$	$\Delta Q = Q_{max} - Q_t$	ΔQ_{sr}
	[m ³ /h]					
A1	465	605	528	63	77	70,0
A2	400	640		128	112	120,0
A3	470	600		58	72	65,0
A4	415	615		113	87	100,0
A5	450	560		78	32	55,0
A6	385	635		143	107	125,0
A7	410	580		118	52	85,0
A8	475	630		53	102	77,5
B1	390	575	517	127	58	92,5
B2	485	570		32	53	42,5
B3	380	545		137	28	82,5
B4	430	610		87	93	90,0
B5	435	560		82	43	62,5
B6	440	590		77	73	75,0
C1	455	555	482	27	73	50,0
C2	445	550		37	68	52,5
C3	420	595		62	113	87,5
C4	370	585		112	103	107,5
C5	375	600		107	118	112,5
C6	395	540		87	58	72,5
C7	405	565		77	83	80,0

Однос између j и вредности одступања између остварених и теоријских капацитета (ΔQ) дефинисан је на следећи начин: $j = 1$ за $\Delta Q_{max} = 143$ [m³/h] и $j = 5$ за $\Delta Q_{min} = 27$ [m³/h]. Евидентирано максимално одступње између оствареног и теоријског капацитета је 143 [m³/h] код машине А6 (низак ниво функционалности). Евидентирано минимално одступње капацитета је 27 [m³/h] код машине С1 (веома висок ниво функционалности). Линеарном интерполацијом су добијене остале вредности: $j = 2$, $\Delta Q = 114$ [m³/h]; $j = 3$, $\Delta Q = 85$ [m³/h]; $j = 4$, $\Delta Q = 56$ [m³/h].

Евидентиране средње вредности одступања (ΔQ_{sr}) између оствареног и теоријског капацитета се мапирају на графикон фази скупова дефинисаних у координатном систему μ - j за оцену употребног квалитета (слика 7.1.1), односно на фази скупове дефинисане за оцену показатеља F . Процес оцене показатеља F за дозер А1 приказан је на слици 8.1.2.4.

За дозер А1 евидентирана је вредност $\Delta Q_{sr}=70$ [m³/h]. На ординати μ читавају се вредности функција припадности фази скуповима показатеља F :

$$\mu(F_{\text{прос. ниво}}) = 0,60 ; \mu(F_{\text{висок ниво}}) = 0,63.$$

Очитане вредности се скалирају како би њихов збир био 1:

$$F_{\text{прос. ниво}} + F_{\text{висок ниво}} = 1$$

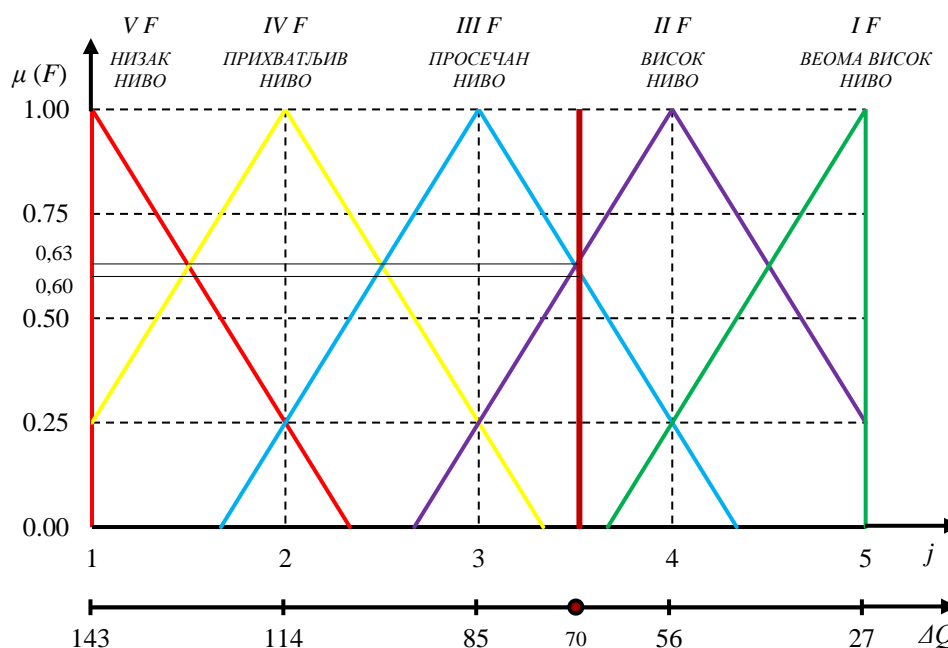
$$F_{\text{прос. ниво}} = 0,60 / (0,60 + 0,63) = 0,49 , F_{\text{висок ниво}} = 0,63 / (0,60 + 0,63) = 0,51 ,$$

где је:

$$\mu(F_{A1-\text{в. висок ниво}}) + \mu(F_{A1-\text{висок ниво}}) + \mu(F_{A1-\text{прос. ниво}}) + \mu(F_{A1-\text{прих. ниво}}) + \mu(F_{A1-\text{низак ниво}}) = 1. \quad (8.14)$$

Процена показатеља F за машину А1 добија се у облику:

$$F = (0,00 \text{ "ВЕОМА ВИСОК НИВО"} ; 0,51 \text{ "ВИСОК НИВО"} ; 0,49 \text{ "ПРОСЕЧАН НИВО"} ; 0,00 \text{ "ПРИХВАТЉИВ НИВО"} ; 0,00 \text{ "НИЗАК НИВО"}). \quad (8.15)$$



Слика 8.1.2.4. Процес фазификације средње вредности одступања капацитета за оцену функционалности – дозер А1

Применом истог поступка добијена је процена показатеља F за остале машине.

У табели 8.1.2.4.5. дате су процене показатеља F за све посматране машине.

Табела 8.1.2.4.5. Процена функционалности посматраних дозера

ФУНКЦИОНАЛНОСТ (F)					
Машина	j				
	5	4	3	2	1
	О Ц Е Н А				
	"ВЕОМА ВИСОК НИВО"	"ВИСОК НИВО"	"ПРОСЕЧАН НИВО"	"ПРИХВАТЉИВ НИВО"	"НИЗАК НИВО"
A1	0,00	0,51	0,49	0,00	0,00
A2	0,00	0,00	0,07	0,63	0,31
A3	0,01	0,60	0,38	0,00	0,00
A4	0,00	0,00	0,49	0,51	0,00
A5	0,19	0,66	0,15	0,00	0,00
A6	0,00	0,00	0,00	0,57	0,43
A7	0,00	0,17	0,67	0,17	0,00
A8	0,00	0,34	0,62	0,04	0,00
B1	0,00	0,04	0,62	0,34	0,00
B2	0,48	0,52	0,00	0,00	0,00
B3	0,00	0,22	0,65	0,13	0,00
B4	0,00	0,09	0,64	0,28	0,00
B5	0,06	0,63	0,31	0,00	0,00
B6	0,00	0,41	0,59	0,00	0,00
C1	0,30	0,64	0,07	0,00	0,00
C2	0,24	0,65	0,11	0,00	0,00
C3	0,00	0,13	0,65	0,22	0,00
C4	0,00	0,00	0,31	0,62	0,07
C5	0,00	0,00	0,20	0,66	0,15
C6	0,00	0,46	0,54	0,00	0,00
C7	0,00	0,27	0,64	0,09	0,00

Показатељ F за машину A1 је дефинисан преко релације (8.15), за фази скуп ΠF са лингвистичком променљивом "ВИСОК НИВО" функција припадности је 0,51. Фази скуп ΠF - "ВИСОК НИВО" је дефинисан као: $F_{\text{ВИСОК НИВО}} = (0,00_{(1)}; 0,00_{(2)}; 0,25_{(3)}; 1,00_{(4)}; 0,25_{(5)})$ према слици (7.1.1.). На овај начин добијена је специфична вредност фази скупа ΠF - "ВИСОК НИВО" за машину A1: $F_{\text{В.НИВО}} = \{(0,00 \times 0,51)_{(1)}; (0,00 \times 0,51)_{(2)}; (0,25 \times 0,51)_{(3)}; (1,00 \times 0,51)_{(4)}; (0,25 \times 0,51)_{(5)}\}$. На исти начин се третирају остали фази скупови показатеља F , (табела 8.1.2.4.6).

Табела 8.1.2.4.6. Специфичне вредности фази скупова функционалности - дозер A1

$\mu(F_{A1})$	ОЦЕНА	j				
		1	2	3	4	5
0,00	"ВЕОМА ВИСОК НИВО"	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,25 x 0,00	1,00 x 0,00
0,51	"ВИСОК НИВО"	0,00 x 0,51	0,00 x 0,51	0,25 x 0,51	1,00 x 0,51	0,25 x 0,51
0,49	"ПРОСЕЧАН НИВО"	0,00 x 0,49	0,25 x 0,49	1,00 x 0,49	0,25 x 0,49	0,00 x 0,49
0,00	"ПРИХВАТЉИВ НИВО"	0,25 x 0,00	1,00 x 0,00	0,25 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00
0,00	"НИЗАК НИВО"	1,00 x 0,00	0,25 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00
Σ						
1,00	μ_{F-A1}	0,00	0,12	0,62	0,63	0,13

Специфичне вредности се сабирају међу собом за сваку вредност $j = 1, \dots, 5$ и уносе у фази образац (7.2), са чиме се добија оцена показатеља F за машину A1 у фази облику (7.1). Истим поступком су добијене специфичне вредности фази скупова показатеља F за остале машине, а овде су дате коначне оцене у фази облику:

$$\begin{aligned}
\mu_{F-A1} &= (0,00 \ 0,12 \ 0,62 \ 0,63 \ 0,13) , \\
\mu_{F-A2} &= (0,46 \ 0,72 \ 0,22 \ 0,02 \ 0,00) , \\
\mu_{F-A3} &= (0,00 \ 0,10 \ 0,53 \ 0,70 \ 0,16) , \\
\mu_{F-A4} &= (0,13 \ 0,63 \ 0,62 \ 0,12 \ 0,00) , \\
\mu_{F-A5} &= (0,00 \ 0,04 \ 0,32 \ 0,75 \ 0,35) , \\
\mu_{F-A6} &= (0,57 \ 0,68 \ 0,14 \ 0,00 \ 0,00) , \\
\mu_{F-A7} &= (0,04 \ 0,33 \ 0,75 \ 0,33 \ 0,00) , \\
\mu_{F-A8} &= (0,01 \ 0,19 \ 0,72 \ 0,50 \ 0,09) , \\
\mu_{F-B1} &= (0,09 \ 0,50 \ 0,71 \ 0,19 \ 0,01) , \\
\mu_{F-B2} &= (0,00 \ 0,00 \ 0,13 \ 0,64 \ 0,61) , \\
\mu_{F-B3} &= (0,03 \ 0,29 \ 0,74 \ 0,38 \ 0,05) , \\
\mu_{F-B4} &= (0,07 \ 0,43 \ 0,73 \ 0,25 \ 0,02) , \\
\mu_{F-B5} &= (0,00 \ 0,08 \ 0,47 \ 0,72 \ 0,21) , \\
\mu_{F-B6} &= (0,00 \ 0,15 \ 0,69 \ 0,56 \ 0,10) , \\
\mu_{F-C1} &= (0,00 \ 0,02 \ 0,22 \ 0,73 \ 0,46) , \\
\mu_{F-C2} &= (0,00 \ 0,03 \ 0,27 \ 0,74 \ 0,41) , \\
\mu_{F-C3} &= (0,06 \ 0,38 \ 0,74 \ 0,29 \ 0,03) , \\
\mu_{F-C4} &= (0,22 \ 0,72 \ 0,47 \ 0,08 \ 0,00) , \\
\mu_{F-C5} &= (0,31 \ 0,74 \ 0,36 \ 0,05 \ 0,00) , \\
\mu_{F-C6} &= (0,00 \ 0,14 \ 0,66 \ 0,60 \ 0,12) , \\
\mu_{F-C7} &= (0,02 \ 0,25 \ 0,73 \ 0,43 \ 0,07) .
\end{aligned}$$

(8.16)

8.1.2.5 Фазификовање резултата експертске процене утицаја отказа на радно окружење као индикатора озбиљности отказа дозера

Процена утицаја отказа на радно окружење (S_{ro}) као индикатора озбиљности отказа (S), извршена је на бази експертске процене посматраних машина, дате у лингвистичкој форми (сходно поглављу 7.2.3).

Поступак оцењивања је исти као код процене логистичке подршке одржавању, сходно релацијама (8.9) и (8.10).

Резултати експертске процене утицаја отказа на радно окружење (S_{ro}) посматраних машина су приказани у табелама 8.1.2.5.1., 8.1.2.5.1., 8.1.2.5.1.

Табела 8.1.2.5.1. Упитник - експертска процена утицаја отказа на радно окружење – тип А

УТИЦАЈ ОТКАЗА НА РАДНО ОКРУЖЕЊЕ (S_{ro})		Експерт					$\frac{\sum_1^5 S_{ro(LV)}}{5}$	
МАШИНА / ОЦЕНА		1	2	3	4	5	5	
A ₁	$S_{ro(LV)}$	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,1	0,2	0,2		0,3	0,16
		"УМЕРЕН"	0,8	0,8	0,7	1,0	0,7	0,80
		"ВИСОК"	0,1		0,1			0,04
		"ЕКСТРЕМАН"						
A ₂	$S_{ro(LV)}$	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,1	0,2	0,3	0,1		0,14
		"УМЕРЕН"	0,7	0,8	0,7	0,9	0,8	0,78
		"ВИСОК"	0,2				0,2	0,08
		"ЕКСТРЕМАН"						
A ₃	S_{ro}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,2		0,3	0,2	0,1	0,16

		"УМЕРЕН"	0,8	1,0	0,7	0,7	0,9	0,82
		"ВИСОК"				0,1		0,02
		"ЭКСТРЕМАН"						
A ₄	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"				0,1	0,1	0,04
		"УМЕРЕН"	0,8	0,9	1,0	0,7	0,9	0,86
		"ВИСОК"	0,2	0,1		0,2		0,10
		"ЭКСТРЕМАН"						
A ₅	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,2	0,1	0,1		0,3	0,14
		"УМЕРЕН"	0,8	0,9	0,8	1,0	0,7	0,84
		"ВИСОК"			0,1			0,02
		"ЭКСТРЕМАН"						
A ₆	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"		0,1		0,2		0,06
		"УМЕРЕН"	0,8	0,9	1,0	0,6	0,9	0,84
		"ВИСОК"	0,2			0,2	0,1	0,10
		"ЭКСТРЕМАН"						
A ₇	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"			0,2	0,2	0,4	0,16
		"УМЕРЕН"	0,8	1,0	0,8	0,7	0,6	0,78
		"ВИСОК"	0,2			0,1		0,06
		"ЭКСТРЕМАН"						
A ₈	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"		0,2	0,1			0,06
		"УМЕРЕН"	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	0,70
		"ВИСОК"	0,2			0,1		0,06
		"ЭКСТРЕМАН"						

Табела 8.1.2.5.2. Упитник - експертска процена утицаја отказа на радно окружење – тип В

УТИЦАЈ ОТКАЗА НА РАДНО ОКРУЖЕЊЕ (S _{ro})		Експерт					$\frac{\sum_{i=1}^5 S_{ro(LV)}}{5}$	
МАШИНА / ОЦЕНА		1	2	3	4	5	5	
B ₁	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,3	0,1	0,2	0,1	0,3	0,20
		"УМЕРЕН"	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,74
		"ВИСОК"	0,1	0,1		0,1		0,06
		"ЭКСТРЕМАН"						
B ₂	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	0,20
		"УМЕРЕН"	0,7	0,8	0,7	0,9	0,6	0,74
		"ВИСОК"	0,1	0,1			0,1	0,06
		"ЭКСТРЕМАН"						
B ₃	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,34
		"УМЕРЕН"	0,6	0,6	0,5	0,7	0,8	0,64
		"ВИСОК"			0,1			0,02
		"ЭКСТРЕМАН"						
B ₄	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,26
		"УМЕРЕН"	0,7	0,8	0,8	0,6	0,6	0,70
		"ВИСОК"		0,1		0,1		0,04
		"ЭКСТРЕМАН"						
B ₅	S _{ro}	"МИНОРАН"						

		"НИЗАК"	0,3		0,2	0,3	0,4	0,24
		"УМЕРЕН"	0,7	0,9	0,8	0,6	0,6	0,72
		"ВИСОК"		0,1		0,1		0,04
		"ЕКСТРЕМАН"						
B ₆	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,5	0,2	0,5	0,4	0,6	0,44
		"УМЕРЕН"	0,5	0,7	0,4	0,6	0,4	0,52
		"ВИСОК"		0,1	0,1			0,04
		"ЕКСТРЕМАН"						

Табела 8.1.2.5.3. Упитник - експертска процена утицаја отказа на радно окружење – тип С

УТИЦАЈ ОТКАЗА НА РАДНО ОКРУЖЕЊЕ (S _{ro})		Експерт					$\frac{\sum_1^5 S_{ro(LV)}}{5}$	
МАШИНА / ОЦЕНА		1	2	3	4	5		
C ₁	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,3	0,3	0,2	0,5	0,1	0,28
		"УМЕРЕН"	0,6	0,7	0,7	0,5	0,8	0,66
		"ВИСОК"	0,1		0,1		0,1	0,06
		"ЕКСТРЕМАН"						
C ₂	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,3	0,1	0,4	0,3	0,2	0,26
		"УМЕРЕН"	0,6	0,8	0,6	0,7	0,7	0,68
		"ВИСОК"	0,1	0,1			0,1	0,06
		"ЕКСТРЕМАН"						
C ₃	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,2	0,2	0,5	0,2	0,1	0,24
		"УМЕРЕН"	0,6	0,7	0,5	0,8	0,7	0,66
		"ВИСОК"	0,2	0,1			0,2	0,10
		"ЕКСТРЕМАН"						
C ₄	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,3	0,2	0,5	0,3	0,4	0,34
		"УМЕРЕН"	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,54
		"ВИСОК"	0,2	0,2		0,1	0,1	0,12
		"ЕКСТРЕМАН"						
C ₅	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,28
		"УМЕРЕН"	0,5	0,8	0,7	0,7	0,5	0,64
		"ВИСОК"	0,2		0,1		0,1	0,08
		"ЕКСТРЕМАН"						
C ₆	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,3			0,3	0,2	0,16
		"УМЕРЕН"	0,7	0,9	1,0	0,6	0,8	0,80
		"ВИСОК"		0,1		0,1		0,04
		"ЕКСТРЕМАН"						
C ₇	S _{ro(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,4	0,3	0,1	0,4	0,2	0,28
		"УМЕРЕН"	0,6	0,7	0,9	0,5	0,8	0,70
		"ВИСОК"				0,1		0,02
		"ЕКСТРЕМАН"						

Процена утицаја отказа на радно окружење (S_{ro}) за посматране машине добијена је применом поступка као код процене логистичке подршке одржавању. У табели 8.1.2.5.4. дате су процене индикатора S_{ro} за све посматране машине.

Табела 8.1.2.5.4. Процена утицаја отказа на радно окружење

УТИЦАЈ ОТКАЗА НА РАДНО ОКРУЖЕЊЕ (S_{ro})					
Машина	j				
	5	4	3	2	1
	О Ц Е Н А				
	"МИНОРАН"	"НИЗАК"	"УМЕРЕН"	"ВИСОК"	"ЕКСТРЕМАН"
A1	0,00	0,16	0,80	0,04	0,00
A2	0,00	0,14	0,78	0,08	0,00
A3	0,00	0,16	0,82	0,02	0,00
A4	0,00	0,04	0,86	0,10	0,00
A5	0,00	0,14	0,84	0,02	0,00
A6	0,00	0,06	0,84	0,10	0,00
A7	0,00	0,16	0,78	0,06	0,00
A8	0,00	0,06	0,70	0,06	0,00
B1	0,00	0,20	0,74	0,06	0,00
B2	0,00	0,20	0,74	0,06	0,00
B3	0,00	0,34	0,64	0,02	0,00
B4	0,00	0,26	0,70	0,04	0,00
B5	0,00	0,24	0,72	0,04	0,00
B6	0,00	0,44	0,52	0,02	0,00
C1	0,00	0,28	0,66	0,06	0,00
C2	0,00	0,26	0,68	0,06	0,00
C3	0,00	0,24	0,66	0,10	0,00
C4	0,00	0,34	0,54	0,12	0,00
C5	0,00	0,28	0,64	0,08	0,00
C6	0,00	0,16	0,80	0,04	0,00
C7	0,00	0,28	0,70	0,02	0,00

Специфичне вредности фази скупова и коначне оцене у фази облику (7.1) за утицај отказа на радно окружење (S_{ro}) се добијају применом поступка као код логистичке подршке одржаваљу. У табели 8.1.2.5.4. приказан је поступак за добијање специфичне вредности фази скупова индикатора S_{ro} за машину A1.

Табела 8.1.2.5.4. Специфичне вредности фази скупова утицаја отказа на радно окружење - дозер A1

$\mu (S_{ro A1})$	ОЦЕНА	j				
		1	2	3	4	5
0,00	"МИНОРАН"	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,25 x 0,00	1,00 x 0,00
0,16	"НИЗАК"	0,00 x 0,16	0,00 x 0,16	0,25 x 0,16	1,00 x 0,16	0,25 x 0,16
0,80	"УМЕРЕН"	0,00 x 0,80	0,25 x 0,80	1,00 x 0,80	0,25 x 0,80	0,00 x 0,80
0,04	"ВИСОК"	0,25 x 0,04	1,00 x 0,04	0,25 x 0,04	0,00 x 0,04	0,00 x 0,04
0,00	"ЕКСТРЕМАН"	1,00 x 0,00	0,25 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00
Σ						
1,00	$\mu_{S_{ro} - A1}$	0,01	0,24	0,85	0,36	0,04

Истим поступком су добијене специфичне вредности фази скупова индикатора S_{ro} за остале машине, а овде су дате коначне оцене у фази облику:

$$\begin{aligned}
 \mu_{S_{ro}-A1} &= (0,01 \ 0,24 \ 0,85 \ 0,36 \ 0,04), \\
 \mu_{S_{ro}-A2} &= (0,02 \ 0,28 \ 0,84 \ 0,34 \ 0,04), \\
 \mu_{S_{ro}-A3} &= (0,01 \ 0,23 \ 0,87 \ 0,37 \ 0,04), \\
 \mu_{S_{ro}-A4} &= (0,03 \ 0,32 \ 0,90 \ 0,26 \ 0,01), \\
 \mu_{S_{ro}-A5} &= (0,01 \ 0,23 \ 0,88 \ 0,35 \ 0,04), \\
 \mu_{S_{ro}-A6} &= (0,03 \ 0,31 \ 0,88 \ 0,27 \ 0,02), \\
 \mu_{S_{ro}-A7} &= (0,02 \ 0,26 \ 0,84 \ 0,36 \ 0,04), \\
 \mu_{S_{ro}-A8} &= (0,02 \ 0,24 \ 0,73 \ 0,24 \ 0,02), \\
 \mu_{S_{ro}-B1} &= (0,02 \ 0,25 \ 0,81 \ 0,39 \ 0,05), \\
 \mu_{S_{ro}-B2} &= (0,02 \ 0,25 \ 0,81 \ 0,39 \ 0,05), \\
 \mu_{S_{ro}-B3} &= (0,01 \ 0,18 \ 0,73 \ 0,50 \ 0,09), \\
 \mu_{S_{ro}-B4} &= (0,01 \ 0,22 \ 0,78 \ 0,44 \ 0,07), \\
 \mu_{S_{ro}-B5} &= (0,01 \ 0,22 \ 0,79 \ 0,42 \ 0,06), \\
 \mu_{S_{ro}-B6} &= (0,01 \ 0,15 \ 0,64 \ 0,57 \ 0,11), \\
 \mu_{S_{ro}-C1} &= (0,02 \ 0,23 \ 0,75 \ 0,45 \ 0,07), \\
 \mu_{S_{ro}-C2} &= (0,02 \ 0,23 \ 0,76 \ 0,43 \ 0,07), \\
 \mu_{S_{ro}-C3} &= (0,03 \ 0,27 \ 0,75 \ 0,41 \ 0,06), \\
 \mu_{S_{ro}-C4} &= (0,03 \ 0,26 \ 0,66 \ 0,48 \ 0,09), \\
 \mu_{S_{ro}-C5} &= (0,02 \ 0,24 \ 0,73 \ 0,44 \ 0,07), \\
 \mu_{S_{ro}-C6} &= (0,01 \ 0,24 \ 0,85 \ 0,36 \ 0,04), \\
 \mu_{S_{ro}-C7} &= (0,01 \ 0,20 \ 0,78 \ 0,46 \ 0,07).
 \end{aligned}$$

(8.17)

8.1.2.6 Фазификовање резултата експертске процене утицаја отказа на животну средину као индикатора озбиљности отказа дозера

Процена утицаја отказа на животну средину (S_{zs}) као индикатора озбиљности отказа (S), извршена је на бази експертске процене посматраних машина, дате у лингвистичкој форми сходно поглављу 7.2.3).

Примењен је исти поступак оцењивања као код процене логистичке подршке одржавању,

Резултати експертске процене утицаја отказа на животну средину (S_{zs}) посматраних машина су приказани у табелама 8.1.2.6.1, 8.1.2.6.2 и 8.1.2.6.3.

Табела 8.1.2.6.1. Упитник - експертска процена утицаја отказа на животну средину – тип А

УТИЦАЈ ОТКАЗА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ (S_{zs})		Експерт					$\frac{\sum_1^5 S_{zs(LV)}}{5}$	
МАШИНА / ОЦЕНА		1	2	3	4	5		
A ₁	$S_{zs(LV)}$	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"		0,1		0,2	0,1	0,08
		"УМЕРЕН"	0,2	0,3		0,1	0,1	0,14
		"ВИСОК"	0,8	0,6	1,0	0,7	0,8	0,78
		"ЕКСТРЕМАН"						
A ₂	$S_{zs(LV)}$	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"		0,1	0,3	0,1	0,2	0,14
		"УМЕРЕН"	0,3	0,2	0,7	0,3	0,1	0,32

		"ВИСОК"	0,7	0,7		0,6	0,7	0,54
		"ЭКСТРЕМАН"						
A ₃	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,3	0,6	0,3	0,5	0,4	0,42
		"УМЕРЕН"	0,3	0,4	0,4	0,1	0,2	0,28
		"ВИСОК"	0,4		0,3	0,4	0,4	0,30
		"ЭКСТРЕМАН"						
A ₄	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,4	0,7	0,5	0,3	0,4	0,46
		"УМЕРЕН"	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,36
		"ВИСОК"	0,3		0,1	0,3	0,2	0,18
		"ЭКСТРЕМАН"						
A ₅	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,4	0,4	0,5	0,5	0,2	0,40
		"УМЕРЕН"	0,2	0,6	0,2	0,1	0,4	0,30
		"ВИСОК"	0,4		0,3	0,4	0,4	0,30
		"ЭКСТРЕМАН"						
A ₆	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,1	0,1	0,4	0,2	0,3	0,22
		"УМЕРЕН"	0,3	0,4	0,6	0,2	0,1	0,32
		"ВИСОК"	0,6	0,5		0,6	0,6	0,46
		"ЭКСТРЕМАН"						
A ₇	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"			0,2	0,1		0,06
		"УМЕРЕН"	0,2	0,8	0,8	0,2		0,40
		"ВИСОК"	0,8	0,2		0,7	1,0	0,54
		"ЭКСТРЕМАН"						
A ₈	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,1	0,1	0,2		0,2	0,12
		"УМЕРЕН"	0,1	0,8	0,8	1,0	0,7	0,68
		"ВИСОК"	0,8	0,1			0,1	0,20
		"ЭКСТРЕМАН"						

Табела 8.1.2.6.2. Упитник - експертска процена утицаја отказа на животну средину – тип В

УТИЦАЈ ОТКАЗА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ (S _{zs})		Експерт					$\frac{\sum_1^5 S_{zs(LV)}}{5}$	
МАШИНА / ОЦЕНА		1	2	3	4	5		
B ₁	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,1		0,1	0,3	0,1	0,12
		"УМЕРЕН"	0,2	1,0	0,3	0,7	0,7	0,58
		"ВИСОК"	0,7		0,6		0,2	0,30
		"ЭКСТРЕМАН"						
B ₂	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,2	0,2	0,1	0,4		0,18
		"УМЕРЕН"	0,2	0,6	0,7	0,6	0,4	0,50
		"ВИСОК"	0,6	0,2	0,2		0,6	0,32
		"ЭКСТРЕМАН"						
B ₃	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,5	0,4	0,7		0,2	0,36
		"УМЕРЕН"	0,3	0,5	0,3	0,8	0,6	0,50
		"ВИСОК"	0,2	0,1		0,2	0,2	0,14
		"ЭКСТРЕМАН"						
B ₄	S _{zs}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,4	0,3		0,5	0,5	0,34

		"УМЕРЕН"	0,3	0,5	0,7	0,2	0,1	0,36
		"ВИСОК"	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,30
		"ЕКСТРЕМАН"						
B ₅	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,4	0,3			0,7	0,28
		"УМЕРЕН"	0,4	0,5	0,7	0,8	0,1	0,50
		"ВИСОК"	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,22
		"ЕКСТРЕМАН"						
B ₆	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,3	0,4	0,2	0,5	0,6	0,40
		"УМЕРЕН"	0,5	0,6	0,6	0,2	0,3	0,44
		"ВИСОК"	0,2		0,2	0,3	0,1	0,16
		"ЕКСТРЕМАН"						

Табела 8.1.2.6.3. Упитник - експертска процена утицаја отказа на животну средину – тип С

УТИЦАЈ ОТКАЗА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ (S _{zs})		Експерт					$\frac{\sum_1^5 S_{zs(LV)}}{5}$	
МАШИНА / ОЦЕНА		1	2	3	4	5	5	
C ₁	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,3	0,4	0,4		0,3	0,28
		"УМЕРЕН"	0,2	0,1	0,6	0,5	0,1	0,30
		"ВИСОК"	0,5	0,5		0,5	0,6	0,42
		"ЕКСТРЕМАН"						
C ₂	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4	0,26
		"УМЕРЕН"	0,3	0,6	0,4	0,2	0,1	0,32
		"ВИСОК"	0,5		0,5	0,6	0,5	0,42
		"ЕКСТРЕМАН"						
C ₃	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,3		0,2	0,2	0,2	0,18
		"УМЕРЕН"	0,4	0,7	0,8	0,5	0,4	0,56
		"ВИСОК"	0,3	0,3		0,3	0,4	0,26
		"ЕКСТРЕМАН"						
C ₄	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,2		0,2		0,1	0,10
		"УМЕРЕН"	0,1		0,8	0,3	0,2	0,28
		"ВИСОК"	0,7	1,0		0,7	0,7	0,62
		"ЕКСТРЕМАН"						
C ₅	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,3	0,2	0,4	0,5	0,3	0,34
		"УМЕРЕН"	0,3	0,3	0,6	0,1	0,2	0,30
		"ВИСОК"	0,4	0,5		0,4	0,5	0,36
		"ЕКСТРЕМАН"						
C ₆	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,3	0,4	0,3	0,3		0,26
		"УМЕРЕН"	0,2	0,1	0,7	0,3	0,5	0,36
		"ВИСОК"	0,5	0,5		0,4	0,5	0,38
		"ЕКСТРЕМАН"						
C ₇	S _{zs(LV)}	"МИНОРАН"						
		"НИЗАК"	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,20
		"УМЕРЕН"	0,2	0,1	0,8	0,1	0,4	0,32
		"ВИСОК"	0,6	0,6		0,7	0,5	0,48
		"ЕКСТРЕМАН"						

Процена утицаја отказа на животну средину (S_{zs}) за посматране машине добијена је применом поступка као код процене логистичке подршке одржавању. У табели 8.1.2.6.4 дате су процене индикатора S_{zs} за све посматране машине.

Табела 8.1.2.6.4. Процена утицаја отказа на животну средину

УТИЦАЈ ОТКАЗА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ (S_{zs})					
Машина	j				
	5	4	3	2	1
	О Ц Е Н А				
	"МИНОРАН"	"НИЗАК"	"УМЕРЕН"	"ВИСОК"	"ЕКСТРЕМАН"
A1	0,00	0,08	0,14	0,78	0,00
A2	0,00	0,14	0,32	0,54	0,00
A3	0,00	0,42	0,28	0,30	0,00
A4	0,00	0,46	0,36	0,18	0,00
A5	0,00	0,40	0,30	0,30	0,00
A6	0,00	0,22	0,32	0,46	0,00
A7	0,00	0,06	0,40	0,54	0,00
A8	0,00	0,12	0,68	0,20	0,00
B1	0,00	0,12	0,58	0,30	0,00
B2	0,00	0,18	0,50	0,32	0,00
B3	0,00	0,36	0,50	0,14	0,00
B4	0,00	0,34	0,36	0,30	0,00
B5	0,00	0,28	0,50	0,22	0,00
B6	0,00	0,40	0,44	0,16	0,00
C1	0,00	0,28	0,30	0,42	0,00
C2	0,00	0,26	0,32	0,42	0,00
C3	0,00	0,18	0,56	0,26	0,00
C4	0,00	0,10	0,28	0,62	0,00
C5	0,00	0,34	0,28	0,34	0,00
C6	0,00	0,26	0,36	0,38	0,00
C7	0,00	0,20	0,32	0,48	0,00

Специфичне вредности фази скупова и коначне оцене у фази облику (7.1) за утицај отказа на животну средину (S_{zs}) се добијају применом поступка као код логистичке подршке одржавању. У табели 8.1.2.6.5 приказан је поступак за добијање специфичне вредности фази скупова индикатора S_{zs} за машину A1.

Табела 8.1.2.6.5. Специфичне вредности фази скупова утицаја отказа на животну средину - дозер А1

$\mu (S_{zs} A1)$	ОЦЕНА	j				
		1	2	3	4	5
0,00	"МИНОРАН"	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,25 x 0,00	1,00 x 0,00
0,08	"НИЗАК"	0,00 x 0,08	0,00 x 0,08	0,25 x 0,08	1,00 x 0,08	0,25 x 0,08
0,14	"УМЕРЕН"	0,00 x 0,14	0,25 x 0,14	1,00 x 0,14	0,25 x 0,14	0,00 x 0,14
0,78	"ВИСОК"	0,25 x 0,78	1,00 x 0,78	0,25 x 0,78	0,00 x 0,78	0,00 x 0,78
0,00	"ЕКСТРЕМАН"	1,00 x 0,00	0,25 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00
Σ						
1,00	μ_{Szs-A1}	0,20	0,82	0,36	0,12	0,02

Истим поступком су добијене специфичне вредности фази скупова индикатора S_{zs} за остале машине, а овде су дате коначне оцене у фази облику:

$$\begin{aligned}
 \mu_{Szs-A1} &= (0,20 \quad 0,82 \quad 0,36 \quad 0,12 \quad 0,02), \\
 \mu_{Szs-A2} &= (0,14 \quad 0,62 \quad 0,49 \quad 0,22 \quad 0,04), \\
 \mu_{Szs-A3} &= (0,08 \quad 0,37 \quad 0,46 \quad 0,49 \quad 0,11), \\
 \mu_{Szs-A4} &= (0,05 \quad 0,27 \quad 0,52 \quad 0,55 \quad 0,12), \\
 \mu_{Szs-A5} &= (0,08 \quad 0,38 \quad 0,48 \quad 0,48 \quad 0,10), \\
 \mu_{Szs-A6} &= (0,12 \quad 0,54 \quad 0,49 \quad 0,30 \quad 0,06), \\
 \mu_{Szs-A7} &= (0,14 \quad 0,64 \quad 0,55 \quad 0,16 \quad 0,02), \\
 \mu_{Szs-A8} &= (0,05 \quad 0,37 \quad 0,76 \quad 0,29 \quad 0,03), \\
 \mu_{Szs-B1} &= (0,08 \quad 0,45 \quad 0,69 \quad 0,27 \quad 0,03), \\
 \mu_{Szs-B2} &= (0,08 \quad 0,45 \quad 0,63 \quad 0,31 \quad 0,05), \\
 \mu_{Szs-B3} &= (0,04 \quad 0,27 \quad 0,63 \quad 0,49 \quad 0,09), \\
 \mu_{Szs-B4} &= (0,08 \quad 0,39 \quad 0,52 \quad 0,43 \quad 0,09), \\
 \mu_{Szs-B5} &= (0,06 \quad 0,35 \quad 0,63 \quad 0,41 \quad 0,07), \\
 \mu_{Szs-B6} &= (0,04 \quad 0,27 \quad 0,58 \quad 0,51 \quad 0,10), \\
 \mu_{Szs-C1} &= (0,11 \quad 0,50 \quad 0,48 \quad 0,36 \quad 0,07), \\
 \mu_{Szs-C2} &= (0,11 \quad 0,50 \quad 0,49 \quad 0,34 \quad 0,07), \\
 \mu_{Szs-C3} &= (0,07 \quad 0,40 \quad 0,67 \quad 0,32 \quad 0,05), \\
 \mu_{Szs-C4} &= (0,16 \quad 0,69 \quad 0,46 \quad 0,17 \quad 0,03), \\
 \mu_{Szs-C5} &= (0,09 \quad 0,41 \quad 0,45 \quad 0,41 \quad 0,09), \\
 \mu_{Szs-C6} &= (0,10 \quad 0,47 \quad 0,52 \quad 0,35 \quad 0,07), \\
 \mu_{Szs-C7} &= (0,12 \quad 0,56 \quad 0,49 \quad 0,28 \quad 0,05).
 \end{aligned}$$

(8.18)

8.1.2.7 Фазификовање резултата експертске процене детектабилности дозера

Процена парцијалног показатеља употребног квалитета детектабилност (D_i) извршена је на бази експертске процене посматраних машина, дате у лингвистичкој форми.

Примењен је исти поступак оцењивања као код процене логистичке подршке одржавању.

Резултати експертске процене детектабилности (D_i) посматраних машина су приказани у табелама 8.1.2.7.1, 8.1.2.7.2 и 8.1.2.7.3.

Табела 8.1.2.7.1. Упитник - експертска процена детектабилности дозера – тип А

ДЕТЕКТАБИЛНОСТ (D_i)		Експерт					$\frac{\sum_1^5 S_{Dt(LV)}}{5}$	
МАШИНА / ОЦЕНА		1	2	3	4	5	5	
A ₁	$D_i(LV)$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"						
		"ТЕШКА"	0,6	0,7	0,9	1,0	0,8	0,80
		"НЕМОГУЋА"	0,4	0,3	0,1		0,2	0,20
A ₂	$D_i(LV)$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"						
		"ТЕШКА"	0,6	1,0	0,7	0,5	1,0	0,76
		"НЕМОГУЋА"	0,4		0,3	0,5		0,24
A ₃	$D_i(LV)$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"						
		"ТЕШКА"	0,5	0,6	1,0	0,8	0,4	0,66
		"НЕМОГУЋА"	0,5	0,4		0,2	0,6	0,34
A ₄	$D_i(LV)$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"						
		"ТЕШКА"	0,5	1,0	0,6	0,7	1,0	0,76
		"НЕМОГУЋА"	0,5		0,4	0,3		0,24
A ₅	$D_i(LV)$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"						
		"ТЕШКА"	0,6	0,5	1,0	0,7	0,8	0,72
		"НЕМОГУЋА"	0,4	0,5		0,3	0,2	0,28
A ₆	$D_i(LV)$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,1		0,1	0,1		0,06
		"ТЕШКА"	0,4	1,0	0,5	0,9	0,5	0,66
		"НЕМОГУЋА"	0,5		0,4		0,5	0,28
A ₇	$D_i(LV)$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"						
		"ТЕШКА"	0,5	0,6	1,0	0,4	0,7	0,64
		"НЕМОГУЋА"	0,5	0,4		0,6	0,3	0,36
A ₈	$D_i(LV)$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"						
		"ТЕШКА"	0,6	0,7	0,5	0,8	1,0	0,72
		"НЕМОГУЋА"	0,4	0,3	0,5	0,2		0,28

Табела 8.1.2.7.2. Упитник - експертска процена детектабилности дозера – тип В

ДЕТЕКТАБИЛНОСТ (D_i)		Експерт					$\frac{\sum_1^5 S_{Dt(LV)}}{5}$	
МАШИНА / ОЦЕНА		1	2	3	4	5	5	
В ₁	$D_{i(LV)}$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,1		0,1		0,2	0,08
		"ТЕШКА"	0,8	0,8	0,7	1,0	0,7	0,80
		"НЕМОГУЋА"	0,1	0,2	0,2		0,1	0,12
В ₂	$D_{i(LV)}$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,1	0,1	0,1			0,06
		"ТЕШКА"	0,6	0,7	0,5	0,7	1,0	0,70
		"НЕМОГУЋА"	0,3	0,2	0,4	0,3		0,24
В ₃	$D_{i(LV)}$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,2	0,2	0,1	0,2		0,14
		"ТЕШКА"	0,5	0,4	0,6	0,6	0,7	0,56
		"НЕМОГУЋА"	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,30
В ₄	$D_{i(LV)}$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,1	0,1	0,2		0,1	0,10
		"ТЕШКА"	0,6	0,7	0,5	0,7	0,5	0,60
		"НЕМОГУЋА"	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,30
В ₅	$D_{i(LV)}$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,1	0,2		0,1	0,1	0,10
		"ТЕШКА"	0,7	0,6	0,7	0,9	0,8	0,74
		"НЕМОГУЋА"	0,2	0,2	0,3		0,1	0,16
В ₆	$D_{i(LV)}$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,1	0,2				0,06
		"ТЕШКА"	0,8	0,7	1,0	0,8	0,9	0,66
		"НЕМОГУЋА"	0,1	0,1		0,2	0,1	0,10

Табела 8.1.2.7.3. Упитник - експертска процена детектабилности дозера – тип С

ДЕТЕКТАБИЛНОСТ (D_i)		Експерт					$\frac{\sum_1^5 S_{Dt(LV)}}{5}$	
МАШИНА / ОЦЕНА		1	2	3	4	5	5	
С ₁	$D_{i(LV)}$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,2	0,1	0,1			0,08
		"ТЕШКА"	0,5	0,6	0,7	1,0	0,7	0,70
		"НЕМОГУЋА"	0,3	0,3	0,2		0,3	0,22
С ₂	$D_{i(LV)}$	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,2	0,1	0,2		0,1	0,12
		"ТЕШКА"	0,7	0,8	0,6	1,0	0,7	0,76
		"НЕМОГУЋА"	0,1	0,1	0,2		0,2	0,12
С ₃	D_i	"СКОРО СИГУРНА"						

		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,2	0,1	0,2	0,1		0,12
		"ТЕШКА"	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,74
		"НЕМОГУЋА"	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,14
C ₄	D _t (LV)	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,1		0,2		0,1	0,08
		"ТЕШКА"	0,7	0,8	0,7	0,9	0,8	0,78
		"НЕМОГУЋА"	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,14
C ₅	D _t (LV)	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,2	0,1	0,1	0,2		0,12
		"ТЕШКА"	0,6	0,7	0,6	0,7	0,9	0,70
		"НЕМОГУЋА"	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,18
C ₆	D _t (LV)	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,1	0,2		0,2	0,1	0,12
		"ТЕШКА"	0,8	0,7	1,0	0,6	0,8	0,78
		"НЕМОГУЋА"	0,1	0,1		0,2	0,1	0,10
C ₇	D _t (LV)	"СКОРО СИГУРНА"						
		"МОГУЋА"						
		"УМЕРЕНА"	0,2	0,1		0,2	0,2	0,14
		"ТЕШКА"	0,7	0,8	1,0	0,8	0,6	0,78
		"НЕМОГУЋА"	0,1	0,1			0,2	0,08

Процена детектабилности (D_t) за посматране машине добијена је применом поступка као код процене логистичке подршке одржавању. У табели 8.1.2.7.3. дате су процене показатеља D_t за све посматране машине.

Табела 8.1.2.7.4. Процена детектабилности посматраних дозера

ДЕТЕКТАБИЛНОСТ (D_t)					
Машина	j				
	5	4	3	2	1
	О Ц Е Н А				
	"СКОРО СИГУРНА"	"МОГУЋА"	"УМЕРЕНА"	"ТЕШКА"	"НЕМОГУЋА"
A1	0,00	0,00	0,00	0,80	0,20
A2	0,00	0,00	0,00	0,76	0,24
A3	0,00	0,00	0,00	0,66	0,34
A4	0,00	0,00	0,00	0,76	0,34
A5	0,00	0,00	0,00	0,72	0,28
A6	0,00	0,00	0,00	0,66	0,28
A7	0,00	0,00	0,00	0,64	0,36
A8	0,00	0,00	0,00	0,72	0,28
B1	0,00	0,00	0,08	0,80	0,12
B2	0,00	0,00	0,06	0,70	0,24
B3	0,00	0,00	0,14	0,56	0,30
B4	0,00	0,00	0,10	0,60	0,30
B5	0,00	0,00	0,10	0,74	0,16
B6	0,00	0,00	0,06	0,66	0,10
C1	0,00	0,00	0,08	0,70	0,22

C2	0,00	0,00	0,12	0,76	0,12
C3	0,00	0,00	0,12	0,74	0,14
C4	0,00	0,00	0,08	0,78	0,14
C5	0,00	0,00	0,12	0,70	0,18
C6	0,00	0,00	0,12	0,78	0,10
C7	0,00	0,00	0,14	0,78	0,08

Специфичне вредности фази скупова и коначне оцене у фази облику (7.1) за детектабилност (D_t) се добијају применом поступка као код логистичке подршке одржаваљу. У табели 8.1.2.7.5 приказан је поступак за добијање специфичне вредности фази скупова показатеља D_t за машину A1.

Табела 8.1.2.7.5. Специфичне вредности фази скупова детектабилности - дозер A1

$\mu (D_t A1)$	ОЦЕНА	j				
		1	2	3	4	5
0,00	"СКОРО СИГУРНА"	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,25 x 0,00	1,00 x 0,00
0,00	"МОГУЋА"	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,25 x 0,00	1,00 x 0,00	0,25 x 0,00
0,00	"УМЕРЕНА"	0,00 x 0,00	0,25 x 0,00	1,00 x 0,00	0,25 x 0,00	0,00 x 0,00
0,80	"ТЕШКА"	0,25 x 0,80	1,00 x 0,80	0,25 x 0,80	0,00 x 0,80	0,00 x 0,80
0,20	"НЕМОГУЋА"	1,00 x 0,20	0,25 x 0,20	0,00 x 0,20	0,00 x 0,20	0,00 x 0,20
Σ						
1,00	μ_{D_t-A1}	0,40	0,85	0,20	0,00	0,00

Истим поступком су добијене специфичне вредности фази скупова показатеља D_t за остале машине, а овде су дате коначне оцене у фази облику:

$$\begin{aligned}
\mu_{D_t-A1} &= (0,40 \ 0,85 \ 0,20 \ 0,00 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-A2} &= (0,43 \ 0,82 \ 0,19 \ 0,00 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-A3} &= (0,51 \ 0,75 \ 0,17 \ 0,00 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-A4} &= (0,43 \ 0,82 \ 0,19 \ 0,00 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-A5} &= (0,46 \ 0,79 \ 0,18 \ 0,00 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-A6} &= (0,45 \ 0,75 \ 0,23 \ 0,02 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-A7} &= (0,52 \ 0,73 \ 0,16 \ 0,00 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-A8} &= (0,46 \ 0,79 \ 0,18 \ 0,00 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-B1} &= (0,32 \ 0,85 \ 0,28 \ 0,02 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-B2} &= (0,42 \ 0,78 \ 0,24 \ 0,02 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-B3} &= (0,44 \ 0,67 \ 0,28 \ 0,04 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-B4} &= (0,45 \ 0,70 \ 0,25 \ 0,03 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-B5} &= (0,35 \ 0,81 \ 0,29 \ 0,03 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-B6} &= (0,27 \ 0,70 \ 0,23 \ 0,02 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-C1} &= (0,40 \ 0,78 \ 0,26 \ 0,02 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-C2} &= (0,31 \ 0,82 \ 0,31 \ 0,03 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-C3} &= (0,33 \ 0,81 \ 0,31 \ 0,03 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-C4} &= (0,34 \ 0,84 \ 0,28 \ 0,02 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-C5} &= (0,36 \ 0,78 \ 0,30 \ 0,03 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-C6} &= (0,30 \ 0,84 \ 0,32 \ 0,03 \ 0,00), \\
\mu_{D_t-C7} &= (0,28 \ 0,84 \ 0,34 \ 0,04 \ 0,00).
\end{aligned} \tag{8.19}$$

8.2 Анализа економских показатеља рада у функцији процене употребног квалитета дозера

8.2.1 Прикупљање података о трошковима животног циклуса дозера

За оцену економских показатеља употребног квалитета посматраних дозера коришћени су подаци о трошковима (C), добијени систематским праћењем током свих фаза животног циклуса ових машина. Прикупљени подаци о трошковима су пре уласка у поступак анализе обрађени по методологији Caterpillar-овог трошковног модела [99] (сходно поглављу 4.2.2), при чему су добијени трошкови власништва, оперативни трошкови, трошкови руковоаца и укупни трошкови по мото часу на годишњем нивоу, систематизовано приказани у табелама 1 до 36, ПРИЛОГ 2.

Оцена показатеља C је извршена на бази измерених података о укупним трошковима C_t по мото часу машине на годишњем нивоу, датих у табелама 8.2.1.1, 8.2.1.2 и 8.2.1.3.

Табела 8.2.1.1. Укупни трошкови по мото часу дозера – тип А

Година рада	Машина							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
	C_t [\$/moto h]							
I	50,72	51,37	84,17	70,98	90,30	87,79	55,40	66,97
II	63,73	73,80	87,89	59,84	86,97	61,24	52,00	58,96
III	61,35	56,05	58,97	54,79	70,43	73,56	101,06	61,23
IV	57,25	65,42	69,86	53,66	67,83	54,84	68,51	362,72
V	121,60	94,54	77,85	61,93	67,84	69,01	94,15	74,81
VI	77,35	85,88	77,69	84,07	76,92	75,68	76,72	66,52
VII	62,38	87,80	60,95	96,17	59,29	68,30	74,07	69,44
VIII	112,14	106,70	135,91	91,19	659,70	82,02	104,44	98,80
IX	103,23		68,54	58,21	160,83	84,82	89,33	108,87
X			77,16	113,57	71,03	83,27	119,57	84,98
XI			123,24	81,17	97,31	94,86	79,42	110,05
Просечно	77,60	78,59	77,84	72,00	79,29	87,79	82,10	82,87

Табела 8.2.1.2.. Укупни трошкови по мото часу дозера – тип В

Година рада	Машина					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6
	C_t [\$/moto h]					
I	64,54	57,25	76,10	76,82	101,13	93,54
II	71,40	72,42	59,10	61,58	101,10	80,34
III	68,01	56,47	55,60	57,09	68,49	54,02
IV	77,63	64,80	47,26	51,23	59,47	67,09
V	56,76	73,96	63,11	81,35	72,20	66,33
VI	82,76	92,82	111,35	71,51	89,42	404,67
VII	160,13	74,19	316,92		77,47	112,40
VIII		81,73	104,46			
Просечно	71,59	70,07	71,62	63,40	75,44	75,48

Табела 8.2.1.3. Укупни трошкови по мото часу дозера – тип С

Година рада	Машина						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	C_i [\$/moto h]						
I	104,24	117,85	102,93	57,21	72,73	108,13	91,32
II	75,44	73,65	72,26	52,97	59,20	80,84	68,03
III	64,12	67,21	61,95	140,20	94,37	65,07	82,90
IV	65,82	58,53	57,46	122,04	69,16	63,45	80,69
V	80,83	68,08	64,53	63,63	82,36	69,83	67,97
VI	67,95	80,93	71,62	102,14	69,34	165,15	76,29
VII	75,03	113,60	89,80				
VIII		76,72	83,19				
Просечно	72,29	75,06	71,50	82,86	72,01	78,18	76,91

8.2.2 Процена економских показатеља употребног квалитета дозера

Како је висина трошкова током експлоатације променљива величина закључено је да су адекватни улазни подаци у модел за оцену показатеља C посматраних дозера израчунати подаци применом методе тежишта. То подразумева одређивање функционалне зависности из измерених података и тежишта површине омеђене контуром регресионе криве и апцисе правоугаоног кординатног система (сходно поглављу 7.2.4.).

Поступак за оцену економских показатеља употребног квалитета посматраних дозера чине следећи кораци:

- одређивање функционалне зависности трошкова од година експлоатације дозера;
- одређивање тежишта површине омеђене контуром функције апроксимације трошкова и апцисе правоугаоног кординатног система;
- фазификовање емпиријске вредности трошкова - вредности коју има функција апроксимације трошкова за број година експлоатације у тежишту површине омеђене контуром регресионе криве трошкова и апцисе правоугаоног кординатног система.

8.2.2.1 Одређивање функционалне зависности трошкова од броја година експлоатације дозера

Функционална зависност трошкова од броја година експлоатације посматраних машина одређена је помоћу методе најмањих квадрата (поглавље 7.2.4.1.). Примењена је квадратна функција за апроксимацију експерименталних података, при чему су добијене једначине регресионих параболо трошкова.

У табели 8.2.2.1.1. дат је систем једначина за одређивање вредности параметара функције апроксимације трошкова посматраних дозера добијени поступком минимизирања суме квадрата одступања између измерених и израчунатих вредности трошкова, применом методе најмањих квадрата.

Табела 8.2.2.1.1. Метода најмањих квадрата – минимизирање функције циља – систем једначина за одређивање вредности параметра функције апроксимације трошкова посматраних дозера

Машина	Минимизирање функције циља: $C_t(a,b,c) \rightarrow \min$		
	Парцијални изводи функције C_t по a, b, c		
	$\frac{\partial C_t(a,b,c)}{\partial a} = 0$	$\frac{\partial C_t(a,b,c)}{\partial b} = 0$	$\frac{\partial C_t(a,b,c)}{\partial c} = 0$
	Систем једначина за одређивање вредности параметра a, b, c		
A1	$-52,37 + 30,67a + 4,05b + 570c = 0$	$-7,85 + 4,05a + 570b + 90c = 0$	$-1,42 + 570a + 90b + 18c = 0$
A2	$-36,97 + 17,54a + 2,59b + 408c = 0$	$-6,17 + 2,59a + 408b + 72c = 0$	$-1,24 + 408a + 72b + 16c = 0$
A3	$-93,38 + 79,95a + 8,71b + 1,01c = 0$	$-11,66 + 8,71a + 1,01b + 132c = 0$	$-1,84 + 1,01a + 132b + 22c = 0$
A4	$-85,36 + 79,95a + 8,71b + 1,01c = 0$	$-10,66 + 8,71a + 1,01b + 132c = 0$	$-1,65 + 1,01a + 132b + 22c = 0$
A5	$-167,30 + 79,95a + 8,71b + 1,01c = 0$	$-20,94 + 8,71a + 1,01b + 132c = 0$	$-3,02 + 1,01a + 132b + 22c = 0$
A6	$-83,19 + 79,95a + 8,71b + 1,01c = 0$	$-10,45 + 8,71a + 1,01b + 132c = 0$	$-1,67 + 1,01a + 132b + 22c = 0$
A7	$-93,00 + 79,95a + 8,71b + 1,01c = 0$	$-11,79 + 8,71a + 1,01b + 132c = 0$	$-1,83 + 1,01a + 132b + 22c = 0$
A8	$-102,56 + 79,95a + 8,71b + 1,01c = 0$	$-13,82 + 8,71a + 1,01b + 132c = 0$	$-2,33 + 1,01a + 132b + 22c = 0$
B1	$-28,90 + 9,35a + 1,57b + 280c = 0$	$-5,25 + 1,57a + 280b + 56c = 0$	$-1,16 + 280a + 56b + 14c = 0$
B2	$-31,90 + 17,54a + 2,59b + 408c = 0$	$-5,46 + 2,59a + 408b + 72c = 0$	$-1,15 + 408a + 72b + 16c = 0$
B3	$-58,74 + 17,54a + 2,59b + 408c = 0$	$-9,18 + 2,59a + 408b + 72c = 0$	$-1,67 + 408a + 72b + 16c = 0$
B4	$-12,53 + 4,55a + 882b + 182c = 0$	$-2,82 + 882a + 182b + 42c = 0$	$-799 + 182a + 42b + 12c = 0$
B5	$-21,79 + 9,35a + 1,57b + 280c = 0$	$-4,37 + 1,57a + 280b + 56c = 0$	$-1,14 + 280a + 56b + 14c = 0$
B6	$-47,42 + 9,35a + 1,57b + 280c = 0$	$-8,46 + 1,57a + 280b + 56c = 0$	$-1,76 + 280a + 56b + 14c = 0$
C1	$-20,36 + 9,35a + 1,57b + 280c = 0$	$-4,10 + 1,57a + 280b + 56c = 0$	$-1,07 + 280a + 56b + 14c = 0$
C2	$-34,09 + 17,54a + 2,59b + 408c = 0$	$-5,87 + 2,59a + 408b + 72c = 0$	$-1,31 + 408a + 72b + 16c = 0$
C3	$-31,57 + 17,54a + 2,59b + 408c = 0$	$-5,42 + 2,59a + 408b + 72c = 0$	$-1,21 + 408a + 72b + 16c = 0$
C4	$-17,50 + 4,55a + 882b + 182c = 0$	$-4,01 + 882a + 182b + 42c = 0$	$-1,08 + 182a + 42b + 12c = 0$
C5	$-13,64 + 4,55a + 882b + 182c = 0$	$-3,16 + 882a + 182b + 42c = 0$	$-894 + 182a + 42b + 12c = 0$
C6	$-19,45 + 4,55a + 882b + 182c = 0$	$-4,12 + 882a + 182b + 42c = 0$	$-1,11 + 182a + 42b + 12c = 0$
C7	$-13,69 + 4,55a + 882b + 182c = 0$	$-3,19 + 882a + 182b + 42c = 0$	$-934 + 182a + 42b + 12c = 0$

У табели 8.2.2.1.2. дате су вредности параметара и једначине квадратне функције апроксимације трошкова, добијене методом најмањих квадрата.

Табела 8.2.2.1.2. Функције апроксимације трошкова посматраних дозера – вредности параметара регресионих параболо

Машина	Регресиона параболо			
	Параметри			$f(t) = a \cdot t^2 + b \cdot t + c$
	a	b	c	
A1	-0,18	8,11	44,07	$f(t) = -0,18 \cdot t^2 + 8,11 \cdot t + 44,07$
A2	0,25	4,58	50,64	$f(t) = 0,25 \cdot t^2 + 4,58 \cdot t + 50,64$
A3	0,83	-7,28	89,29	$f(t) = 0,83 \cdot t^2 - 7,28 \cdot t + 89,29$
A4	0,09	2,43	56,37	$f(t) = 0,09 \cdot t^2 + 2,43 \cdot t + 56,37$
A5	-3,20	51,32	-23,46	$f(t) = -3,20 \cdot t^2 + 51,32 \cdot t - 23,46$
A6	0,74	-6,96	83,68	$f(t) = 0,74 \cdot t^2 - 6,96 \cdot t + 83,68$

A7	-0,53	10,10	47,09	$f(t) = -0,53 \cdot t^2 + 10,10 \cdot t + 47,09$
A8	-1,61	18,71	67,69	$f(t) = -1,61 \cdot t^2 + 18,71 \cdot t + 67,69$
B1	5,22	-31,12	103,08	$f(t) = 5,22 \cdot t^2 - 31,12 \cdot t + 103,08$
B2	-0,13	4,74	53,74	$f(t) = -0,13 \cdot t^2 + 4,74 \cdot t + 53,74$
B3	3,50	-11,57	67,16	$f(t) = 3,50 \cdot t^2 - 11,57 \cdot t + 67,16$
B4	2,95	-19,92	91,49	$f(t) = 2,95 \cdot t^2 - 19,92 \cdot t + 91,49$
B5	2,77	-25,43	127,56	$f(t) = 2,77 \cdot t^2 - 25,43 \cdot t + 127,56$
B6	4,77	-12,49	80,16	$f(t) = 4,77 \cdot t^2 - 12,49 \cdot t + 80,16$
C1	2,36	-21,95	116,79	$f(t) = 2,36 \cdot t^2 - 21,95 \cdot t + 116,79$
C2	2,81	-25,72	126,20	$f(t) = 2,81 \cdot t^2 - 25,72 \cdot t + 126,20$
C3	2,70	-24,51	116,80	$f(t) = 2,70 \cdot t^2 - 24,51 \cdot t + 116,80$
C4	-6,59	52,91	4,39	$f(t) = -6,59 \cdot t^2 + 52,91 \cdot t + 4,39$
C5	-1,52	11,45	57,57	$f(t) = -1,52 \cdot t^2 + 11,45 \cdot t + 57,57$
C6	12,53	-80,55	183,98	$f(t) = 12,53 \cdot t^2 - 80,55 \cdot t + 183,98$
C7	0,85	-8,17	93,56	$f(t) = 0,85 \cdot t^2 - 8,17 \cdot t + 93,56$

8.2.2.2 Одређивање тежишта површине омеђене контуром функције апроксимације трошкова и апцисе

Применом одређеног интеграла израчунате су координате тежишта површине омеђене контуром регресионе параболе трошкова и апцисе правоугаоног координатног система (сходно поглављу 7.2.4.1.).

$$t_T = \frac{\int_{t=t_1}^{t=t_n} t \cdot f(t) \cdot d(t)}{\int_{t=t_1}^{t=t_n} f(t) \cdot d(t)}, \quad C_{t-T} = \frac{\int_{t=t_1}^{t=t_n} [f(t)]^2 \cdot d(t)}{2 \cdot \int_{t=t_1}^{t=t_n} f(t) \cdot d(t)}. \quad (8.20)$$

У табели 8.2.2.2.1. дате су координате тежишта површине омеђене контуром регресионе параболе трошкова и апцисе правоугаоног координатног система за посматране дозере.

Табела 8.2.2.2.1. Координате тежишта површине омеђене контуром регресионе параболе трошкова дозера и апцисе

Машина	Координате тежишта	
	t_T [год.]	C_{t-T} [\$/moto h]
A1	6,58	44,07
A2	6,71	47,39
A3	6,27	41,83
A4	6,39	38,14
A5	6,27	77,71
A6	6,39	46,83
A7	6,37	42,79
A8	5,56	55,92
B1	3,66	35,63
B2	4,70	36,29
B3	5,31	58,96
B4	3,52	32,31

B5	3,88	39,83
B6	3,91	57,07
C1	3,88	37,38
C2	4,48	40,07
C3	4,49	36,83
C4	3,65	48,89
C5	3,52	37,96
C6	3,68	44,81
C7	3,44	38,66

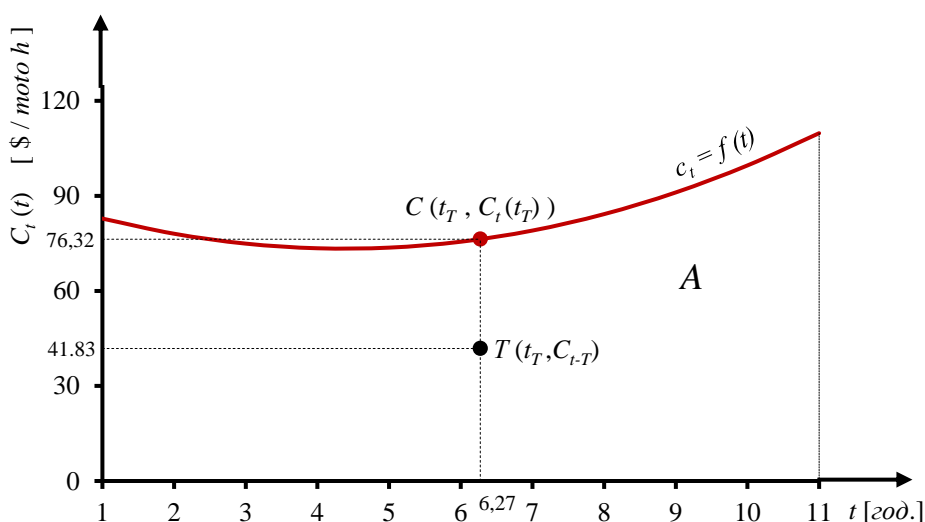
8.2.2.3 Фазификовање вредности трошкова добијених применом методе тежишта

С' обзиром да је висина трошкова током експлоатације посматраних машина променљива величина, процена економских показатеља (C) извршена ја на основу вредности трошкова добијених у поступку приказаном у наставку, применом методе тежишта.

На основу израчунатих координата тежишта површине омеђене регресионом параболом трошкова и апсисе одређене су вредности укупних трошкова $C_i(t_T)$ по мото часу на годишњем нивоу, на следећи начин (релација 8.21, слика 8.2.2.3.1):

$$C_i(t_T) = f(t_T) = a \cdot t_T^2 + b \cdot t_T + c. \quad (8.21)$$

Вредност укупних трошкова $C_i(t_T)$ по мото часу на годишњем нивоу одређена је као вредност функције апроксимације трошкова за период експлоатације t_T у тежишту површине омеђене контуром регресионе параболе трошкова и апсисе правоугаоног координатног система $T(t_T, C_{t-T})$. Са овим вредностима трошкова $C_i(t_T)$ се ушло у модел за оцену показатеља C .



Слика 8.2.2.3.1. Функција апроксимације трошкова – примена методе тежишта - дозер А3

Процес одређивања вредности трошкова методом тежишта за дозер А3 приказан је на слици 8.2.2.3.1. У овом случају функција апроксимације трошкова $c_t = f(t)$ дефинисана је једначином регресионе параболе трошкова: $f(t) = 0,83 \cdot t^2 - 7,28 \cdot t + 89,29$ (табела 8.2.2.1.2). Тежиште површине омеђене контуром регресионе параболе трошкова и апсисе има следеће координате $T(6,27;41,3)$, табела 8.2.2.2.1. Вредност трошкова је вредност функције апроксимације трошкова за период експлоатације у тежишту $t_T=6,27$ година (табела 8.2.2.2.1):

$C_t(t_T) = f(t_T) = 0,83 \cdot t_T^2 - 7,28 \cdot t_T + 89,29 = 0,83 \cdot 6,27^2 - 7,28 \cdot 6,27 + 89,29 = 76,32$ [\$/moto h].
 Добијена вредност $C_t(t_T) = 76,32$ [\$/moto h] је вредност трошкова у тачки $C(6,27;76,32)$ на регресионој параболи (ордината), чија је апсиса $t_T=6,27$ година једнака апсиси тежишта $T(6,27;41,3)$, слика 8.2.2.3.1.

Истим поступком су добијене вредности трошкова за остале машине применом методе тежишта (табела 8.2.2.3.1).

Табела 8.2.2.3.1. Вредности трошкова посматраних дозера добијени примена методе тежишта

Машина	$C_t(t_T)$ [\$/moto h]	Машина	$C_t(t_T)$ [\$/moto h]	Машина	$C_t(t_T)$ [\$/moto h]
A1	89,58	B1	59,16	C1	67,18
A2	92,76	B2	73,11	C2	67,34
A3	76,32	B3	104,31	C3	61,28
A4	75,53	B4	58,00	C4	109,77
A5	172,45	B5	70,67	C5	78,99
A6	68,99	B6	104,28	C6	62,26
A7	89,77			C7	75,52
A8	121,86				

Фазификација улазних података за оцену показатеља C је извршена на следећи начин:

Однос између j и вредности укупних трошкова по мото часу на годишњем нивоу (C_t) дефинисан је на следећи начин: $j = 1$ за $C_{t\max} = 130,00$ [\$/moto h] и $j = 5$ за $C_{t\min} = 47,26$ [\$/moto h]. Идентификована је максимална вредности укупних трошкова по мото часу од 659.70 [\$/moto h] код машине А5. Анализом измерених података о укупним трошковима C_t по мото часу машине на годишњем нивоу (табела 8.2.1.1, 8.2.1.2 и 8.2.1.3.), вредност већа од 130,00 [\$/moto h] идентификована је у око 5% екстремних случајева. Из тог разлога усвојено је $C_{t\max} \geq 130,00$ [\$/moto h] (екстремно високи трошкови). Евидентирана минимална вредности укупних трошкова по мото часу на годишњем нивоу је 47,26 [\$/moto h] код машине В3 (веома ниски трошкови). Линеарном интерполацијом су добијене остале вредности (релација ?): $j = 2$, $C_t = 109,31$ [\$/moto h]; $j = 3$, $C_t = 88,63$ [\$/moto h]; $j = 4$, $C_t = 67,94$ [\$/moto h].

Израчунате вредности трошкова по мото часу машине применом методе тежишта $C_t(t_T)$ (табела 8.2.2.3.1) се мапирају на графикон фази скупова дефинисан у координатном систему μ - j за оцену употребног квалитета (слика 7.1.1), односно на фази скупове дефинисане за оцену показатеља C . Процес оцене показатеља C за дозер А3 приказан је на слици 8.2.2.3.2.

За дозер А3 евидентирана је вредност $C_t(t_T) = 76,32$ [\$/moto h]. На ординати μ читавају се вредности функција припадности фази скуповима показатеља C :

$$\mu(C_{\text{УМЕРЕНИ}}) = 0,55 ; \quad \mu(C_{\text{НИСКИ}}) = 0,70.$$

Очитане вредности се скалирају како би њихов збир био 1:

$$C_{\text{УМЕРЕНИ}} + C_{\text{НИСКИ}} = 1$$

$$C_{\text{УМЕРЕНИ}} = 0,55 / (0,55 + 0,70) = 0,44 , \quad C_{\text{НИСКИ}} = 0,70 / (0,55 + 0,70) = 0,56 ,$$

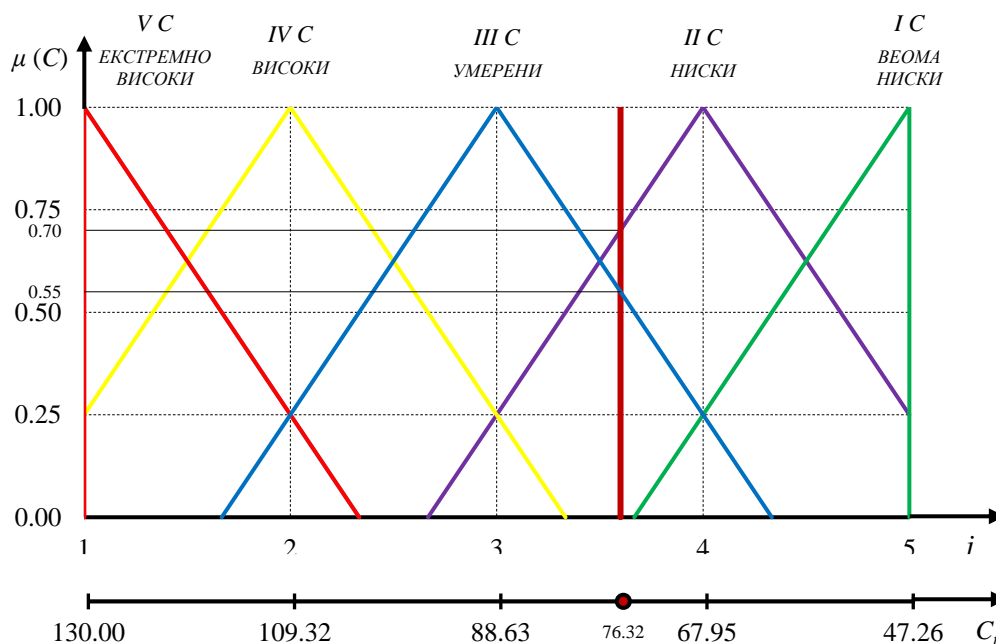
где је:

$$\mu(C_{\text{А3-ЕКС.ВИСОКИ}}) + \mu(C_{\text{А3-ВИСОКИ}}) + \mu(C_{\text{А3-УМЕРЕНИ}}) + \mu(C_{\text{А3-НИСКИ}}) + \mu(C_{\text{А3-В.НИСКИ}}) = 1.$$

Процена показатеља C за машину А3 добија се у облику:

$C = (0,00 \text{ "ЭКСТРЕМНО ВИСОКИ"}; 0,00 \text{ "ВИСОКИ"}; 0,44 \text{ "УМЕРЕНИ"}; 0,56 \text{ "НИСКИ"}; 0,00 \text{ "ВЕОМА НИСКИ"})$.

(8.22)



Слика 8.2.2.3.2. Процес фазификације трошкова – примена методе тежишта за оцену економских показатеља - дозер А3

Применом истог поступка добијена је процена показатеља C за остале машине.

У табели 8.2.2.3.2. дате су процене показатеља C за све посматране машине.

Табела 8.2.2.3.2. Процена економских показатеља посматраних дозера

ТРОШКОВИ (C)					
Машина	j				
	5	4	3	2	1
	О Ц Е Н А				
	"ВЕОМА НИСКИ"	"НИСКИ"	"УМЕРЕНИ"	"ВИСОКИ"	"ЭКСТРЕМНО ВИСОКИ"
A1	0,00	0,15	0,67	0,19	0,00
A2	0,00	0,07	0,63	0,30	0,00
A3	0,00	0,56	0,44	0,00	0,00
A4	0,00	0,58	0,42	0,00	0,00
A5	0,00	0,00	0,00	0,20	0,80
A6	0,15	0,66	0,20	0,00	0,00
A7	0,00	0,14	0,66	0,20	0,00
A8	0,00	0,00	0,00	0,44	0,56
B1	0,46	0,54	0,00	0,00	0,00
B2	0,06	0,62	0,32	0,00	0,00
B3	0,00	0,00	0,33	0,62	0,05
B4	0,49	0,51	0,00	0,00	0,00
B5	0,11	0,64	0,25	0,00	0,00
B6	0,00	0,00	0,33	0,62	0,05
C1	0,19	0,67	0,15	0,00	0,00
C2	0,19	0,66	0,15	0,00	0,00

C3	0,40	0,60	0,00	0,00	0,00
C4	0,00	0,00	0,15	0,66	0,19
C5	0,00	0,48	0,52	0,00	0,00
C6	0,39	0,58	0,00	0,00	0,00
C7	0,00	0,58	0,42	0,00	0,00

Показатељ C за машину A_3 је дефинисан преко релације (8.22), за фази скуп $II C$ са лингвистичком променљивом "НИСКИ" функција припадности је 0,56. Фази скуп $II C$ - "НИСКИ" је дефинисан као: $C_{\text{ниски}} = (0,00_{(1)}; 0,00_{(2)}; 0,25_{(3)}; 1,00_{(4)}; 0,25_{(5)})$ према слици (2). На овај начин добијена је специфична вредност фази скупа $II C$ - "НИСКИ" за машину A_3 : $C_{\text{ниски}} = \{(0,00 \times 0,56)_{(1)}; (0,00 \times 0,56)_{(2)}; (0,25 \times 0,56)_{(3)}; (1,00 \times 0,56)_{(4)}; (0,25 \times 0,56)_{(5)}\}$. На исти начин се третирају остали фази скупови показатеља C , (табела 8.2.2.3.3).

Табела 8.2.2.3.3 Специфичне вредности фази скупова трошкова - дозер A_3

$\mu(C_{A_3})$	ОЦЕНА	j				
		1	2	3	4	5
0,00	"ВЕОМА НИСКИ"	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,25 x 0,00	1,00 x 0,00
0,56	"НИСКИ"	0,00 x 0,56	0,00 x 0,56	0,25 x 0,56	1,00 x 0,56	0,25 x 0,56
0,44	"УМЕРЕНИ"	0,00 x 0,44	0,25 x 0,44	1,00 x 0,44	0,25 x 0,44	0,00 x 0,44
0,00	"ВИСОКИ"	0,25 x 0,00	1,00 x 0,00	0,25 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00
0,00	"ЕКСТРЕМНО ВИСОКИ"	1,00 x 0,00	0,25 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00	0,00 x 0,00
Σ						
1,00	μ_{C-A_3}	0,00	0,11	0,58	0,67	0,14

Специфичне вредности се сабирају међу собом за сваку вредност $j = 1, \dots, 5$ и уносе у фази образац (7.2), са чиме се добија оцена показатеља C за машину A_3 у фази облику (7.1). Истим поступком су добијене специфичне вредности фази скупова показатеља C за остале машине, а овде су дате коначне оцене у фази облику:

$$\begin{aligned}
\mu_{C-A_1} &= (0,05 \ 0,35 \ 0,75 \ 0,31 \ 0,04), \\
\mu_{C-A_2} &= (0,07 \ 0,45 \ 0,72 \ 0,23 \ 0,02), \\
\mu_{C-A_3} &= (0,00 \ 0,11 \ 0,58 \ 0,67 \ 0,14), \\
\mu_{C-A_4} &= (0,00 \ 0,11 \ 0,57 \ 0,69 \ 0,15), \\
\mu_{C-A_5} &= (0,85 \ 0,40 \ 0,05 \ 0,00 \ 0,00), \\
\mu_{C-A_6} &= (0,00 \ 0,05 \ 0,36 \ 0,74 \ 0,31), \\
\mu_{C-A_7} &= (0,05 \ 0,37 \ 0,75 \ 0,30 \ 0,03), \\
\mu_{C-A_8} &= (0,67 \ 0,58 \ 0,11 \ 0,00 \ 0,00), \\
\mu_{C-B_1} &= (0,00 \ 0,00 \ 0,14 \ 0,66 \ 0,60), \\
\mu_{C-B_2} &= (0,00 \ 0,08 \ 0,48 \ 0,72 \ 0,21), \\
\mu_{C-B_3} &= (0,20 \ 0,71 \ 0,49 \ 0,08 \ 0,00), \\
\mu_{C-B_4} &= (0,00 \ 0,00 \ 0,13 \ 0,63 \ 0,62), \\
\mu_{C-B_5} &= (0,00 \ 0,06 \ 0,41 \ 0,73 \ 0,27), \\
\mu_{C-B_6} &= (0,20 \ 0,71 \ 0,49 \ 0,08 \ 0,00), \\
\mu_{C-C_1} &= (0,00 \ 0,04 \ 0,31 \ 0,75 \ 0,35), \\
\mu_{C-C_2} &= (0,00 \ 0,04 \ 0,32 \ 0,75 \ 0,35), \\
\mu_{C-C_3} &= (0,00 \ 0,00 \ 0,15 \ 0,70 \ 0,55), \\
\mu_{C-C_4} &= (0,35 \ 0,75 \ 0,32 \ 0,04 \ 0,00), \\
\mu_{C-C_5} &= (0,00 \ 0,13 \ 0,64 \ 0,61 \ 0,12), \\
\mu_{C-C_6} &= (0,00 \ 0,00 \ 0,12 \ 0,62 \ 0,63), \\
\mu_{C-C_7} &= (0,00 \ 0,11 \ 0,57 \ 0,69 \ 0,15).
\end{aligned}$$

(8.23)

8.3 Фази композиција показатеља употребног квалитета дозера на синтезни ниво

Фази модел композиције парцијалних и синтезних показатеља на ниво употребног квалитета дозера формиран је на три нивоа синтезе, применом одговарајућих модела композиције, сходно поглављу 7.3.

Синтезни фази модел примењен за оцену употребног квалитета дозера приказан је у поступку који следи.

8.3.1 Фази композиција парцијалних показатеља на ниво синтезних показатеља употребног квалитета дозера - I ниво синтезе

На I нивоу синтезе извршена је фази композиција парцијалних показатеља у оцену синтезних показатеља употребног квалитета дозера (ефективност, расположивост, сигурност функционисања) применом модела *max-min* композиције (поглавље 7.3).

На овом нивоу синтезе извршена је и фази композиција утицајних индикатора у оцену озбиљности отказа дозера (парцијалног показатеља ризика) и фази композиција парцијалних показатеља у оцену ризика као синтезног показатеља употребног квалитета дозера, применом модела *min-max* композиције (поглавље 7.3).

8.3.1.1 Модел *max-min* композиције показатеља ефективности

Оцена синтезног показатеља ефективност (E) дозера добијена је фази композицијом парцијалних показатеља поузданост (R), погодност одржавања (M) и функционалност (F), применом *max-min* композиције, сходно поглављу 7.3, где ознаке у општем облику модела подразумевају следеће: $V_1 = R$, $V_2 = M$, $V_3 = F$ и $W = E$.

Процес процене синтезног показатеља E за дозер A_1 приказан је у наставку.

Применом *max-min* композиције према (7.3), за оцену синтезног показатеља E неопходне су фазификоване оцене парцијалних показатеља μ_{R-A_1} , дата у (8.4), μ_{M-A_1} , дата у (8.8) и μ_{F-A_1} , дате у (8.16):

$$\mu_{R-A_1} = (0,33 \quad 0,39 \quad 0,32 \quad 0,22 \quad 0,15),$$

$$\mu_{M-A_1} = (0,07 \quad 0,14 \quad 0,27 \quad 0,43 \quad 0,47),$$

$$\mu_{F-A_1} = (0,00 \quad 0,12 \quad 0,62 \quad 0,63 \quad 0,13).$$

Могуће је направити $K=5^3=125$ комбинација са 101 исходом. За сваки исход одређена је вредност Ω_k . Комбинација првог исхода ($\Omega_{k=1}$) је:

$$1-1-2: E_{1-1-2} = [0,33 \quad 0,07 \quad 0,12], \text{ где је } \Omega_{k=1-1-2} = (1+1+2) / 3 = 1.$$

Детектована је минимална вредност функције припадности исхода $MIN_{1-1-2} = 0,07$. За $\Omega_{k=1}$ ни једна комбинација више не задовољава услов исхода. Идентификована је максимална вредност међу претходно детектованим минимумима, $MAX(MIN_{\Omega_{k=1}}) = 0,07$ (у овом случају постоји само један исход).

За остале исходе резултати су дати у табели 8.3.1.1, где су подебљаним бројевима означене минималне вредности, а максималне вредности су осенчене.

Сви исходи су груписани на основу величине Ω_k ($\Omega_k = 1, \dots, 5$). Према усвојеним критеријумима и резултатима у табели 8.3.1.1 добијена је оцена ефективности (E) за дозер A_1 у облику:

$$\mu_{E-A_1} = (0,07 \quad 0,27 \quad 0,39 \quad 0,39 \quad 0,15).$$

Оцена показатеља E за дозер $A1$ је идентификована као најбоља могућа између најлошије очекиваних парцијалних оцена (R , M и F).

Табела 8.3.1.1. Структура $tax\text{-}min$ композиције за оцену ефективности - дозер $A1$

ω_k	КОМБИНАЦИЈА			μ			ω_k	КОМБИНАЦИЈА			μ		
1	1	1	2	0,33	0,07	0,12	3	3	4	3	0,32	0,43	0,62
2	1	1	3	0,33	0,07	0,62		3	5	2	0,32	0,47	0,12
	1	1	4	0,33	0,07	0,63		4	1	3	0,22	0,07	0,62
	1	1	5	0,33	0,07	0,13		4	1	4	0,22	0,07	0,63
	1	2	2	0,33	0,14	0,12		4	1	5	0,22	0,07	0,13
	1	2	3	0,33	0,14	0,62		4	2	2	0,22	0,14	0,12
	1	2	4	0,33	0,14	0,63		4	2	3	0,22	0,14	0,62
	1	3	2	0,33	0,27	0,12		4	2	4	0,22	0,14	0,63
	1	3	3	0,33	0,27	0,62		4	3	2	0,22	0,27	0,12
	1	4	2	0,33	0,43	0,12		4	3	3	0,22	0,27	0,62
	2	1	2	0,39	0,07	0,12		4	4	2	0,22	0,43	0,12
	2	1	3	0,39	0,07	0,62		5	1	2	0,15	0,07	0,12
	2	1	4	0,39	0,07	0,63		5	1	3	0,15	0,07	0,62
	2	2	2	0,39	0,14	0,12		5	1	4	0,15	0,07	0,63
	2	2	3	0,39	0,14	0,62		5	2	2	0,15	0,14	0,12
	2	3	2	0,39	0,27	0,12		5	2	3	0,15	0,14	0,62
	3	1	2	0,32	0,07	0,12		5	3	2	0,15	0,27	0,12
3	1	3	0,32	0,07	0,62	1		5	5	0,33	0,47	0,13	
3	2	2	0,32	0,14	0,12	2		4	5	0,39	0,43	0,13	
4	1	2	0,22	0,07	0,12	2		5	4	0,39	0,47	0,63	
3	1	2	5	0,33	0,14	0,13	2	5	5	0,39	0,47	0,13	
	1	3	4	0,33	0,27	0,63	3	3	5	0,32	0,27	0,13	
	1	3	5	0,33	0,27	0,13	3	4	4	0,32	0,43	0,63	
	1	4	3	0,33	0,43	0,62	3	4	5	0,32	0,43	0,13	
	1	4	4	0,33	0,43	0,63	3	5	3	0,32	0,47	0,62	
	1	4	5	0,33	0,43	0,13	3	5	4	0,32	0,47	0,63	
	1	5	2	0,33	0,47	0,12	3	5	5	0,32	0,47	0,13	
	1	5	3	0,33	0,47	0,62	4	2	5	0,22	0,14	0,13	
	1	5	4	0,33	0,47	0,63	4	3	4	0,22	0,27	0,63	
	2	1	5	0,39	0,07	0,13	4	3	5	0,22	0,27	0,13	
	2	2	4	0,39	0,14	0,63	4	4	3	0,22	0,43	0,62	
	2	2	5	0,39	0,14	0,13	4	4	4	0,22	0,43	0,63	
	2	3	3	0,39	0,27	0,62	4	4	5	0,22	0,43	0,13	
	2	3	4	0,39	0,27	0,63	4	5	2	0,22	0,47	0,12	
	2	3	5	0,39	0,27	0,13	4	5	3	0,22	0,47	0,62	
	2	4	2	0,39	0,43	0,12	4	5	4	0,22	0,47	0,63	
	2	4	3	0,39	0,43	0,62	5	1	5	0,15	0,07	0,13	
	2	4	4	0,39	0,43	0,63	5	2	4	0,15	0,14	0,63	
	2	5	1	0,39	0,47	0,12	5	2	5	0,15	0,14	0,13	
	2	5	2	0,39	0,47	0,12	5	3	3	0,15	0,27	0,62	
	2	5	3	0,39	0,47	0,62	5	3	4	0,15	0,27	0,63	
	3	1	4	0,32	0,07	0,63	5	3	5	0,15	0,27	0,13	
	3	1	5	0,32	0,07	0,13	5	4	2	0,15	0,43	0,12	
	3	2	3	0,32	0,14	0,62	5	4	3	0,15	0,43	0,62	
3	2	4	0,32	0,14	0,63	5	4	4	0,15	0,43	0,63		
3	2	5	0,32	0,14	0,13	5	5	2	0,15	0,47	0,12		
3	3	2	0,32	0,27	0,12	5	5	3	0,15	0,47	0,62		

	3	3	3	0,32	0,27	0,62	5	4	5	5	0,22	0,47	0,13
	3	3	4	0,32	0,27	0,63		5	4	5	0,15	0,43	0,13
	3	4	2	0,32	0,43	0,12		5	5	4	0,15	0,47	0,63
						5		5	5	0,15	0,47	0,13	

Идентичним поступком добијене су оцене ефективности (E) за све посматране машине, а овде су дате коначне оцене у следећем облику:

$$\begin{aligned}
\mu_{E-A1} &= (0,07 \ 0,27 \ 0,39 \ 0,39 \ 0,15), \\
\mu_{E-A2} &= (0,21 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,23 \ 0,02), \\
\mu_{E-A3} &= (0,10 \ 0,27 \ 0,35 \ 0,35 \ 0,19), \\
\mu_{E-A4} &= (0,13 \ 0,27 \ 0,35 \ 0,34 \ 0,12), \\
\mu_{E-A5} &= (0,04 \ 0,24 \ 0,40 \ 0,40 \ 0,22), \\
\mu_{E-A6} &= (0,21 \ 0,37 \ 0,37 \ 0,25 \ 0,00), \\
\mu_{E-A7} &= (0,20 \ 0,33 \ 0,34 \ 0,33 \ 0,20), \\
\mu_{E-A8} &= (0,19 \ 0,30 \ 0,34 \ 0,34 \ 0,15), \\
\mu_{E-B1} &= (0,07 \ 0,36 \ 0,49 \ 0,35 \ 0,06), \\
\mu_{E-B2} &= (0,00 \ 0,13 \ 0,36 \ 0,36 \ 0,26), \\
\mu_{E-B3} &= (0,09 \ 0,29 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,15), \\
\mu_{E-B4} &= (0,10 \ 0,31 \ 0,48 \ 0,41 \ 0,06), \\
\mu_{E-B5} &= (0,06 \ 0,16 \ 0,21 \ 0,47 \ 0,13), \\
\mu_{E-B6} &= (0,08 \ 0,23 \ 0,47 \ 0,47 \ 0,10), \\
\mu_{E-C1} &= (0,02 \ 0,22 \ 0,37 \ 0,42 \ 0,27), \\
\mu_{E-C2} &= (0,03 \ 0,24 \ 0,38 \ 0,41 \ 0,20), \\
\mu_{E-C3} &= (0,14 \ 0,26 \ 0,37 \ 0,37 \ 0,16), \\
\mu_{E-C4} &= (0,16 \ 0,34 \ 0,41 \ 0,33 \ 0,08), \\
\mu_{E-C5} &= (0,09 \ 0,40 \ 0,48 \ 0,32 \ 0,05), \\
\mu_{E-C6} &= (0,12 \ 0,18 \ 0,53 \ 0,53 \ 0,12), \\
\mu_{E-C7} &= (0,07 \ 0,25 \ 0,56 \ 0,43 \ 0,07).
\end{aligned}$$

(8.24)

8.3.1.2 Модел *max-min* композиције показатеља расположивости

Оцена синтезног показатеља расположивост (A) дозера добијена је фази композицијом парцијалних показатеља поузданост (R) и погодност одржавања (M), применом *max-min* композиције, сходно поглављу 7.3, где у општем облику модела ознаке подразумевају следеће: $V_1 = R$, $V_2 = M$ и $W = A$.

Процес процене синтезног показатеља A за дозер A_1 приказан је у наставку:

Применом *max-min* композиције према поглављу 7.3 за оцену синтезног показатеља A неопходне су фазификоване оцене парцијалних показатеља μ_{R-A_1} , дата у (8.4) и μ_{M-A_1} , дата у (8.8):

$$\begin{aligned}
\mu_{R-A_1} &= (0,33 \ 0,39 \ 0,32 \ 0,22 \ 0,15), \\
\mu_{M-A_1} &= (0,07 \ 0,14 \ 0,27 \ 0,43 \ 0,47).
\end{aligned}$$

Могуће је направити $K=5^2=25$ комбинација, са 25 исхода. За сваки исход одређена је вредност Ω_k . Комбинација првог исхода ($\Omega_k=1$) је:

$$1-1: A_{1-1} = [0,33 ; 0,07], \text{ где је } \Omega_{k-1-1} = (1+1) / 3 = 1.$$

Детектована је минимална вредност функције припадности исхода $MIN_{1-1} = 0,07$. За $\Omega_k=1$ ни један исход више није детектован. Идентификована је максимална вредност међу претходно детектованим минимумима $MAX (MIN_{\Omega_k=1}) = 0,07$ (у овом случају постоји само један исход).

За остале исходе резултати су дати у табели 8.3.1.2. где су подебљаним бројевима означене минималне вредности, а максималне вредности су осенчене.

Сви исходи су груписани на основу величине Ω_k ($\Omega_k = 1, \dots, 5$). Према усвојеним критеријумима и резултатима у табели 8.3.1.2. добијена је оцена расположивости (A) за дозер $A1$ у облику:

$$\mu_{A-A1} = (0,07 \ 0,27 \ 0,39 \ 0,39 \ 0,22).$$

Оцена показатеља A за дозер $A1$ је идентификована као најбоља могућа између најлошије очекиваних парцијалних оцена (R и M).

Табела 8.3.1.2. Структура тах-тип композиције за оцену расположивости - дозер $A1$

Ω_k	КОМБИНАЦИЈА		μ		Ω_k	КОМБИНАЦИЈА		μ		
1	1	1	0,33	0,07	4	2	5	0,39	0,47	
	1	2	0,33	0,14		3	4	0,32	0,43	
2	1	3	0,33	0,27		3	5	0,32	0,47	
	2	1	0,39	0,07		4	3	0,22	0,27	
	2	2	0,39	0,14		4	4	0,22	0,43	
	3	1	0,32	0,07		5	2	0,15	0,14	
	1	4	0,33	0,43		5	3	0,15	0,27	
3	1	5	0,33	0,47		5	4	5	0,22	0,47
	2	3	0,39	0,27			5	4	0,15	0,43
	2	4	0,39	0,43			5	5	0,15	0,47
	3	2	0,32	0,14						
	3	3	0,32	0,27						
	4	1	0,22	0,07						
	4	2	0,22	0,14						
	5	1	0,15	0,07						

Идентичним поступком добијене су оцене расположивости (A) за све посматране машине, а овде су дате коначне оцене у следећем облику:

$$\begin{aligned} \mu_{A-A1} &= (0,07 \ 0,27 \ 0,39 \ 0,39 \ 0,22), \\ \mu_{A-A2} &= (0,13 \ 0,31 \ 0,38 \ 0,34 \ 0,23), \\ \mu_{A-A3} &= (0,15 \ 0,27 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,22), \\ \mu_{A-A4} &= (0,10 \ 0,25 \ 0,35 \ 0,35 \ 0,26), \\ \mu_{A-A5} &= (0,10 \ 0,24 \ 0,40 \ 0,40 \ 0,22), \\ \mu_{A-A6} &= (0,15 \ 0,28 \ 0,37 \ 0,37 \ 0,25), \\ \mu_{A-A7} &= (0,20 \ 0,28 \ 0,33 \ 0,34 \ 0,25), \\ \mu_{A-A8} &= (0,20 \ 0,30 \ 0,34 \ 0,34 \ 0,24), \\ \mu_{A-B1} &= (0,04 \ 0,17 \ 0,41 \ 0,49 \ 0,16), \\ \mu_{A-B2} &= (0,06 \ 0,25 \ 0,36 \ 0,36 \ 0,26), \\ \mu_{A-B3} &= (0,09 \ 0,22 \ 0,36 \ 0,38 \ 0,23), \\ \mu_{A-B4} &= (0,10 \ 0,20 \ 0,40 \ 0,48 \ 0,19), \\ \mu_{A-B5} &= (0,06 \ 0,21 \ 0,42 \ 0,50 \ 0,13), \\ \mu_{A-B6} &= (0,08 \ 0,23 \ 0,45 \ 0,47 \ 0,13), \\ \mu_{A-C1} &= (0,12 \ 0,23 \ 0,37 \ 0,42 \ 0,27), \\ \mu_{A-C2} &= (0,13 \ 0,24 \ 0,38 \ 0,41 \ 0,20), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mu_{A-C3} &= (0,14 \ 0,25 \ 0,37 \ 0,37 \ 0,26), \\
\mu_{A-C4} &= (0,12 \ 0,22 \ 0,39 \ 0,41 \ 0,21), \\
\mu_{A-C5} &= (0,07 \ 0,20 \ 0,41 \ 0,48 \ 0,15), \\
\mu_{A-C6} &= (0,12 \ 0,18 \ 0,39 \ 0,53 \ 0,12), \\
\mu_{A-C7} &= (0,07 \ 0,21 \ 0,38 \ 0,56 \ 0,11).
\end{aligned}
\tag{8.25}$$

8.3.1.3 Модел *max-min* композиције показатеља сигурности функционисања

Оцена синтезног показатеља сигурност функционисања (D) дозера добијена је фази композицијом парцијалних показатеља поузданост (R), погодност одржавања (M) и логистичка подршка одржавању (MS), применом *max-min* композиције, сходно поглављу 7.3, где ознаке у општем облику модела подразумевају следеће: $V_1 = R$, $V_2 = M$, $V_3 = MS$ и $W = D$.

Процес процене синтезног показатеља D за дозер A_1 приказан је у наставку.

Применом *max-min* композиције за оцену синтезног показатеља D неопходне су фазификоване оцене парцијалних показатеља μ_{R-A_1} , дата у (8.4), μ_{M-A_1} , дата у (8.8) и μ_{MS-A_1} , дата у (8.10):

$$\begin{aligned}
\mu_{R-A_1} &= (0,33 \ 0,39 \ 0,32 \ 0,22 \ 0,15), \\
\mu_{M-A_1} &= (0,07 \ 0,14 \ 0,27 \ 0,43 \ 0,47), \\
\mu_{MS-A_1} &= (0,01 \ 0,10 \ 0,48 \ 0,76 \ 0,17).
\end{aligned}$$

Могуће је направити $K=5^3=125$ комбинација са 125 исхода. За сваки исход одређена је вредност Ω_k . Комбинације прва четири исхода ($\Omega_k=1$) су:

$$\begin{aligned}
1-1-1: D_{1-1-1} &= [0,33 \ 0,07 \ 0,01], \text{ где је } \Omega_{k \ 1-1-1} = (1+1+1) / 3 = 1, \\
1-1-2: D_{1-1-2} &= [0,33 \ 0,07 \ 0,10], \text{ где је } \Omega_{k \ 1-1-2} = (1+1+2) / 3 = 1, \\
1-2-1: D_{1-2-1} &= [0,33 \ 0,14 \ 0,01], \text{ где је } \Omega_{k \ 1-2-1} = (1+2+1) / 3 = 1, \\
2-1-1: D_{2-1-1} &= [0,39 \ 0,07 \ 0,01], \text{ где је } \Omega_{k \ 2-1-1} = (2+1+1) / 3 = 1.
\end{aligned}$$

Детектоване су минималне вредности функција припадности исхода:

$$MIN_{1-1-1} = 0,01 ; MIN_{1-1-2} = 0,07 ; MIN_{1-2-1} = 0,01 ; MIN_{2-1-1} = 0,01.$$

Идентификована је максимална вредност међу претходно детектованим минимумима, $MAX (MIN_{\Omega_k=1}) = 0,07$.

За остале исходе резултати су дати у табели 8.3.1.3, где су подебљаним бројевима означене минималне вредности, а максималне вредности су осенчене.

Сви исходи су груписани на основу величине Ω_k ($\Omega_k = 1, \dots, 5$). Према усвојеним критеријумима и резултатима у табели 8.3.1.3. добијена је оцена сигурности функционисања (D) за дозер A_1 у облику:

$$\mu_{D-A_1} = (0,07 \ 0,27 \ 0,39 \ 0,39 \ 0,17).$$

Оцена показатеља D за дозер A_1 је идентификована као најбоља могућа између најлошије очекиваних парцијалних оцена (R , M и MS).

Табела 8.3.1.3. Структура тах-тип композиције за оцену сигурности функционисања – дозер А1

ω_k	КОМБИНАЦИЈА			μ			ω_k	КОМБИНАЦИЈА			μ		
1	1	1	1	0,33	0,07	0,01	3	3	3	3	0,32	0,27	0,48
	1	1	2	0,33	0,07	0,10		3	3	4	0,32	0,27	0,76
	1	2	1	0,33	0,14	0,01		3	4	1	0,32	0,43	0,01
	2	1	1	0,39	0,07	0,01		3	4	2	0,32	0,43	0,10
2	1	1	3	0,33	0,07	0,48		3	4	3	0,32	0,43	0,48
	1	1	4	0,33	0,07	0,76		3	5	1	0,32	0,47	0,01
	1	1	5	0,33	0,07	0,17		3	5	2	0,32	0,47	0,10
	1	2	2	0,33	0,14	0,10		4	1	3	0,22	0,07	0,48
	1	2	3	0,33	0,14	0,48		4	1	4	0,22	0,07	0,76
	1	2	4	0,33	0,14	0,76		4	1	5	0,22	0,07	0,17
	1	3	1	0,33	0,27	0,01		4	2	2	0,22	0,14	0,10
	1	3	2	0,33	0,27	0,10		4	2	3	0,22	0,14	0,48
	1	3	3	0,33	0,27	0,48		4	2	4	0,22	0,14	0,76
	1	4	1	0,33	0,43	0,01		4	3	1	0,22	0,27	0,01
	1	4	2	0,33	0,43	0,10		4	3	2	0,22	0,27	0,10
	1	5	1	0,33	0,47	0,01		4	3	3	0,22	0,27	0,48
	2	1	2	0,39	0,07	0,10		4	4	1	0,22	0,43	0,01
	2	1	3	0,39	0,07	0,48		4	4	2	0,22	0,43	0,10
	2	1	4	0,39	0,07	0,76		4	5	1	0,22	0,47	0,01
	2	2	1	0,39	0,14	0,01		5	1	2	0,15	0,07	0,10
	2	2	2	0,39	0,14	0,10		5	1	3	0,15	0,07	0,48
	2	2	3	0,39	0,14	0,48		5	1	4	0,15	0,07	0,76
	2	3	1	0,39	0,27	0,01		5	2	1	0,15	0,14	0,01
	2	3	2	0,39	0,27	0,10		5	2	2	0,15	0,14	0,10
	2	4	1	0,39	0,43	0,01		5	2	3	0,15	0,14	0,48
	3	1	1	0,32	0,07	0,01		5	3	1	0,17	0,27	0,01
	3	1	2	0,32	0,07	0,10		5	3	2	0,15	0,27	0,10
	3	1	3	0,32	0,07	0,48		5	4	1	0,17	0,43	0,01
	3	2	1	0,32	0,14	0,01		1	5	5	0,33	0,470	0,17
	3	2	2	0,32	0,14	0,10		2	4	5	0,39	0,429	0,17
	3	3	1	0,32	0,27	0,01		2	5	4	0,39	0,470	0,76
	4	1	1	0,22	0,07	0,01		2	5	5	0,39	0,470	0,17
	4	1	2	0,22	0,07	0,10		3	3	5	0,32	0,274	0,17
	4	2	1	0,22	0,14	0,01		3	4	4	0,32	0,429	0,76
	5	1	1	0,15	0,07	0,01		3	4	5	0,32	0,429	0,17
	3	1	2	5	0,33	0,14		0,17	3	5	3	0,32	0,470	0,48
1		3	4	0,33	0,27	0,76		3	5	4	0,32	0,470	0,76
1		3	5	0,33	0,27	0,17		3	5	5	0,32	0,470	0,17
1		4	3	0,33	0,43	0,48		4	2	5	0,22	0,140	0,17
1		4	4	0,33	0,43	0,76		4	3	4	0,22	0,274	0,76
1		4	5	0,33	0,43	0,17		4	3	5	0,22	0,274	0,17
1		5	2	0,33	0,47	0,10		4	4	3	0,22	0,429	0,48
1		5	3	0,33	0,47	0,48		4	4	4	0,22	0,429	0,76
1		5	4	0,33	0,47	0,76		4	4	5	0,22	0,429	0,17
2		1	5	0,39	0,07	0,17		4	5	2	0,22	0,470	0,10
2		2	4	0,39	0,14	0,76		4	5	3	0,22	0,470	0,48
2		2	5	0,39	0,14	0,17		4	5	4	0,22	0,470	0,76
2		3	3	0,39	0,27	0,48		5	1	5	0,15	0,074	0,17
2		3	4	0,39	0,27	0,76	5	2	4	0,15	0,140	0,76	
2		3	5	0,39	0,27	0,17	5	2	5	0,15	0,140	0,17	
2		4	2	0,39	0,43	0,10	5	3	3	0,15	0,274	0,48	
2		4	3	0,39	0,43	0,48	5	3	4	0,15	0,274	0,76	
2		4	4	0,39	0,43	0,76	5	3	5	0,15	0,274	0,17	
2		5	1	0,39	0,47	0,10	5	4	2	0,15	0,429	0,10	

	2	5	2	0,39	0,47	0,10		5	4	3	0,15	0,429	0,48	
	2	5	3	0,39	0,47	0,48		5	4	4	0,15	0,429	0,76	
	3	1	4	0,32	0,07	0,76		5	5	1	0,15	0,470	0,01	
	3	1	5	0,32	0,07	0,17		5	5	2	0,15	0,470	0,10	
	3	2	3	0,32	0,14	0,48		5	5	3	0,15	0,470	0,48	
	3	2	4	0,32	0,14	0,76		5	4	5	5	0,22	0,47	0,17
	3	2	5	0,32	0,14	0,17			5	4	5	0,15	0,43	0,17
	3	3	2	0,32	0,27	0,10			5	5	4	0,15	0,47	0,76
						5	5		5	0,15	0,47	0,17		

Идентичним поступком добијене су оцене сигурности функционисања (D) за све посматране машине, а овде су дате коначне оцене у следећем облику:

$$\begin{aligned}
\mu_{D-A1} &= (0,07 \ 0,27 \ 0,39 \ 0,39 \ 0,17), \\
\mu_{D-A2} &= (0,03 \ 0,31 \ 0,38 \ 0,34 \ 0,15), \\
\mu_{D-A3} &= (0,15 \ 0,27 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,14), \\
\mu_{D-A4} &= (0,10 \ 0,25 \ 0,35 \ 0,35 \ 0,19), \\
\mu_{D-A5} &= (0,13 \ 0,32 \ 0,40 \ 0,34 \ 0,13), \\
\mu_{D-A6} &= (0,13 \ 0,28 \ 0,37 \ 0,37 \ 0,16), \\
\mu_{D-A7} &= (0,15 \ 0,28 \ 0,34 \ 0,34 \ 0,20), \\
\mu_{D-A8} &= (0,20 \ 0,31 \ 0,34 \ 0,30 \ 0,15), \\
\mu_{D-B1} &= (0,04 \ 0,19 \ 0,49 \ 0,49 \ 0,14), \\
\mu_{D-B2} &= (0,06 \ 0,25 \ 0,36 \ 0,36 \ 0,19), \\
\mu_{D-B3} &= (0,03 \ 0,22 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,22), \\
\mu_{D-B4} &= (0,08 \ 0,20 \ 0,48 \ 0,48 \ 0,18), \\
\mu_{D-B5} &= (0,06 \ 0,21 \ 0,50 \ 0,50 \ 0,09), \\
\mu_{D-B6} &= (0,02 \ 0,40 \ 0,47 \ 0,28 \ 0,06), \\
\mu_{D-C1} &= (0,12 \ 0,23 \ 0,37 \ 0,42 \ 0,14), \\
\mu_{D-C2} &= (0,13 \ 0,24 \ 0,41 \ 0,34 \ 0,12), \\
\mu_{D-C3} &= (0,05 \ 0,25 \ 0,37 \ 0,37 \ 0,19), \\
\mu_{D-C4} &= (0,05 \ 0,22 \ 0,40 \ 0,41 \ 0,20), \\
\mu_{D-C5} &= (0,07 \ 0,40 \ 0,48 \ 0,35 \ 0,07), \\
\mu_{D-C6} &= (0,12 \ 0,18 \ 0,53 \ 0,49 \ 0,08), \\
\mu_{D-C7} &= (0,05 \ 0,21 \ 0,39 \ 0,56 \ 0,11).
\end{aligned}$$

(8.26)

8.3.1.4 Модел *min-max* композиције индикатора озбиљности отказа

Оцена показатеља озбиљност отказа (S) дозера добијена је фази композицијом утицајних индикатора, времена потребног за отклањање квара (S_i) (сагледава се преко погодности одржавања (M)), утицаја отказа на радно окружење (S_{ro}) и утицаја отказа на животну средину (S_{zs}), применом *min-max* композиције, сходно поглављу 7.3, где ознаке у општем облику модела подразумевају следеће: $V_1 = M$, $V_2 = S_{ro}$, $V_3 = S_{zs}$ и $W = S$.

Процес процене показатеља S за дозер А1 приказан је у наставку.

Применом *min-max* композиције за оцену показатеља S неопходне су фазификоване оцене утицајних индикатора μ_{M-A1} , дата у (8.8), $\mu_{S_{ro}-A1}$, дата у (8.17) и $\mu_{S_{zs}-A1}$, дата у (8.18):

$$\begin{aligned}
\mu_{M-A1} &= (0,07 \ 0,14 \ 0,27 \ 0,43 \ 0,47), \\
\mu_{S_{ro}-A1} &= (0,01 \ 0,24 \ 0,85 \ 0,36 \ 0,04), \\
\mu_{S_{zs}-A1} &= (0,20 \ 0,82 \ 0,36 \ 0,12 \ 0,02).
\end{aligned}$$

Могуће је направити $K=5^3=125$ комбинација са 125 исхода. За сваки исход одређена је вредност ω_k . Комбинације прва четири исхода ($\omega_k=1$) су:

1-1-1: $S_{1-1-1} = [0,07 \ 0,01 \ 0,20]$, где је $\omega_{k \ 1-1-1} = (1+1+1) / 3 = 1$,

1-1-2: $S_{1-1-2} = [0,07 \ 0,01 \ 0,82]$, где је $\omega_{k \ 1-1-2} = (1+1+2) / 3 = 1$,

1-2-1: $S_{1-2-1} = [0,07 \ 0,24 \ 0,20]$, где је $\omega_{k \ 1-2-1} = (1+2+1) / 3 = 1$,

2-1-1: $S_{2-1-1} = [0,14 \ 0,01 \ 0,20]$, где је $\omega_{k \ 2-1-1} = (2+1+1) / 3 = 1$.

Детектоване су максималне вредности функција припадности исхода:

$MAX_{1-1-1} = 0,20$; $MAX_{1-1-2} = 0,82$; $MAX_{1-2-1} = 0,24$; $MAX_{2-1-1} = 0,20$.

Идентификована је минимална вредност међу претходно детектованим максимумима, $MIN(MAX_{\omega_k=1}) = 0,20$.

За остале исходе резултати су дати у табели 8.3.1.4, где су подебљаним бројевима означене максималне вредности, а минималне вредности су осенчене.

Сви исходи су груписани на основу величине ω_k ($\omega_k = 1, \dots, 5$). Према усвојеним критеријумима и резултатима у табели 8.3.1.4. добијена је оцена озбиљност отказа (S) за дозер А1 у облику:

$\mu_{S-A1} = (0,20 \ 0,07 \ 0,12 \ 0,07 \ 0,43)$.

Оцена показатеља S за дозер А1 је идентификована као најлошија оцена од најбоље очекиваних парцијалних оцена (M, S_{ro} и S_{zs}).

Табела 8.3.1.4. Структура min-max композиције за оцену озбиљности отказа - дозер А1

ω_k	КОМБИНАЦИЈА			μ			ω_k	КОМБИНАЦИЈА			μ		
1	1	1	1	0,07	0,01	0,20	3	3	3	3	0,27	0,85	0,36
	1	1	2	0,07	0,01	0,82		3	3	4	0,27	0,85	0,12
	1	2	1	0,07	0,24	0,20		3	4	1	0,27	0,36	0,20
	2	1	1	0,14	0,01	0,20		3	4	2	0,27	0,36	0,82
2	1	1	3	0,07	0,01	0,36		3	4	3	0,27	0,36	0,36
	1	1	4	0,07	0,01	0,12		3	5	1	0,27	0,04	0,20
	1	1	5	0,07	0,01	0,02		3	5	2	0,27	0,04	0,82
	1	2	2	0,07	0,24	0,82		4	1	3	0,43	0,01	0,36
	1	2	3	0,07	0,24	0,36		4	1	4	0,43	0,01	0,12
	1	2	4	0,07	0,24	0,12		4	1	5	0,43	0,01	0,02
	1	3	1	0,07	0,85	0,20		4	2	2	0,43	0,24	0,82
	1	3	2	0,07	0,85	0,82		4	2	3	0,43	0,24	0,36
	1	3	3	0,07	0,85	0,36		4	2	4	0,43	0,24	0,12
	1	4	1	0,07	0,36	0,20		4	3	1	0,43	0,85	0,20
	1	4	2	0,07	0,36	0,82		4	3	2	0,43	0,85	0,82
	1	5	1	0,07	0,04	0,20		4	3	3	0,43	0,85	0,36
	2	1	2	0,14	0,01	0,82	4	4	1	0,43	0,36	0,20	
	2	1	3	0,14	0,01	0,36	4	4	2	0,43	0,36	0,82	
	2	1	4	0,14	0,01	0,12	4	5	1	0,43	0,04	0,20	
	2	2	1	0,14	0,24	0,20	5	1	2	0,47	0,01	0,82	
	2	2	2	0,14	0,24	0,82	5	1	3	0,47	0,01	0,36	
	2	2	3	0,14	0,24	0,36	5	1	4	0,47	0,01	0,12	
	2	3	1	0,14	0,85	0,20	5	2	1	0,47	0,24	0,20	
	2	3	2	0,14	0,85	0,82	5	2	2	0,47	0,24	0,82	
2	4	1	0,14	0,36	0,20	5	2	3	0,47	0,24	0,36		
3	1	1	0,27	0,01	0,20	5	3	1	0,02	0,85	0,20		
3	1	2	0,27	0,01	0,82	5	3	2	0,47	0,85	0,82		
3	1	3	0,27	0,01	0,36	5	4	1	0,02	0,36	0,20		
3	2	1	0,27	0,24	0,20	4	1	5	5	0,07	0,04	0,02	
3	2	2	0,27	0,24	0,82		2	4	5	0,14	0,36	0,02	

	3	3	1	0,27	0,85	0,20		2	5	4	0,14	0,04	0,12
	4	1	1	0,43	0,01	0,20		2	5	5	0,14	0,04	0,02
	4	1	2	0,43	0,01	0,82		3	3	5	0,27	0,85	0,02
	4	2	1	0,43	0,24	0,20		3	4	4	0,27	0,36	0,12
	5	1	1	0,47	0,01	0,20		3	4	5	0,27	0,36	0,02
3	1	2	5	0,07	0,24	0,02	3	5	3	0,27	0,04	0,36	
	1	3	4	0,07	0,85	0,12	3	5	4	0,27	0,04	0,12	
	1	3	5	0,07	0,85	0,02	3	5	5	0,27	0,04	0,02	
	1	4	3	0,07	0,36	0,36	4	2	5	0,43	0,24	0,02	
	1	4	4	0,07	0,36	0,12	4	3	4	0,43	0,85	0,12	
	1	4	5	0,07	0,36	0,02	4	3	5	0,43	0,85	0,02	
	1	5	2	0,07	0,04	0,82	4	4	3	0,43	0,36	0,36	
	1	5	3	0,07	0,04	0,36	4	4	4	0,43	0,36	0,12	
	1	5	4	0,07	0,04	0,12	4	4	5	0,43	0,36	0,02	
	2	1	5	0,14	0,01	0,02	4	5	2	0,43	0,04	0,82	
	2	2	4	0,14	0,24	0,12	4	5	3	0,43	0,04	0,36	
	2	2	5	0,14	0,24	0,02	4	5	4	0,43	0,04	0,12	
	2	3	3	0,14	0,85	0,36	5	1	5	0,47	0,01	0,02	
	2	3	4	0,14	0,85	0,12	5	2	4	0,47	0,24	0,12	
	2	3	5	0,14	0,85	0,02	5	2	5	0,47	0,24	0,02	
	2	4	2	0,14	0,36	0,82	5	3	3	0,47	0,85	0,36	
	2	4	3	0,14	0,36	0,36	5	3	4	0,47	0,85	0,12	
	2	4	4	0,14	0,36	0,12	5	3	5	0,47	0,85	0,02	
	2	5	1	0,14	0,04	0,82	5	4	2	0,47	0,36	0,82	
	2	5	2	0,14	0,04	0,82	5	4	3	0,47	0,36	0,36	
	2	5	3	0,14	0,04	0,36	5	4	4	0,47	0,36	0,12	
	3	1	4	0,27	0,01	0,12	5	5	1	0,47	0,04	0,20	
	3	1	5	0,27	0,01	0,02	5	5	2	0,47	0,04	0,82	
	3	2	3	0,27	0,24	0,36	5	5	3	0,47	0,04	0,36	
	3	2	4	0,27	0,24	0,12	5	4	5	5	0,43	0,04	0,02
	3	2	5	0,27	0,24	0,02		5	4	5	0,47	0,36	0,02
	3	3	2	0,27	0,85	0,82		5	5	4	0,47	0,04	0,12
								5	5	5	0,47	0,04	0,02

Идентичним поступком добијене су оцене озбиљности отказа (S) за све посматране машине, а овде су дате коначне оцене у следећем облику:

$$\begin{aligned}
\mu_{S-A1} &= (0,20 \ 0,07 \ 0,12 \ 0,07 \ 0,43), \\
\mu_{S-A2} &= (0,14 \ 0,13 \ 0,21 \ 0,13 \ 0,34), \\
\mu_{S-A3} &= (0,15 \ 0,15 \ 0,21 \ 0,15 \ 0,38), \\
\mu_{S-A4} &= (0,10 \ 0,10 \ 0,16 \ 0,12 \ 0,43), \\
\mu_{S-A5} &= (0,10 \ 0,10 \ 0,16 \ 0,10 \ 0,41), \\
\mu_{S-A6} &= (0,15 \ 0,15 \ 0,21 \ 0,15 \ 0,37), \\
\mu_{S-A7} &= (0,20 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,25), \\
\mu_{S-A8} &= (0,20 \ 0,20 \ 0,24 \ 0,20 \ 0,30), \\
\mu_{S-B1} &= (0,08 \ 0,17 \ 0,07 \ 0,07 \ 0,41), \\
\mu_{S-B2} &= (0,11 \ 0,25 \ 0,11 \ 0,11 \ 0,48), \\
\mu_{S-B3} &= (0,13 \ 0,18 \ 0,13 \ 0,13 \ 0,40), \\
\mu_{S-B4} &= (0,13 \ 0,20 \ 0,13 \ 0,13 \ 0,40), \\
\mu_{S-B5} &= (0,10 \ 0,21 \ 0,10 \ 0,10 \ 0,42), \\
\mu_{S-B6} &= (0,12 \ 0,15 \ 0,12 \ 0,12 \ 0,41), \\
\mu_{S-C1} &= (0,12 \ 0,12 \ 0,16 \ 0,12 \ 0,37), \\
\mu_{S-C2} &= (0,17 \ 0,23 \ 0,17 \ 0,17 \ 0,38),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mu_{S-C3} &= (0,17 \ 0,25 \ 0,17 \ 0,17 \ 0,37), \\
\mu_{S-C4} &= (0,16 \ 0,17 \ 0,16 \ 0,16 \ 0,39), \\
\mu_{S-C5} &= (0,00 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,41), \\
\mu_{S-C6} &= (0,13 \ 0,18 \ 0,13 \ 0,13 \ 0,39), \\
\mu_{S-C7} &= (0,00 \ 0,21 \ 0,21 \ 0,21 \ 0,38).
\end{aligned}
\tag{8.27}$$

8.3.1.5 Модел *min-max* композиције показатеља ризика

Оцена синтезног показатеља ризик (R_i) дозера добијена је фази композицијом парцијалних показатеља озбиљности отказа (S), учесталости појављивања отказа (O) (сагледава се преко поузданости (R)) и детектабилности (D_t), применом *min-max* композиције, сходно поглављу 7.3, где ознаке у општем облику модела подразумевају следеће: $V_1 = S$, $V_2 = R$, $V_3 = D_t$ и $W = R_i$.

Процес процене показатеља R_i за дозер А1 приказан је у наставку.

Применом *min-max* композиције за оцену показатеља R_i неопходне су фазификоване оцене утицајних показатеља μ_{S-A1} , дата у (8.27), μ_{R-A1} , дата у (8.4) и μ_{D_t-A1} , дата у (8.19):

$$\begin{aligned}
\mu_{S-A1} &= (0,20 \ 0,07 \ 0,12 \ 0,07 \ 0,43), \\
\mu_{R-A1} &= (0,33 \ 0,39 \ 0,32 \ 0,22 \ 0,15), \\
\mu_{D_t-A1} &= (0,40 \ 0,85 \ 0,20 \ 0,00 \ 0,00).
\end{aligned}$$

Могуће је направити $K=5^3=125$ комбинација са 73 исхода. За сваки исход одређена је вредност Ω_k . Комбинације прва четири исхода ($\Omega_{k=1}$) су:

$$\begin{aligned}
1-1-1: R_{i \ 1-1-1} &= [0,33 \ 0,20 \ 0,40], \text{ где је } \Omega_{k \ 1-1-1} = (1+1+1) / 3 = 1, \\
1-1-2: R_{i \ 1-1-2} &= [0,33 \ 0,20 \ 0,85], \text{ где је } \Omega_{k \ 1-1-2} = (1+1+2) / 3 = 1, \\
1-2-1: R_{i \ 1-2-1} &= [0,33 \ 0,07 \ 0,40], \text{ где је } \Omega_{k \ 1-2-1} = (1+2+1) / 3 = 1, \\
2-1-1: R_{i \ 2-1-1} &= [0,39 \ 0,20 \ 0,40], \text{ где је } \Omega_{k \ 2-1-1} = (2+1+1) / 3 = 1.
\end{aligned}$$

Детектоване су максималне вредности функција припадности исхода:

$$MAX_{1-1-1} = 0,40 ; MAX_{1-1-2} = 0,85 ; MAX_{1-2-1} = 0,40 ; MAX_{2-1-1} = 0,40.$$

Идентификована је минимална вредност међу претходно детектованим максимумима, $MIN(MAX_{\Omega_{k=1}}) = 0,40$.

За остале исходе резултати су дати у табели 8.3.1.5, где су подебљаним бројевима означене максималне вредности, а минималне вредности су осенчене.

Сви исходи су груписани на основу величине Ω_k ($\Omega_k = 1, \dots, 5$), Према усвојеним критеријумима и резултатима у табели 8.3.1.5 добијена је оцена ризик (R_i) за дозер А1 у облику:

$$\mu_{R_i-A1} = (0,40 \ 0,32 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,00).$$

Оцена показатеља R_i за дозер А1 је идентификована као најлошија оцена од најбоље очекиваних парцијалних оцена (S , R и D_t)

Табела 8.3.1.5. Структура min-max композиције за оцену ризика - дозер А1

Ω	КОМБИНАЦИЈА			μ			Ω	КОМБИНАЦИЈА			μ		
1	1	1	1	0,33	0,20	0,40	3	2	4	3	0,39	0,07	0,20
	1	1	2	0,33	0,20	0,85		2	5	1	0,39	0,43	0,85
	1	2	1	0,33	0,07	0,40		2	5	2	0,39	0,43	0,85
	2	1	1	0,39	0,20	0,40		2	5	3	0,39	0,43	0,20
2	1	1	3	0,33	0,20	0,20		3	2	3	0,32	0,07	0,20
	1	2	2	0,33	0,07	0,85		3	3	2	0,32	0,12	0,85
	1	2	3	0,33	0,07	0,20		3	3	3	0,32	0,12	0,20
	1	3	1	0,33	0,12	0,40		3	4	1	0,32	0,07	0,40
	1	3	2	0,33	0,12	0,85		3	4	2	0,32	0,07	0,85
	1	3	3	0,33	0,12	0,20		3	4	3	0,32	0,07	0,20
	1	4	1	0,33	0,07	0,40		3	5	1	0,32	0,43	0,40
	1	4	2	0,33	0,07	0,85		3	5	2	0,32	0,43	0,85
	1	5	1	0,33	0,43	0,40		4	1	3	0,22	0,20	0,20
	2	1	2	0,39	0,20	0,85		4	2	2	0,22	0,07	0,85
	2	1	3	0,39	0,20	0,20		4	2	3	0,22	0,07	0,20
	2	2	1	0,39	0,07	0,40		4	3	1	0,22	0,12	0,40
	2	2	2	0,39	0,07	0,85		4	3	2	0,22	0,12	0,85
	2	2	3	0,39	0,07	0,20		4	3	3	0,22	0,12	0,20
	2	3	1	0,39	0,12	0,40		4	4	1	0,22	0,07	0,40
	2	3	2	0,39	0,12	0,85		4	4	2	0,22	0,07	0,85
	2	4	1	0,39	0,07	0,40	4	5	1	0,22	0,43	0,40	
	3	1	1	0,32	0,20	0,40	5	1	2	0,15	0,20	0,85	
	3	1	2	0,32	0,20	0,85	5	1	3	0,15	0,20	0,20	
	3	1	3	0,32	0,20	0,20	5	2	1	0,15	0,07	0,40	
3	2	1	0,32	0,07	0,40	5	2	2	0,15	0,07	0,85		
3	2	2	0,32	0,07	0,85	5	2	3	0,15	0,07	0,20		
3	3	1	0,32	0,12	0,40	5	3	2	0,15	0,12	0,85		
4	1	1	0,22	0,20	0,40	3	5	3	0,32	0,43	0,20		
4	1	2	0,22	0,20	0,85	4	4	3	0,22	0,07	0,20		
4	2	1	0,22	0,07	0,40	4	5	2	0,22	0,43	0,85		
5	1	1	0,15	0,20	0,40	4	5	3	0,22	0,43	0,20		
3	1	4	3	0,33	0,07	0,20	5	3	3	0,15	0,12	0,20	
	1	5	2	0,33	0,43	0,85	5	4	2	0,15	0,07	0,85	
	1	5	3	0,33	0,43	0,20	5	4	3	0,15	0,07	0,20	
	2	3	3	0,39	0,12	0,20	5	5	1	0,15	0,43	0,40	
	2	4	2	0,39	0,07	0,85	5	5	2	0,15	0,43	0,85	
						5	5	3	0,15	0,43	0,20		

Идентичним поступком добијене су оцене ризикаа (R_i) за све посматране машине, а овде су дате коначне оцене у следећем облику:

$$\begin{aligned} \mu_{Ri-A1} &= (0,40 \ 0,32 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,00), \\ \mu_{Ri-A2} &= (0,43 \ 0,31 \ 0,19 \ 0,19 \ 0,00), \\ \mu_{Ri-A3} &= (0,51 \ 0,32 \ 0,17 \ 0,17 \ 0,00), \\ \mu_{Ri-A4} &= (0,43 \ 0,27 \ 0,19 \ 0,19 \ 0,00), \\ \mu_{Ri-A5} &= (0,46 \ 0,32 \ 0,18 \ 0,18 \ 0,00), \\ \mu_{Ri-A6} &= (0,45 \ 0,29 \ 0,16 \ 0,16 \ 0,37), \\ \mu_{Ri-A7} &= (0,52 \ 0,24 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,00), \\ \mu_{Ri-A8} &= (0,46 \ 0,30 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,00), \\ \mu_{Ri-B1} &= (0,36 \ 0,32 \ 0,08 \ 0,07 \ 0,41), \\ \mu_{Ri-B2} &= (0,42 \ 0,26 \ 0,17 \ 0,17 \ 0,48), \\ \mu_{Ri-B3} &= (0,44 \ 0,32 \ 0,15 \ 0,15 \ 0,40), \\ \mu_{Ri-B4} &= (0,45 \ 0,31 \ 0,13 \ 0,13 \ 0,40), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mu_{Ri-B5} &= (0,42 \ 0,31 \ 0,10 \ 0,10 \ 0,42) , \\
\mu_{Ri-B6} &= (0,45 \ 0,27 \ 0,12 \ 0,12 \ 0,41) , \\
\mu_{Ri-C1} &= (0,40 \ 0,23 \ 0,14 \ 0,14 \ 0,37) , \\
\mu_{Ri-C2} &= (0,36 \ 0,31 \ 0,17 \ 0,17 \ 0,38) , \\
\mu_{Ri-C3} &= (0,33 \ 0,26 \ 0,17 \ 0,17 \ 0,37) , \\
\mu_{Ri-C4} &= (0,34 \ 0,33 \ 0,16 \ 0,16 \ 0,39) , \\
\mu_{Ri-C5} &= (0,40 \ 0,36 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,41) , \\
\mu_{Ri-C6} &= (0,39 \ 0,30 \ 0,13 \ 0,13 \ 0,39) , \\
\mu_{Ri-C7} &= (0,37 \ 0,28 \ 0,21 \ 0,21 \ 0,38) .
\end{aligned}
\tag{8.28}$$

8.3.2 Фази композиција техничких и економских показатеља употребног квалитета дозера - модел композиције у форми картезијанског производа - II ниво синтезе

На II нивоу синтезе извршена је фази композиција техничких и економских показатеља, односно синтезних показатеља употребног квалитета дозера (ефективност, расположивост, сигурност функционисања, ризик) и трошкова, (поглавље 7.3).

Примењен је модел композиције у форми картезијанског производа који је реализован у два корака: пропозиција (дефинисање лингвистичких променљивих за оцену употребног квалитета дозера на овом нивоу синтезе) и композиција (дефинисање исхода у форми картезијанског производа - уређених парова).

Синтезна оцена одређеног техничког и економског показатеља употребног квалитета дозера добијена је применом *max-min* фази композиције, третирањем сваког исхода, дефинисаног за сваку могућу комбинацију-уређени пар.

8.3.2.1 Фази композиција показатеља "ефективност–трошкови"

8.3.2.1.1 Пропозиција показатеља "ефективност–трошкови"

Синтезни показатељ ефективност (E) дефинисан је са пет фази скупова и лингвистичких променљивих које карактеришу стања дозера током експлоатационог века, у зависности од учесталости кварова, потребног времена за повратак у радно стање, флексибилности и способности прилагођавања условима радне средине и степена задовољења функционалних захтева (поглавље 8.3.1.1):

$$\begin{aligned}
E_{(1)} &- \text{"ЛОША"}, \\
E_{(2)} &- \text{"ПРИХВАТЉИВА"}, \\
E_{(3)} &- \text{"ПРОСЕЧНА"}, \\
E_{(4)} &- \text{"ДОБРА"}, \\
E_{(5)} &- \text{"ОДЛИЧНА"} .
\end{aligned}$$

Економски показатељи на бази трошкова (C) дефинисани су са пет фази скупова и лингвистичких променљивих за процену перформанси дозера у зависности од висине трошкова животног циклуса (трошкови власништва, оперативни трошкови, трошкови руковоаца), сходно поглављу 8.2.2.3.

$$\begin{aligned}
C_{(1)} &- \text{"ЕКСТРЕМНО ВИСОКИ"}, \\
C_{(2)} &- \text{"ВИСОКИ"}, \\
C_{(3)} &- \text{"УМЕРЕНИ"}, \\
C_{(4)} &- \text{"НИСКИ"}, \\
C_{(5)} &- \text{"ВЕОМА НИСКИ"} .
\end{aligned}$$

Синтезни показатељ "ефективност–трошкови" (EC) дефинисан је са пет лингвистичких променљивих за оцену употребног квалитета на овом нивоу синтезе, у односу на ефективност (E) и трошкове (C) дозера:

- $EC_{(1)}$ - Низак ниво ефективности, трошкови веома ниски до екстремно високи;
- $EC_{(2)}$ - Солидан ниво ефективности, трошкови високи до екстремно високи;
- $EC_{(3)}$ - Солидан ниво ефективности, трошкови веома ниски до умерени;
- $EC_{(4)}$ - Висок ниво ефективности, трошкови веома ниски до ниски;
- $EC_{(5)}$ - Веома висок ниво ефективности, трошкови веома ниски до ниски.

8.3.2.1.2 Композиција: картезијански производ "ефективност–трошкови"

На бази експертске процене дефинисани су могући исходи, дати у форми картезијанског (Декартовог) производа над фази скуповима показатеља ефективност (E) и трошкови (C), при чему су добијени уређени парови EC , као репрезенти употребног квалитета дозера на овом нивоу синтезе, сходно поглављу 7.3 где ознаке у општем облику модела подразумевају следеће: $W = E$ и $Q = EC$.

Картезијански производ скупа E (ефективност) и C (трошкови) у ознаци $E \times C$, представља скуп свих могућих уређених парова код којих је први члан елемент скупа E , а други члан елемент скупа C .

Модел композиције приказан је табеларно (табела 8.3.2.1.2). Дефинисан је на основу следеће фази логичке шеме:

АКО $((E_{(1)} \times C_{(1)}) \vee (E_{(1)} \times C_{(2)}) \vee (E_{(1)} \times C_{(3)}) \vee (E_{(1)} \times C_{(4)}) \vee (E_{(1)} \times C_{(5)}) \vee (E_{(2)} \times C_{(1)}) \vee (E_{(2)} \times C_{(2)}) \vee (E_{(2)} \times C_{(3)}) \vee (E_{(2)} \times C_{(4)}) \vee (E_{(2)} \times C_{(5)}))$ ОНДА $EC_{(1)}$;

АКО $((E_{(3)} \times C_{(1)}) \vee (E_{(3)} \times C_{(2)}) \vee (E_{(4)} \times C_{(1)}) \vee (E_{(4)} \times C_{(2)}) \vee (E_{(5)} \times C_{(1)}) \vee (E_{(5)} \times C_{(2)}))$ ОНДА $EC_{(2)}$;

АКО $((E_{(3)} \times C_{(3)}) \vee (E_{(3)} \times C_{(4)}) \vee (E_{(3)} \times C_{(5)}) \vee (E_{(4)} \times C_{(3)}) \vee (E_{(5)} \times C_{(3)}))$ ОНДА $EC_{(3)}$;

АКО $((E_{(4)} \times C_{(4)}) \vee (E_{(4)} \times C_{(5)}))$ ОНДА $EC_{(4)}$;

АКО $((E_{(5)} \times C_{(4)}) \vee (E_{(5)} \times C_{(5)}))$ ОНДА $EC_{(5)}$.

Табела 8.3.2.1.2. Модел композиције: картезијански производ "ефективност-трошкови"

ЕФЕКТИВНОСТ – ТРОШКОВИ				ТРОШКОВИ (C)					
				j					
E x C (EC)				1	2	3	4	5	
				C ₍₁₎	C ₍₂₎	C ₍₃₎	C ₍₄₎	C ₍₅₎	
				"ЕКСТРЕМНО ВИСОКИ"	"ВИСОКИ"	"УМЕРЕНИ"	"НИСКИ"	"ВЕОМА НИСКИ"	
ЕФЕКТИВНОСТ (E)	j	1	$E_{(1)}$	"ЛОША"	$EC_{(1)}$	$EC_{(1)}$	$EC_{(1)}$	$EC_{(1)}$	$EC_{(1)}$
		2	$E_{(2)}$	"ПРИХВАТЉИВА"	$EC_{(1)}$	$EC_{(1)}$	$EC_{(1)}$	$EC_{(1)}$	$EC_{(1)}$
		3	$E_{(3)}$	"ПРОСЕЧНА"	$EC_{(2)}$	$EC_{(2)}$	$EC_{(3)}$	$EC_{(3)}$	$EC_{(3)}$
		4	$E_{(4)}$	"ДОБРА"	$EC_{(2)}$	$EC_{(2)}$	$EC_{(3)}$	$EC_{(4)}$	$EC_{(4)}$
		5	$E_{(5)}$	"ОДЛИЧНА"	$EC_{(2)}$	$EC_{(2)}$	$EC_{(3)}$	$EC_{(5)}$	$EC_{(5)}$

Процес дефинисања исхода у форми картезијанског производа (уређених парова) показатеља ефективност (E) и трошкови (C) за дозер А1 приказан је у наставку.

За композицију ефективности (E) и трошкова (C) у форми картезијанског производа (EC), неопходне су фазификоване оцене показатеља μ_{E-A1} , дата у (8.24) и μ_{C-A1} , дата у (8.23):

$$\begin{aligned}\mu_{E-A1} &= (0,07 \ 0,27 \ 0,39 \ 0,39 \ 0,15), \\ \mu_{C-A1} &= (0,05 \ 0,35 \ 0,75 \ 0,31 \ 0,04).\end{aligned}$$

Број могућих комбинација, односно уређених парова EC је $P=5^2=25$ комбинација, са 25 идентификованих исхода. На бази експертске процене за сваку комбинацију утврђен је исход сходно дефинисаним лингвистичким променљивим за оцену употребног квалитета на овом нивоу синтезе.

Идентификовани и груписани исходи-уређени парови "ефективност-трошкови", $EC_{(1)}$, ..., $EC_{(5)}$, за дозер А1 приказани су у табели 8.3.2.1.3.

8.3.2.1.3 Модел *max-min* композиције "ефективност-трошкови"

Синтезна оцена "ефективност-трошкови" (EC) дозера добијена је применом *max-min* фази композиције, третирањем сваког исхода, дефинисаног за сваку могућу комбинацију-уређени пар, где ознаке у општем облику модела подразумевају следеће: $Q_{(1)} = EC_{(1)}$, $Q_{(2)} = EC_{(2)}$, ..., $Q_{(5)} = EC_{(5)}$ и $Q = EC$.

Комбинације (уређени парови) исхода $EC_{(1)}$ за дозер А1 су:

$$\begin{aligned}1-1: EC_{1-1} &= [0,07 \ 0,05], & 2-1: EC_{2-1} &= [0,27 \ 0,05], \\ 1-2: EC_{1-2} &= [0,07 \ 0,35], & 2-2: EC_{2-2} &= [0,27 \ 0,35], \\ 1-3: EC_{1-3} &= [0,07 \ 0,75], & 2-3: EC_{2-3} &= [0,27 \ 0,75], \\ 1-4: EC_{1-4} &= [0,07 \ 0,31], & 2-4: EC_{2-4} &= [0,27 \ 0,31], \\ 1-5: EC_{1-5} &= [0,07 \ 0,04], & 2-5: EC_{2-5} &= [0,27 \ 0,04].\end{aligned}$$

Детектоване су минималне вредности функција припадности исхода $EC_{(1)}$:

$$\begin{aligned}MIN_{1-1} &= 0,05 ; MIN_{1-2} = 0,07 ; MIN_{1-3} = 0,07 ; MIN_{1-4} = 0,07 ; MIN_{1-5} = 0,04 ; \\ MIN_{2-1} &= 0,05 ; MIN_{2-2} = 0,27 ; MIN_{2-3} = 0,27 ; MIN_{2-4} = 0,27 ; MIN_{2-5} = 0,04 .\end{aligned}$$

Идентификована је максимална вредност међу претходно детектованим минимумима, $MAX(MIN_{EC(1)}) = 0,27$.

За остале исходе резултати су дати у табели 8.3.2.1.3. где су подебљаним бројевима означене минималне вредности, а максималне вредности су осенчене.

Сви исходи су груписани на бази експертске процене, $EC_{(1)}$, ..., $EC_{(5)}$. Према усвојеним критеријумима и резултатима у табели 8.2.2.3.2 добијена је синтезна оцена "ефективност-трошкови" (EC) за дозер А1 у облику:

$$\mu_{EC-A1} = (0,27 \ 0,35 \ 0,39 \ 0,31 \ 0,15).$$

Синтезна оцена "ефективност-трошкови" (EC) је идентификована као најбоља могућа између најлошије очекиваних парцијалних оцена (E и C).

Табела 8.3.2.1.3. Исходи - уређени парови "ефективност-трошкови", структура max-min композиције за синтезну оцену EC- дозер А1

ИСХОД	КОМБИНАЦИЈА		Уређени пар	
			μ_{EC}	
$EC_{(1)}$	1	1	0,07	0,05
$EC_{(1)}$	1	2	0,07	0,35
$EC_{(1)}$	1	3	0,07	0,75
$EC_{(1)}$	1	4	0,07	0,31
$EC_{(1)}$	1	5	0,07	0,04
$EC_{(1)}$	2	1	0,27	0,05
$EC_{(1)}$	2	2	0,27	0,35
$EC_{(1)}$	2	3	0,27	0,75
$EC_{(1)}$	2	4	0,27	0,31
$EC_{(1)}$	2	5	0,27	0,04
$EC_{(2)}$	3	1	0,39	0,05
$EC_{(2)}$	3	2	0,39	0,35
$EC_{(2)}$	4	1	0,39	0,05
$EC_{(2)}$	4	2	0,39	0,35
$EC_{(2)}$	5	1	0,15	0,05
$EC_{(2)}$	5	2	0,15	0,35
$EC_{(3)}$	3	3	0,39	0,75
$EC_{(3)}$	3	4	0,39	0,31
$EC_{(3)}$	3	5	0,39	0,04
$EC_{(3)}$	4	3	0,39	0,75
$EC_{(3)}$	5	3	0,15	0,75
$EC_{(4)}$	4	4	0,39	0,31
$EC_{(4)}$	4	5	0,39	0,04
$EC_{(5)}$	5	4	0,15	0,31
$EC_{(5)}$	5	5	0,15	0,04

Идентичним поступком добијене су синтезне оцене "ефективност-трошкови" (EC) за све посматране машине, а овде су дате коначне оцене у следећем облику:

$$\begin{aligned} \mu_{EC-A1} &= (0,27 \ 0,35 \ 0,39 \ 0,31 \ 0,15), \\ \mu_{EC-A2} &= (0,38 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,23 \ 0,02), \\ \mu_{EC-A3} &= (0,25 \ 0,11 \ 0,35 \ 0,35 \ 0,19), \\ \mu_{EC-A4} &= (0,27 \ 0,11 \ 0,35 \ 0,34 \ 0,12), \\ \mu_{EC-A5} &= (0,24 \ 0,40 \ 0,05 \ 0,00 \ 0,00), \\ \mu_{EC-A6} &= (0,37 \ 0,05 \ 0,37 \ 0,25 \ 0,00), \\ \mu_{EC-A7} &= (0,33 \ 0,34 \ 0,34 \ 0,30 \ 0,20), \\ \mu_{EC-A8} &= (0,30 \ 0,34 \ 0,11 \ 0,00 \ 0,00), \\ \mu_{EC-B1} &= (0,36 \ 0,00 \ 0,49 \ 0,35 \ 0,06), \\ \mu_{EC-B2} &= (0,13 \ 0,08 \ 0,36 \ 0,36 \ 0,26), \\ \mu_{EC-B3} &= (0,29 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,08 \ 0,08), \\ \mu_{EC-B4} &= (0,31 \ 0,00 \ 0,48 \ 0,41 \ 0,06), \\ \mu_{EC-B5} &= (0,21 \ 0,06 \ 0,47 \ 0,50 \ 0,13), \\ \mu_{EC-B6} &= (0,23 \ 0,47 \ 0,47 \ 0,08 \ 0,08), \\ \mu_{EC-C1} &= (0,22 \ 0,04 \ 0,37 \ 0,42 \ 0,27), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mu_{EC-C2} &= (0,24 \ 0,04 \ 0,38 \ 0,41 \ 0,20), \\
\mu_{EC-C3} &= (0,26 \ 0,00 \ 0,37 \ 0,37 \ 0,16), \\
\mu_{EC-C4} &= (0,34 \ 0,41 \ 0,32 \ 0,04 \ 0,04), \\
\mu_{EC-C5} &= (0,40 \ 0,13 \ 0,48 \ 0,32 \ 0,05), \\
\mu_{EC-C6} &= (0,18 \ 0,00 \ 0,53 \ 0,53 \ 0,12), \\
\mu_{EC-C7} &= (0,25 \ 0,11 \ 0,56 \ 0,43 \ 0,07).
\end{aligned}$$

(8.29)

8.3.2.2 Фази композиција показатеља "расположивост–трошкови"

8.3.2.2.1 Пропозиција показатеља "расположивост–трошкови"

Синтезни показатељ расположивост (A) дефинисан је са пет фази скупова и лингвистичких променљивих које карактеришу стања дозера током експлоатационог века, у зависности од учесталости кварова, потребног времена за повратак у радно стање, конструктивне погодности, брзине идентификације квара, могућег планирања времена трајања оправки и организације рада (поглавље 8.3.1.2):

- $A_{(1)}$ - "ЛОША",
- $A_{(2)}$ - "ПРИХВАТЉИВА",
- $A_{(3)}$ - "ПРОСЕЧНА",
- $A_{(4)}$ - "ДОБРА",
- $A_{(5)}$ - "ОДЛИЧНА".

Економски показатељи на бази трошкова (C) дефинисани су са пет фази скупова и лингвистичких променљивих за процену перформанси дозера у зависности од висине трошкова животног циклуса (трошкови власништва, оперативни трошкови, трошкови руковаоца), сходно поглављу 8.2.2.3.

- $C_{(1)}$ - "ЕКСТРЕМНО ВИСОКИ",
- $C_{(2)}$ - "ВИСОКИ",
- $C_{(3)}$ - "УМЕРЕНИ",
- $C_{(4)}$ - "НИСКИ",
- $C_{(5)}$ - "ВЕОМА НИСКИ".

Синтезни показатељ "расположивост–трошкови" (AC) дефинисан је са пет лингвистичких променљивих за оцену употребног квалитета на овом нивоу синтезе, у односу на расположивост (A) и трошкове (C) дозера:

- $AC_{(1)}$ - Низак ниво расположивости, трошкови веома ниски до екстремно високи;
- $AC_{(2)}$ - Солидан ниво расположивости, трошкови високи до екстремно високи;
- $AC_{(3)}$ - Солидан ниво расположивости, трошкови веома ниски до умерени;
- $AC_{(4)}$ - Висок ниво расположивости, трошкови веома ниски до ниски;
- $AC_{(5)}$ - Веома висок ниво расположивости, трошкови веома ниски до ниски.

8.3.2.2.2 Композиција: картезијански производ "расположивост–трошкови"

На бази експертске процене дефинисани су могући исходи, дати у форми картезијанског (Декартовог) производа над фази скуповима показатеља расположивост (A) и трошкови (C), при чему су добијени уређени парови AC , као репрезенти употребног квалитета дозера на овом

нивоу синтезе, сходно поглављу 7.3 где ознаке у општем облику модела подразумевају следеће: $W = A$ и $Q = AC$.

Картезијански производ скупа A (распољивост) и C (трошкови) у ознаци $A \times C$, представља скуп свих могућих уређених парова код којих је први члан елемент скупа A , а други члан елемент скупа C .

Модел композиције приказан је табеларно (табела 8.3.2.2.2). Дефинисан је на основу следеће фази логичке шеме:

АКО $((A_{(1)} \times C_{(1)}) \vee (A_{(1)} \times C_{(2)}) \vee (A_{(1)} \times C_{(3)}) \vee (A_{(1)} \times C_{(4)}) \vee (A_{(1)} \times C_{(5)}) \vee (A_{(2)} \times C_{(1)}) \vee (A_{(2)} \times C_{(2)}) \vee (A_{(2)} \times C_{(3)}) \vee (A_{(2)} \times C_{(4)}) \vee (A_{(2)} \times C_{(5)}))$ ОНДА $AC_{(1)}$;

АКО $((A_{(3)} \times C_{(1)}) \vee (A_{(3)} \times C_{(2)}) \vee (A_{(4)} \times C_{(1)}) \vee (A_{(4)} \times C_{(2)}) \vee (A_{(5)} \times C_{(1)}) \vee (A_{(5)} \times C_{(2)}))$ ОНДА $AC_{(2)}$;

АКО $((A_{(3)} \times C_{(3)}) \vee (A_{(3)} \times C_{(4)}) \vee (A_{(3)} \times C_{(5)}) \vee (A_{(4)} \times C_{(3)}) \vee (A_{(5)} \times C_{(3)}))$ ОНДА $AC_{(3)}$;

АКО $((A_{(4)} \times C_{(4)}) \vee (A_{(4)} \times C_{(5)}))$ ОНДА $AC_{(4)}$;

АКО $((A_{(5)} \times C_{(4)}) \vee (A_{(5)} \times C_{(5)}))$ ОНДА $AC_{(5)}$.

Табела 8.3.2.2.2. Модел композиције: картезијански производ "распољивост-трошкови"

РАСПОЉИВОСТ-ТРОШКОВИ $A \times C$ (AC)				ТРОШКОВИ (C)					
				j					
				1	2	3	4	5	
				$C_{(1)}$	$C_{(2)}$	$C_{(3)}$	$C_{(4)}$	$C_{(5)}$	
				"ЕКСТРЕМНО ВИСОКИ"	"ВИСОКИ"	"УМЕРЕНИ"	"НИСКИ"	"ВЕОМА НИСКИ"	
РАСПОЉИВОСТ (A)	j	1	$A_{(1)}$	"ЛОША"	$AC_{(1)}$	$AC_{(1)}$	$AC_{(1)}$	$AC_{(1)}$	$AC_{(1)}$
		2	$A_{(2)}$	"ПРИХВАТЉИВА"	$AC_{(1)}$	$AC_{(1)}$	$AC_{(1)}$	$AC_{(1)}$	$AC_{(1)}$
		3	$A_{(3)}$	"ПРОСЕЧНА"	$AC_{(2)}$	$AC_{(2)}$	$AC_{(3)}$	$AC_{(3)}$	$AC_{(3)}$
		4	$A_{(4)}$	"ДОБРА"	$AC_{(2)}$	$AC_{(2)}$	$AC_{(3)}$	$AC_{(4)}$	$AC_{(4)}$
		5	$A_{(5)}$	"ОДЛИЧНА"	$AC_{(2)}$	$AC_{(2)}$	$AC_{(3)}$	$AC_{(5)}$	$AC_{(5)}$

Процес дефинисања исхода у форми картезијанског производа (уређених парова) показатеља распољивост (A) и трошкови (C) за дозер A_1 приказан је у наставку.

За композицију распољивости (A) и трошкова (C) у форми картезијанског производа ($A \times C$) неопходне су фазификоване оцене показатеља μ_{A-A_1} , дата у (8.25) и μ_{C-A_1} , дата у (8.23):

$$\mu_{A-A_1} = (0,07 \ 0,27 \ 0,39 \ 0,39 \ 0,22),$$

$$\mu_{C-A_1} = (0,05 \ 0,35 \ 0,75 \ 0,31 \ 0,04).$$

Број могућих комбинација, односно уређених парова EC је $P=5^2=25$ комбинација са 25 идентификованих исхода. На бази експертске процене за сваку комбинацију утврђен је исход сходно дефинисаним лингвистичким променљивим за оцену употребног квалитета на овом нивоу синтезе.

Индетификовани и груписани исходи-уређени парови "распољивост-трошкови", $AC_{(1)}$, ..., $AC_{(5)}$, за дозер A_1 приказани су у табели 8.3.2.2.3.

8.3.2.2.3 Модел *max-min* композиције "расположивост–трошкови"

Синтезна оцена "расположивост-трошкови" (AC) дозера добијена је применом *max-min* фази композиције, третирањем сваког исхода, дефинисаног за сваку могућу комбинацију уређени пар, сходно поглављу 7.3, где ознаке у општем облику модела подразумевају следеће: $Q_{(1)} = AC_{(1)}, Q_{(2)} = AC_{(2)}, \dots, Q_{(5)} = AC_{(5)}$ и $Q = AC$.

Комбинације (уређени парови) исхода $AC_{(1)}$ за дозер A_1 су:

$$\begin{aligned} 1-1: AC_{1-1} &= [0,07 \ 0,05], & 2-1: AC_{2-1} &= [0,27 \ 0,05], \\ 1-2: AC_{1-2} &= [0,07 \ 0,35], & 2-2: AC_{2-2} &= [0,27 \ 0,35], \\ 1-3: AC_{1-3} &= [0,07 \ 0,75], & 2-3: AC_{2-3} &= [0,27 \ 0,75], \\ 1-4: AC_{1-4} &= [0,07 \ 0,31], & 2-4: AC_{2-4} &= [0,27 \ 0,31], \\ 1-5: AC_{1-5} &= [0,07 \ 0,04], & 2-5: AC_{2-5} &= [0,27 \ 0,04]. \end{aligned}$$

Детектоване су минималне вредности функција припадности исхода $AC_{(1)}$:

$$\begin{aligned} MIN_{1-1} &= 0,05 ; MIN_{1-2} = 0,07 ; MIN_{1-3} = 0,07 ; MIN_{1-4} = 0,07 ; MIN_{1-5} = 0,04 ; \\ MIN_{2-1} &= 0,05 ; MIN_{2-2} = 0,27 ; MIN_{2-3} = 0,27 ; MIN_{2-4} = 0,27 ; MIN_{2-5} = 0,04 . \end{aligned}$$

Идентификована је максимална вредност међу претходно детектованим минимумима, $MAX (MIN_{AC_{(1)}}) = 0,27$.

За остале исходе резултати су дати у табели 8.3.2.2.3, где су подебљаним бројевима означене минималне вредности, а максималне вредности су осенчене.

Сви исходи су груписани на бази експертске процене, $AC_{(1)}, \dots, AC_{(5)}$. Према усвојеним критеријумима и резултатима у табели 8.3.2.2.3 добијена је синтезна оцена "расположивост-трошкови" (AC) за дозер A_1 у облику:

$$\mu_{AC-A_1} = (0,27 \ 0,35 \ 0,39 \ 0,31 \ 0,22) .$$

Синтезна оцена "расположивост-трошкови" (AC) је идентификована као најбоља могућа између најлошије очекиваних парцијалних оцена (A и C).

Табела 8.3.2.2.3. Исходи - уређени парови "расположивост-трошкови", структура *max-min* композиције за синтезну оцену AC – дозер A_1

ИСХОД	КОМБИНАЦИЈА		Уређени пар	
			$\mu_{A,C}$	
$AC_{(1)}$	1	1	0,07	0,05
$AC_{(1)}$	1	2	0,07	0,35
$AC_{(1)}$	1	3	0,07	0,75
$AC_{(1)}$	1	4	0,07	0,31
$AC_{(1)}$	1	5	0,07	0,04
$AC_{(1)}$	2	1	0,27	0,05
$AC_{(1)}$	2	2	0,27	0,35
$AC_{(1)}$	2	3	0,27	0,75
$AC_{(1)}$	2	4	0,27	0,31
$AC_{(1)}$	2	5	0,27	0,04
$AC_{(2)}$	3	1	0,39	0,05
$AC_{(2)}$	3	2	0,39	0,35
$AC_{(2)}$	4	1	0,39	0,05
$AC_{(2)}$	4	2	0,39	0,35

$AC_{(2)}$	5	1	0,22	0,05
$AC_{(2)}$	5	2	0,22	0,35
$AC_{(3)}$	3	3	0,39	0,75
$AC_{(3)}$	3	4	0,39	0,31
$AC_{(3)}$	3	5	0,39	0,04
$AC_{(3)}$	4	3	0,39	0,75
$AC_{(3)}$	5	3	0,22	0,75
$AC_{(4)}$	4	4	0,39	0,31
$AC_{(4)}$	4	5	0,39	0,04
$EC_{(5)}$	5	4	0,22	0,31
$EC_{(5)}$	5	5	0,22	0,04

Идентичним поступком добијене су синтезне оцене "расположивост-трошкови" (AC) за све посматране машине, а овде су дате коначне оцене у следећем облику:

$$\begin{aligned}
\mu_{AC-A1} &= (0,27 \ 0,35 \ 0,39 \ 0,31 \ 0,22), \\
\mu_{AC-A2} &= (0,31 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,23 \ 0,23), \\
\mu_{AC-A3} &= (0,27 \ 0,11 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,22), \\
\mu_{AC-A4} &= (0,25 \ 0,11 \ 0,35 \ 0,35 \ 0,26), \\
\mu_{AC-A5} &= (0,24 \ 0,40 \ 0,05 \ 0,00 \ 0,00), \\
\mu_{AC-A6} &= (0,28 \ 0,05 \ 0,37 \ 0,37 \ 0,25), \\
\mu_{AC-A7} &= (0,28 \ 0,36 \ 0,34 \ 0,30 \ 0,25), \\
\mu_{AC-A8} &= (0,28 \ 0,34 \ 0,11 \ 0,00 \ 0,00), \\
\mu_{AC-B1} &= (0,17 \ 0,00 \ 0,41 \ 0,49 \ 0,16), \\
\mu_{AC-B2} &= (0,25 \ 0,08 \ 0,36 \ 0,36 \ 0,26), \\
\mu_{AC-B3} &= (0,22 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,08 \ 0,08), \\
\mu_{AC-B4} &= (0,20 \ 0,00 \ 0,40 \ 0,48 \ 0,19), \\
\mu_{AC-B5} &= (0,21 \ 0,06 \ 0,42 \ 0,50 \ 0,13), \\
\mu_{AC-B6} &= (0,23 \ 0,47 \ 0,47 \ 0,08 \ 0,08), \\
\mu_{AC-C1} &= (0,23 \ 0,04 \ 0,37 \ 0,42 \ 0,27), \\
\mu_{AC-C2} &= (0,24 \ 0,04 \ 0,38 \ 0,41 \ 0,20), \\
\mu_{AC-C3} &= (0,25 \ 0,00 \ 0,37 \ 0,37 \ 0,26), \\
\mu_{AC-C4} &= (0,22 \ 0,41 \ 0,32 \ 0,04 \ 0,04), \\
\mu_{AC-C5} &= (0,20 \ 0,13 \ 0,48 \ 0,48 \ 0,15), \\
\mu_{AC-C6} &= (0,18 \ 0,00 \ 0,39 \ 0,53 \ 0,12), \\
\mu_{AC-C7} &= (0,21 \ 0,11 \ 0,56 \ 0,56 \ 0,11).
\end{aligned}$$

(8.30)

8.3.2.3 Фази композиција показатеља "сигурност функционисања – трошкови"

8.3.2.3.1 Пропозиција показатеља "сигурност функционисања – трошкови"

Синтезни показатељ сигурност функционисања (D) дефинисан је са пет фази скупова и лингвистичких променљивих које карактеришу стања дозера током експлоатационог века, у зависности од учесталости кварова, потребног времена за повратак у радно стање, брзине идентификације квара, организације рада, логистичке подршке одржавању и др. (поглавље 8.3.1.3):

- $D_{(1)}$ - "ЛОША",
- $D_{(2)}$ - "ПРИХВАТЉИВА",
- $D_{(3)}$ - "ПРОСЕЧНА",
- $D_{(4)}$ - "ДОБРА",
- $D_{(5)}$ - "ОДЛИЧНА".

Економски показатељи на бази трошкова (C) дефинисани су са пет фази скупова и лингвистичких променљивих за процену перформанси дозера у зависности од висине трошкова животног циклуса (трошкови власништва, оперативни трошкови, трошкови руковаоца), сходно поглављу 8.2.2.3.

- $C_{(1)}$ - "ЕКСТРЕМНО ВИСОКИ",
- $C_{(2)}$ - "ВИСОКИ",
- $C_{(3)}$ - "УМЕРЕНИ",
- $C_{(4)}$ - "НИСКИ",
- $C_{(5)}$ - "ВЕОМА НИСКИ".

Синтезни показатељ "сигурност функционисања – трошкови" (DC) дефинисан је са пет лингвистичких променљивих за оцену употребног квалитета на овом нивоу синтезе, у односу на расположивост (D) и трошкове (C) дозера:

- $DC_{(1)}$ - Низак ниво сигурности функционисања, трошкови веома ниски до екстремно високи;
- $DC_{(2)}$ - Солидан ниво сигурности функционисања, трошкови високи до екстремно високи;
- $DC_{(3)}$ - Солидан ниво сигурности функционисања, трошкови веома ниски до умерени;
- $DC_{(4)}$ - Висок ниво сигурности функционисања, трошкови веома ниски до ниски;
- $DC_{(5)}$ - Веома висок ниво сигурности функционисања, трошкови веома ниски до ниски.

8.3.2.3.2 Композиција: картезијански производ "сигурност функционисања–трошкови"

На бази експертске процене дефинисани су могући исходи, дати у форми картезијанског (Декартовог) производа над фази скуповима показатеља сигурност функционисања (D) и трошкови (C), при чему су добијени уређени парови DC , као репрезенти употребног квалитета дозера на овом нивоу синтезе, сходно поглављу 7.3, где ознаке у општем облику модела подразумевају следеће: $W = D$ и $Q = DC$.

Картезијански производ скупа D (сигурност функционисања) и C (трошкови) у ознаци D x C , представља скуп свих могућих уређених парова код којих је први члан елемент скупа D , а други члан елемент скупа C .

Модел композиције приказан је табеларно (табела 8.3.2.3.2). Дефинисан је на основу следеће фази логичке шеме:

- АКО $((D_{(1)} \times C_{(1)}) \vee (D_{(1)} \times C_{(2)}) \vee (D_{(1)} \times C_{(3)}) \vee (D_{(1)} \times C_{(4)}) \vee (D_{(1)} \times C_{(5)}) \vee (D_{(2)} \times C_{(1)}) \vee (D_{(2)} \times C_{(2)}) \vee (D_{(2)} \times C_{(3)}) \vee (D_{(2)} \times C_{(4)}) \vee (D_{(2)} \times C_{(5)}))$ ОНДА $DC_{(1)}$;
- АКО $((D_{(3)} \times C_{(1)}) \vee (D_{(3)} \times C_{(2)}) \vee (D_{(4)} \times C_{(1)}) \vee (D_{(4)} \times C_{(2)}) \vee (D_{(5)} \times C_{(1)}) \vee (D_{(5)} \times C_{(2)}))$ ОНДА $DC_{(2)}$;
- АКО $((D_{(3)} \times C_{(3)}) \vee (D_{(3)} \times C_{(4)}) \vee (D_{(3)} \times C_{(5)}) \vee (D_{(4)} \times C_{(3)}) \vee (D_{(5)} \times C_{(3)}))$ ОНДА $DC_{(3)}$;
- АКО $((D_{(4)} \times C_{(4)}) \vee (D_{(4)} \times C_{(5)}))$ ОНДА $DC_{(4)}$;
- АКО $((D_{(5)} \times C_{(4)}) \vee (D_{(5)} \times C_{(5)}))$ ОНДА $DC_{(5)}$.

Табела 8.3.2.3.2. Модел композиције: картезијански производ "сигурност функционисања – трошкови"

СИГУРНОСТ ФУНКЦИОНИСАЊА ТРОШКОВИ $D \times C$ (DC)				ТРОШКОВИ (C)					
				j					
				1	2	3	4	5	
				$C_{(1)}$	$C_{(2)}$	$C_{(3)}$	$C_{(4)}$	$C_{(5)}$	
				"ЕКСТРЕМНО ВИСОКИ"	"ВИСОКИ"	"УМЕРЕНИ"	"НИСКИ"	"ВЕОМА НИСКИ"	
СИГУРНОСТ ФУНКЦИОНИСАЊА (D)	j	1	$D_{(1)}$	"ЛОША"	$DC_{(1)}$	$DC_{(1)}$	$DC_{(1)}$	$DC_{(1)}$	$DC_{(1)}$
		2	$D_{(2)}$	"ПРИХВАТЉИВА"	$DC_{(1)}$	$DC_{(1)}$	$DC_{(1)}$	$DC_{(1)}$	$DC_{(1)}$
		3	$D_{(3)}$	"ПРОСЕЧНА"	$DC_{(2)}$	$DC_{(2)}$	$DC_{(3)}$	$DC_{(3)}$	$DC_{(3)}$
		4	$D_{(4)}$	"ДОБРА"	$DC_{(2)}$	$DC_{(2)}$	$DC_{(3)}$	$DC_{(4)}$	$DC_{(4)}$
		5	$D_{(5)}$	"ОДЛИЧНА"	$DC_{(2)}$	$DC_{(2)}$	$DC_{(3)}$	$DC_{(5)}$	$DC_{(5)}$

Процес дефинисања исхода у форми картезијанског производа (уређених парова) показатеља сигурност функционисања (D) и трошкови (C) за дозер А1 приказан је у наставку.

За композицију сигурности функционисања (D) и трошкова (C) у форми картезијанског производа ($D \times C$) неопходне су фазификоване оцене показатеља μ_{D-A1} , дата у (8.26) и μ_{C-A1} , дата у (8.23):

$$\mu_{D-A1} = (0,07 \ 0,27 \ 0,39 \ 0,39 \ 0,17),$$

$$\mu_{C-A1} = (0,05 \ 0,35 \ 0,75 \ 0,31 \ 0,04).$$

Број могућих комбинација, односно уређених парова DC је $P=5^2=25$ комбинација са 25 идентификованих исхода. На бази експертске процене за сваку комбинацију утврђен је исход сходно дефинисаним лингвистичким променљивим за оцену употребног квалитета на овом нивоу синтезе.

Индетификовани и груписани исходи-уређени парови "сигурност функционисања – трошкови", $DC_{(1)}, \dots, DC_{(5)}$, за дозер А1 приказани су у табели 8.3.2.3.3.

8.3.2.3.3 Модел *max-min* композиције показатеља "сигурност функционисања – трошкови"

Синтезна оцена "сигурност функционисања – трошкови" DC дозера добијена је применом *max-min* фази композиције, третирањем сваког исхода, дефинисаног за сваку могућу комбинацију-уређени пар, сходно поглављу 7.3, где ознаке у општем облику модела подразумевају следеће: $Q_{(1)} = DC_{(1)}, Q_{(2)} = DC_{(2)}, \dots, Q_{(5)} = DC_{(5)}$ и $Q = DC$.

Комбинације (уређени парови) исхода $DC_{(1)}$ за дозер А1 су:

$$1-1: DC_{1-1} = [0,07 \ 0,05], \quad 2-1: DC_{2-1} = [0,27 \ 0,05],$$

$$1-2: DC_{1-2} = [0,07 \ 0,35], \quad 2-2: DC_{2-2} = [0,27 \ 0,35],$$

$$1-3: DC_{1-3} = [0,07 \ 0,75], \quad 2-3: DC_{2-3} = [0,27 \ 0,75],$$

$$1-4: DC_{1-4} = [0,07 \ 0,31], \quad 2-4: DC_{2-4} = [0,27 \ 0,31],$$

$$1-5: DC_{1-5} = [0,07 \ 0,04], \quad 2-5: DC_{2-5} = [0,27 \ 0,04].$$

Детектоване су минималне вредности функција припадности исхода $DC_{(1)}$:

$$MIN_{1-1} = 0,05 ; MIN_{1-2} = 0,07 ; MIN_{1-3} = 0,07 ; MIN_{1-4} = 0,07 ; MIN_{1-5} = 0,04 ;$$

$$MIN_{2-1} = 0,05 ; MIN_{2-2} = 0,27 ; MIN_{2-3} = 0,27 ; MIN_{2-4} = 0,27 ; MIN_{2-5} = 0,04 .$$

Идентификована је максимална вредност међу претходно детектованим минимумима, $MAX (MIN_{DC(1)}) = 0,27$.

За остале исходе резултати су дати у табели 8.3.2.3.3, где су подебљаним бројевима означене минималне вредности, а максималне вредности су осенчене.

Сви исходи су груписани на бази експертске процене, $DC_{(1)}, \dots, DC_{(5)}$. Према усвојеним критеријумима и резултатима у табели 8.3.2.3.3 добијена је синтезна оцена "сигурност функционисања – трошкови" (DC) за дозер А1 у облику:

$$\mu_{DC-A1} = (0,27 \ 0,35 \ 0,39 \ 0,31 \ 0,17) .$$

Синтезна оцена "сигурност функционисања – трошкови" (DC) је идентификована као најбоља могућа између најлошије очекиваних парцијалних оцена (D и C).

Табела 8.3.2.3.3. Исходи - уређени парови "сигурност функционисања – трошкови", структура *max-min* композиције за синтезну оцену DC – дозер А1

ИСХОД	КОМБИНАЦИЈА		Уређени пар	
			$\mu_{D,C}$	
$DC_{(1)}$	1	1	0,07	0,05
$DC_{(1)}$	1	2	0,07	0,35
$DC_{(1)}$	1	3	0,07	0,75
$DC_{(1)}$	1	4	0,07	0,31
$DC_{(1)}$	1	5	0,07	0,04
$DC_{(1)}$	2	1	0,27	0,05
$DC_{(1)}$	2	2	0,27	0,35
$DC_{(1)}$	2	3	0,27	0,75
$DC_{(1)}$	2	4	0,27	0,31
$DC_{(1)}$	2	5	0,27	0,04
$DC_{(2)}$	3	1	0,39	0,05
$DC_{(2)}$	3	2	0,39	0,35
$DC_{(2)}$	4	1	0,39	0,05
$DC_{(2)}$	4	2	0,39	0,35
$DC_{(2)}$	5	1	0,17	0,05
$DC_{(2)}$	5	2	0,17	0,35
$DC_{(3)}$	3	3	0,39	0,75
$DC_{(3)}$	3	4	0,39	0,31
$DC_{(3)}$	3	5	0,39	0,04
$DC_{(3)}$	4	3	0,39	0,75
$DC_{(3)}$	5	3	0,17	0,75
$DC_{(4)}$	4	4	0,39	0,31
$DC_{(4)}$	4	5	0,39	0,04
$DC_{(5)}$	5	4	0,17	0,31
$DC_{(5)}$	5	5	0,17	0,04

Идентичним поступком добијене су синтезне оцене "сигурност функционисања – трошкови" (DC) за све посматране машине, а овде су дате коначне оцене у следећем облику:

$$\begin{aligned}
 \mu_{DC-A1} &= (0,27 \ 0,35 \ 0,39 \ 0,31 \ 0,17), \\
 \mu_{DC-A2} &= (0,31 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,02 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-A3} &= (0,27 \ 0,11 \ 0,38 \ 0,14 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-A4} &= (0,25 \ 0,11 \ 0,35 \ 0,15 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-A5} &= (0,32 \ 0,40 \ 0,05 \ 0,00 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-A6} &= (0,28 \ 0,05 \ 0,36 \ 0,16 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-A7} &= (0,28 \ 0,34 \ 0,34 \ 0,03 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-A8} &= (0,31 \ 0,34 \ 0,11 \ 0,00 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-B1} &= (0,19 \ 0,00 \ 0,49 \ 0,14 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-B2} &= (0,25 \ 0,08 \ 0,36 \ 0,19 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-B3} &= (0,02 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,00 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-B4} &= (0,20 \ 0,00 \ 0,48 \ 0,18 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-B5} &= (0,21 \ 0,06 \ 0,41 \ 0,09 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-B6} &= (0,40 \ 0,47 \ 0,47 \ 0,00 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-C1} &= (0,23 \ 0,04 \ 0,35 \ 0,14 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-C2} &= (0,24 \ 0,04 \ 0,35 \ 0,12 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-C3} &= (0,25 \ 0,00 \ 0,37 \ 0,19 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-C4} &= (0,22 \ 0,40 \ 0,32 \ 0,00 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-C5} &= (0,40 \ 0,13 \ 0,48 \ 0,07 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-C6} &= (0,18 \ 0,00 \ 0,53 \ 0,08 \ 0,00), \\
 \mu_{DC-C7} &= (0,21 \ 0,11 \ 0,39 \ 0,11 \ 0,00).
 \end{aligned}$$

(8.31)

8.3.2.4 Фази композиција показатеља "ризик–трошкови"

8.3.2.4.1 Пропозиција показатеља "ризик–трошкови"

Синтезни показатељ ризик (R_i) дефинисан је са пет фази скупова и лингвистичких променљивих које карактеришу стања дозера током експлоатационог века, у зависности од учесталости кварова и потребног времена за повратак у радно стање, утицај отказа на радно окружење и животну средину, озбиљности отказа, могуће детектабилности и брзине идентификације кварова и слабих места и др. (поглавље 8.3.1.5):

$$\begin{aligned}
 R_{i(1)} &- \text{"ЕКСТРЕМАН"}, \\
 R_{i(2)} &- \text{"ВИСОК"}, \\
 R_{i(3)} &- \text{"УМЕРЕН"}, \\
 R_{i(4)} &- \text{"НИЗАК"}, \\
 R_{i(5)} &- \text{"МИНОРАН"}.
 \end{aligned}$$

Економски показатељи на бази трошкова (C) дефинисани су са пет фази скупова и лингвистичких променљивих за процену перформанси дозера у зависности од висине трошкова животног циклуса (трошкови власништва, оперативни трошкови, трошкови руковоаца), сходно поглављу 8.2.2.3.

$$\begin{aligned}
 C_{(1)} &- \text{"ЕКСТРЕМНО ВИСОКИ"}, \\
 C_{(2)} &- \text{"ВИСОКИ"}, \\
 C_{(3)} &- \text{"УМЕРЕНИ"}, \\
 C_{(4)} &- \text{"НИСКИ"}, \\
 C_{(5)} &- \text{"ВЕОМА НИСКИ"}.
 \end{aligned}$$

Синтезни показатељ "ризик–трошкови" (R_iC) дефинисан је са пет лингвистичких променљивих за оцену употребног квалитета на овом нивоу синтезе, у односу на ризик (R_i) и трошкове (C) дозера:

- $R_iC_{(1)}$ - Висок до екстреман ниво ризика, трошкови веома ниски до екстремно високи;
- $R_iC_{(2)}$ - Миноран до умерен ниво ризика, трошкови високи до екстремно високи;
- $R_iC_{(3)}$ - Миноран до умерен ниво ризика, трошкови веома ниски до умерени;
- $R_iC_{(4)}$ - Низак ниво ризика, трошкови веома ниски до ниски;
- $R_iC_{(5)}$ - Миноран ниво ризика, трошкови веома ниски до ниски.

8.3.2.4.2 Композиција: картезијански производ "ризик–трошкови"

На бази експертске процене дефинисани су могући исходи, дати у форми картезијанског (Декартовог) производа над фази скуповима показатеља ризик (R_i) и трошкови (C), при чему су добијени уређени парови R_iC , као репрезенти употребног квалитета дозера на овом нивоу синтезе, сходно поглављу 7.3, где ознаке у општем облику модела подразумевају следеће: $W = R_i$ и $Q = R_iC$.

Картезијански производ скупа R_i (ризик) и C (трошкови) у ознаци $R_i \times C$, представља скуп свих могућих уређених парова код којих је први члан елемент скупа R_i , а други члан елемент скупа C .

Модел композиције приказан је табеларно (табела 8.3.2.4.2). Дефинисан је на основу следеће фази логичке шеме:

АКО $((R_{i(1)} \times C_{(1)}) \vee (R_{i(1)} \times C_{(2)}) \vee (R_{i(1)} \times C_{(3)}) \vee (R_{i(1)} \times C_{(4)}) \vee (R_{i(1)} \times C_{(5)}) \vee (R_{i(2)} \times C_{(1)}) \vee (R_{i(2)} \times C_{(2)}) \vee (R_{i(2)} \times C_{(3)}) \vee (R_{i(2)} \times C_{(4)}) \vee (R_{i(2)} \times C_{(5)}))$ ОНДА $R_i C_{(1)}$;

АКО $((R_{i(3)} \times C_{(1)}) \vee (R_{i(3)} \times C_{(2)}) \vee (R_{i(4)} \times C_{(1)}) \vee (R_{i(4)} \times C_{(2)}) \vee (R_{i(5)} \times C_{(1)}) \vee (R_{i(5)} \times C_{(2)}))$ ОНДА $R_i C_{(2)}$;

АКО $((R_{i(3)} \times C_{(3)}) \vee (R_{i(3)} \times C_{(4)}) \vee (R_{i(3)} \times C_{(5)}) \vee (R_{i(4)} \times C_{(3)}) \vee (R_{i(5)} \times C_{(3)}))$ ОНДА $R_i C_{(3)}$;

АКО $((R_{i(4)} \times C_{(4)}) \vee (R_{i(4)} \times C_{(5)}))$ ОНДА $R_i C_{(4)}$;

АКО $((R_{i(5)} \times C_{(4)}) \vee (R_{i(5)} \times C_{(5)}))$ ОНДА $R_i C_{(5)}$.

Табела 8.3.2.4.2. Модел композиције: картезијански производ "ризик-трошкови"

РИЗИК - ТРОШКОВИ				ТРОШКОВИ (C)					
				j					
$R_i \times C$ $(R_i C)$				1	2	3	4	5	
				$C_{(1)}$	$C_{(2)}$	$C_{(3)}$	$C_{(4)}$	$C_{(5)}$	
				"ЕКСТРЕМНО ВИСОКИ"	"ВИСОКИ"	"УМЕРЕНИ"	"НИСКИ"	"ВЕОМА НИСКИ"	
РИЗИК (R_i)	j	1	$R_{i(1)}$	"ЕКСТРЕМАН"	$R_i C_{(1)}$	$R_i C_{(1)}$	$R_i C_{(1)}$	$R_i C_{(1)}$	$R_i C_{(1)}$
		2	$R_{i(2)}$	"ВИСОК"	$R_i C_{(1)}$	$R_i C_{(1)}$	$R_i C_{(1)}$	$R_i C_{(1)}$	$R_i C_{(1)}$
		3	$R_{i(3)}$	"УМЕРЕН"	$R_i C_{(2)}$	$R_i C_{(2)}$	$R_i C_{(3)}$	$R_i C_{(3)}$	$R_i C_{(3)}$
		4	$R_{i(4)}$	"НИЗАК"	$R_i C_{(2)}$	$R_i C_{(2)}$	$R_i C_{(3)}$	$R_i C_{(4)}$	$R_i C_{(4)}$
		5	$R_{i(5)}$	"МИНОРАН"	$R_i C_{(2)}$	$R_i C_{(2)}$	$R_i C_{(3)}$	$R_i C_{(5)}$	$R_i C_{(5)}$

Процес дефинисања исхода у форми картезијанског производа (уређених парова) показатеља ризик (R_i) и трошкови (C) за дозер А1 приказан је у наставку.

За композицију ризик (R_i) и трошкова (C) у форми картезијанског производа ($R_i \times C$) неопходне су фазификоване оцене показатеља $\mu_{R_i-A_1}$, дата у (8.28) и μ_{C-A_1} , дата у (8.23):

$$\begin{aligned}\mu_{R_i-A_1} &= (0,40 \ 0,32 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,00), \\ \mu_{C-A_1} &= (0,05 \ 0,35 \ 0,75 \ 0,31 \ 0,04).\end{aligned}$$

Број могућих комбинација, односно уређених парова R_iC је $P=5^2=25$ комбинација са 20 идентификованих исхода. На бази експертске процене за сваку комбинацију утврђен је исход сходно дефинисаним лингвистичким променљивим за оцену употребног квалитета на овом нивоу синтезе.

Идентификовани и груписани исходи-уређени парови "ризик-трошкови", $R_i C_{(1)}, \dots, R_i C_{(5)}$, за дозер А1 приказани су у табели 8.3.2.4.3.

8.3.2.4.3 Модел *max-min* композиције показатеља "ризик-трошкови"

Синтезна оцена "ризик-трошкови" R_iC дозера добијена је применом *max-min* фази композиције, третирањем сваког исхода, дефинисаног за сваку могућу комбинацију-уређени пар, где ознаке у општем облику модела подразумевају следеће: $Q_{(1)} = R_iC_{(1)}, Q_{(2)} = R_iC_{(2)}, \dots, Q_{(5)} = R_iC_{(5)}$ и $Q = R_iC$.

Комбинације (уређени парови) исхода $R_iC_{(1)}$ за дозер А1 су:

$$\begin{aligned}1-1: R_iC_{1-1} &= [0,40 \ 0,05], & 2-1: R_iC_{2-1} &= [0,32 \ 0,05], \\ 1-2: R_iC_{1-2} &= [0,40 \ 0,35], & 2-2: R_iC_{2-2} &= [0,32 \ 0,35], \\ 1-3: R_iC_{1-3} &= [0,40 \ 0,75], & 2-3: R_iC_{2-3} &= [0,32 \ 0,75], \\ 1-4: R_iC_{1-4} &= [0,40 \ 0,31], & 2-4: R_iC_{2-4} &= [0,32 \ 0,31], \\ 1-5: R_iC_{1-5} &= [0,40 \ 0,04], & 2-5: R_iC_{2-5} &= [0,32 \ 0,04].\end{aligned}$$

Детектоване су минималне вредности функција припадности исхода $R_iC_{(1)}$:

$$\begin{aligned}MIN_{1-1} &= 0,05; \quad MIN_{1-2} = 0,35; \quad MIN_{1-3} = 0,40; \quad MIN_{1-4} = 0,31; \quad MIN_{1-5} = 0,04; \\ MIN_{2-1} &= 0,05; \quad MIN_{2-2} = 0,32; \quad MIN_{2-3} = 0,32; \quad MIN_{2-4} = 0,31; \quad MIN_{2-5} = 0,04.\end{aligned}$$

Идентификована је максимална вредност међу претходно детектованим минимумима, $MAX(MIN_{R_iC_{(1)}}) = 0,40$.

За остале исходе резултати су дати у табели 8.3.2.4.3, где су подебљаним бројевима означене минималне вредности, а максималне вредности су осенчене.

Сви исходи су груписани на бази експертске процене, $R_iC_{(1)}, \dots, R_iC_{(5)}$. Према усвојеним критеријумима и резултатима у табели 8.3.2.4.3. добијена је синтезна оцена "ризик-трошкови" (R_iC) за дозер А1 у облику:

$$\mu_{R_iC-A_1} = (0,40 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,00).$$

Синтезна оцена "ризик-трошкови" (R_iC) је идентификована као најбоља могућа између најлошије очекиваних парцијалних оцена (R_i и C).

Табела 8.3.2.4.3. Исходи - уређени парови "ризик-трошкови", структура max-min композиције за синтезну оцену R_iC - дозер $A1$

ИСХОД	КОМБИНАЦИЈА		Уређени пар	
			$\mu_{D,C}$	
$R_iC_{(1)}$	1	1	0,40	0,05
$R_iC_{(1)}$	1	2	0,40	0,35
$DC_{(1)}$	1	3	0,40	0,75
$DC_{(1)}$	1	4	0,40	0,31
$DC_{(1)}$	1	5	0,40	0,04
$DC_{(1)}$	2	1	0,32	0,05
$DC_{(1)}$	2	2	0,32	0,35
$DC_{(1)}$	2	3	0,32	0,75
$DC_{(1)}$	2	4	0,32	0,31
$DC_{(1)}$	2	5	0,32	0,04
$DC_{(2)}$	3	1	0,20	0,05
$DC_{(2)}$	3	2	0,20	0,35
$DC_{(2)}$	4	1	0,20	0,05
$DC_{(2)}$	4	2	0,20	0,35
$DC_{(3)}$	3	3	0,20	0,75
$DC_{(3)}$	3	4	0,20	0,31
$DC_{(3)}$	3	5	0,20	0,04
$DC_{(3)}$	4	3	0,20	0,75
$DC_{(4)}$	4	4	0,20	0,31
$DC_{(4)}$	4	5	0,20	0,04

Идентичним поступком добијене су синтезне оцене "ризик-трошкови" (R_iC) за све посматране машине, а овде су дате коначне оцене у следећем облику (8.32):

$$\begin{aligned} \mu_{RiC-A1} &= (0,40 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,00), \\ \mu_{Rik-A2} &= (0,43 \ 0,19 \ 0,19 \ 0,19 \ 0,00), \\ \mu_{Rik-A3} &= (0,51 \ 0,11 \ 0,17 \ 0,17 \ 0,00), \\ \mu_{Rik-A4} &= (0,43 \ 0,11 \ 0,19 \ 0,19 \ 0,00), \\ \mu_{Rik-A5} &= (0,46 \ 0,18 \ 0,05 \ 0,00 \ 0,00), \\ \mu_{Rik-A6} &= (0,45 \ 0,05 \ 0,36 \ 0,16 \ 0,37), \\ \mu_{Rik-A7} &= (0,52 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,00), \\ \mu_{Rik-A8} &= (0,46 \ 0,20 \ 0,11 \ 0,00 \ 0,00), \\ \mu_{Rik-B1} &= (0,36 \ 0,00 \ 0,14 \ 0,07 \ 0,41), \\ \mu_{Rik-B2} &= (0,42 \ 0,08 \ 0,48 \ 0,17 \ 0,48), \\ \mu_{Rik-B3} &= (0,44 \ 0,40 \ 0,40 \ 0,08 \ 0,08), \\ \mu_{Rik-B4} &= (0,45 \ 0,00 \ 0,13 \ 0,13 \ 0,40), \\ \mu_{Rik-B5} &= (0,42 \ 0,06 \ 0,41 \ 0,10 \ 0,42), \\ \mu_{Rik-B6} &= (0,45 \ 0,41 \ 0,41 \ 0,08 \ 0,08), \\ \mu_{Rik-C1} &= (0,40 \ 0,04 \ 0,31 \ 0,14 \ 0,37), \\ \mu_{Rik-C2} &= (0,36 \ 0,04 \ 0,32 \ 0,17 \ 0,38), \\ \mu_{Rik-C3} &= (0,33 \ 0,00 \ 0,17 \ 0,17 \ 0,37), \\ \mu_{Rik-C4} &= (0,34 \ 0,39 \ 0,32 \ 0,04 \ 0,04), \\ \mu_{Rik-C5} &= (0,40 \ 0,13 \ 0,41 \ 0,20 \ 0,41), \\ \mu_{Rik-C6} &= (0,39 \ 0,00 \ 0,13 \ 0,13 \ 0,39), \\ \mu_{Rik-C7} &= (0,37 \ 0,11 \ 0,38 \ 0,21 \ 0,38). \end{aligned}$$

8.3.3 Фази композиција синтезних "техничко-економских" показатеља на ниво употребног квалитета дозера - модел *max-min* композиције - III ниво синтезе

На завршном III нивоу развоја фази модела употребног квалитета дозера извршена је фази композиција синтезних "техничко-економских" показатеља у оцену употребног квалитета дозера.

Оцена употребног квалитета (QS) дозера добијена је фази композицијом синтезних оцена "ефективност-трошкови" (EC), "расположивост-трошкови" (AC), "сигурност функционисања-трошкови" (DC) и "ризик-трошкови" (RiC). Примењен је модел *max-min* композиције (поглавље 7.3) где ознаке у општем облику модела подразумевају следеће: $Q_1 = EC$, $Q_2 = AC$, $Q_3 = DC$, $Q_4 = RiC$.

Процес добијања коначне оцене употребног квалитета (QS) у фази облику за дозер A1 приказан је у наставку.

Применом *max-min* композиције за оцену QS неопходне су фазификоване синтезне оцене μ_{EC-A1} , дата у (8.29), μ_{AC-A1} , дата у (8.30), μ_{DC-A1} , дата у (8.31) и μ_{RiC-A1} дата у (8.32):

$$\begin{aligned}\mu_{EC-A1} &= (0,27 \ 0,35 \ 0,39 \ 0,31 \ 0,15), \\ \mu_{AC-A1} &= (0,27 \ 0,35 \ 0,39 \ 0,31 \ 0,22), \\ \mu_{DC-A1} &= (0,27 \ 0,35 \ 0,39 \ 0,31 \ 0,17), \\ \mu_{RiC-A1} &= (0,40 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,00).\end{aligned}$$

Могуће је направити $Z=5^4=625$ комбинација са 500 исходом. За сваки исход одређена је вредност Ω_z . Комбинације првих пет исхода ($\Omega_z=1$) су:

$$\begin{aligned}1-1-1-1: QS_{1-1-1-1} &= [0,27 \ 0,27 \ 0,27 \ 0,40], \text{ где је } \Omega_{z1-1-1-1} = (1+1+1+1) / 4 = 1. \\ 1-1-1-2: QS_{1-1-1-2} &= [0,27 \ 0,27 \ 0,27 \ 0,20], \text{ где је } \Omega_{z1-1-1-1} = (1+1+1+2) / 4 = 1. \\ 1-1-2-1: QS_{1-1-2-1} &= [0,27 \ 0,27 \ 0,35 \ 0,40], \text{ где је } \Omega_{z1-1-1-1} = (1+1+2+1) / 4 = 1. \\ 1-2-1-1: QS_{1-2-1-1} &= [0,27 \ 0,35 \ 0,27 \ 0,40], \text{ где је } \Omega_{z1-1-1-1} = (1+2+1+1) / 4 = 1. \\ 2-1-1-1: QS_{2-1-1-1} &= [0,35 \ 0,27 \ 0,27 \ 0,40], \text{ где је } \Omega_{z1-1-1-1} = (2+1+1+1) / 4 = 1.\end{aligned}$$

Детектоване су минималне вредности функција припадности исхода $\Omega_z=1$:

$$MIN_{1-1-1-1} = 0,27 ; MIN_{1-1-1-2} = 0,20 ; MIN_{1-1-2-1} = 0,27 ; MIN_{1-2-1-1} = 0,27 ; MIN_{2-1-1-1} = 0,27 .$$

Идентификована је максимална вредност међу претходно детектованим минимумима, $MAX (MIN_{\Omega_z=1}) = 0,27$.

Резултати осталих исхода приказани су у табели 1, ПРИЛОГ 3 (*Структура max-min композиције за оцену употребног квалитета - дозер A1*), где су подељаним бројевима означене минималне вредности, а максималне вредности су осенчене.

Сви исходи су груписани на основу величине Ω_z ($\Omega_z = 1, \dots, 5$). Према усвојеним критеријумима и резултатима у табели 1, ПРИЛОГ 3, добијена је синтезна оцена употребног квалитета (QS) за дозер A1 у облику:

$$\mu_{QS-A1} = (0,27 \ 0,35 \ 0,39 \ 0,22 \ 0,17).$$

Оцена QS за дозер A1 је идентификована као најбоља могућа између најлошије очекиваних парцијалних оцена (EC , AC , DC и RiC).

Идентичним поступком добијене су синтезне оцене употребног квалитета (QS) за све посматране машине, а овде су дате коначне оцене у следећем облику:

$$\begin{aligned}
\mu_{QS-A1} &= (0,27 \ 0,35 \ 0,39 \ 0,22 \ 0,17), \\
\mu_{QS-A2} &= (0,31 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,19 \ 0,02), \\
\mu_{QS-A3} &= (0,27 \ 0,27 \ 0,35 \ 0,19 \ 0,14), \\
\mu_{QS-A4} &= (0,25 \ 0,27 \ 0,35 \ 0,19 \ 0,12), \\
\mu_{QS-A5} &= (0,24 \ 0,40 \ 0,05 \ 0,00 \ 0,00), \\
\mu_{QS-A6} &= (0,28 \ 0,36 \ 0,36 \ 0,36 \ 0,16), \\
\mu_{QS-A7} &= (0,28 \ 0,34 \ 0,34 \ 0,20 \ 0,03), \\
\mu_{QS-A8} &= (0,30 \ 0,34 \ 0,11 \ 0,00 \ 0,00), \\
\mu_{QS-B1} &= (0,17 \ 0,36 \ 0,36 \ 0,41 \ 0,14), \\
\mu_{QS-B2} &= (0,13 \ 0,25 \ 0,36 \ 0,36 \ 0,26), \\
\mu_{QS-B3} &= (0,22 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,08 \ 0,08), \\
\mu_{QS-B4} &= (0,20 \ 0,31 \ 0,45 \ 0,40 \ 0,18), \\
\mu_{QS-B5} &= (0,21 \ 0,21 \ 0,41 \ 0,41 \ 0,13), \\
\mu_{QS-B6} &= (0,23 \ 0,45 \ 0,45 \ 0,08 \ 0,08), \\
\mu_{QS-C1} &= (0,22 \ 0,23 \ 0,35 \ 0,35 \ 0,27), \\
\mu_{QS-C2} &= (0,24 \ 0,24 \ 0,35 \ 0,35 \ 0,20), \\
\mu_{QS-C3} &= (0,25 \ 0,26 \ 0,33 \ 0,37 \ 0,19), \\
\mu_{QS-C4} &= (0,22 \ 0,39 \ 0,32 \ 0,04 \ 0,04), \\
\mu_{QS-C5} &= (0,20 \ 0,40 \ 0,41 \ 0,41 \ 0,07), \\
\mu_{QS-C6} &= (0,18 \ 0,18 \ 0,39 \ 0,39 \ 0,12), \\
\mu_{QS-C7} &= (0,21 \ 0,25 \ 0,38 \ 0,38 \ 0,11).
\end{aligned} \tag{8.33}$$

8.4 Идентификација - дефазификација коначне оцене употребног квалитета дозера и његових показатеља

Идентификација коначне оцене употребног квалитета дозера извршена је применом *Best-fit* методе [21], дефинисањем степена припадности оцене, добијене у поступку фази композиције, одређеном фази скупу за оцену употребног квалитета, изражене у зависности од дефинисаних лингвистичких променљивих које га описују (поглавље 7.4).

У наставку је приказан поступак идентификације коначне оцене употребног квалитета (*QS*) за дозер А1.

Пресликавањем синтезне оцене μ_{QS-A1} (8.33) према конфигурацији фази скупова употребног квалитета (слика 7.1.1), добијена је коначна оцена употребног квалитета (*QS*) за дозер А1:

Растојање (d_i) између вредности функција припадности оцене μ_{QS-A1} класама и вредности функција припадности фази бројевима скупа μ_{QS} , са лингвистичком променљивом "ВЕОМА ВИСОК НИВО", добијено је према (7.71):

$$\begin{aligned}
d_1(QS_{A1}, IQS \text{ "ВЕОМА ВИСОК НИВО"}) &= \sqrt{\sum_{j=1}^{j=5} (\mu_{QS_{A1}}^j - \mu_{IQS \text{ "ВЕОМА ВИСОК НИВО"}}^j)^2} = \\
&= \sqrt{(0,27 - 0,00)^2 + (0,35 - 0,00)^2 + (0,39 - 0,00)^2 + (0,22 - 0,25)^2 + (0,17 - 1,00)^2} = 1,021
\end{aligned}$$

У идентичном поступку добијена су растојања d_i за остале фази скупове дефинисане за оцену употребног квалитета:

$$\begin{aligned} d_2(QS_{A1}, II QS \text{ "ВИСОК НИВО"}) &= 0,915 ; \\ d_3(QS_{A1}, III QS \text{ "СРЕДЊИ НИВО"}) &= 0,698 ; \\ d_4(QS_{A1}, IV QS \text{ "НИЗАК НИВО"}) &= 0,717 ; \\ d_5(QS_{A1}, V QS \text{ "ВЕОМА НИЗАК НИВО"}) &= 0,876 . \end{aligned}$$

Релативно растојање (α_i), сходно најмањем добијеном растојању $d_{i \min} = d_3$, у односу на задате фази скупове је (према релацији 7.72):

$$\alpha_1 = \frac{1}{d_1 / d_3} = \frac{1}{1,021/0,698} = 0,683 ;$$

$$\alpha_2 = 0,762 ; \alpha_3 = 1,000 ; \alpha_4 = 0,974 ; \alpha_5 = 0,796 . \quad (8.34)$$

Нормализована релативна растојања (β_i), у распону $0 \leq \beta \leq 1$, добијена су према (7.73):

$$\beta_1 = \frac{\alpha_1}{\sum_{i=1}^5 \alpha_i} = \frac{\alpha_1}{0,683 + 0,762 + 1,000 + 0,974 + 0,796} = 0,162 ;$$

$$\beta_2 = 0,181 ; \beta_3 = 0,237 ; \beta_4 = 0,231 ; \beta_5 = 0,189 .$$

Коначна оцена употребног квалитета (QS) за дозер А1, добијена је према релацији (7.74) у следећем облику (8.35):

$$QS_{A1} = (0,162 \text{ "ВЕОМА ВИСОК НИВО"} ; 0,181 \text{ "ВИСОК НИВО"} ; 0,237 \text{ "СРЕДЊИ НИВО"} ; 0,231 \text{ "НИЗАК НИВО"} ; 0,189 \text{ "ВЕОМА НИЗАК НИВО"}). \quad (8.35)$$

Идентичним поступком добијене су коначне оцене QS за све посматране дозере, приказане у табели 8.4.1.

Табела 8.4.1. Процена употребног квалитета посматраних дозера

УПОТРЕБНИ КВАЛИТЕТ (QS)					
Машина	j				
	5	4	3	2	1
	О Ц Е Н А				
	"ВЕОМА ВИСОК НИВО"	"ВИСОК НИВО"	"СРЕДЊИ НИВО"	"НИЗАК НИВО"	"ВЕОМА НИЗАК НИВО"
A1	0,162	0,181	0,237	0,231	0,189
A2	0,143	0,169	0,235	0,251	0,203
A3	0,167	0,184	0,233	0,217	0,199
A4	0,165	0,185	0,236	0,218	0,196
A5	0,157	0,155	0,174	0,283	0,230
A6	0,162	0,208	0,227	0,219	0,184

A7	0,150	0,178	0,231	0,240	0,202
A8	0,156	0,156	0,181	0,261	0,246
B1	0,161	0,227	0,236	0,212	0,165
B2	0,189	0,234	0,233	0,186	0,158
B3	0,152	0,160	0,240	0,260	0,188
B4	0,161	0,223	0,260	0,194	0,162
B5	0,162	0,240	0,251	0,180	0,166
B6	0,143	0,152	0,250	0,276	0,179
C1	0,190	0,229	0,224	0,185	0,173
C2	0,176	0,225	0,229	0,191	0,178
C3	0,175	0,227	0,221	0,196	0,182
C4	0,150	0,156	0,223	0,273	0,198
C5	0,148	0,215	0,252	0,220	0,165
C6	0,164	0,238	0,250	0,180	0,167
C7	0,161	0,229	0,246	0,192	0,172

Применом истог поступка идентификоване су и коначне оцене синтезних показатеља употребног квалитета: ефективност (E), расположивост (A), сигурност функционисања (D) и ризик (R_i).

Пресликавањем синтезних оцена μ_E (релације 8.24), према конфигурацији фази скупова ефективности (слика 7.1.1), добијене су коначне оцене ефективности (E) за посматране дозере, у складу са дефинисаним лингвистичким променљивим које их описују (поглавље 7.1). Коначне оцене показатеља E посматраних дозера дате су у табели 8.4.2.

Табела 8.4.2. Процена ефективности посматраних дозера

ЕФЕКТИВНОСТ (E)					
Машина	j				
	5	4	3	2	1
	О Ц Е Н А				
	"ОДЛИЧНА"	"ДОБРА"	"ПРОСЕЧНА"	"ПРИХВАТЉИВА"	"ЛОША"
A1	0,166	0,237	0,255	0,190	0,152
A2	0,145	0,179	0,248	0,246	0,182
A3	0,177	0,230	0,240	0,195	0,158
A4	0,167	0,223	0,244	0,201	0,165
A5	0,178	0,248	0,251	0,178	0,144
A6	0,145	0,184	0,248	0,242	0,181
A7	0,173	0,213	0,227	0,213	0,174
A8	0,169	0,218	0,233	0,206	0,174
B1	0,144	0,202	0,302	0,206	0,146
B2	0,200	0,254	0,237	0,165	0,144
B3	0,167	0,232	0,252	0,195	0,154
B4	0,147	0,221	0,292	0,192	0,148
B5	0,156	0,273	0,269	0,164	0,139
B6	0,153	0,254	0,277	0,172	0,143

C1	0,191	0,262	0,234	0,172	0,142
C2	0,178	0,254	0,244	0,179	0,145
C3	0,171	0,231	0,243	0,193	0,162
C4	0,153	0,204	0,262	0,216	0,165
C5	0,143	0,192	0,295	0,220	0,150
C6	0,149	0,269	0,283	0,159	0,140
C7	0,141	0,222	0,331	0,170	0,137

Пресликавањем синтезних оцена μ_A (релације 8.30), према конфигурацији фази скупова расположивости (слика 7.1.1) добијене су коначне оцене расположивости (A) за посматране дозере, у складу са дефинисаним лингвистичким променљивим које их описују (поглавље 7.1). Коначне оцене показатеља A посматраних дозера дате су у табели 8.4.3.

Табела 8.4.3. Процена расположивости посматраних дозера

РАСПОЛОЖИВОСТ (A)					
Машина	j				
	5	4	3	2	1
	О Ц Е Н А				
	"ОДЛИЧНА"	"ДОБРА"	"ПРОСЕЧНА"	"ПРИХВАТЉИВА"	"ЛОША"
A1	0,177	0,239	0,247	0,187	0,150
A2	0,178	0,218	0,242	0,202	0,160
A3	0,176	0,235	0,241	0,189	0,159
A4	0,192	0,233	0,232	0,187	0,156
A5	0,176	0,245	0,248	0,180	0,151
A6	0,182	0,230	0,235	0,192	0,161
A7	0,186	0,222	0,222	0,197	0,172
A8	0,183	0,220	0,225	0,201	0,171
B1	0,166	0,286	0,247	0,162	0,140
B2	0,191	0,238	0,237	0,184	0,150
B3	0,183	0,244	0,243	0,179	0,151
B4	0,170	0,275	0,240	0,168	0,147
B5	0,160	0,282	0,250	0,166	0,141
B6	0,158	0,260	0,266	0,173	0,144
C1	0,188	0,256	0,229	0,175	0,152
C2	0,175	0,248	0,239	0,181	0,156
C3	0,187	0,235	0,233	0,186	0,159
C4	0,177	0,249	0,242	0,178	0,154
C5	0,164	0,276	0,249	0,167	0,144
C6	0,159	0,295	0,235	0,164	0,148
C7	0,156	0,309	0,231	0,163	0,141

Пресликавањем синтезних оцена μ_D (релације 8.31), према конфигурацији фази скупова сигурности функционисања (слика 7.1.1) добијене су коначне оцене сигурност функционисања (D) за посматране дозере, у складу са дефинисаним лингвистичким

променљивим које их описују (поглавље 7.1). Коначне оцене показатеља D посматраних дозера дате су у табели 8.4.4.

Табела 8.4.4. Процена сигурности функционисања посматраних дозера

СИГУРНОСТ ФУНКЦИОНИСАЊА (D)					
Машина	j				
	5	4	3	2	1
	О Ц Е Н А				
	"ОДЛИЧНА"	"ДОБРА"	"ПРОСЕЧНА"	"ПРИХВАТЉИВА"	"ЛОША"
A1	0,170	0,238	0,252	0,189	0,151
A2	0,166	0,216	0,250	0,206	0,162
A3	0,165	0,232	0,248	0,193	0,161
A4	0,178	0,232	0,240	0,192	0,159
A5	0,161	0,214	0,260	0,207	0,159
A6	0,169	0,230	0,245	0,196	0,160
A7	0,178	0,224	0,233	0,199	0,165
A8	0,168	0,206	0,234	0,214	0,178
B1	0,044	0,190	0,492	0,492	0,135
B2	0,178	0,237	0,245	0,188	0,152
B3	0,182	0,247	0,247	0,178	0,146
B4	0,162	0,264	0,269	0,165	0,140
B5	0,149	0,264	0,286	0,163	0,138
B6	0,145	0,187	0,292	0,225	0,151
C1	0,167	0,253	0,244	0,181	0,156
C2	0,163	0,222	0,265	0,190	0,160
C3	0,178	0,239	0,246	0,187	0,151
C4	0,176	0,252	0,251	0,176	0,146
C5	0,145	0,198	0,294	0,216	0,147
C6	0,147	0,252	0,295	0,163	0,143
C7	0,157	0,311	0,232	0,162	0,138

Пресликавањем синтезних оцена μ_S (релације 8.27), према конфигурацији фази скупова озбиљности отказа (слика 7.1.1), добијене су коначне оцене овог индикатора ризика - озбиљност отказа (S) за посматране дозере, у складу са дефинисаним лингвистичким променљивим које их описују (поглавље 7.1). Коначне оцене индикатора S посматраних дозера дате су у табели 8.4.5.

Табела 8.4.5. Процена озбиљности отказа посматраних дозера

ОЗБИЉНОСТ ОТКАЗА (S)					
Машина	j				
	5	4	3	2	1
	О Ц Е Н А				
	"ВЕОМА НИЗАК НИВО"	"НИЗАК НИВО"	"ПРОСЕЧАН НИВО"	"ВИСОК НИВО"	"ВЕОМА ВИСОК НИВО"
A1	0,277	0,184	0,174	0,174	0,191
A2	0,240	0,196	0,199	0,185	0,181
A3	0,251	0,196	0,192	0,183	0,178
A4	0,282	0,192	0,181	0,173	0,172
A5	0,276	0,191	0,183	0,176	0,174
A6	0,246	0,197	0,193	0,184	0,180
A7	0,208	0,202	0,198	0,198	0,193
A8	0,215	0,201	0,202	0,194	0,188
B1	0,278	0,184	0,174	0,188	0,176
B2	0,286	0,181	0,171	0,190	0,172
B3	0,263	0,191	0,180	0,187	0,179
B4	0,260	0,190	0,180	0,191	0,179
B5	0,272	0,185	0,175	0,191	0,176
B6	0,272	0,191	0,178	0,181	0,178
C1	0,259	0,194	0,187	0,181	0,179
C2	0,242	0,193	0,185	0,196	0,183
C3	0,237	0,193	0,186	0,200	0,184
C4	0,255	0,195	0,183	0,185	0,181
C5	0,266	0,206	0,192	0,181	0,155
C6	0,258	0,192	0,181	0,189	0,181
C7	0,252	0,210	0,198	0,185	0,156

Пресликавањем синтезних оцена μ_{Ri} (релације 8.28), према конфигурацији фази скупа ризика (слика 7.1.1) добијене су коначне оцене ризика (R_i) за посматране дозере, у складу са дефинисаним лингвистичким променљивим које их описују (поглавље 7.1). Коначне оцене показатеља R_i посматраних дозера дате су у табели 84.6.

Табела 8.4.6. Процена ризика посматраних дозера

РИЗИК (R_i)					
Машина	j				
	5	4	3	2	1
	О Ц Е Н А				
	"МИНОРАН"	"НИЗАК"	"УМЕРЕН"	"ВИСОК"	"ЕКСТРЕМАН"
A1	0,149	0,173	0,189	0,233	0,255
A2	0,148	0,169	0,184	0,231	0,268
A3	0,143	0,159	0,171	0,223	0,305
A4	0,150	0,173	0,186	0,220	0,271

A5	0,145	0,165	0,179	0,230	0,281
A6	0,206	0,173	0,170	0,205	0,246
A7	0,146	0,168	0,179	0,203	0,304
A8	0,147	0,169	0,183	0,222	0,278
B1	0,226	0,165	0,163	0,215	0,231
B2	0,239	0,178	0,169	0,193	0,222
B3	0,210	0,171	0,167	0,210	0,242
B4	0,211	0,168	0,165	0,208	0,248
B5	0,221	0,166	0,162	0,210	0,241
B6	0,218	0,169	0,164	0,199	0,249
C1	0,220	0,177	0,170	0,196	0,237
C2	0,214	0,178	0,175	0,212	0,221
C3	0,221	0,184	0,179	0,203	0,214
C4	0,218	0,177	0,174	0,215	0,216
C5	0,213	0,178	0,175	0,215	0,219
C6	0,216	0,172	0,169	0,209	0,234
C7	0,215	0,187	0,181	0,201	0,216

Дефазификација оцене употребног квалитета QS у реалан број извршена је применом методе центра тежина (*Ying, 2009*) [120], поглавље 7.4, са чиме је омогућена њена даља примена, мерљивост и упоредна анализа.

Дефазификација оцене QS (8.33) дозера А1 извршена је према релацији (7.76) :

$$Z_{QS-A1} = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} \beta_i \cdot C_{LVi}}{\sum_{i=1}^{i=5} \beta_i} = \frac{0,162 \cdot 5 + 0,181 \cdot 4 + 0,237 \cdot 3 + 0,231 \cdot 2 + 0,189 \cdot 1}{0,162 + 0,181 + 0,237 + 0,231 + 0,189} = 2,728 \quad (8.36)$$

На исти начин дефазификоване су оцене QS (табела 8.4.1) за остале дозере, а вредности центра тежина оцена Z_{QS} су дате у табели 8.4.7.

Идентичним поступком су дефазификоване оцене показатеља употребног квалитета за све посматране дозере: поузданост (R), табела 8.1.2.1.1; погодност одржавања (M), табела 8.1.2.2.1; логистичка подршка одржавању (MS), табела 8.1.2.3.4; функционалност (F), табела 8.1.2.4.5; утицај отказа на радно окружење (S_{ro}), табела 8.1.2.5.4; утицај отказа на животну средину (S_{zs}), табела 8.1.2.6.4; детектабилност (D_t), табела 8.1.2.7.3; ефективност (E), табела 8.4.2; расположивост (A), табела 8.4.3; сигурност функционисања (D), табела 8.4.4; озбиљност отказа (S), табела 8.4.5; ризик (R_i), табела 8.4.6; трошкови дозера (C), табела 8.2.2.3.2. Вредности центра тежина оцена $Z_{R,M,MS,F,S_{ro},S_{zs},D_t,E,A,D,S,R_i,C}$ су дате у табели 8.4.7.

Табела 8.4.7. Оцене употребног квалитета посматраних дозера и његових показатеља добијене на бази центра тежина

ЦЕНТАР ТЕЖИНА ОЦЕНА (Z)														
Машина	Z_R	Z_M	Z_{MS}	Z_F	Z_{Sro}	Z_{Szs}	Z_S	Z_{Dt}	Z_E	Z_A	Z_D	Z_{Ri}	Z_C	Z_{QS}
A1	2,554	3,909	3,660	3,510	3,120	2,300	3,182	1,800	3,076	3,108	3,087	2,728	2,960	2,896
A2	2,630	2,878	3,420	1,762	3,060	2,600	3,130	1,760	2,861	3,053	3,019	2,698	2,770	2,796
A3	2,535	2,934	3,300	3,626	3,140	3,120	3,158	1,660	3,073	3,079	3,047	2,611	3,560	2,903
A4	2,790	3,200	3,520	2,490	2,940	3,280	3,238	1,691	3,026	3,116	3,078	2,710	3,580	2,905
A5	2,564	3,207	2,520	4,040	3,120	3,100	3,219	1,720	3,136	3,114	3,010	2,663	1,200	2,725
A6	2,703	2,895	3,560	1,570	2,960	2,760	3,144	1,702	2,869	3,081	3,051	2,888	3,950	2,945
A7	2,910	2,529	3,500	3,000	3,100	2,520	3,032	1,640	2,999	3,052	3,051	2,647	2,940	2,834
A8	2,670	2,624	2,520	3,300	3,000	2,920	3,060	1,720	3,002	3,041	2,973	2,683	1,440	2,716
B1	2,270	4,072	3,440	2,700	3,140	2,820	3,200	1,960	2,993	3,175	3,146	2,942	4,460	3,008
B2	2,782	3,406	3,760	4,480	3,140	2,860	3,220	1,820	3,200	3,136	3,101	3,017	3,740	3,108
B3	2,596	3,376	3,880	3,090	3,320	3,220	3,170	1,840	3,063	3,128	3,142	2,897	2,280	2,827
B4	2,380	3,351	3,700	2,812	3,220	3,040	3,160	1,800	3,027	3,154	3,143	2,886	4,490	3,027
B5	2,111	3,534	3,360	3,750	3,200	3,060	3,186	1,940	3,144	3,153	3,123	2,915	3,860	3,052
B6	2,089	3,356	2,820	3,410	3,429	3,240	3,199	1,951	3,101	3,114	2,949	2,910	2,280	2,804
C1	2,800	3,202	3,420	4,228	3,220	2,860	3,172	1,860	3,188	3,152	3,093	2,946	4,040	3,078
C2	2,430	3,140	3,120	4,130	3,200	2,840	3,116	2,000	3,141	3,105	3,040	2,952	4,040	3,030
C3	2,747	3,082	3,792	2,910	3,140	2,920	3,100	1,980	3,057	3,106	3,106	2,996	4,400	3,017
C4	2,510	3,208	3,800	2,240	3,220	2,480	3,158	1,940	2,964	3,116	3,136	2,964	1,960	2,788
C5	2,200	3,520	2,940	2,050	3,200	3,000	3,247	1,940	2,958	3,150	2,978	2,948	3,480	2,959
C6	2,099	3,291	3,320	3,460	3,120	2,880	3,157	2,020	3,128	3,154	3,097	2,928	4,270	3,052
C7	2,110	4,012	3,820	3,180	3,260	2,720	3,218	2,060	3,061	3,178	3,186	2,983	3,580	3,015

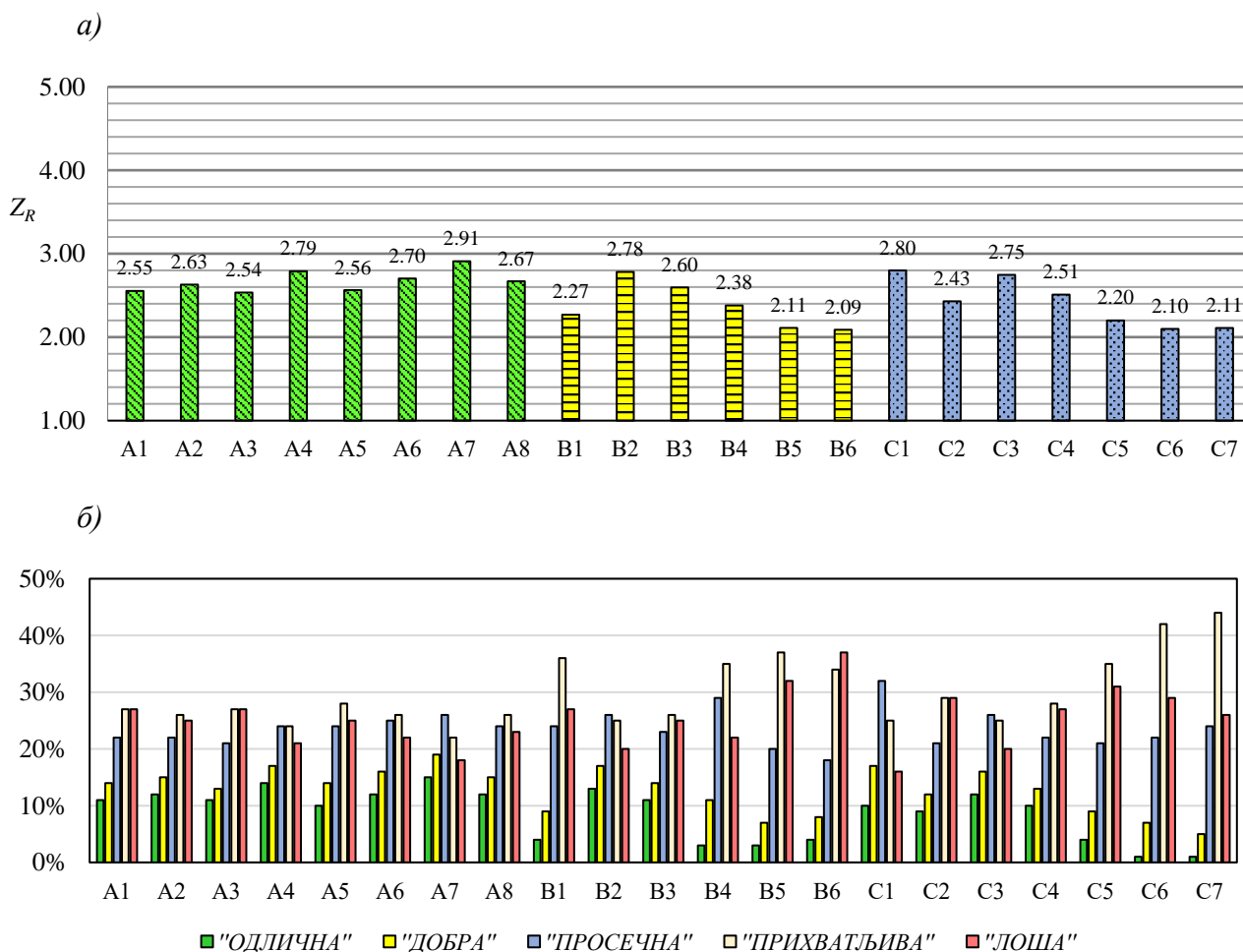
9 АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

У наредном тексту дата је анализа резултата процене употребног квалитета помоћне механизације на површинским коповима лигнита и показатеља који га дефинишу. Ради боље уочљивости тенденција добијених оцена графички су приказане њихове упоредне анализе.

9.1.1 Анализа резултата процене парцијалних показатеља употребног квалитета дозера

Анализа резултата процене поузданости

Резултати процене поузданости посматраних дозера приказани су у поглављу 8.1.2.1, табела 8.1.2.1.1. Оцене поузданости посматраних дозера добијене на бази центра тежина дате су у поглављу 8.4., табела 8.4.7. Упоредна анализа резултата поузданости добијених на бази центра тежина и појединачних оцена поузданости дозера приказана је на слици 9.1.1.1.



Слика 9.1.1.1. Упоредна анализа резултата процене поузданости:
а) на бази центра тежина; б) на бази појединачних оцена поузданости дозера

Добијене оцене поузданости посматраних машина су у интервалу између оцена 2 и 3.

Машине типа А су оцењене са вишим оценама у односу на машине типа В и С, које су на нешто нижем нивоу поузданости.

Концентрација оцена поузданости код већине посматраних машина је око "ПРИХВАТЉИВА" до "ЛОША" и "ПРОСЕЧНА". Оцене код само две машине преферирају ка "ПРОСЕЧНА" до "ПРИХВАТЉИВА" и "ДОБРА".

Највиши ниво поузданости поседује машина А7, са концентрацијом оцена око "ПРОСЕЧНА" до "ПРИХВАТЉИВА" и "ДОБРА". Ова машина је остварила највише мото часова (36.337) и има најбоље средње време до отказа у односу на друге посматране машине. Међутим, по свим другим техничком и економским показатељима значајно је лошије оцењена и припада групи машина које су оствариле најнижи ниво употребног квалитета.

На другом месту по нивоу поузданости је машина С1 чија је концентрација оцена такође око "ПРОСЕЧНА" до "ПРИХВАТЉИВА" и "ДОБРА". Остварила је мење мото часова (24.599) од машине А7, али по свим другим техничком и економским показатељима боље је оцењена. Припада јој друго место по оствареном нивоу употребног квалитета.

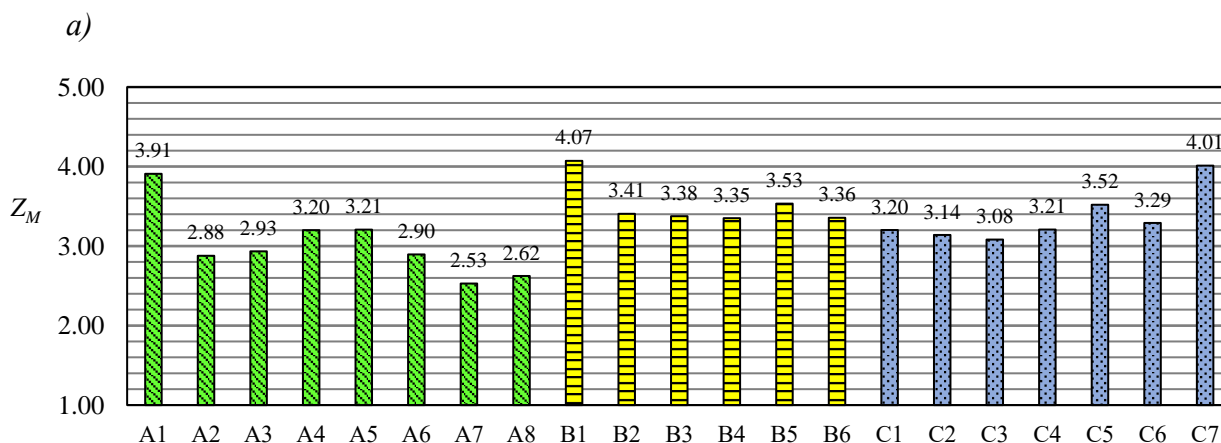
Међу најлошијим по нивоу поузданости су машине С6, С7 и В5. Концентрација оцена код ових машина је око "ПРИХВАТЉИВА" до "ЛОША" и "ПРОСЕЧНА" поузданост.

На најнижем нивоу поузданости је машина В6, са концентрацијом оцена око "ЛОША" до "ПРИХВАТЉИВА". Ова машина је остварила најмање мото часова (16.624) и има најлошије средње време до отказа у односу на друге посматране машине. Припада групи машина које су оствариле најнижи ниво употребног квалитета.

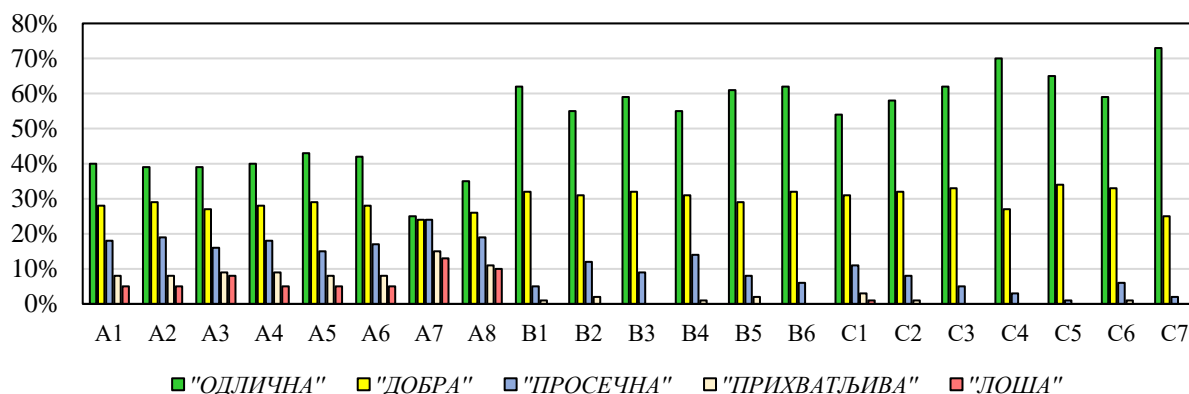
Анализа поузданости указује да су све посматране машине на релативно ниском нивоу поузданости, ни једна није остварила ниво оцене 3. Машине са највећим бројем мото часова и нешто бољом поузданошћу припадају групи посматраних машина које су оствариле најнижи ниво употребног квалитета, што значи да замена ових машина није извршена благовремено. Насупрот томе, машине које су оствариле оптималан број мото часова имају значајно виши ниво употребног квалитета.

Анализа резултата процене погодности одржавања

Резултати процене погодности одржавања посматраних дозера приказани су у поглављу 8.1.2.2., табела 8.1.2.2.1. Оцене погодности одржавања посматраних дозера добијене на бази центра тежина дате су у поглављу 8.4., табела 8.4.7. Упоредна анализа резултата погодности одржавања добијених на бази центра тежина и појединачних оцена погодности одржавања дозера приказана је на слици 9.1.1.2..



б)



Слика 9.1.1.2. Упоредна анализа резултата процене погодности одржавања:
а) на бази центра тежине; б) на бази појединачних оцена погодности одржавања дозера

Добијене оцене погодности одржавања код највећег броја посматраних машина су у интервалу између оцена 2,5 и 3,5. Само три машине имају оцену око 4.

Машине типа В и С су оцењене са вишим оценама у односу на машине типа А, које су на нешто нижем нивоу погодности одржавања.

Концентрација оцена погодности одржавања код машина типа В и С су око "ОДЛИЧНА" до "ДОБРА". Код машина типа А оцене су нешто уравнотеженије и преферирају ка "ОДЛИЧНА" до "ДОБРА" и "ПРОСЕЧНА".

Највиши ниво погодности одржавања поседује машина В1, са концентрацијом оцена око "ДОБРА" до "ОДЛИЧНА". Припада групи машина са најмањим временом у отказу, али и са најмање остварених мото часова (19.547). Средње време отказа ове машине је међу најбољим. По нивоу оствареног употребног квалитета средње је позиционирана у односу на посматране машине.

На другом месту по нивоу погодности одржавања је машина С7 чија је концентрација оцена такође око "ОДЛИЧНА" до "ДОБРА". Ова машина је најмање времена била у отказу, али такође припада групи машина са најмање остварених мото часова (17.656). Има најбоље средње време отказа. По свим другим техничком и економским показатељима релативно добро је оцењена и припада групи машина које су оствариле највиши ниво употребног квалитета.

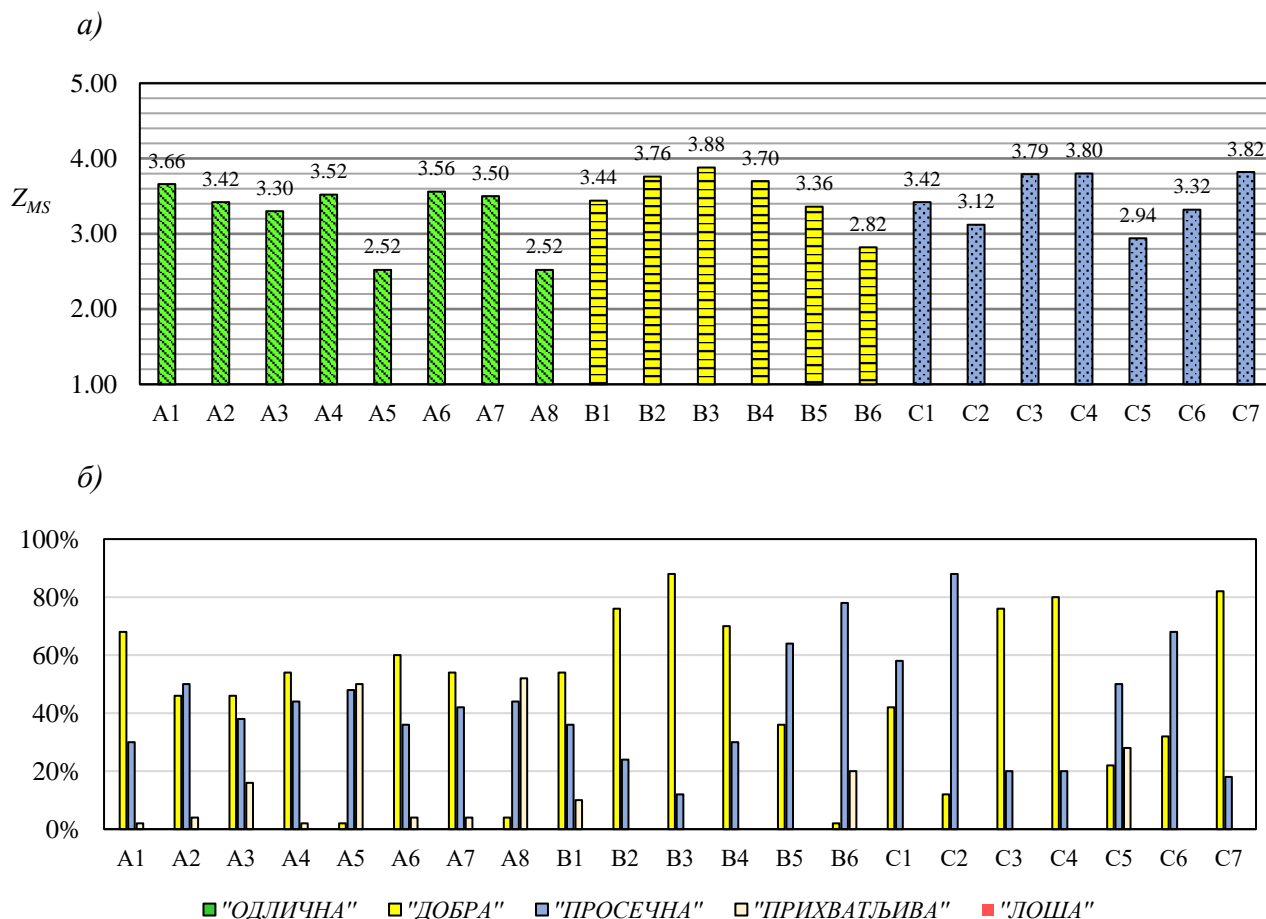
Следи машина А1 са блиском оценом која преферира ка "ОДЛИЧНА" до "ДОБРА" и "ПРОСЕЧНА". Припада групи машина које су оствариле највише мото часова. Била је дуже у отказу и са лошијим средњим временом отказа од прве две машине.

На најнижем нивоу погодности одржавања су машине А7 и А8 које имају уравнотеженији однос оцена са концентрацијом око "ПРОСЕЧНА", "ДОБРА" и "ОДЛИЧНА". Припадају групи машина са највећим временом у отказу, али и са највише остварених мото часова (36.337 и 32.562). Средње време отказа ових машине је најлошије. Припадају групи машина које су оствариле најнижи ниво употребног квалитета.

Анализа погодности одржавања указује да су машине типа В и С на нешто вишем нивоу погодности одржавања од машина типа А. Машине са највећим бројем мото часова имају најлошију погодност одржавања. Припадају групи посматраних машина које су оствариле најнижи ниво употребног квалитета, што значи да замена ових машина није извршена благовремено. Насупрот томе, машине које су оствариле оптималан број мото часова имају бољу погодност одржавања и значајно виши ниво употребног квалитета.

Анализа резултата процене логистичке подршке одржавању

Резултати процене логистичке подршке одржавању дозера приказани су у поглављу 8.1.2.3., табела 8.1.2.3.4. Оцене логистичке подршке одржавању посматраних дозера добијене на бази центра тежина дате су у поглављу 8.4., табела 8.4.7. Упоредна анализа резултата логистичке подршке одржавању добијених на бази центра тежина и појединачних оцена логистичке подршке одржавању дозера приказана је на слици 9.1.1.3.



Слика 9.1.1.3. Упоредна анализа резултата процене логистичке подршке одржавању: а) на бази центра тежина; б) на бази појединачних оцена логистичке подршке одржавању дозера

Добијене оцене логистичке подршке одржавању код највећег броја посматраних машина су у интервалу између оцена 2,5 и 3,5. Мањи број посматраних машина имају оцену око 4.

Машине типа В и С су оцењене са нешто вишим оценама у односу на машине типа А.

Концентрација оцена логистичке подршке одржавању код већине посматраних машина је око "ДОБРА" до "ПРОСЕЧНА".

Највиши ниво логистичке подршке одржавању поседује машина В3, са концентрацијом оцена око "ДОБРА". Припада групи машина са најмањим временом у отказу и просечно остварених мото часова (23.880). Због високих трошкова има лошију оцену употребног квалитета.

По нивоу логистичке подршке одржавању следе машине С7 и С4 чије оцене такође преферирају ка "ДОБРА". Припадају групи машина са најмањим временом у отказу и најмање остварених мото часова (17.656 и 20.291). Средње време отказа ових машине је међу најбољим.

Машина С7 припада групи посматраних машина које су оствариле највиши ниво употребног квалитета. Машина С4 је због високих трошкова једна од машина са најнижим нивоом употребног квалитета.

На најнижем нивоу логистичке подршке одржавању су машине А5 и А8 са концентрацијом оцена око *"ПРИХВАТЉИВА"* до *"ПРОСЕЧНА"*. Припадају групи машина са највећим временом у отказу, али и са највише остварених мото часова (26.119 и 32.562). Средње време отказа ових машина је међу најлошијим. Ове машине су оствариле најнижи ниво употребног квалитета.

Анализа логистичке подршке одржавању указује да су машине типа В и С имале бољу логистичку подршку одржавању. Машине са највећим бројем остварених мото часова су имале најлошију логистичку подршку одржавању и оствариле су најнижи ниво употребног квалитета. Анализа временске слике стања посматраних машина указује на чињеницу да је код неких машина евидентирано чекање на поправу због недостатка резервних делова, због чега је њихова логистичка подршка одржавању оцењена лошије. Анализа логистичке подршке одржавању потврђује чињеницу да најдуже коришћене машине нису имале адекватно одржавање и логистичку подршку одржавању и нису благовремено замењене новим машинама, због чега је њихов укупни ефекат рада на знатно нижем нивоу од других посматраних машина.

Анализа резултата процене функционалне погодности

Резултати процене функционалне погодности посматраних дозера приказани су у поглављу 8.1.2.4., табела 8.1.2.4.5. Оцене функционалне погодности посматраних дозера добијене на бази центра тежина дате су у поглављу 8.4., табела 8.4.7. Упоредна анализа резултата функционалне погодности добијених на бази центра тежина и појединачних оцена функционалне погодности дозера приказана је на слици 9.1.1.4.

Добијене оцене функционалне погодности посматраних машина се веома разликују, крећу се у интервалу између оцена 1,5 и 4,5.

Машине типа В су оцењене са нешто вишим оценама у односу на машине типа А и С.

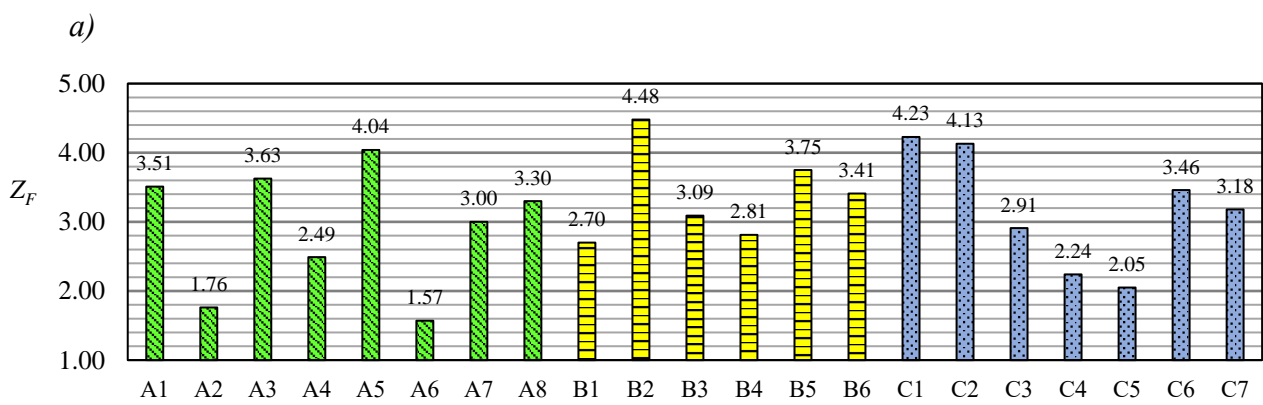
Концентрација оцена функционалне погодности код највећег броја машина је око *"ДОБРА"* и *"ПРОСЕЧНА"*.

Највиши ниво функционалне погодности поседује машина В2, чија оцена преферира ка *"ВИСОК НИВО"* до *"ВЕОМА ВИСОК НИВО"* функционалности.

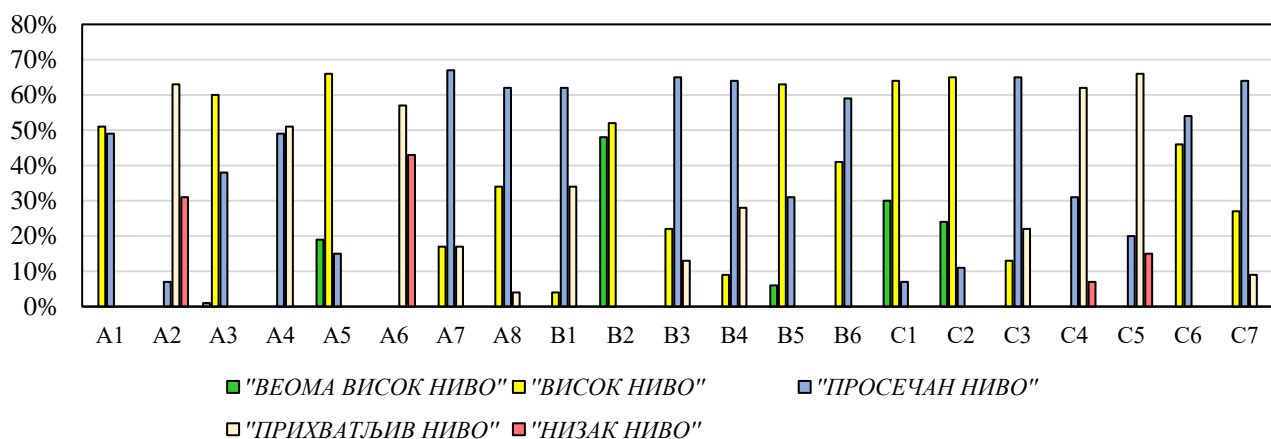
По нивоу функционалне погодности следе машине С1 и С2 чије су концентрације оцена такође око *"ВИСОК НИВО"* до *"ВЕОМА ВИСОК НИВО"*.

На најнижем нивоу функционалне погодности су машине А6 и А2 са концентрацијом оцена око *"ПРИХВАТЉИВ. НИВО"* до *"НИЗАК НИВО"*.

Овако велик распон оцена функционалне погодности посматраних машина може се објаснити различитим условима радне средине на површинским коповима лигнита који се односе на карактеристике материјала у коме су машине радиле (угаљ, глине, шљункови и др.), заводњеност материјала, динамичке ударе, присуство прашине, температурне разлике и слично, али исто тако указује и на неадекватан начин управљања машинама, услед чега долази до различитог одсупања радног учинка (капацитета) од теоријског, односно до различите прилагођености машина условима радне средине.



б)

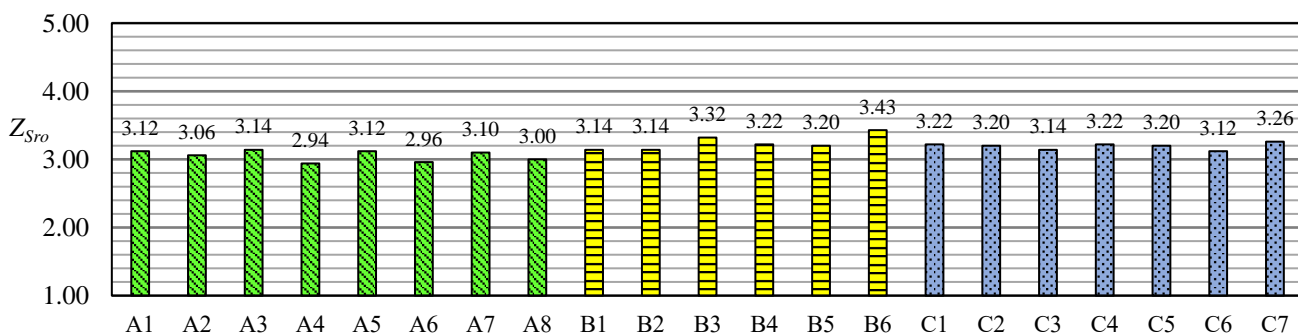


Слика 9.1.1.4. Упоредна анализа резултата процене функционалне погодности: а) на бази центра тежина; б) на бази појединачних оцена функционалне погодности дозера

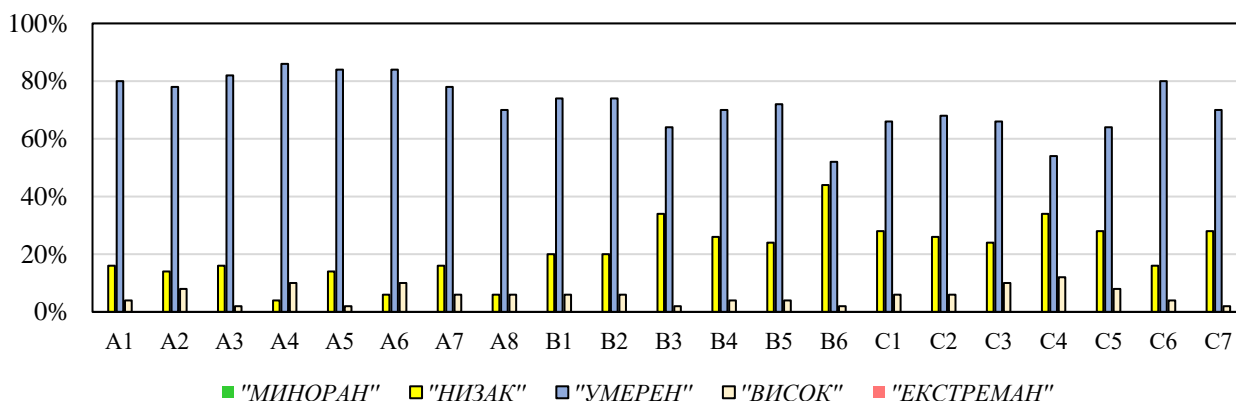
Анализа резултата процене утицаја отказа на радно окружење

Резултати процене утицаја отказа на радно окружење посматраних дозера приказани су у поглављу 8.1.2.5., табела 8.1.2.5.4. Оцене утицаја отказа на радно окружење посматраних дозера добијене на бази центра тежина дате су у поглављу 8.4., табела 8.4.7. Упоредна анализа резултата процене утицаја отказа на радно окружење добијених на бази центра тежина и појединачних оцена утицаја отказа на радно окружење приказана је на слици 9.1.1.5.

а)



б)



Слика 9.1.1.5. Упоредна анализа резултата процене утицаја отказа на радно окружење: а) на бази центра тежина; б) на бази појединачних оцена утицаја отказа на радну средину дозера

Резултати процене утицаја отказа на радно окружење указују на постојање исте тенденције и блискост оцена за све посматране машине и крећу се око оцене 3.

Оцене утицаја отказа на радно окружење посматраних машина преферирају ка оцени "УМЕРЕН", у мањем проценту ка оцени "НИЗАК". Оцена "ВИСОК" утицај отказа на радно окружење је заступљена у значајно мањем проценту, што не треба занемарити с' обзиром да се ради о људским животима.

Најбоље је оцењена машина В6 са концентрацијом оцена око "УМЕРЕН" до "НИЗАК".

Најлошије је оцењена машина А4 чија оцена преферираја ка "УМЕРЕН".

Резултати анализе указују да је утицај отказа на запослене раднике умерен. Долази до лакших телесних повреда запослених радника које се санирају једноставним третманима и ређе до повреда које захтевају одређену негу. Теже телесне повреде су ретке али се догађају. Висок утицај отказа на радно окружење код посматраних машина се креће од неколико процената до 10% што захтева примену адекватних мера заштите, придржавање и контролу истих.

Анализа резултата процене утицаја отказа на животну средину

Резултати процене утицаја отказа на животну средину посматраних дозера приказани су у поглављу 8.1.2.6., табела 8.1.2.6.4. Оцене утицаја отказа на животну средину посматраних дозера добијене на бази центра тежина дате су у поглављу 8.4., табела 8.4.7. Упоредна анализа резултата утицаја отказа на животну средину добијених на бази центра тежина и појединачних оцена утицаја отказа на животну средину приказана је на слици 9.1.1.6.

Добијене оцене утицаја отказа на животну средину код највећег броја посматраних машина су око оцене 3. Мањи број машина има оцену око 2,5.

Машине типа В су оцењене са нешто вишим оценама у односу на машине типа А и С, док је појединачно гледано машина А4 најбоље оцењена.

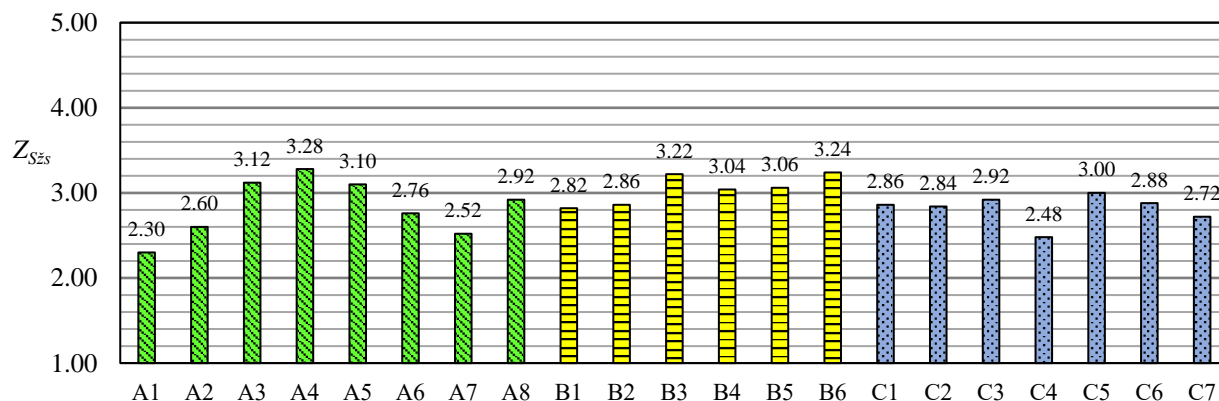
Оцене утицаја отказа на животну средину код највећег броја посматраних машина преферирају ка оценама "УМЕРЕН" и "ВИСОК" до "НИЗАК".

Машина А4 која је најбоље оцењена има концентрацију оцена око "НИЗАК" до "УМЕРЕН".

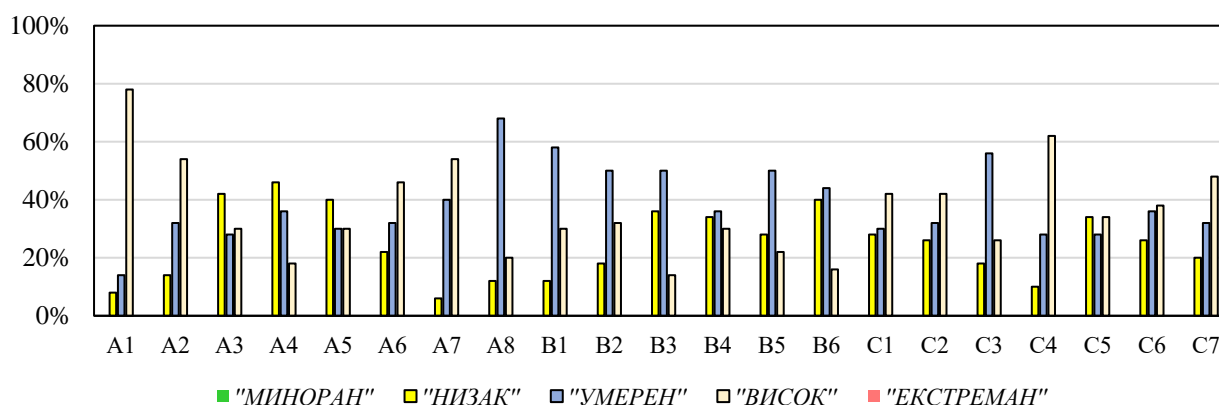
Друго пласирана машина по утицају отказа на животну средину је машина В6, са концентрацијом оцена "УМЕРЕН" до "НИЗАК".

Најлошије су оцењене машине А1 и С4 чије оцене преферираја ка "ВИСОК".

а)



б)



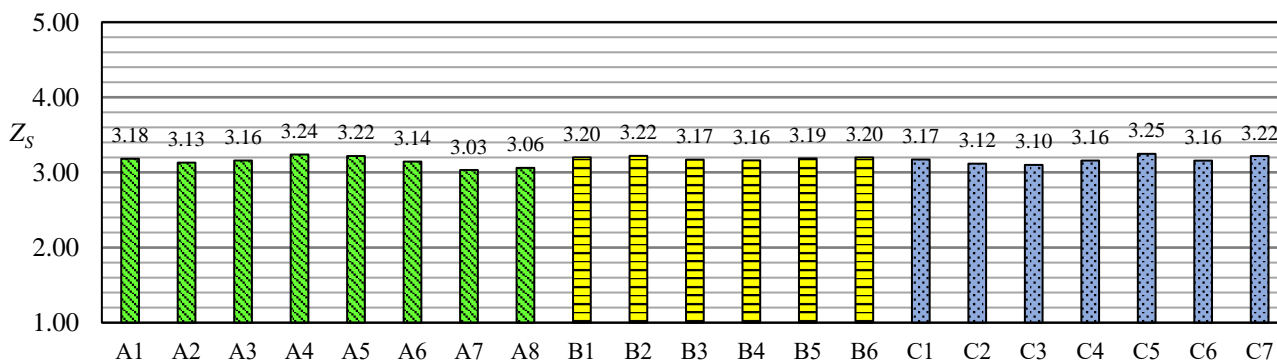
Слика 9.1.1.6. Упоредна анализа резултата процене утицаја отказа на животну средину: а) на бази центра тежина; б) на бази појединачних оцена утицаја отказа на животну средину дозера

Резултати анализе указују да је утицај отказа на животну средину умерен до висок. Најчешће су локализовани мерама ублажавања и спречавања. Ниво буке и загађење ваздуха емисијом прашине и полутаната је умерено до висок. Повремено долази до локалне хемијске запрљаности земљишта нафтним дериватима, мастима и техничким уљем из механизације. Може доћи (услед акцидентних ситуација) до њиховог расипања по површини тла и спирања атмосферским водама са штетним последицама по околну тло, водотокове и подземне воде. Ублажавање штетних ефеката се најчешће постиже технолошком дисциплином и надзором, благовременим реаговањем на сваку појаву нерегуларности и адекватним одржавањем. Некад је отежано предузимање мера за ублажавање штетног утицаја на животну средину и захтева значајна материјална средства.

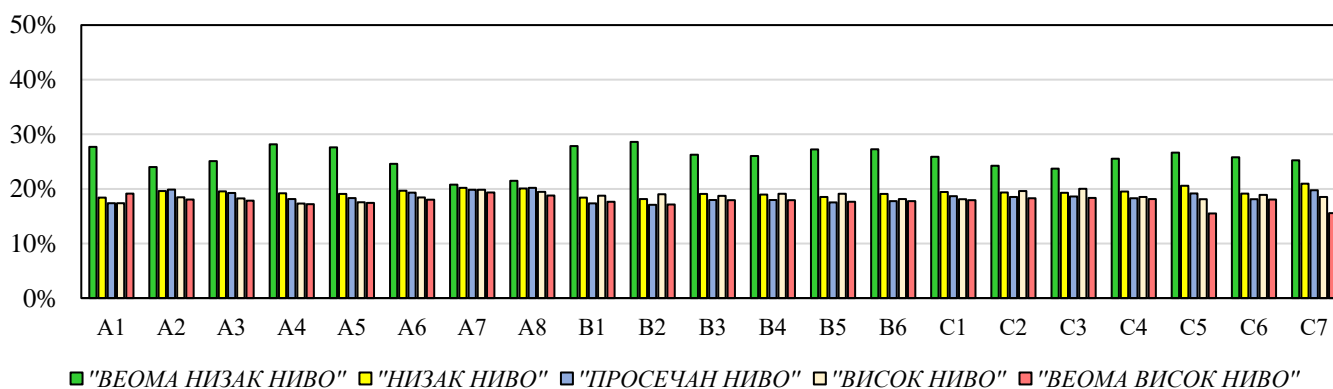
Анализа резултата процене озбиљности отказа

Резултати процене озбиљности отказа посматраних дозера приказани су у поглављу 8.4., у табели 8.4.5 дате су коначне оцене овог показатеља ризика, док су у табели 8.4.7 дате оцене добијене на бази центра тежина. Упоредна анализа резултата озбиљности отказа добијених на бази центра тежина и појединачних оцена озбиљности отказа дозера приказана је на слици 9.1.1.7.

а)



б)



Слика 9.1.1.7. Упоредна анализа резултата процене озбиљности отказа:
а) на бази центра тежина; б) на бази појединачних оцена озбиљности отказа дозера

Озбиљност отказа као показатељ нивоа ризика анализиран је преко три индикатора негативног утицаја отказа: времена потребно за враћање машине у стање рада које је оцењено преко функције погодности одржавања као мере временаведеног у застоју, утицаја отказа на безбедност и здравље запослених и утицаја отказа на животну средину.

Резултати оцене озбиљности отказа указују на постојање исте тенденције и блискост оцена озбиљности отказа посматраних машина.

Озбиљност отказа посматраних машина је процењена са нешто изнад оцене 3, што значи да су посматране машине радиле на просечном нивоу озбиљности отказа.

Највећи проценат укупне оцене озбиљности отказа код свих машина чини оцена "ВЕОМА НИЗАК НИВО", док су остале четири оцене уједначене са уделом у укупној оцени нешто испод 20%.

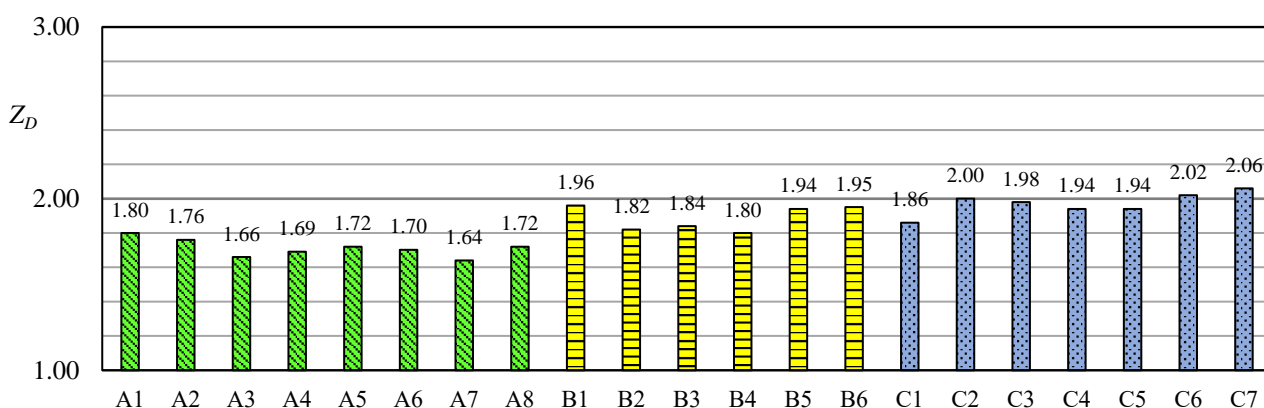
С' обзиром да су оцене индикатора озбиљности отказа око просечног нивоа, односно време потребно за враћање машине у стање рада је оцењено у интервалу од 2,5 до 3,5 а оцене индикатора утицаја отказа на радно окружење и утицаја отказа на животну средину су око 3,

њиховом синтезом добијена је оцена која указује на просечан ниво озбиљности отказа посматраних машина.

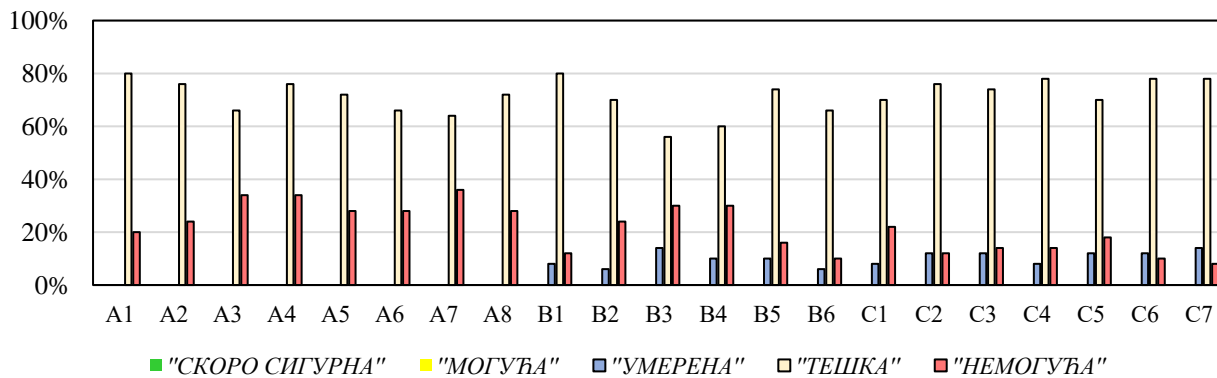
Анализа резултата процене детектабилности

Резултати процене детектабилности посматраних дозера приказани су у поглављу 8.1.2.7., табела 8.1.2.7.3. Оцене детектабилности посматраних дозера добијене на бази центра тежина дате су у поглављу 8.4., табела 8.4.7. Упоредна анализа резултата детектабилности добијених на бази центра тежина и појединачних оцена детектабилности дозера приказана је на слици 9.1.1.8.

а)



б)



Слика 9.1.1.8. Упоредна анализа резултата процене детектабилности: а) на бази центра тежина; б) на бази појединачних оцена детектабилности дозера

Добијене оцене детектабилности код највећег броја посматраних машина су нешто испод 2, док су само три машине постигле оцену 2.

Машине типа С су оцењене са нешто вишим оценама у односу на машине типа А и В.

Оцене детектабилности код свих посматраних машина преферирају ка "ТЕШКА" детектабилност, са највећим процентом учешћа у укупној оцени, од 60% до 80%. Следећи процентуално мање заступљен удео у укупној оцени припада оцени "НЕМОГУЋА" детектабилност, док најмањи удео има оцена "УМЕРЕНА" детектабилност.

Машина С7 је најбоље оцењена чија је доминантна оцена "ТЕШКА", за значајно мањим процентуалним учешћем оцена "УМЕРЕНА" и "НЕМОГУЋА".

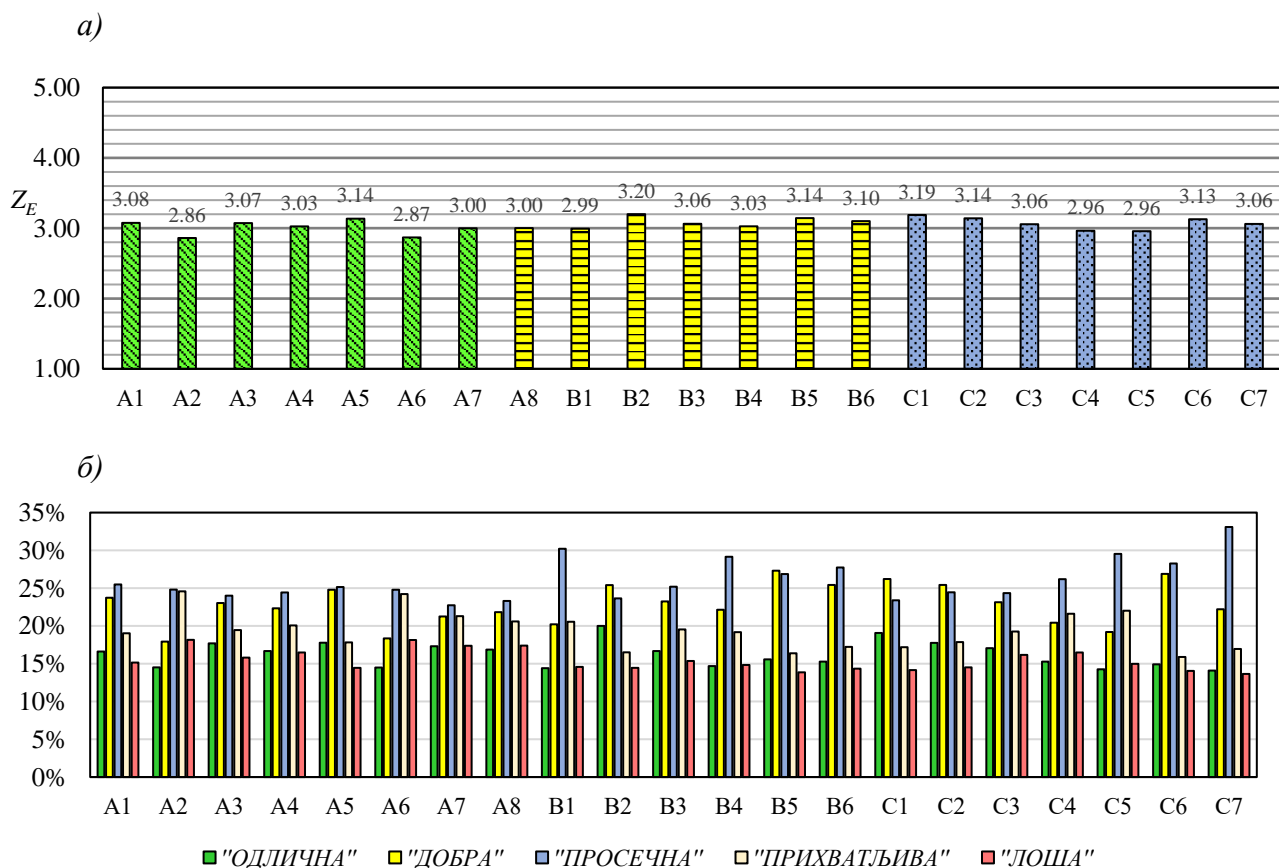
Најлошије је оцењена машина А7 чија је доминантна оцена такође "ТЕШКА", са значајним процентуалним учешћем оцене "НЕМОГУЋА" детектабилност.

Резултати анализе указују да се потенцијални откази посматраних машина тешко могу идентификовати или не постоји начин за њихово откривање, само корективно (инциденти) или редовним надгледањем машине (мониторинг ризика).

9.1.2 Анализа резултата процене синтезних показатеља употребног квалитета дозера

Анализа резултата процене ефективности

Резултати процене ефективности посматраних дозера приказани су у поглављу 8.4., у табели 8.4.2 дате су коначне оцене ефективности, док су у табели 8.4.7 дате оцене добијене на бази центра тежина. Упоредна анализа резултата ефективности добијених на бази центра тежина и појединачних оцена ефективности дозера приказана је на слици 9.1.2.1.



Слика 9.1.2.1. Упоредна анализа резултата процене ефективности:
а) на бази центра тежина; б) на бази појединачних оцена ефективности дозера

Ефективност као синтезни показатељ употребног квалитета дефинисан је преко показатеља поузданости, погодности одржавања и функционалности.

Резултати процене ефективности указују на постојање исте тенденције и блискост оцена ефективности посматраних машина. Машине типа В и С су оцењене за нијансу вишим оценама у односу на машине типа А.

Ефективност посматраних машина је процењена са оценом око 3, што значи да су посматране машине радиле на просечном нивоу ефективности.

Концентрација оцена ефективности код већине посматраних машина је око "ПРОСЕЧНА" до "ДОБРА" и "ПРИХВАТЉИВА".

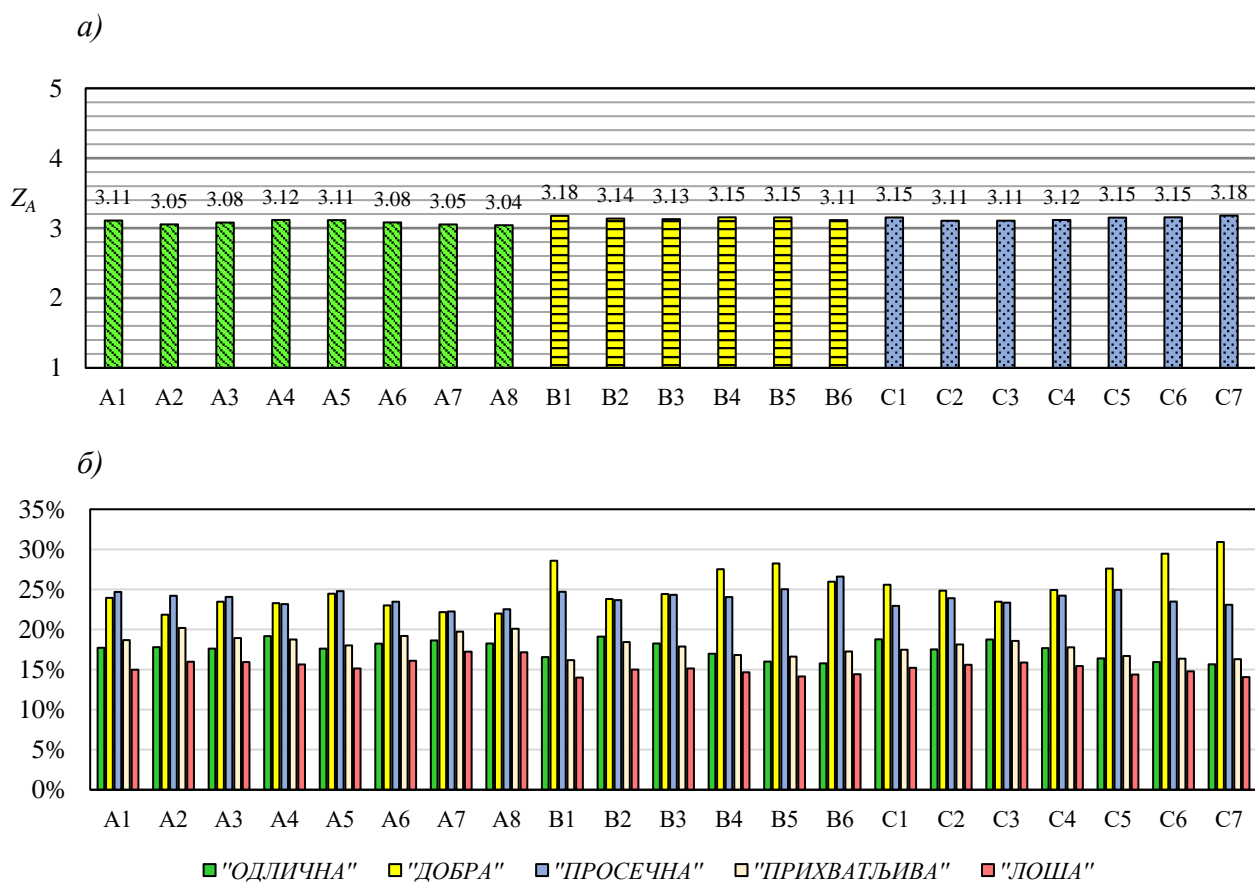
Најбоље је оцењена машина В2 са концентрацијом оцена око "ДОБРА" до "ПРОСЕЧНА" и "ОДЛИЧНА".

Најлошије је оцењена машина А2 са концентрацијом оцена око "ПРОСЕЧНА" до "ПРИХВАТЉИВА" и "ДОБРА".

С' обзиром да су показатељи ефективности оцењени у широком интервалу оцена (поузданост у интервалу између оцена 3 и 2, погодност одржавању у интервалу од 2,5 до 3,5 и функционална погодност у интервалу од 1,5 до 4,5) њиховом синтезом добијена је оцена која указује на просечан ниво ефективности посматраних машина.

Анализа резултата процене расположивости

Резултати процене расположивости посматраних дозера приказани су у поглављу 8.4., у табели 8.4.3 дате су коначне оцене расположивости, док су у табели 8.4.7 дате оцене добијене на бази центра тежина. Упоредна анализа резултата расположивости добијених на бази центра тежина и појединачних оцена расположивости дозера приказана је на слици 9.1.2.2.



Слика 9.1.2.2. Упоредна анализа резултата процене расположивости:
а) на бази центра тежина; б) на бази појединачних оцена ефективности дозера

Расположивост као синтезни показатељ употребног квалитета дефинисан је преко показатеља поузданости и погодности одржавања.

Резултати процене расположивости указују на постојање исте тенденције и блискост оцена расположивост посматраних машина.

Расположивост посматраних машина је процењена са оценом око 3, што значи да су посматране машине радиле на просечном нивоу расположивости.

Концентрација оцена расположивости код машина типа В и С је око *"ДОБРА"* до *"ПРОСЕЧНА"*. Код машина типа А концентрација оцена расположивости је око *"ПРОСЕЧНА"* до *"ДОБРА"*.

Најбоље су оцењене машине В1 и С7 са концентрацијом оцена око *"ДОБРА"* до *"ПРОСЕЧНА"*.

Најлошије је оцењена машина А8 са концентрацијом оцена око *"ПРОСЕЧНА"* до *"ДОБРА"* и *"ПРИХВАТЉИВА"*.

С' обзиром да су показатељи расположивости оцењени у ширем интервалу оцена (поузданост у интервалу између оцена 3 и 2 и погодност одржавању у интервалу од 2,5 до 3,5) њиховом синтезом добијена је оцена која указује на просечан ниво расположивости посматраних машина.

Анализа резултата процене сигурности функционисања

Резултати процене сигурности функционисања посматраних дозера приказани су у поглављу 8.4., у табели 8.4.4 дате су коначне оцене сигурности функционисања, док су у табели 8.4.7 дате оцене добијене на бази центра тежина. Упоредна анализа резултата сигурности функционисања добијених на бази центра тежина и појединачних оцена сигурности функционисања дозера приказана је на сликама 9.1.2.3.

Сигурности функционисања као синтезни показатељ употребног квалитета дефинисан је преко показатеља поузданости, погодности одржавања и логистичке подршке одржавању.

Резултати процене сигурности функционисања указују на постојање исте тенденције и блискост оцена сигурности функционисања посматраних машина.

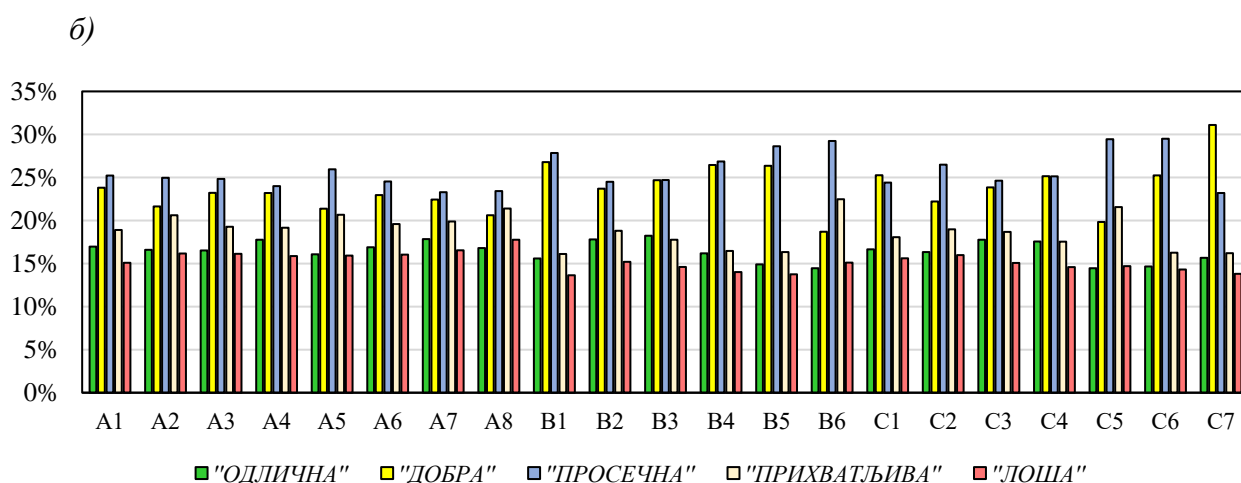
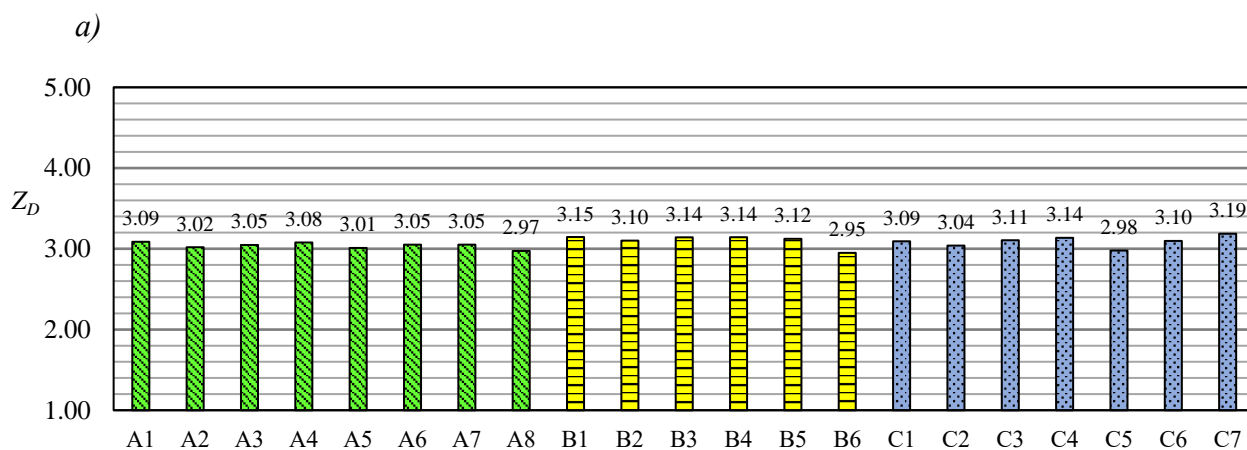
Сигурности функционисања посматраних машина је процењена са оценом око 3, што значи да су посматране машине радиле на просечном нивоу сигурности функционисања.

Концентрација оцена сигурности функционисања код већине посматраних машина је око *"ПРОСЕЧНА"* до *"ДОБРА"*.

Најбоље је оцењена машина С7 са концентрацијом оцена око *"ДОБРА"* до *"ПРОСЕЧНА"*.

Најлошије је оцењена машина В6 са концентрацијом оцена око *"ПРОСЕЧНА"* до *"ПРИХВАТЉИВА"*.

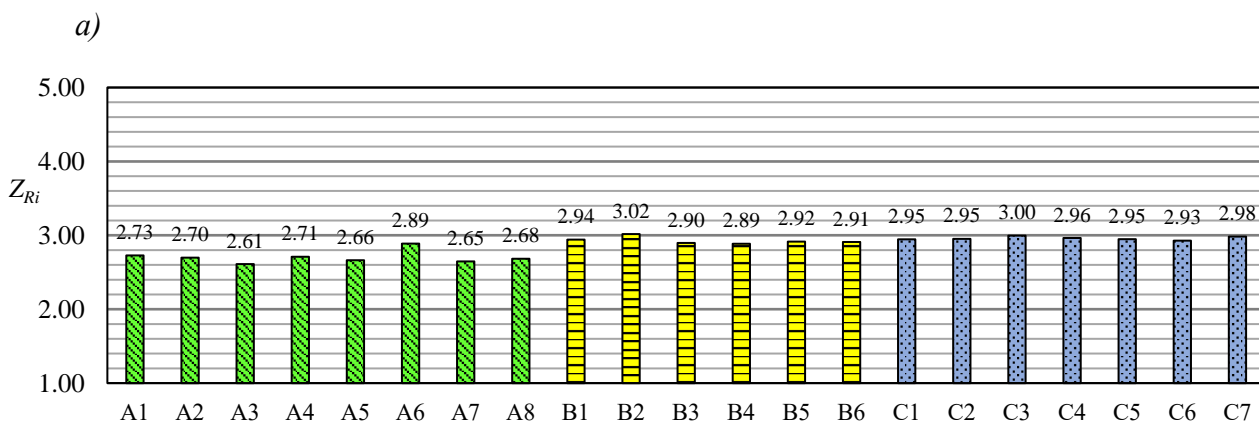
С' обзиром да су показатељи сигурности функционисања оцењени у ширем интервалу оцена (поузданост у интервалу између оцена 3 и 2, погодност одржавању у интервалу од 2,5 до 3,5 и логистичке подршке одржавању у интервалу од 2,5 до 3,5) њиховом синтезом добијена је оцена која указује на просечан ниво сигурности функционисања посматраних машина.



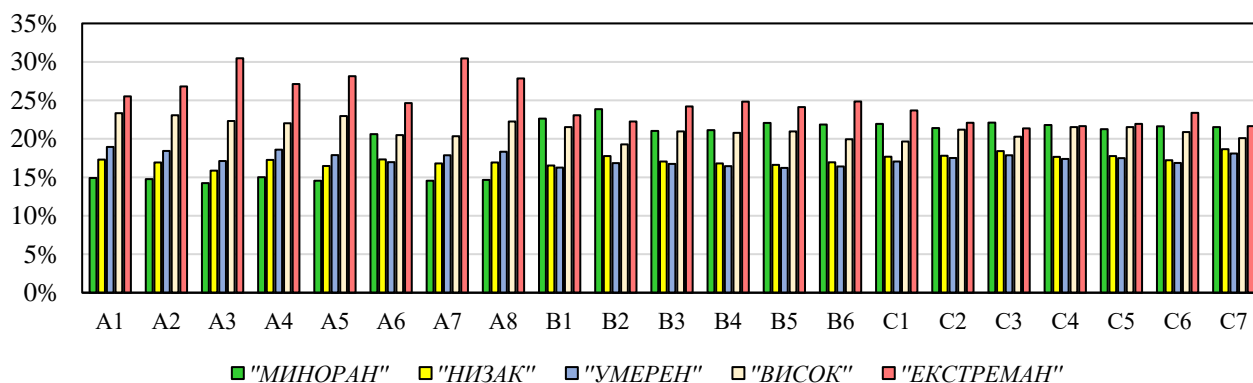
Слика 9.1.2.3. Упоредна анализа резултата процене сигурности функционисања:
 а) на бази центра тежина; б) на бази појединачних оцена сигурности функционисања дозера

Анализа резултата процене ризика

Резултати процене ризика посматраних дозера приказани су у поглављу 8.4., у табели 8.4.6 дате су коначне оцене ризика, док су у табели 8.4.7 дате оцене добијене на бази центра тежина. Упоредна анализа резултата ризика добијених на бази центра тежина и појединачних оцена ризика дозера приказана је на слици 9.1.2.4.



б)



Слика 9.1.2.4. Упоредна анализа резултата процене ризика:
а) на бази центра тежина; б) на бази појединачних оцена ризика дозера

Ризик као синтезни показатељ употребног квалитета анализиран је преко три показатеља: озбиљности отказа, учесталости појављивања отказа која је оцењена преко функције поузданости као мере учесталости појављивања отказа и детектабилности.

Резултати процене ризика указују на постојање исте тенденције и блискост оцена ризика код машина типа В и С. Ове машине су боље оцењене у односу на машине типа А, које су на нешто вишем нивоу ризика.

Ризик код највећег броја посматраних машина је процењен са оценом нешто нижом од 3, што значи да су посматране машине радиле са умереним до високим ризиком.

Концентрација оцена ризика код машина типа Б и С је скоро уравнотежена са нешто већим процентуалним учешћем оцена "ЕКСТРЕМАН", "ВИСОК" и "МИНОРАН".

Код машина типа А концентрација оцена је око "ЕКСТРЕМАН" до "ВИСОК" и "УМЕРЕН".

Најбоље је оцењена машина В2 чија је концентрација оцена скоро уравнотежена, са нешто већим процентуалним учешћем оцена "МИНОРАН" и "ЕКСТРЕМАН".

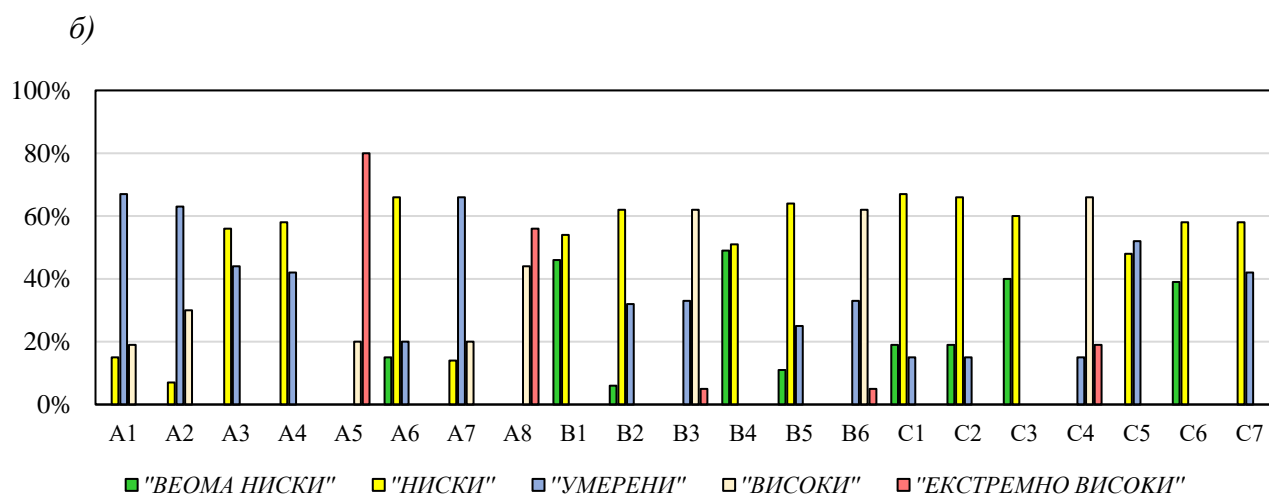
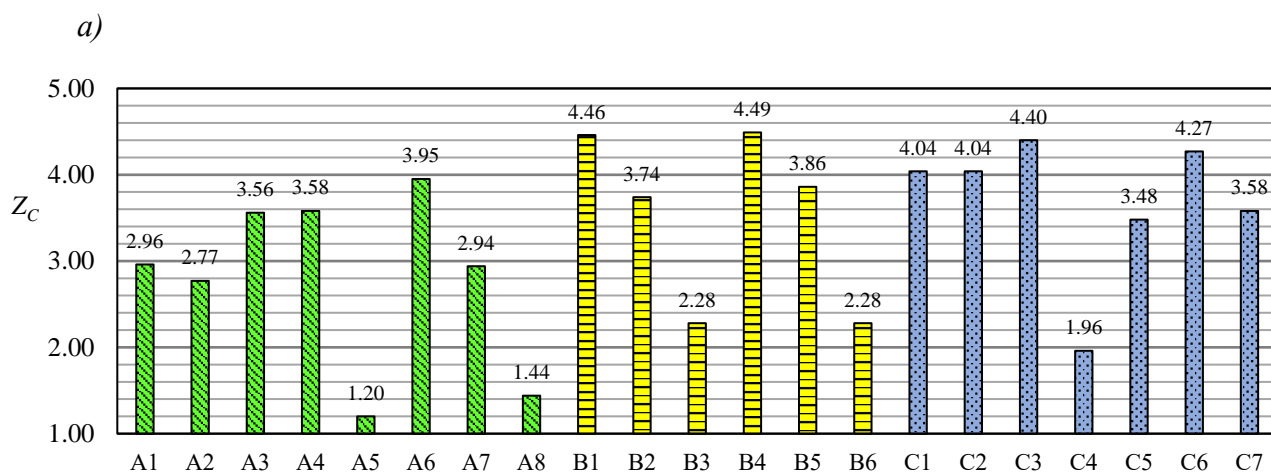
Најлошије је оцењена машина А3 са концентрацијом оцена око "ЕКСТРЕМАН" до "ВИСОК".

С' обзиром да су показатељи ризика оцењени у ширем интервалу оцена (учесталост појављивања отказа преко поузданости у интервалу између оцена 3 и 2, озбиљност отказа нешто изнад оцене 3 и детектабилност нешто испод оцене 2) њиховом синтезом добијена је оцена која указује на умерен ка високом нивоу ризика посматраних машина.

9.1.3 Анализа резултата процене економских показатеља употребног квалитета дозера

Анализа резултата процене трошкова

Резултати процене трошкова посматраних дозера приказани су у поглављу 8.2.2.3., табела 8.2.2.3.2. Оцене трошкова посматраних дозера добијене на бази центра тежина дате су у поглављу 8.4., табела 8.4.7. Упоредна анализа резултата процене трошкова добијених на бази центра тежина и појединачних оцена трошкова дозера приказана је на слици 9.1.3.



Слика 9.1.3. Упоредна анализа резултата процене трошкова:
 а) на бази центра тежина; б) на бази појединачних оцена трошкова дозера

Добијене оцене трошкова посматраних машина се веома разликују, крећу се у интервалу од нешто изнад оцене 1 до 4,5.

Концентрација оцена трошкова се такође веома разликује код посматраних машина, што захтева анализу сваке машине појединачно.

Најбоље су оцењене машина В4, В1 и С3 у чијим укупним оценама највеће процентуално учешће имају оцене "ВЕОМА НИСКИ" и "НИСКИ" трошкови. Ове машине су радиле са најнижим трошковима животног циклуса.

Из групе типа А најбоље је оцењена машина А6 која у укупној оцени има доминантно учешће оцене "НИСКИ", са значајно мањим учешћем оцена "ВЕОМА НИСКИ" и "УМЕРЕНИ".

Машина С4, В3 и В6 значајно су лошије оцењене од претходно наведених машина. Имају доминантно учешће оцене "ВИСОКИ" у укупној оцени трошкова и значајно мањи удео оцена "УМЕРЕНИ" и "ЕКСТРЕМНО ВИСОКИ" трошкови.

Најлошије су оцењене машине А5 и А8 које у укупним оценама имају заступљене само оцене "ЕКСТРЕМНО ВИСОКИ" и "ВИСОКИ" трошкови. Ове машине су радиле са највишим трошковима животног циклуса.

Овако велик рапон оцена трошкова код посматраних машина може се објаснити начином на који су машине коришћене и како су одржаване. Машина са најлошијом оценом трошкова припадају групи машина које су оствариле највећи број мото часова (24.000 - 36.000), највише

времена су биле у отказу са максималним вредностима средњег времена отказа. Њихова погодност одржавања и логистичка подршка је знатно лошије оцењена у односу на друге машине. Потрошња горива по мото часу је највиша код ових машина, што указује на неадекватан начин њихове примене. Када мотор непрекидно постиже пуну снагу његов фактором оптерећења је 100% а потрошња горива је највећа. Машине које се примењују за земљане радове, што је најчешћа примена помоћне механизације на површинским коповима лигнита, могу у краћим временским интервалима да раде са максималним фактором оптерећења. Трошкови погонске енергије, резервних делова и трошкови рада су највеће ставка у оперативним трошковима. Ова група машина има највише оперативне трошкове у односу на друге посматране машине.

Анализа трошкова указује на чињеницу да су неке машине експлоатисане до краја техничког века, економски неоправдано. Није благовремено извршена замена ових машина.

То потврђује и чињеница да су машине са најбољим оценама трошкова оствариле од 19.000 до 24.000 мото часова и имају најбоље оцене истих анализираних параметара.

9.1.4 Анализа резултата процене употребног квалитета дозера

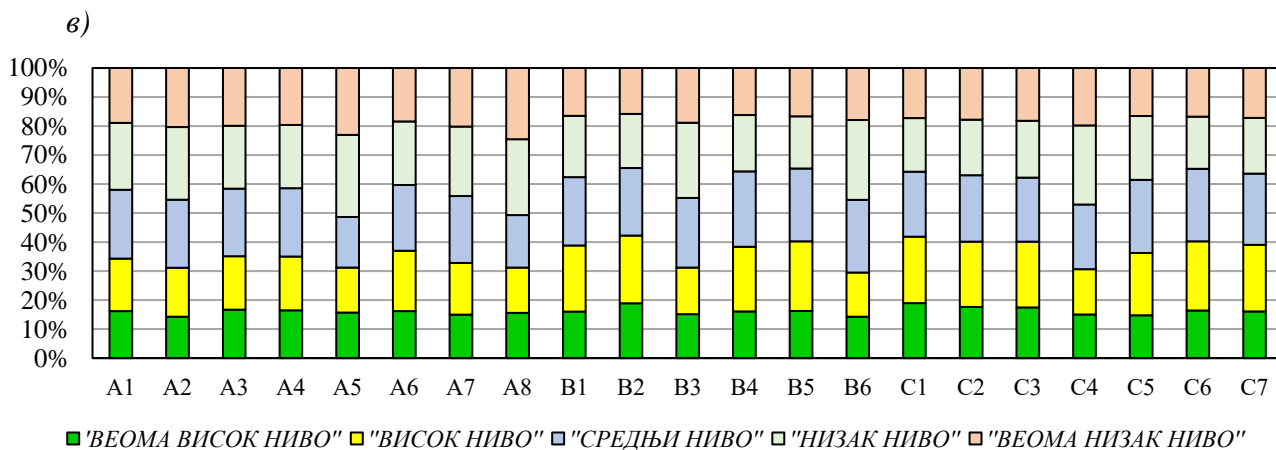
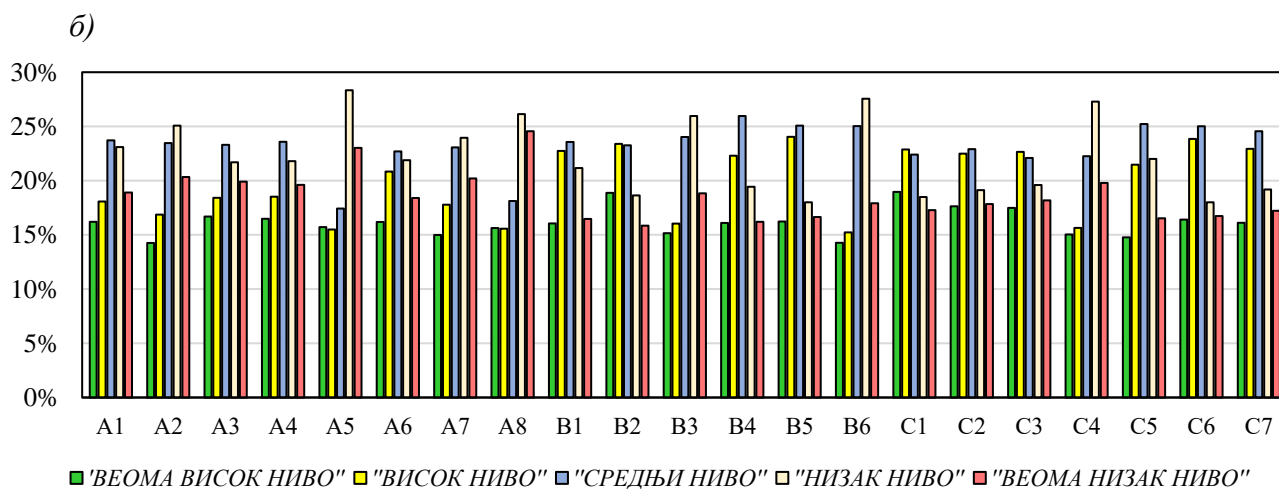
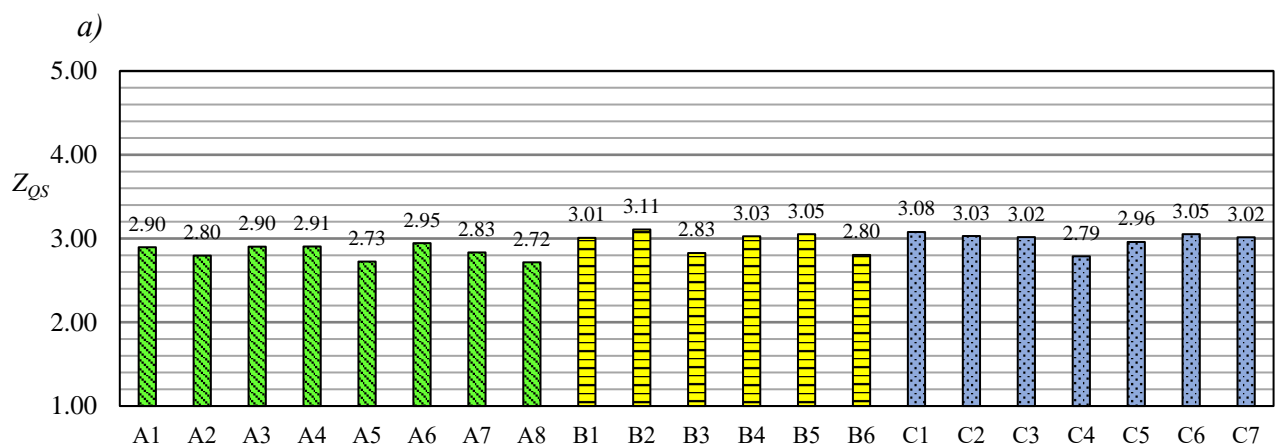
Резултати процене употребног квалитета посматраних дозера приказани су у поглављу 8.4., у табели 8.4.1 дате су коначне оцене ризика, док су у табели 8.4.7 дате оцене добијене на бази центра тежина. Упоредна анализа резултата употребног квалитета добијених на бази центра тежина и појединачних оцена употребног квалитета дозера приказана је на слици 9.1.4.

Анализом употребног квалитета посматраних дозера обухваћени су сви битни чиниоци који непосредно или посредно утичу на њихов рад и извршавање задате функције циља. Дефинисани су и анализирани сви важни параметри животног циклуса посматраних машина, обухватајући техничке и економске показатеље и њихову синтезу на ниво употребног квалитета.

Анализирани су и оцењени парцијални показатељи употребног квалитета који се односе на поузданост, погодност одржавања, логистичку подршку одржавању, функционалност, озбиљност отказа и његове индикаторе (време потребно за враћање машине у стање рада, утицај отказа на радно окружење, утицај отказа на животну средину), учесталост појављивања отказа и детектабилност. Извршена је синтеза одређених парцијалних показатеља на ниво синтезних показатеља употребног квалитета, односно на ниво ефективности, расположивости, сигурности функционисања и ризика. Анализирани су и оцењени економски показатељи употребног квалитета на бази трошкова животног циклуса посматраних машина. Интегрисани су економски и синтезни показатељи употребног квалитета на ниво "ефективност-трошкови", "расположивост-трошкови", "сигурност функционисања-трошкови" и "ризик-трошкови". На крају је извршена синтеза наведених "техничко-економских" показатеља на ниво употребног квалитета посматраних машина.

Резултати анализе употребног квалитета указују на постојање исте тенденције и блискост оцена употребног квалитета код машина типа В и С. Ове машине су боље оцењене у односу на машине типа А, које су на нешто нижем нивоу употребног квалитета.

Процењени ниво употребног квалитета код највећег броја машина типа В и С је око оцене 3, што значи да су ове машине оствариле средњи ниво употребног квалитета. Концентрација оцена употребног квалитета код ових машина је око "СРЕДЊИ НИВО" ка "ВИСОК НИВО", са процентуалним учешћем у укупној оцени од 23% до 25%. Следећа оцена по процентуалном учешћу је "НИЗАК НИВО" са 17% до 20%.



Слика 9.1.4. Упоредна анализа резултата процене употребног квалитета:
 а) на бази центра тежина; б) на бази појединачних оцена
 в) на бази коначних оцена употребног квалитета дозера

Процењени ниво употребног квалитета код машина типа А је нешто испод оцене 3, што значи да су ове машине на средњем ка ниском нивоу употребног квалитета. Концентрација оцена употребног квалитета код већине ових машина је око "СРЕДЊИ НИВО" ка "НИЗАК НИВО", са процентуалним учешћем у укупној оцени од 23% до 25%. Следећа оцена по процентуалном учешћу је "ВЕОМА НИЗАК НИВО" са 18% до 20%.

Најбоље су оцењене машине В2 и С1 код којих је концентрација оцена уравнотеженија, са највећим процентуалним учешћем оцена *"ВИСОК НИВО"* и *"СРЕДЊИ НИВО"* у укупној оцени употребног квалитета.

Машина В2 има најбоље оцене ефективности и ризика. Припада групи машина са бољим оценама расположивости, сигурности функционисања и трошкова. Најбољег је употребног квалитета у односу на друге посматране машине.

Машина С1 је на другом месту по ефективности. Оцене расположивости и трошкова су јој боље од машине В2. Има лошије оцене сигурности функционисања и ризика од машине В2, због чега заузима друго место по нивоу употребног квалитета.

Најлошије су оцењене машине А8, А5 и С4 са концентрацијом оцена око *"НИЗАК НИВО"* до *"ВЕОМА НИЗАК НИВО"* и *"СРЕДЊИ НИВО"*.

Машина С4 припада групи машина са бољим оценама сигурности функционисања и ризика. По оцени расположивости заузима средње место. По оцени трошкова и ефективности једна је од најлошије оцењених машина, због чега заузима 19 место по нивоу употребног квалитета.

Машина А5 припада групи машина са најбољом оценом ефективности. По оцени расположивости је на средњој позицији. По оцени сигурности функционисања и ризика једна је од најлошије оцењених машина. Трошкови ове машине су најлошије оцењени у односу на друге машине, због чега заузима 20 место по нивоу употребног квалитета.

Машина А8 припада групи машина са најлошијом оценом ефективности и ризика. По оцени сигурности функционисања и трошкова налази се на предзадњем месту. Распоживост ове машине је најлошије оцењена у односу на друге машине. Заузима последње 21 место по нивоу употребног квалитета.

Анализа коначних оцена употребног квалитета (слика ?) указује да највећи број машина типа В и С у укупној оцени имају кумулативно учешће оцена *"ВЕОМА ВИСОК НИВО"* и *"ВИСОК НИВО"* употребног квалитета око 40%. Само машине В3, В6 и С4 имају учешће ових оцена од 30%. Код машина типа А учешће ових оцена је од 30% до 36%.

Машине типа В и С у укупној оцени имају кумулативно учешће оцена *"ВЕОМА ВИСОК НИВО"*, *"ВИСОК НИВО"* и *"СРЕДЊИ НИВО"* употребног квалитета од 53% до 65%. Код машина типа А учешће ових оцена је од 48% до 60%.

Следи кратак преглед резултата анализе употребног квалитета посматраних машина:

- Постоји иста тенденција и блискост оцена употребног квалитета код машина типа В и С.
- Процена употребног квалитета код највећег броја машина типа В и С је на средњем нивоу (око оцене 3).
- Машине типа А су на нешто нижем нивоу употребног квалитета од машина типа В и С.
- Процена употребног квалитета код машина типа А је на средњем ка ниском нивоу (нешто испод оцене 3).
- У коначним оценама употребног квалитета посматраних машина кумулативно учешће две најбоље оцене је од 30% до 40% (*"ВЕОМА ВИСОК НИВО"* и *"ВИСОК НИВО"*).
- Посматране машине су на релативно ниском нивоу поузданости, од прихватљивог ка лошем (у интервалу између оцена 2 и 3).
- Погодност одржавања машина типа В и С је на вишем нивоу од машина типа А. Код највећег броја посматраних машина оцене су у интервалу између 2,5 и 3,5. Само три машине имају оцену око 4.
- Логистичка подршка одржавању је боља код машина типа В и С него код машина типа А. Оцене су у интервалу између 2,5 и 3,5. Мањи број машина има оцену око 4.

- Функционална погодност посматраних машина се веома разликује (у интервалу између оцена 1,5 и 4,5). Нешто је боља код машина типа В него код машина типа А и С.
- Утицај отказа на радно окружење је умерен (око оцене 3).
- Утицај отказа на животну средину је умерен до висок (око оцене 3, у мањем броју око 2,5).
- Детектабилност посматраних машина је оцењена као тешка (око оцене 2). Ниво детектабилности је нешто виши код машина типа С у односу на машине типа А и В.
- озбиљност отказа посматраних машина је на просечном нивоу (нешто изнад оцене 3).
- Ефективност посматраних машина је на просечном нивоу (нешто изнад оцене 3). Ниво ефективности машина типа В и С је за нијансу виши од машина типа А.
- Распоживост посматраних машина је на просечном нивоу (нешто изнад оцене 3).
- Сигурност функционисања посматраних машина је на просечном нивоу (око оцене 3).
- Ризик посматраних машина је умерен ка висок (нешто испод оцене 3). Машине типа В и С су нешто боље оцењене од машина типа А.

Анализа употребног квалитета машина помоћне механизације на површинским коповима лигнита указује на следеће:

- Ниво употребног квалитета је најнижи код машина које су оствариле највећи број мото часова.
- Најдуже коришћене машине нису имале адекватно одржавање и логистичку подршку одржавању.
- Највише трошкове имају машине које су најдуже коришћене (24.000 - 36.000 мото часова).
- Ове машине су експлоатисане до краја техничког века, економски неоправдано.
- Замена машина новим није извршена у оптималном року.
- Велик рапон висине трошкова код посматраних машина указује на неадекватан начином коришћења и одржавања.
- Велик распон оцена функционалне погодности код посматраних машина, истог или различитог типа, указује на неадекватан начин управљања машинама, с' обзиром на исте услове радне средине.
- Машине које су оствариле од 19.000 до 24.000 мото часова имају ниже трошкове у односу на друге посматране машине и знатно бољи укупан ефекат радних перформанси (употребни квалитет).
- Евидентан је недостатак довољно бројних и поузданих података о раду и одржавању помоћне механизације и трошковима њиховог животног циклуса.
- Неопходно је успоставити савремен информациони систем за праћење рада и одржавања помоћне механизације на површинским коповима лигнита.
- Неопходна је оптимизација процеса управљања помоћном механизацијом на површинским коповима лигнита.

Модел употребног квалитета употребног квалитета машина помоћне механизације на површинским коповима лигнита применом презентованог синтезног модела омогућава анализу и оцену парцијалних показатеља употребног квалитета, синтезних показатеља употребног квалитета и економских показатеља на бази трошкова животног циклуса посматраних машина и даје укупну оцену радних перформанси – оцену употребног квалитета. Интерпретацијом резултата процене употребног квалитета и детаљном анализом свих показатеља рада и одржавања посматраних машина омогућава се идентификовање радне способност машине и пружа осов за одлучивање о оправданости њеног даљег ангажовања, одржавања, ревитализације или замене. Такође, омогућава се сагледавање слабости машине и најкритичнијих параметара у циљу одређивања приоритетних корективних мера за побољшање перформанси машине, што представља и сврху процене употребног квалитета.

9.1.5 Тестирање резултата процене употребног квалитета дозера и верификација модела

Показатеље употребног квалитета техничког система и њихове међузависности одликује неодређеност, вишезначност и релативност. За решавање сложених проблема везаних за недовољно дефинисане феномене погодна је метода Монте Карло [123]. Ова метода се заснива на коришћењу случајних бројева и променљивих.

Монте Карло метода подразумева генерисање случајних улазних променљивих, коришћење добијених "улаза" за израчунавање "излаза" кроз дефинисану функцију, многобројно понављање израчунавања, анализу и статистичку обраду добијених резултата.

Тестирање резултата процене употребног квалитета дозера је извршено применом Монте Карло методе прилагођене природи феномена који се анализира. Циљ анализе је предвиђање промена резултата оцене употребног квалитета дозера у зависности од произвољне промене сваког парцијалног показатеља. Као подршка ове анализе коришћен је *Excel*.

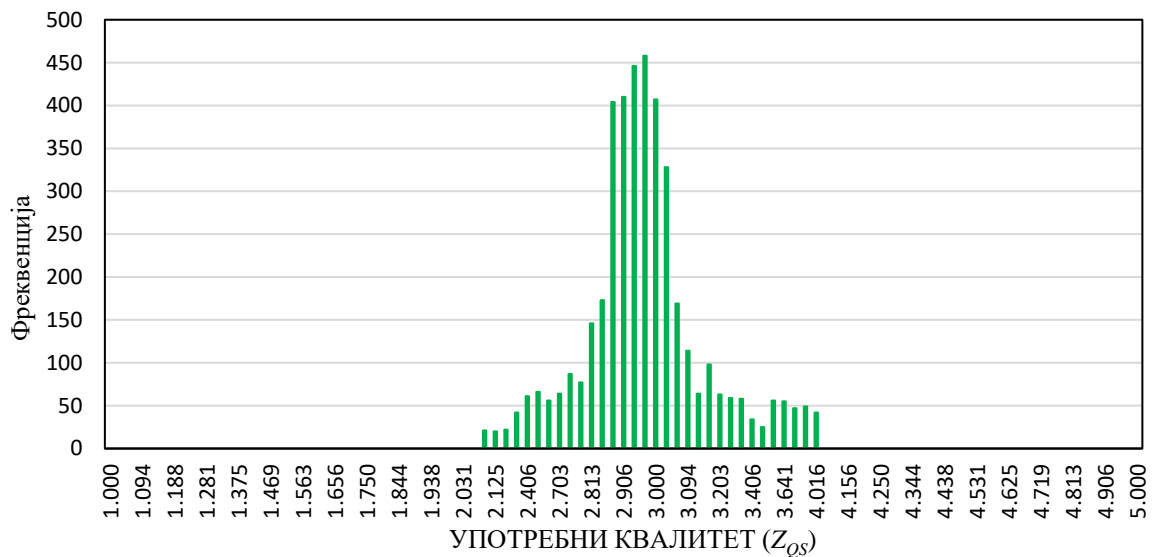
Парцијални технички и економски показатељи употребног квалитета у овом случају представљају неизвесне улазне променљиве - *Input*: поузданост (Z_R), погодност одржавања (Z_M), логистичка подршка одржавању (Z_{MS}), функционалност (Z_F), утицај отказа на радно окружење (Z_{Sro}), утицај отказа на животну средину (Z_{SES}), детектабилност (Z_{Di}) и трошкови (Z_C).

Предвиђање оцене употребног квалитета дозера извршено је третирањем свих наведених показатеља при чему су произвољно повећаване и смањиване вредности улазних података. Извршен је 4.221 тест са понављањем израчунавања. Излазна променљива - *Output* из креираног модела репрезентује могућу вредност оцене употребног квалитета дозера (Z_{QS}).

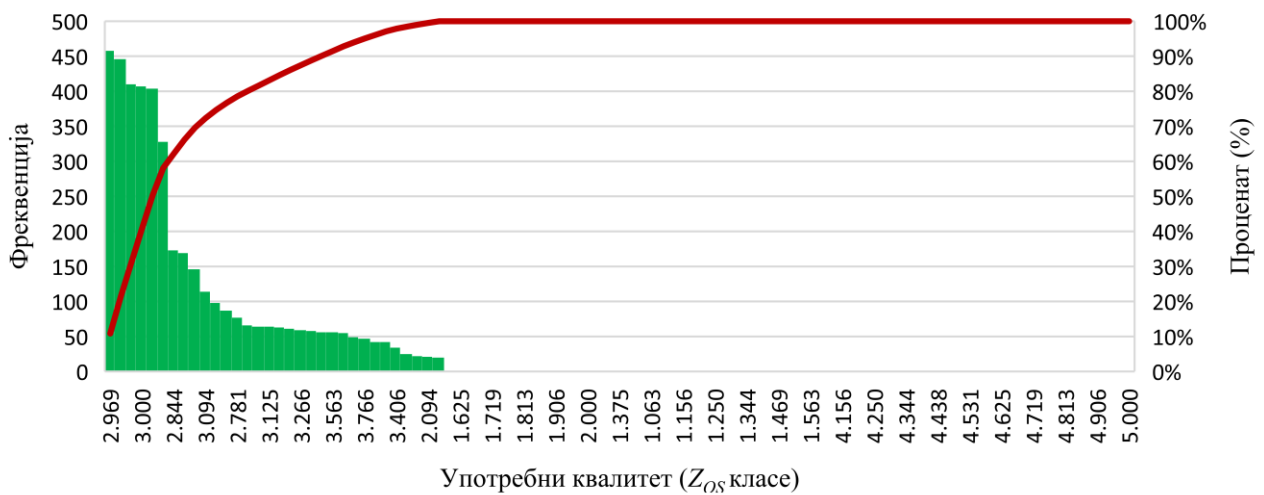
У наредном делу овог поглавља дати су графички прикази резултата предвиђања оцене употребног квалитета дозера. На слици 9.1.5.1 приказан је хистограм расподеле фреквенција оцене употребног квалитета дозера, а на слици 9.1.5.2 хистограм рангирања категорија оцене по фреквенцији појављивања са кумулативним процентом учешћа.

Хистограм са слике 9.1.5.1 показује колики је опсег појављивања оцена употребног квалитета дозера које припадају свакој од могућих категорија. Може се видети да се оцене употребног квалитета креће у интервалу од око 2 до 4. Расподела има изглед приближан нормалној расподели. На слици 9.1.5.3 конструисан је папир нормалне вероватноће где је закон расподеле приказан као права линија. Уколико се тачке емпиријске расподеле на папиру нормалне вероватноће групишу око праве линије тада се сматра да нормална расподела добро описује посматрани узорак. Узорци величине $N \geq 30$ се сматрају великим узорцима. На основу централне граничне теореме дистрибуција великог узорка је апроксимативно нормална и што је N веће приближавање нормалној дистрибуцији је боље [29].

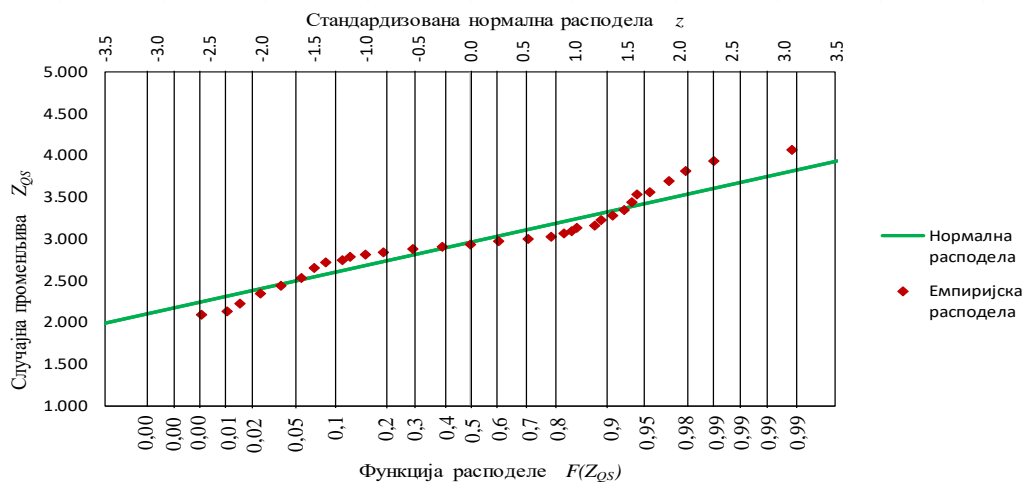
У табели 9.1.5 приказане су статистичке карактеристичне вредности резултата предвиђања оцене употребног квалитета дозера.



Слика 9.1.5.1. Хистограм расподеле фреквенција оцене употребног квалитета дозера



Слика 9.1.5.2. Хистограм рангирања категорија оцене употребног квалитета дозера по фреквенцији појављивања са кумулативним процентним учешћем

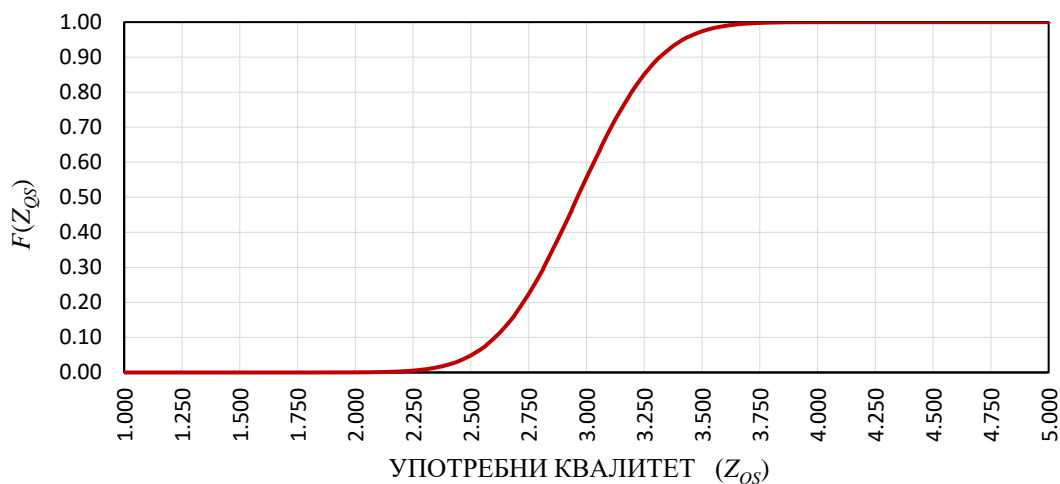


Слика 9.1.5.3. Дијаграм стандардизоване нормалне расподеле и емпиријске расподеле оцене употребног квалитета дозера

Табела 9.1.5. Статистички подаци резултата предвиђања оцене употребног квалитета дозера методом Монте Карло

МЕТОДА Монте Карло				
ТЕСТИРАЊЕ	INPUT		OUTPUT	
	Парцијални показатељи		Случајни улази	
	Поузданост (R)		Z_R	
	Погодност одржавања (M)		Z_M	
	Логистичка подршка одржавању (MS)		Z_{MS}	
	Функционалност (F)		Z_F	
	Утицај отказа на радну средину (S_{ro})		$Z_{S_{ro}}$	
	Утицај отказа на животну средину (S_{zs})		$Z_{S_{zs}}$	
	Детектабилност (D_t)		Z_{D_t}	
	Трошкови (C)		Z_C	
СТАТИСТИЧКИ ПОДАЦИ			Ознака	
Број тестирања			ДОБИЈЕНЕ ВРЕДНОСТИ	
			N	
ЦЕНТРАЛНА ТЕНДЕНЦИЈА	Средња вредност		$\overline{Z_{QS}}$	
	Мод		$mode$	
	Медијана		m	
РАСПРОСТИРАЊЕ ПОДАТАКА	Варијанса узорка (дисперзија)		S^2	
	Стандардна девијација		S	
	Коефицијент варијације		c_v	
	Стандардна грешка		δ	
	Интервал		$range$	
	Границе интервала 68,26% ($-1z \div +1z$)	$\overline{Z_{QS}} - S$		2,684
		$\overline{Z_{QS}} + S$		3,239
	Границе интервала 95,46% ($-2z \div +2z$)	$\overline{Z_{QS}} - 2S$		2,407
		$\overline{Z_{QS}} - 2S$		3,516
	Границе интервала 99,73% ($-2z \div +2z$)	$\overline{Z_{QS}} - 3S$		2,129
		$\overline{Z_{QS}} + 3S$		3,794
	Границе централног интервала 95%		$0.025\ percentil$	2,418
	0.025 квантил ; 0.975 квантил		$0.975\ percentil$	3,504
	Доњи квантил расподеле, 25-и процентил		$kvantil .25$	2,773
Горњи квантил расподеле, 75-и процентил		$kvantil .75$	3,150	
ЕКСТРЕМНЕ ВРЕДНОСТИ	Минимална вредност		min	
	Максимална вредност		max	
ОБЛИК РАСПОДЕЛЕ	Коефицијент асиметрије ($skewness$)		α_3	
	Коефицијент спљоштености ($kurtosis$)		α_4	
			0,744	
			4,019	

На слици 9.1.5.4 приказана је кумулативна функција расподеле оцена употребног квалитета.



Слика 9.1.5.4. Кумулативна функција расподеле оцена употребног квалитета дозера

Анализом добијених статистичких података може се видети да је средња вредност оцене употребног квалитета 2,961 блиска вредности медијане која износи 2,939, што говори да је добијена расподела блиска нормалној расподели. Најчешће појављивана вредност оцене је 2,962. Ове три вредности описују централну тенденцију расподеле.

Границе централног интервала од 95% одређују област у којој се налази 95% добијених резултата оцене употребног квалитета, крећу се од 2,418 до 3,504. Вероватноћа од 99,73% је да ће вредност оцене бити у интервалу од 2,129 до 3,794 што практично обухвата све могуће исходе. Минимална могућа вредност оцене је 2,080 а максимална 4,032.

Кумулативна функција расподеле приказана на слици 9.1.5.4. омогућава одређивање вероватноће да оцена употребног квалитета машине буде испод или изнад одређене вредности или у оквиру постављених граница. На пример ако се тражи вероватноћа да оцена употребног квалитета машине буде испод вредности 3,250 са дијаграма на слици 9.1.5.4. се читава вредност од 85% вероватноће.

Резултати процене употребног квалитета посматраних машина добијени применом фази синтезног модела (средња вредност 2,928 у интервалу од 1 до 5) и статистички подаци добијени тестирањем резултата процене указују на исту тенденцију и блискост оцена употребног квалитета.

Скуп излазних резултата употребног квалитета машина може да се апроксимира нормалном расподелом. Приказаним поступком практично је извршена верификација модела. Овакав приступ анализи употребног квалитета машина омогућава доносиоцу одлука низ корисних информација о могућим исходима и вероватноћама њихове појаве.

10 ЗАКЉУЧАК

Истраживања показатеља животног циклуса машина помоћне механизације на површинским коповима лигнита указала су на незадовољавајуће стање ових машина. Значај у остваривању планиране производње, тренутно стање и захтеви који се постављају пред ове машине намећу неопходност оптимизације процеса управљања помоћном механизацијом.

Истраживање у оквиру ове докторске дисертације засновано је на полазној хипотези да у научној и стручној литератури и инжењерској пракси не постоји стандардизован модел управљања животним циклусом техничког система као и модел процене преосталих могућности техничког система. У циљу управљања животним веком усвојен је стандардни појам, употребни квалитет (ISO IEC 300). Употребни квалитет као свеобухватни показатељ укупних својстава техничког система, са техничког и економског аспекта, није анализиран у досадашњој пракси за потребе дефинисања математичких релација којим би био егзактно дефинисан. Машине помоћне механизације на површинским коповима лигнита представљају специфичне техничке системе који захтевају оригинални модел процене стања и преосталих могућности. Сходно томе истраживање је усмерено ка формирању модела употребног квалитета помоћне механизације на површинским коповима лигнита.

Истраживањем су обухваћени следећи утицајни фактори и анализе:

- Анализа досадашњих истраживања из области процене употребног квалитета рударских машина;
- Систематизација и анализа постојећих показатеља употребног квалитета од којих сваки има своје специфичности сходно природи феномена који се посматра и радним условима;
- Систематизација и анализа економских показатеља рада на бази трошкова животног циклуса;
- Анализа модела процене животног циклуса рударских машина заснованих на теорији поузданости и трошковима животног циклуса;
- Анализа тренутног стања машина помоћне механизације на површинским коповима лигнита;
- Истраживање математичких синтезних модела употребног квалитета рударских машина;
- Анализа могућности синтезе анализираних показатеља употребног квалитета и дефинисање структуре њихове међузависности. Истраживање модела синтезе заснованих на фази теорији у циљу формирања фази модела процене употребног квалитета машина;
- Истраживање математичких модела за подршку одлучивању, у циљу анализе резултата, предвиђања могућих исхода, вероватноћа појава и трендова.

На основу споведеног истраживања и постојећих метода анализе употребног квалитета, уважавајући специфичности машина помоћне механизације на површинским коповима лигнита, формиран је оригиналан математичко-концепцијски модел за процену употребног квалитета помоћне механизације на површинским коповима лигнита базиран на фази теорији. Модел садржи следеће елементе:

- Пропозицијом је дефинисано пет фази скупови са одговарајућим лингвистичким променљивим које описују употребни квалитет и његове показатеље.
- У зависности од природе улазних података формиран је модел фазификације:
 - кумулативних временски зависних функција за поузданост и погодност одржавања које се дефинишу теоријом поузданости (на бази временске слике стања машине);
 - нумеричких измерених вредности са одступањем за функционалну погодност (на бази радног учинка - капацитета);

– нумеричких вредности добијених одређивањем функционалне зависности из измерених података методом најмањих квадрата, одређивањем тежишта површине омеђене контуром регресионе криве и апсисе применом одређеног интеграла и одређивањем вредности функције апроксимације измерених података у тежишту дефинисане површине која представља улазни податак у модел фазификације нумеричких вредности применом методе тежишта (на бази података о трошковима);

– лингвистичких вредности за показатеље логистичка подршка одржавању, утицај отказа на радно окружење, утицај отказа на животну средину и детектабилност (на бази експертских процена запослених у експлоатацији и одржавању машина).

▪ Фази модел закључивања структурно и хијерархијски је формиран у три нивоа и 19 корака, применом одговарајућих модела фази композиције у више нивоа синтезе:

I ниво синтезе:

Композиција парцијалних показатеља у оцену синтезних показатеља употребног квалитета техничког система, применом *max-min* и *min-max* фази композиције.

II ниво синтезе:

Синтеза техничких и економских показатеља употребног квалитета, применом модела композиције у форми картезијанског производа, што подразумева:

- пропозицију (дефинисање лингвистичких променљивих за оцену употребног квалитета на овом нивоу синтезе),
- композицију (дефинисање исхода у форми картезијанског производа - уређених парова синтезних показатеља употребног квалитета и трошкова).
- композицију сваког исхода применом *max-min* фази композиције, ради добијања синтезне оцене одређеног техничког и економског показатеља употребног квалитета.

III ниво синтезе:

Фази композиција синтезних "техничко-економских" показатеља у оцену употребног квалитета техничког система.

▪ Примењена је *Best-fit* методе за идентификацију оцене употребног квалитета и његових синтезних показатеља у зависности од дефинисаних лингвистичких променљивих које описују ове феномене. Поступак дефазификације добијених резултата у реалне бројеве врши се методом центра тежина, чиме се омогућава мерљивост, упоредивост и даља примена оцена.

Сходно наведеном може се изложити сажетак закључка:

- Употребни квалитет се дефинише као укупни ефекат радних перформанси који одређује степен задовољења корисника.
- Парцијални показатељи употребног квалитета су: поузданост, погодност одржавања, функционална погодност, логистичка подршка одржавању, озбиљности отказа и његови индикатори (време потребно за враћање машине у стање рада, утицај отказа на радно окружење, утицаја отказа на животну средину), учесталост појављивања отказа као показатељ ризика и детектабилност.
- Синтезни показатељи употребног квалитета су: ефективност, расположивост, сигурност функционисања и ризик.
- Економски показатељи употребног квалитета су: трошкови животног циклуса.
- Фази синтезни модел у потпуности апсорбује техничке и економске показатеље који дефинишу употребни квалитет техничког система дајући синергетски ефекат.
- Омогућава рад са хибридном подацима, евауацију знања и искуства стеченог у експлоатацији и одржавању, интеграцију квантитативних и квалитативних описа показатеља употребног квалитета и њихову синтезу.

- Излаз из модела је у облику лингвистичког записа у континуалном облику што даје вишедимензионални карактер оцене техничког система.
- Добија се објективна и употребљива слика стања техничког система за потребе доношења одлука везано за: избор и набавку машина и управљање њиховим животним веком и процену преосталих могућности.
- Модел је оригиналан и универзалан, применљив је за процену употребног квалитета и других техничких система у рударству и индустрији.

Специфичност овог истраживања се огледа у следећем:

Развоју унапређеног модела употребног квалитета помоћне механизације на површинским коповима лигнита који обухвата комплексну анализу постојећих техничких и економских показатеља који дефинишу употребни квалитет и њихову синтезу на ниво употребног квалитета;

Систематизацији и анализи постојећих концепата анализе показатеља употребног квалитета;

Развоју модела пропозиције и фазификације улазних података у модел употребног квалитета, у смислу фазификације нумеричких вредности применом методе тежишта што подразумева: одређивање функционалне зависности из измерених података методом најмањих квадрата; одређивање тежишта површине омеђене контуром регресионе праве/криве и апсисе правоугаоног координатног система применом одређеног интеграла; одређивање вредности функције апроксимације измерених података у тежишту дефинисане површине која представља улазни податак у модел (фазификација података о трошковима).

Модел је примењен на случају дозера као најбројнијих и најоптерећенијих помоћних машина на површинским коповима лигнита. Обим и поузданост расположивих података добијених вишегодишњим праћењем њиховог рада и одржавања су определили избор ових машина. Истраживањима су обухваћени дозери који раде на површинским коповима лигнита рударског басена „Колубара”: Stalowa Wola TD25H, Liebherr PR 752 (PR 754) и Caterpillar D8R.

Извршена је анализа добијених резултата на нивоу парцијалних и синтезних показатеља употребног квалитета, на нивоу економских показатеља и на нивоу употребног квалитета као укупног ефекта радних перформанси. Резултати анализе употребног квалитета посматраних машина указују да постоји иста тенденција и блискост оцена употребног квалитета код машина типа Liebherr PR 752 (PR 754) и Caterpillar D8R. Процена употребног квалитета код највећег броја ових машина је на средњем нивоу (око оцене 3). Машине типа Stalowa Wola TD25H су на нешто нижем нивоу употребног квалитета, од средњег ка ниском нивоу (нешто испод оцене 3). Ниво употребног квалитета је најнижи код машина које су оствариле највећи број мото часова (преко 24.000). Слабости ових машина су погодност одржавања, логистичка подршка одржавању и високи специфични трошкови. Замена машина новим није извршена у оптималном року. Машине које су оствариле од 19.000 до 24.000 мото часова имају ниже трошкове у односу на друге посматране машине и знатно бољи укупан ефекат радних перформанси (употребни квалитет). Велик распон висине трошкова и функционалне погодности код посматраних машина, истог или различитог типа, указује на неадекватан начин одржавања и коришћења, с' обзиром да раде у истим условима радне средине. Наведено доводи до закључка да је неопходна оптимизација процеса управљања помоћном механизацијом на површинским коповима лигнита ЕПС-а.

Тестирање резултата процене употребног квалитета дозера извршено је применом Монте Карло методе прилагођене природи феномена који се анализира. Уређен је 4.221 тест модела са понављањем израчунавања. Скуп излазних резултата употребног квалитета машина може да се апроксимира нормалном расподелом. Резултати процене (средња вредност 2,928 у интервалу од 1 до 5) и статистички подаци добијени тестирањем указују на исту тенденцију и

блискост оцена употребног квалитета. Границе централног интервала од 95% који одређује област у којој се налази 95% добијених резултата оцене су од 2,418 до 3,504. Оваквим приступом анализи практично је извршена верификација модела.

Приказани концепт оцене употребног квалитета даје смернице за оптимизацију процеса управљања опремом на површинским коповима лигнита у циљу бољег искоришћења помоћне механизације као и читавог система експлоатације лигнита. Развијени алгоритам је у потпуности флексибилан и адаптиван, и примењив и на друге рударске машине и техничке системе.

11 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Танасијевић, М., Сигурност функционисања механичких компоненти роторног багера, Докторска дисертација, Београд, Рударско-геолошки факултет, 2007.
- [2] Ђурић Р., Концепт раположивости при дефинисању ефикасног одржавања помоћне механизације на површинским коповима, Докторска дисертација, Београд, Рударско-геолошки факултет, 2016.
- [3] Петровић, Д., Развој алгоритма процене ефеката ризика рада рударских машина на бази фази алгебре, Докторска дисертација, Београд, Рударско-геолошки факултет, 2014.
- [4] Половина, Д., Методологија утврђивања преосталих могућности роторног багера у експлоатацији и ревитализацији, Докторска дисертација, Београд, Рударско-геолошки факултет, 2010.
- [5] Живојиновић, Р., Матерматичко-моделски приступи детерминације оптималног експлоатационог века опреме на рудницима, Докторска дисертација, Београд, Рударско-геолошки факултет, 2001.
- [6] Вујић С., Станојевић Р., Танасковић Т., Зајић Б., Живојиновић Р., Максимовић С., Методе за оптимизацију експлоатационог века рударских машина, Инжењерска академија Србије и Црне Горе, Одељење рударских и геолошких наука, Београд, 2004.
- [7] Игњатовић, Д., и др., Оптимизација организације, средстава и трошкова помоћне механизације у циљу повећања степена искоришћења јаловинских и угљених система на површинским коповима ЕПС-а, Студија, Београд, Рударско-геолошки факултет, 2018.
- [8] Ристовић, И., Ефективност рада и одржавања помоћне механизације на површинским коповима лигнита, Београд, Рударско-геолошки факултет, 2007.
- [9] Miodragović, P., Tanasijević, M., Mileusnić, Z., and Jovančić, P., Effectiveness assessment of agricultural machinery based on fuzzy sets theory, *Expert Systems with Applications*, 2012, Vol. 39 No.10, pp. 8940-8946.
- [10] Tanasijevic, M. i dr., A Fuzzy-Based Decision Support Model for Effectiveness Evaluation - a Case Study of the Examination of Bulldozers, *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, 2019, vol. 26 br. 6, str. 878-897.
- [11] Tanasijević, M., i dr., Study of Dependability Evaluation for Multi-hierarchical Systems Based on MaxMin Composition, *Quality and reliability engineering international*, 2013, vol. 29 br. 3, str. 317-326.
- [12] D. J. Krunić, S. Vujić, M. Tanasijević i dr., Model Approaches to Life Cycle Assessment of Auxiliary Machines Based on an Example of a Coal Mine in Serbia, *Journal of Mining Science*, 2018, volume 54, pages 404–413.
- [13] Јагодић Крунић Д., Танасијевић М., Вујић С., Фази логички модел оцене сигурности функционисања механизације на површинским коповима, Рударски гласник, Рударски институт Београд, Академија инжењерских наука Србије, Београд, 2018, стр. 99-106.
- [14] Јагодић Крунић Д., Танасијевић М., Вујић С., Примена фази логичког моделовања код оцене сигурности функционисања механизације на површинским коповима, Рударски гласник, Рударски институт Београд, Академија инжењерских наука Србије, Београд, 2018, стр. 107-119.

- [15] Јагодић Крунић Д., Истраживање економских показатеља рада и одређивање оптималног радног века помоћне механизације на површинским коповима лигнита, Међународни симпозијум Рударство и геологија данас, Зборник радова, Рударски институт д.о.о. Београд, Београд, 2017, стр. 367-384.
- [16] Djenadic, S., Ignjatovic, D., Tanasijevic, M., i dr., Development of the Availability Concept by Using Fuzzy Theory with AHP Correction, a Case Study: Bulldozers in the Open-Pit Lignite Mine. 2019. *Energies*, 12(21), 4044.
- [17] Ivezic, D., i dr., A Fuzzy Expert Model for Availability Evaluation, 2019 20TH INTERNATIONAL CARPATHIAN CONTROL CONFERENCE (ICCC), 2019, vol. br. str. 7-12.
- [18] Petrovic, D., i dr., Fuzzy Model for Risk Assessment of Machinery Failures, SYMMETRY-BASEL, 2020, vol. 12 br. 4, str. -.
- [19] Petrovic. D., i dr., Fuzzy expert analysis of the severity of mining machinery failure, APPLIED SOFT COMPUTING, 2020, vol. 94 br., str. -.
- [20] Dhillon, B.S., Mining Equipment Reliability, Maintainability and Safety, Springer, 2008.
- [21] Wang, J., Yang, J.B., Sen, P., Safety analyses and synthesis using fuzzy sets and evidential reasoning. *Reliability Engineering and System Safety*, 1995, 47(2), pp.103-118.
- [22] Liu H.-C., Liu L., Liu N., Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review, *Expert Sysiems with Application*, 2013, 40 (2), 828-838.
- [23] Jihyun Park, Changsoon Park & Suneung Ahn, Assessment of structural risks using the fuzzy weighted Euclidean FMEA and block diagram analysis, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2018, volume 99, pages2071–2080.
- [24] Bengtssonab, M., Kurdvebc, M., Machining Equipment Life Cycle Costing Model with Dynamic Maintenance Cost, 23rd CIRP Conference on Life Cycle Engineering, *Procedia CIRP* 48, 2016, 102 – 107.
- [25] Тодоровић, Ј., Основи теорије одржавања , Машински факултет, Београд, 1984.
- [26] Ивковић, С., Откази елемената рударских машина, Рударско-геолошки факултет, Београд, 1997.
- [27] Тодоровић, Ј., Инжењерство одржавања техничких система, Југословенско друштво за моторе и возила, Београд, 1993.
- [28] Папић, Љ., Миловановић, З., Одржавање и поузданост техничких система, Истраживачки центар DQM Чачак, Чачак, 2007.
- [29] Зеленовић, Д., Тодоровић, Ј., Ефективност система у машинству, Научна књига, Београд, 1987.
- [30] International Organization for Standardization, Quality management systems, Geneva, Switzerland, <https://www.iso.org/standard/> .
- [31] International Electrotechnical Commission, IEC 60050-191:1990, International Electrotechnical Vocabulary - Part 191: Dependability and quality of service, International Standard, 1990, Edition 1.0 (<https://www.iec.ch/>).
- [32] International Electrotechnical Commission, IEC 60050-191:1990/AMD1:1999 ED1, Amendment 1 - International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 191: Dependability and quality of service, 1999.

- [33] International Electrotechnical Commission, IEC 60050-191:1990/AMD2:2002, Amendment 2 - International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 191: Dependability and quality of service, 2002.
- [34] International Electrotechnical Commission, IEC 60050-192:2015, International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 192: Dependability, 2015.
- [35] International Electrotechnical Commission, IEC 60050-192:2015/AMD1:2016, Amendment 1 - International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 192: Dependability, 2016.
- [36] International Electrotechnical Commission, IEC GUIDE 108:1994, The relationship between technical committees with horizontal functions and product committees and the use of basic publications, 1994.
- [37] International Electrotechnical Commission, IEC GUIDE 108:2006, Guidelines for ensuring the coherency of IEC publications - Application of horizontal standards, 2006.
- [38] International Electrotechnical Commission, IEC GUIDE 108:2019, Guidelines for ensuring the coherence of IEC publications - Horizontal functions, horizontal publications and their application, 2019.
- [39] Barabady, J., Reliability and maintainability analysis of crushing plants in Jajarm bauxite mine of Iran, Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2005. pp.109-115.
- [40] Strandberg K., IEC 300: the dependability counterpart of ISO 9000, In Reliability and Maintainability Symp, Orlando, FL, 1991.
- [41] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-3-11:1999, Dependability management - Part 3-11: Application guide - Reliability centred maintenance, 1999.
- [42] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-3-11:2009, Dependability management - Part 3-11: Application guide - Reliability centred maintenance, 2009.
- [43] Kumar, U., Kelfsio, B., Granholm, S., Reliability investigation for a fleet of load haul dump machines in a Swedish mine. Reliability Engineering and System Safety, 1989, 26 (4), 341-361.
- [44] Tang., J., Mechanical system reliability analysis using a combination of graph theory and Boolean function. Reliability Engineering and System Safety, 2001, 72 (1), 21-30.
- [45] Мијајловић, М., Миличић Д., Анализа фази поузданости машинских система, ИМК 14 – Истраживање и развој, 2009, 15 (1-2), 107-114.
- [46] Chanseok Park, Weibullness test and parameter estimation of the three-parameter Weibull model using the sample correlation coefficient, 2017, Vol 24, No 4.
- [47] Предраг Поповић, Техничка дијагностика и технологије одржавања, Стратегија одржавања техничких система, менаџмент квалитета и одржавања, ефикасност техничких система, Универзитет Singidunum Београд, 2016.
- [48] Танасијевић М., Ивезић Д., Јованчић П., Петровић Д., Јагодић Крунић Д., Развој модела анализе животног циклуса рударских машина на бази фази теорије, II Међународни симпозијум Рударство и геологија данас, Зборник радова, Рударски институт д.о.о. Београд, Београд, 2018, стр. 244-251.
- [49] Intergrated logistic support guide, DoD USA, 1986.

- [50] Blanchard, B., Fabrycky, W., System engineering and analysis, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1981.
- [51] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-1:1993, Dependability management - Part 1: Dependability programme management, 1993.
- [52] Институт за стандардизацију Србије, SRPS IEC 300-1/ISO 9000-4:1995, Управљање сигурношћу функционисања – Део 1: Управљање програмом сигурности функционисања - Стандарди за управљање квалитетом – Део 4: Упутство за управљање програмом сигурности функционисања, 1995.
- [53] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-1:2003, Dependability management - Part 1: Dependability management systems, 2003.
- [54] Институт за стандардизацију Србије, SRPS EN 60300-1:2008, Менаџмент сигурношћу функционисања – Део 1: Системи менаџмента сигурношћу функционисања, 2008.
- [55] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-2:2004, Dependability management - Part 2: Guidelines for dependability management, 2004.
- [56] Институт за стандардизацију Србије, SRPS EN 60300-2:2008, Менаџмент сигурношћу функционисања – Део 2: Смернице за менаџмент сигурношћу функционисања, 2008.
- [57] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-1:2014, Dependability management - Part 1: Guidance for management and application, 2014.
- [58] Институт за стандардизацију Србије, SRPS EN 60300-1:2017, Менаџмент сигурношћу функционисања – Део 1: Смернице за менаџмент и примену, 2017.
- [59] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-3-1:1991, Dependability management - Part 3: Application guide - Section 1: Analysis techniques for dependability: Guide on methodology, 1991.
- [60] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-3-1:2003, Dependability management - Part 3-1: Application guide - Analysis techniques for dependability - Guide on methodology, 2003.
- [61] Институт за стандардизацију Србије, SRPS EN 60300-3-1:2008, Менаџмент сигурношћу функционисања – Део 3-1: Упутство за примену – Технике анализе за сигурност функционисања, Упутство у вези са методологијом, 2008.
- [62] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-3-2:1993, Dependability management - Part 3: Application guide - Section 2: Collection of dependability data from the field, 1993.
- [63] Институт за стандардизацију Србије, SRPS IEC 300-3-2:1998, Управљање сигурношћу функционисања – Део 3: Упутство за примену – Одељак 2: Прикупљање података о сигурности функционисања у току експлоатације, 1998.
- [64] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-3-2:2004, Dependability management - Part 3-2: Application guide - Collection of dependability data from the field, 2004.
- [65] Институт за стандардизацију Србије, SRPS EN 60300-3-2:2008, Менаџмент сигурношћу функционисања – Део 3-2: Упутство за примену – Прикупљање података о сигурности функционисања у току експлоатације, 2008.
- [66] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-3-3:1996, Dependability management - Part 3: Application guide - Section 3: Life cycle costing, 1996.

- [67] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-3-3:2004, Dependability management - Part 3-3: Application guide - Life cycle costing, 2004.
- [68] Институт за стандардизацију Србије, SRPS EN 60300-3-3:2008, Менаџмент сигурношћу функционисања – Део 3-3: Упутство за примену – Трошкови животног циклуса, 2008.
- [69] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-3-3:2017, Dependability management - Part 3-3: Application guide - Life cycle costing, International Standard, 2017, Edition 3.0 (<https://www.iec.ch/>).
- [70] Институт за стандардизацију Србије, SRPS EN 60300-3-3:2018, Менаџмент сигурношћу функционисања – Део 3-3: Упутство за примену – Трошкови животног циклуса, 2018.
- [71] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-3-4:1996, Dependability management - Part 3: Application guide - Section 4: Guide to the specification of dependability requirements, 1996.
- [72] Институт за стандардизацију Србије, SRPS IEC 60300-3-4:1998, Управљање сигурношћу функционисања – Део 3: Упутство за примену – Одељак 4: Упутство за спецификацију захтева за сигурност функционисања, 1998.
- [73] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-3-4:2007, Dependability management - Part 3-4: Application guide - Guide to the specification of dependability requirements, 2007.
- [74] Институт за стандардизацију Србије, SRPS EN 60300-3-4:2011, Менаџмент сигурношћу функционисања – Део 3-4: Упутство за примену – Упутство за спецификацију захтева за сигурност функционисања, 2011.
- [75] Kletz, T.A., The origins and history of loss prevention, Process Safety and Environmental Protection, 1999, 77 (3), 109-116.
- [76] Тодоровић, Ј., Управљање одржавањем на бази ризика, Истраживања и пројектовања за привреду 1/2003, Машински факултет Београд.
- [77] Кларин, М., и др., Савремене тенденције у управљању одржавањем - приступ одржавању заснованом на ризику, Техничка дијагностика, 2008, број 8, Машински факултет Београд.
- [78] Институт за стандардизацију Србије, IEC 60300-3-4:2008, Менаџмент сигурношћу функционисања - Део 3-2: Упутство за примену - Прикупљање података о сигурности функционисања у току експлоатације.
- [78] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-3-9:1995, Dependability management - Part 3: Application guide - Section 9: Risk analysis of technological systems, 1995.
- [79] International Organization for Standardization, IEC 31010:2019, Risk management — Risk assessment techniques, 2019-06, Geneva, 2019.
- [80] Институт за стандардизацију Србије, SRPS ISO 31000:2019, Менаџмент ризиком – Смернице, 2019.
- [81] Институт за стандардизацију Србије, SRPS EN ISO 12100:2014, Безбедност машина - Општи принципи за пројектовање – Оцена ризика и смањење ризика, 2014.
- [82] Радосављевић, С., Модел процене ризика процеса заштите на раду у погону сува сепарација „Колубара Прерада” Вреоци, Докторска дисертација, Рударско-геолошки факултет Београд, 2010.

- [83] Lefayet Sultan Lipol and Jahirul Haq, Risk Analysis Method: FMEA/FMECA in the Organizations, International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS Vol: 11 No: 05 (49-57), 2011, IJENS.
- [84] US Army, Procedure for Performing a Failure Mode Effect and Criticality Analysis. United States Military Procedure, MIL-P-1629, 1949.
- [85] Department of Defense, United States of America. Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, Military Standard, MIL-STD-1629A, 1980.
- [86] Институт за стандардизацију Србије, SRPS EN IEC 60812:2018, Анализа врсте отказа и њихових ефеката (FMEA i FMECA), 2018.
- [87] Mark Durivage, Is It Time To Say Goodbye To FMEA Risk Priority Number (RPN) Scores?, Quality Systems Compliance LLC, 2020, <https://www.pharmaceuticalonline.com/doc/is-it-time-to-say-goodbye-to-fmea-risk-priority-number-rpn-scores-0001>.
- [88] FMEA Handbook 1st Ed, 2019, Automotive Industry Group (AIAG) and the Verband der Automobilindustrie (VDA), Southfield, MI.
- [89] International Electrotechnical Commission, IEC 61025:2006, Fault tree analysis (FTA), 2006.
- [90] International Electrotechnical Commission, IEC 62502:2010, Analysis techniques for dependability - Event tree analysis (ETA), 2010.
- [91] Wang, Z., Huang, H.Z., Du, X., Reliability - based design incorporating several maintenance policies, Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability, 2009, 44(4): 37-44.
- [92] Peng, W., Huang, H., Zhang, X., Liu, Y., Li, Y., Reliability based optimal preventive maintenance policy of series-parallel systems, Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability, 2009, 42(2): 4-7.
- [93] Dababnehab, A., Ozbolatabc, I.T., Predictive reliability and lifetime methodologies for circuit boards, Journal of Manufacturing Systems, 2015, Volume 37, Part 1, Pages 141-148.
- [94] Jaarsveld, W.V., Dekker, R., Spare parts stock control for redundant systems using reliability centered maintenance data. Reliability Engineering and System Safety; 2011, 96(11): 1576–1586.
- [95] Bugaric, U., Tanasijevic, M., Polovina, D., Ignjatovic, D., Jovancic, P., Lost production costs of the overburden excavation system caused by rubber belt failure, Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability, 2012, 14(4): 333-341.
- [96] Tanasijevic, M., Bugaric, U., Jovancic, P., Ignjatovic, D., Polovina, D., Relationship between the reliability and the length of conveyor rubber belt, Proceedings of the 29th Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, 26th-29th September, 2012, Beograd, 274-277, ISBN 978-86-7083-762-1.
- [97] Abo-Alkheer, A.K., El-Hami, A., Kharmanda, M.G., Mouazen, A.M., Reliability-based design for soil tillage machines, Journal of Terramechanics, 48(1): 57–64, 2011.
- [98] Bolotin V.V., Prediction of Service Life for Machines and Structures, American Society of Mechanical Engineers, USA, 1988.
- [99] Caterpillar Performance Handbook, Edition 49, Estimating Owning&Operating Costs, Caterpillar, Peoria, Illinois, U.S.A., 2019.

- [100] Вујић С., Станојевић Р., Танасковић Т., Зајић Б., Живојиновић Р., Максимовић С., Методе за оптимизацију експлоатационог века рударских машина, Инжењерска академија Србије и Црне Горе, Одељење рударских и геолошких наука, Београд, 2004.
- [101] Vujic S., et.al., Optimal Dynamic Management of Exploitation Life of the Mining Machinery: Models with Limited Interval, Journal of Mining Science, 2010, Vol. 46, No. 5,
- [102] Stanojevic, R., Dynamic Programming, The Institute of Economy, Belgrade, 2004.
- [103] Игњатовић, Д., Методологија избора помоћне механизације на површинским коповима лигнита, Докторска дисертација, Рударско-геолошки факултет Београд, 1997.
- [104] <https://www.komatsu.eu/en/komtrax>.
- [105] https://www.cat.com/en_GB/support/operations/technology/fleet-management/solutions/product-link.html
- [106] Владислав Мишковиц, Системи за подршку одлучивању, Univerzitet Singidunum, Београд, 2013, 248 стр.
- [107] Turban E., Aronson J.E., Liang T., Shard R., Decision Support and Business Intelligence Systems, 9th Ed, Pearson Education, Inc 2010.
- [108] Yu, C.-S., A GP-AHP method for solving group decision-making fuzzy AHP problems. Computers & Operations Research, 2002, 29(14), 1969–2001.
- [109] Pitchipoo, P., Vincent, D., Rajini, N., & Rajakarunakaran, S., COPRAS decision model to optimize blind spot in heavy vehicles: A comparative perspective. Procedia Engineering, 2014, 97, 1049–1059.
- [110] Zadeh, L., Fuzzy sets, Information and Control, 1965, Volume 8, pp. 338–353.
- [111] Zadeh, L. A. Fuzzy sets. U Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, And Fuzzy Systems: Selected Papers by Lotfi A Zadeh, 1996 (str. 394–432). World Scientific.
- [112] Hocine, A., Kouaissah, N., Bettahar, S., Benbouziane, M., Optimizing renewable energy portfolios under uncertainty: A multi-segment fuzzy goal programming approach, Renewable Energy, 2018, Volume 129, pp. 540-552.
- [113] Субашић, П., Фази логика и неуронске мреже, Техничка књига Београд, 1997.
- [114] Teodorović, D., i dr., Traffic Control and Transport Planning A Fuzzy Sets and Neural NetWorks Approach, Kluwer Academic Publishers Boston, 1998.
- [115] Klir, G., Fuzzy sets and fuzzy logic, Prentice Hall P T R, Neew Jersey, USA, 1997.
- [116] Haans, M., Applied fuzzyArithmetic – an introduction with engineering applications, Springer, 2005.
- [117] Buckley, J.J., The multiple judge, multiple criteria ranking problem: A fuzzy set approach, Fuzzy sets and systems, 1984, Volume 13, pp. 25-37.
- [118] Klir, G.J., Yuan, B., Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications. 1995. Upper Saddle River, 563.
- [119] Пауновић, Р., Оморјан, Р., Осови инжењерске статистике, Технолошки факултет Нови Сад, 2009.

- [120] Ying-Ming W, Kwai-Sang C, Gary KaKwai P, Jian-Bo Y., Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. 2009. *Expert Systems with Applications*, ,36, pp.1195–1207.
- [121] Документација ЈП „Електропривреда Србије” Београд, Огранак РБ „Колубара” Лазаревац.
- [122] Romeu, J., “Kolmogorov–Smirnov GoF test," *RAC START*, 10(3), 2003.
- [123] J. Dick, F. Y. Kuo, G. W. Peters, and I. H. Sloan, editors. *Monte Carlo and quasi-Monte Carlo methods 2012*. Springer, 2013.

ПРИЛОГ 1

**ВРЕМЕНСКА СЛИКА СТАЊА ДОЗЕРА НА ОСНОВУ ТЕХНИЧКЕ
ДОКУМЕНТАЦИЈЕ ЈП „ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ”**

Табела 1. Времена до отказа дозера – тип А

Бр.	М А Ш И Н А							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
	t [mh]							
1	448	350	972	1.944	749	396	782	1.192
2	1.727	1.354	1.159	2.503	1.228	1.009	1.530	1.502
3	2.274	1.532	1.457	2.632	1.481	1.517	2.384	1.940
4	2.472	1.611	1.655	2.715	1.719	1.795	3.025	3.106
5	2.773	2.991	1.755	2.995	2.953	2.532	3.280	3.359
6	3.015	3.166	2.145	3.302	3.239	3.195	3.571	3.566
7	3.368	3.483	2.697	3.841	3.535	3.294	4.106	4.124
8	3.394	3.741	2.999	4.118	3.779	3.518	4.736	4.263
9	3.548	4.378	3.190	4.409	3.943	4.184	5.997	4.782
10	4.561	4.501	3.456	4.648	4.287	4.575	6.246	5.121
11	5.254	4.545	4.366	4.989	4.548	4.680	6.483	5.238
12	5.566	4.583	4.397	5.232	4.985	5.229	6.610	5.396
13	5.878	4.918	4.730	5.689	5.245	5.652	6.678	5.786
14	6.201	5.185	5.510	5.934	5.949	5.749	6.989	6.128
15	6.302	5.531	5.946	6.253	6.078	5.975	7.668	6.683
16	6.377	5.813	6.309	6.890	6.085	6.409	8.257	7.026
17	6.690	6.155	6.601	7.280	6.193	6.479	8.532	7.528
18	7.362	6.470	6.961	7.472	6.243	7.205	8.920	7.574
19	8.185	6.561	7.356	7.756	6.518	7.460	9.290	7.657
20	8.550	7.151	7.750	7.784	6.624	7.739	9.359	7.806
21	8.637	7.461	7.771	7.820	7.051	8.011	9.611	8.098
22	9.035	7.826	7.873	8.095	7.104	8.255	9.911	8.469
23	9.163	8.067	8.244	8.277	7.278	8.483	10.281	8.707
24	9.530	8.417	8.595	8.326	7.874	8.707	10.839	8.849
25	10.191	9.062	8.951	8.575	8.669	9.003	11.118	9.041
26	10.540	9.432	9.132	9.056	8.963	9.692	11.419	9.275
27	10.863	9.670	9.529	9.698	9.436	9.789	11.814	9.595
28	11.224	9.941	9.807	9.715	9.511	9.882	12.027	9.824
29	12.128	10.201	10.005	9.784	10.011	9.921	12.239	10.066
30	12.507	10.217	11.322	10.584	10.806	10.088	12.374	10.168
31	12.711	11.149	11.661	11.097	11.070	10.156	12.622	10.376
32	13.061	11.521	12.035	11.353	11.313	10.342	12.971	10.954
33	13.109	11.843	12.224	11.552	11.604	10.442	13.518	12.026
34	13.457	12.085	12.283	11.841	11.819	11.498	13.822	12.289
35	14.472	12.367	12.609	12.134	11.832	11.681	14.073	12.950
36	15.323	12.729	13.054	12.623	11.944	11.829	14.312	13.219
37	15.451	13.035	13.458	13.240	12.172	11.859	14.522	13.471
38	15.901	13.220	13.739	13.701	12.962	12.147	14.625	13.798
39	16.228	14.157	14.689	13.763	13.208	12.411	14.635	14.283
40	16.519	14.683	14.948	13.801	13.412	13.113	14.768	14.336
41	17.146	14.962	15.198	13.890	13.416	13.350	15.274	14.602
42	17.169	0	15.627	14.033	13.713	13.549	15.471	14.930
43	17.612	15.478	16.052	14.262	14.678	13.860	15.750	15.233
44	17.853	15.654	16.419	14.547	14.801	13.903	16.288	15.476
45	17.939	15.747	16.807	15.113	15.130	14.124	16.337	15.760

46	18.778	16.035	17.126	16.848	15.404	14.434	16.649	15.984
47	18.994	16.305	17.473	16.891	16.215	14.649	16.946	16.308
48	19.390	16.947	17.797	16.930	16.242	14.863	17.195	16.709
49	19.517	17.254	18.381	17.110	16.511	14.910	17.265	16.973
50	20.748	17.576	18.702	17.140	16.724	15.173	17.462	17.205
51	21.106	18.003	19.077	17.387	16.915	15.344	17.780	17.540
52	21.240	18.300	19.348	17.764	16.976	15.459	18.208	17.950
53	21.410	18.534	19.608	17.906	17.218	15.962	18.740	18.057
54	21.737	18.591	19.666	18.769	17.296	16.232	18.768	18.317
55	22.613	18.857	20.086	19.099	17.463	16.317	18.886	18.622
56	22.866	19.097	20.210	19.415	17.743	16.363	19.292	19.149
57	22.984	19.395	20.940	19.527	17.943	16.678	19.541	19.435
58	23.165	19.463	21.300	19.576	18.250	17.006	19.788	19.999
59	23.453	19.565	21.684	19.789	18.498	17.198	20.100	20.254
60	23.774	19.678	22.107	20.207	18.754	17.517	20.375	20.870
61	24.699	19.738	22.548	20.265	19.048	18.253	20.659	21.141
62	24.916	20.126	22.945	20.396	19.156	18.651	20.954	21.455
63	25.025	20.344	23.309	20.753	19.384	18.898	21.313	22.066
64	25.131	20.456	23.503	20.939	19.590	19.211	21.630	23.185
65	25.749	20.957	23.732	21.195	19.916	19.785	21.895	23.843
66	26.028	21.238	24.017	21.517	20.247	20.080	22.197	24.412
67	26.476	21.484	24.300	21.884	20.445	20.355	23.167	24.895
68	26.724	21.796	24.599	23.161	20.539	20.702	23.518	25.363
69	26.949	22.038	24.904	23.418	20.745	21.034	23.812	25.517
70	27.322	22.574	25.261	23.506	21.069	21.301	24.582	25.858
71	27.942	23.024	25.569	23.683	21.251	21.563	24.810	26.240
72	28.223	23.345	25.972	23.898	21.559	21.960	24.889	26.556
73	28.624	23.703	26.137	24.045	21.690	22.218	24.969	26.745
74	29.034	24.187	26.523	24.308	21.810	22.467	25.273	27.005
75	29.080	24.671	26.903	24.537	22.332	23.043	25.542	27.225
76	29.900	24.728	27.653	24.849	22.444	23.368	25.644	27.625
77	30.061	24.981	27.885	25.136	22.646	23.992	26.012	28.101
78		25.257	28.154	25.426	22.725	24.352	26.109	28.332
79		25.626	28.429	25.779	22.986	24.810	26.261	28.619
80		25.795	28.824	26.040	23.089	25.105	27.334	29.049
81		26.022	29.117	26.235	23.348	25.415	27.519	29.221
82		26.076	29.491	26.467	24.005	25.954	27.823	29.565
83		26.400	29.865	26.714	24.271	26.577	27.937	29.780
84			30.136	26.925	24.719	26.900	28.544	30.099
85			30.604	26.982	24.944	27.604	28.749	30.229
86				27.324	25.234	27.709	28.966	31.069
87				27.556	25.813	27.918	29.151	31.285
88				27.697	26.008	28.272	29.435	31.531
89				27.938	26.054	28.841	29.521	32.104
90				28.563	26.119	29.142	29.673	32.562
91				28.817		29.480	29.707	
92				29.603		29.714	29.768	
93				29.660		29.962	29.978	
94				29.754		30.329	30.157	

95				30.004		30.687	30.232	
96				30.381		31.346	30.297	
97				30.647		31.656	30.567	
98				31.034		31.978	30.793	
99				31.343		32.446	30.959	
100				31.376		32.633	31.065	
101				31.402		32.640	31.310	
102				31.411		33.412	31.589	
103				31.692		33.518	31.919	
104				31.967		34.221	32.371	
105				32.329		34.499	32.805	
106				32.383		34.596	33.897	
107				32.417			34.965	
108				32.705			35.189	
109				32.882			35.552	
110				33.047			35.742	
111				33.299			36.260	
112				33.362			36.337	

Табела 2. Времена до отказа дозера – тип В

Бр.	М А Ш И Н А					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6
	t [mh]					
1	2.667	2.894	2.257	1.093	1.566	1.779
2	2.984	3.196	2.625	2.256	1.994	2.032
3	3.854	4.172	3.072	3.250	2.764	2.295
4	4.760	4.633	4.937	3.294	3.280	2.730
5	4.970	6.164	6.361	5.799	3.807	3.032
6	6.351	7.236	7.651	5.978	4.397	3.585
7	7.194	8.160	8.547	7.028	4.622	4.459
8	7.450	8.658	9.875	7.353	6.264	5.006
9	7.972	9.253	10.171	7.707	6.522	6.189
10	8.294	9.565	10.472	8.822	7.697	6.711
11	9.250	10.102	11.196	9.204	7.874	7.312
12	9.406	10.627	12.683	9.718	7.887	8.336
13	9.692	11.529	13.123	9.927	8.178	8.950
14	10.315	11.896	13.804	10.108	8.416	9.218
15	10.901	12.174	14.212	10.338	8.836	9.847
16	11.153	15.434	14.601	10.608	10.025	10.014
17	11.505	16.069	15.011	10.951	10.641	10.725
18	11.666	17.011	15.892	10.954	11.291	11.048
19	11.926	17.719	16.044	11.179	11.763	12.501
20	12.217	18.274	16.207	12.225	12.755	12.786
21	13.475	19.464	17.561	12.840	13.136	13.149
22	14.382	20.538	17.961	13.101	13.495	13.437
23	14.661	21.042	19.105	13.621	13.863	13.658
24	15.208	21.197	19.523	13.683	14.202	13.914

25	15.420	21.538	19.870	14.130	14.231	14.197
26	15.729	22.250	20.342	14.380	14.700	14.477
27	16.842	22.584	20.820	14.664	15.071	14.761
28	17.364	22.925	21.230	14.955	15.500	15.147
29	17.983	23.344	21.784	16.113	15.913	16.058
30	18.485	23.688	22.304	16.381	16.215	16.173
31	18.821	24.053	22.544	16.452	17.077	16.624
32	19.128	24.394	22.959	16.464	17.492	
33	19.301	25.104	23.282	16.569	18.819	
34	19.547	25.401	23.621	17.229	19.590	
35		25.653	23.880	17.501		
36		26.074		17.763		
37		26.441		17.840		
38		26.890		17.989		
39		27.691		18.373		
40		28.098		19.161		
41				19.581		
42				19.990		
43				20.298		
44				20.664		
45				21.084		
46				21.508		
47				21.533		

Табела 3. Времена до отказа дозера – тип С

Бр.	МАШИНА						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	t [mh]						
1	4.209	467	1.904	759	785	2.305	3.495
2	4.794	3.901	4.443	5.388	4.172	2.542	4.036
3	7.308	4.319	6.374	7.630	4.684	4.102	5.459
4	8.506	4.815	8.095	8.596	6.546	4.757	7.061
5	10.584	5.583	10.733	10.315	6.829	5.886	7.321
6	12.546	5.647	11.855	11.464	7.565	6.164	8.103
7	12.841	6.956	14.011	11.819	9.302	6.307	8.562
8	13.141	8.065	15.233	12.154	9.957	6.372	9.039
9	13.562	10.094	16.586	13.940	10.308	6.662	10.103
10	15.570	10.935	17.227	14.394	10.716	8.751	10.497
11	15.885	11.853	17.951	14.757	11.115	9.566	10.909
12	17.917	12.478	18.385	15.160	11.593	9.571	11.300
13	18.760	14.553	18.784	15.520	11.998	10.683	11.718
14	19.155	14.869	19.196	15.878	12.449	11.424	12.095
15	19.878	15.592	19.528	16.925	12.861	11.831	12.556
16	20.269	16.032	19.919	17.588	13.216	12.221	13.027
17	20.712	17.344	20.712	17.959	13.497	12.693	13.484
18	21.148	18.096	21.077	19.047	13.663	13.170	13.918

19	21.548	18.478	21.462	19.486	14.102	13.540	14.317
20	21.876	18.826	21.848	20.226	14.543	13.936	14.701
21	22.271	19.247	22.090	20.291	16.185	14.738	15.112
22	22.605	19.665	23.467		16.615	14.823	15.514
23	23.278	19.984	23.892		17.497	15.230	16.672
24	24.599	20.414	24.418			15.594	17.565
25		21.039				15.833	17.656
26		21.484				16.275	
27		22.623				16.652	
28		24.096				17.327	
29						18.108	

Табела 4. Времена отказа дозера – тип А

Бр.	МАШИНА							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
	t [h]							
1	36	42	44	8	8	28	12	8
2	106	124	56	88	72	40	46	16
3	172	152	88	168	84	104	114	120
4	190	268	128	200	102	128	176	190
5	208	310	152	205	126	148	218	294
6	242	336	196	211	134	192	272	368
7	298	354	216	216	162	240	314	442
8	338	388	226	232	170	256	644	490
9	374	560	242	244	180	304	724	538
10	518	676	298	264	200	336	746	572
11	568	736	346	276	220	348	788	636
12	602	792	474	296	276	396	1.090	734
13	694	810	530	324	308	420	1.108	770
14	706	832	570	330	328	444	1.122	788
15	728	858	598	360	340	540	1.154	810
16	856	876	658	372	360	648	1.198	866
17	934	910	746	418	390	684	1.232	2.042
18	978	1.120	778	432	430	724	1.250	2.056
19	1.026	1.132	810	444	456	744	1.408	2.116
20	1.044	1.150	938	454	496	760	1.508	2.300
21	1.060	1.168	1.042	480	536	772	1.526	2.342
22	1.382	1.280	1.194	516	552	804	1.548	2.400
23	1.440	1.298	1.206	532	568	824	1.598	2.410
24	1.478	1.396	1.228	636	592	840	1.658	2.420
25	1.512	1.422	1.268	660	678	867	1.676	2.470
26	1.530	1.446	1.344	676	764	905	1.702	2.488
27	1.556	1.532	1.368	700	780	921	1.750	2.532
28	1.596	1.562	1.424	716	800	953	1.800	2.600
29	1.676	1.584	1.599	784	816	977	1.872	2.624
30	1.694	1.602	1.727	800	852	1.002	1.898	2.660

31	1.720	1.616	1.739	840	876	1.027	1.930	2.700
32	2.138	1.642	1.751	848	930	1.051	2.170	2.756
33	2.428	1.700	1.887	864	938	1.079	2.208	2.836
34	2.644	1.748	2.231	888	978	1.095	2.240	2.876
35	2.724	1.770	2.255	960	1.046	1.511	2.284	2.924
36	2.784	1.836	2.279	996	1.078	1.551	2.334	2.976
37	2.818	2.158	2.315	1.004	1.106	1.595	2.394	3.040
38	2.850	2.410	2.431	1.152	1.154	1.621	2.428	3.338
39	2.884	2.446	2.507	1.184	1.170	1.653	2.450	3.360
40	2.952	2.480	2.547	1.204	1.226	1.809	2.470	3.394
41	3.034	2.502	2.619	1.228	1.386	1.877	2.650	3.412
42	3.052	2.532	2.851	1.238	1.586	1.909	2.658	3.466
43	3.082	2.564	2.875	1.286	1.602	1.929	2.716	3.496
44	3.104	2.644	2.893	1.310	1.618	1.945	2.742	3.526
45	3.146	2.686	2.929	1.330	1.650	2.017	2.824	3.640
46	3.276	2.746	3.013	1.366	1.674	2.035	3.272	3.678
47	3.294	2.772	3.049	1.518	1.702	2.053	3.316	3.712
48	3.414	2.846	3.137	1.585	1.998	2.077	3.346	3.842
49	3.440	2.964	3.233	1.605	2.022	2.127	3.390	3.868
50	3.458	2.982	3.261	1.683	2.042	2.173	3.424	3.912
51	3.500	3.032	3.301	1.733	2.066	2.305	3.460	3.938
52	3.528	3.066	3.433	1.799	2.098	2.369	3.592	3.976
53	3.584	3.120	3.465	1.840	2.118	2.397	3.742	4.000
54	3.606	3.146	4.205	1.912	2.138	2.469	3.812	4.030
55	3.700	3.166	4.235	1.936	2.168	2.861	3.846	4.052
56	3.718	3.440	4.539	1.944	2.194	2.881	3.896	4.096
57	3.734	3.638	4.591	1.996	2.254	2.917	3.946	4.146
58	3.778	3.758	4.655	2.028	2.318	2.981	3.976	4.172
59	3.802	3.824	4.715	2.072	2.358	3.025	3.996	4.216
60	3.820	3.890	4.751	2.098	2.422	3.093	4.022	4.276
61	3.876	3.940	4.779	2.114	2.502	3.169	4.074	4.532
62	3.912	4.044	4.859	2.130	2.566	3.249	4.094	4.580
63	3.968	4.060	4.911	2.180	2.646	3.271	4.126	4.732
64	3.994	4.080	4.959	2.204	2.732	3.361	4.180	4.828
65	4.450	4.098	5.115	2.240	2.752	3.383	4.214	5.084
66	4.472	4.116	5.183	2.340	2.884	3.443	4.240	5.158
67	4.524	4.174	5.235	2.404	2.916	3.459	4.308	5.216
68	4.558	4.226	5.331	2.468	3.028	3.475	4.366	5.242
69	4.598	4.324	5.507	2.518	3.044	3.541	4.410	5.282
70	4.646	4.360	5.523	2.576	3.172	3.591	4.530	5.564
71	4.698	4.382	5.599	2.626	3.266	3.627	4.588	5.854
72	4.724	4.460	5.627	2.676	3.350	3.819	4.650	5.880
73	4.758	4.544	5.731	2.796	3.378	3.849	4.882	5.944
74	5.276	4.570	5.763	2.846	3.594	3.879	4.900	5.968
75	5.328	4.634	5.795	2.906	3.634	3.941	4.942	5.984
76	5.346	4.660	5.847	2.986	3.678	3.997	5.002	6.002
77	5.376	4.678	5.939	3.054	3.766	4.039	5.042	6.018
78		4.710	6.011	3.082	3.814	4.089	5.100	6.026

79		4.738	6.059	3.106	3.846	4.167	5.126	6.140
80		4.922	6.076	3.118	3.890	4.219	5.362	6.166
81		4.972	6.185	3.190	4.042	4.245	5.388	6.192
82		5.054	6.225	3.250	4.142	4.271	5.654	6.242
83			6.257	3.286	4.180	4.305	5.680	6.290
84			6.297	3.306	4.286	4.331	5.708	6.340
85			6.375	3.362	4.294	4.375	5.752	6.354
86				3.478	4.358	4.495	5.976	6.486
87				3.494	4.534	4.537	6.002	6.534
88				3.546	4.586	4.555	6.068	6.584
89				3.586	4.638	4.589	6.326	7.280
90				3.638		4.615	6.422	7.314
91				3.654		4.641	6.442	
92				3.748		4.797	6.454	
93				3.806		4.815	6.470	
94				4.180		4.845	6.486	
95				4.212		4.893	6.496	
96				4.236		4.935	6.504	
97				4.260		4.961	6.515	
98				4.342		5.043	6.528	
99				4.384		5.051	6.548	
100				4.512		5.215	6.578	
101				4.576		5.245	6.626	
102				4.642		5.493	6.652	
103				4.680		5.501	6.844	
104				4.734		5.517	6.892	
105				4.784		5.653	7.068	
106				4.920		5.775	7.116	
107				5.046			7.140	
108				5.256			7.222	
109				5.338			7.454	
110				5.492			7.530	
111				5.592			7.570	
112				5.720				

Табела 5. Времена отказа дозера – тип В

Бр.	М А Ш И Н А					
	В1	В2	В3	В4	В5	В6
	t [h]					
1	8	18	4	8	8	8
2	34	68	36	30	56	48
3	78	128	86	60	128	120
4	122	198	146	88	164	132
5	158	263	178	104	240	192
6	200	346	246	130	300	216
7	234	474	494	170	500	260

8	326	560	564	218	556	432
9	526	630	618	234	604	504
10	560	722	726	426	652	560
11	596	796	846	458	792	844
12	646	984	1.030	519	828	888
13	702	1.014	1.098	639	868	936
14	784	1.062	1.166	719	900	984
15	826	1.130	1.254	771	914	1.056
16	856	1.366	1.318	827	986	1.088
17	908	1.428	1.354	863	1.042	1.112
18	960	1.482	1.398	1.147	1.070	1.256
19	1.034	1.546	1.442	1.207	1.258	1.328
20	1.086	1.562	1.586	1.243	1.326	1.400
21	1.312	1.652	1.646	1.283	1.362	1.416
22	1.338	1.696	1.690	1.295	1.442	1.476
23	1.400	1.804	1.762	1.323	1.474	1.492
24	1.448	1.864	1.806	1.343	1.528	1.520
25	1.524	1.938	1.866	1.377	1.648	1.540
26	1.600	2.000	1.890	1.411	1.664	1.556
27	1.666	2.044	1.942	1.435	1.712	1.592
28	1.736	2.162	1.982	1.463	1.768	1.768
29	1.786	2.250	2.150	1.557	1.784	1.936
30	1.838	2.316	2.182	1.627	2.063	2.252
31	1.880	2.444	2.278	1.645	2.087	
32	2.144	2.528	2.302	1.695	2.139	
33	2.186	2.650	2.326	1.747	2.189	
34	2.308	2.778	2.344	1.811	2.237	
35		2.906	2.382	1.846		
36		2.932		1.896		
37		3.030		1.941		
38		3.222		1.971		
39		3.262		2.159		
40		3.334		2.215		
41				2.231		
42				2.255		
43				2.343		
44				2.379		
45				2.419		
46				2.435		

Табела 6. Времена отказа дозера – тип С

Бр.	МАШИНА						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	t [h]						
1	8	16	8	4	24	4	8
2	32	40	32	66	74	32	20
3	104	122	88	126	122	72	58
4	234	178	112	204	170	108	94
5	346	258	152	294	202	116	130
6	608	300	248	404	292	156	182
7	740	506	378	502	318	320	218
8	776	588	498	572	380	400	282
9	908	746	678	762	416	468	318
10	1.022	830	856	842	578	552	372
11	1.242	960	996	894	690	626	380
12	1.294	1.064	1.156	948	780	634	446
13	1.472	1.228	1.308	1.036	868	786	630
14	1.594	1.326	1.463	1.124	930	850	678
15	1.630	1.420	1.678	1.240	1.006	906	742
16	1.772	1.672	1.800	1.334	1.080	942	778
17	1.928	1.760	1.868	1.442	1.122	998	824
18	2.080	1.816	1.930	1.592	1.218	1.022	872
19	2.190	1.842	1.984	1.618	1.300	1.066	932
20	2.292	1.860	2.186	1.652	1.378	1.118	968
21	2.418	1.898	2.238		1.454	1.158	1.224
22	2.532	1.924	2.304		1.480	1.312	1.280
23	2.638	1.946	2.340			1.332	1.344
24		1.972	2.390			1.384	1.366
25		2.076				1.436	1.406
26		2.244				1.456	
27		2.400				1.512	
28						1.848	
29						2.032	

ПРИЛОГ 2

ЕКОНОМСКИ ПОКАЗАТЕЉИ

**Трошкови животног циклуса дозера
систематизовани на основу техничке документације ЈП „Електропривреда Србије”**

Табела 1. Трошкови власништва машина - тип А

Машина	Набавна вредност машине (\$)	Укупно време ангажовања (година)	Остварено мото часова (moto h)	Амортизациона стопа (%)	Годишња амортизација (\$)	Акумулација амортизације (\$)	C_{ow} /moto h (\$/moto h)
A1	425.830	9	30.061	8,14	34.663	311.963	10,38
A2	425.830	8	26.400	8,14	34.663	277.300	10,50
A3	425.830	11	30.604	8,14	34.663	381.288	12,46
A4	425.830	11	33.362	8,14	34.663	381.288	11,43
A5	425.830	11	26.119	8,14	34.663	381.288	14,60
A6	425.830	11	34.596	8,14	34.663	381.288	11,02
A7	425.830	11	36.337	8,14	34.663	381.288	10,49
A8	425.830	11	32.562	8,14	34.663	381.288	11,71

Табела 2. Оперативни трошкови машине А1

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pct}				Укупно C_o (\$)	C_o /moto h (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	2.603	48.311	431	977	3.344	3.776		56.839	21,84
II	2.499	57.936	1.607	13.511	3.344	4.948	2.542	83.889	33,57
III	3.083	85.645	3.103	13.222	3.756	7.956		113.681	36,87
IV	3.943	121.357	6.601	7.500	3.492	11.044		149.993	38,04
V	3.195	144.957	9.693	136.166	3.212	5.916	12.118	312.063	97,67
VI	4.246	156.110	6.929	72.370	3.492	8.854	4.718	252.474	59,46
VII	4.982	197.987	8.246	18.646	3.212	10.636		238.727	47,92
VIII	3.391	191.486	7.233	80.993	3.212	8.648	9.942	301.514	88,92
IX	2.119	88.068	5.165	38.366	1.680	6.484	2.364	142.128	67,07
Σ	30.061	1.091.857	49.009	381.751	28.744	68.262	31.684	1.651.307	54,93
Просечно									

Табела 3. Оперативни трошкови машине А2

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pct}				Укупно C_o (\$)	C_o /moto h (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	2.624	49.745	576	1.528	3.624	4.152		59.625	22,72
II	2.142	50.213	1.747	18.639	2.652	6.900	2.542	82.693	38,61
III	3.538	94.716	3.236	6.960	3.492	10.092	4.352	122.847	34,72
IV	3.966	114.712	9.025	41.075	4.464	11.904	2.542	183.722	46,32
V	3.543	159.921	7.481	71.927	3.492	10.780	4.906	258.507	72,96
VI	3.683	131.542	8.240	72.126	4.464	13.220	10.762	240.354	65,26
VII	3.378	132.808	9.849	57.824	3.904	11.420	8.756	224.561	66,48
VIII	3.526	171.217	11.650	96.709	3.492	12.055	2.364	297.486	84,37
Σ	26.400	904.872	51.803	366.789	29.584	80.523	36.224	1.469.795	55,67
Просечно									

Табела 6. Оперативни трошкови машине А5

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{jo} (\$)	C_{pcm}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	1.139	24.296	1.197	106	1.812	254		27.665	24,29
II	1.315	32.070	1.981	1.044	1.812	2.071		38.978	29,64
III	2.811	78.978	3.842	24.427	3.624	9.115	2.542	122.528	43,59
IV	3.926	114.230	10.612	47.711	3.904	9.080	5.036	190.572	48,54
V	3.510	106.618	10.346	30.891	4.316	6.963	2.542	161.676	46,06
VI	2.024	50.048	2.992	12.445	2.092	7.116	5.036	79.730	39,39
VII	4.323	135.984	10.006	13.678	4.596	20.023		184.288	42,63
VIII	108	7.296	258	26.083		944		34.581	320,20
IX	1.495	64.127	5.885	72.833	2.240	9.802	8.934	163.821	109,58
X	3.971	162.415	10.357	6.545	4.744	14.716	5.036	203.814	51,33
XI	1.497	55.726	3.009	1.123	2.092	7.736		69.686	46,55
Σ	26.119	831.789	60.484	236.887	31.232	87.820	29.126	1.277.339	48,90
Просечно									

Табела 7. Оперативни трошкови машине А6

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{jo} (\$)	C_{pcm}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	1.241	28.824	1.624	154	1.812	1.354		33.768	27,21
II	2.270	53.372	2.277	2.070	2.652	3.270		63.640	28,04
III	2.525	72.624	5.268	21.255	3.344	5.248	2.542	110.281	43,68
IV	3.858	102.110	13.490	5.773	4.876	9.585		135.833	35,21
V	3.267	97.923	12.916	22.134	4.316	9.170	2.542	149.001	45,61
VI	3.156	91.670	9.217	37.900	3.904	14.147	6.044	162.882	51,61
VII	2.837	88.300	7.067	12.146	3.624	8.071	2.542	121.750	42,92
VIII	4.543	222.535	15.315	38.207	3.904	11.391	2.542	293.894	64,69
IX	3.907	171.656	11.461	55.579	3.492	11.218	1.356	254.762	65,21
X	3.763	155.972	10.868	44.067	3.212	12.388	8.586	235.093	62,47
XI	3.229	142.408	11.922	46.429	2.652	12.135	14.790	230.336	71,33
Σ	34.596	1.227.395	101.425	285.714	37.788	97.977	40.944	1.791.243	51,78
Просечно									

Табела 8. Оперативни трошкови машине А7

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pcm}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	2.453	49.964	1.077	4.185	3.344	2.142		60.713	24,75
II	3.649	81.449	3.096	19.271	3.904	4.088	2.542	114.350	31,34
III	2.792	72.548	2.266	114.079	3.624	8.155	6.044	206.715	74,04
IV	3.693	109.485	8.522	38.483	3.772	14.480	2.542	177.284	48,01
V	3.163	135.716	13.698	49.064	3.904	9.020	9.942	221.345	69,98
VI	2.926	105.442	5.517	18.964	2.932	8.456	7.212	148.523	50,76
VII	4.444	177.044	9.460	48.122	4.596	12.999	4.906	257.127	57,86
VIII	3.596	203.363	10.727	57.093	2.520	13.192	9.942	296.837	82,55
IX	3.170	139.243	11.338	32.332	3.904	14.720	5.036	206.573	65,17
X	2.485	133.750	13.153	50.597	2.372	11.933	7.082	218.888	88,08
XI	3.966	169.394	9.266	39.037	2.372	11.340	7.578	238.987	60,26
Σ	36.337	1.377.399	88.121	471.227	37.244	110.525	62.826	2.147.342	59,10
Просечно									

Табела 9. Оперативни трошкови машине А8

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pcm}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	1.926	48.109	1.057	309	2.372	1.960		53.807	27,94
II	2.873	66.008	2.872	13.197	3.624	5.760	2.542	94.003	32,72
III	2.663	71.815	2.565	3.605	2.652	6.980		87.618	32,90
IV	344	11.939	6.155	59.047	280	5.016	2.542	84.979	247,03
V	4.087	180.830	19.968	12.991	3.904	11.612		229.306	56,11
VI	3.668	130.217	8.714	14.097	3.904	11.095		168.027	45,81
VII	4.261	161.627	8.780	36.788	3.904	12.752		223.851	52,53
VIII	3.549	170.437	10.629	76.537	3.080	6.488	4.718	271.890	76,61
IX	2.692	118.091	7.179	75.101	1.960	6.732	7.400	216.463	80,41
X	3.680	162.287	11.460	41.123	3.212	15.047	1.356	234.484	63,72
XI	2.819	132.300	10.470	67.991	2.372	9.008	12.118	234.259	83,10
Σ	32.562	1.253.661	89.850	400.786	31.264	92.450	30.676	1.898.688	58,31
Просечно									

Табела 10. Трошкови руковаоца машина - тип А

Машина	Година рада	Остварено мото часова (moto h)	C_{op} - кумулативно (\$)	$C_{op}/moto\ h$ (\$/moto h)
A1	9	30.061	369.584	12,29
A2	8	26.400	327.629	12,41
A3	11	30.604	454.474	14,85
A4	11	33.362	454.474	13,62
A5	11	26.119	412.403	15,79
A6	11	34.596	454.474	13,14
A7	11	36.337	454.474	12,51
A8	11	32.562	418.532	12,85

Табела 11. Укупни трошкови по мото часу машине – тип А

Година рада	Машина А1		Машина А2		Машина А3		Машина А4	
	Време рада (moto h)	C_t /moto h (\$/moto h)	Време рада (moto h)	C_t /moto h (\$/moto h)	Време рада (moto h)	C_t /moto h (\$/moto h)	Време рада (moto h)	C_t /moto h (\$/moto h)
I	2.603	50,72	2.624	51,37	1.313	84,17	1.519	70,98
II	2.499	63,73	2.142	73,80	1.384	87,89	2.419	59,84
III	3.083	61,35	3.538	56,05	3.249	58,97	3.904	54,79
IV	3.943	57,25	3.966	65,42	3.186	69,86	4.229	53,66
V	3.195	121,60	3.543	94,54	3.477	77,85	4.288	61,93
VI	4.246	77,35	3.683	85,88	3.018	77,69	1.801	84,07
VII	4.982	62,38	3.378	87,80	3.981	60,95	1.557	96,17
VIII	3.391	112,14	3.526	106,70	2.076	135,91	2.001	91,19
IX	2.119	103,23			3.885	68,54	4.265	58,21
X					3.922	77,16	3.466	113,57
XI					1.113	123,24	3.913	81,17
Σ	30.061		26.400		30.604		33.362	
Просечно		77,60		78,59		77,84		72,00

Табела 12. Укупни трошкови по мото часу машине – тип А

Година рада	Машина А5		Машина А6		Машина А7		Машина А8	
	Време рада (moto h)	C_t /moto h (\$/moto h)	Време рада (moto h)	C_t /moto h (\$/moto h)	Време рада (moto h)	C_t /moto h (\$/moto h)	Време рада (moto h)	C_t /moto h (\$/moto h)
I	1.139	90,30	1.241	87,79	2.453	55,40	1.926	66,97
II	1.315	86,97	2.270	61,24	3.649	52,00	2.873	58,96
III	2.811	70,43	2.525	73,56	2.792	101,06	2.663	61,23
IV	3.926	67,83	3.858	54,84	3.693	68,51	344	362,72
V	3.510	67,84	3.267	69,01	3.163	94,15	4.087	74,81
VI	2.024	76,92	3.156	75,68	2.926	76,72	3.668	66,52
VII	4.323	59,29	2.837	68,30	4.444	74,07	4.261	69,44
VIII	108	659,70	4.543	82,02	3.596	104,44	3.549	98,80
IX	1.495	160,83	3.907	84,82	3.170	89,33	2.692	108,87
X	3.971	71,03	3.763	83,27	2.485	119,57	3.680	84,98
XI	1.497	97,31	3.229	94,86	3.966	79,42	2.819	110,05
Σ	26.119		34.596		36.337		32.562	
Просечно		79,29		75,93		82,10		82,87

Табела 13. Просечне вредности трошкова по мото часу машине – тип А

Машина	Година рада	Остварено мото часова (moto h)	Просечне вредности трошкова по moto h			
			C_{ow} (\$/moto h)	C_o (\$/moto h)	C_{op} (\$/moto h)	C_t (\$/moto h)
A1	9	30.061	10,38	54,93	12,29	77,60
A2	8	26.400	10,50	55,67	12,41	78,59
A3	11	30.604	12,46	50,53	14,85	77,84
A4	11	33.362	11,43	46,95	13,62	72,00
A5	11	26.119	14,60	48,90	15,79	79,29
A6	11	34.596	11,02	51,78	13,14	75,93
A7	11	36.337	10,49	59,10	12,51	82,10
A8	11	32.562	11,71	58,31	12,85	82,87

Табела 14. Трошкови власништва машина - тип В

Машина	Набавна вредност машине (\$)	Укупно време ангажовања (година)	Остварено мото часова (moto h)	Амортизациона стопа (%)	Годишња амортизација (\$)	Акумулација амортизације (\$)	$C_{ow}/moto\ h$ (\$/moto h)
B1	476.714	7	19.547	8,14	38.804	271.631	13,90
B2	476.714	8	28.098	8,14	38.804	310.436	11,05
B3	476.714	8	23.880	8,14	38.804	310.436	13,00
B4	476.714	6	21.533	8,14	38.804	232.827	10,81
B5	615.688	7	19.590	8,14	50.117	350.819	17,91
B6	615.688	7	16.624	8,14	50.117	350.819	21,10

Табела 15. Оперативни трошкови машине В1

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{jo} (\$)	C_{pct}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	2351	64.323	1.452	2.235	3.476			71486	30,41
II	2482	64.324	1.832	22.804	2.652	4792		96403	38,84
III	4294	190.872	6.693	3.665	4.464	6075		211770	49,32
IV	3090	116.750	2.947	30.709	3.624	7019	2542	163590	52,94
V	4294	138.257	5.144	8.580	3.772	4948		160701	37,42
VI	2473	105.309	2.761	8.665	2.372	4872		123979	50,13
VII	563	23.912	2.227	10.088	840	3048	2542	42657	75,77
Σ	19547	703.747	23056	86746	30754	5084	5084	870587	44,54
Просечно									

Табела 16. Оперативни трошкови машине В2

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{jo} (\$)	C_{pct}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	2641	66.271	1.071	667	2.932			70942	26,86
II	3523	140.602	2.541	21.874	3.492	3280	2542	174331	49,48
III	4683	163.893	4.289	4.402	4.184	7424		184191	39,33
IV	4422	160.843	5.755	34.637	4.596	1888	2542	210260	47,55
V	4372	208.129	7.840	13.849	4.464	6062		240344	54,97
VI	1897	80.247	4.056	4.038	1.120	5924		95385	50,28
VII	3209	124.903	4.192	12.596	3.492	10631		155814	48,56
VIII	3351	129.823	6.910	37.617	2.932	8540	7578	193400	57,71
Σ	28098	1.074.712	36.654	129.679	27212	43749	12662	1324668	47,14
Просечно									

Табела 17. Оперативни трошкови машине В3

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pctm}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	1825	52023	902	165	1680	3848		58618	32,12
II	4535	141222	5205	29984	5288	2984	2542	187226	41,28
III	4835	144310	6553	22483	4876	7800	2542	188564	39,00
IV	4848	129762	4214	7062	5568	6223		152829	31,52
V	4299	138035	6706	32507	4876	3630	2542	188296	43,80
VI	1227	43447	1491	7452	560	2984		55934	45,59
VII	735	31128	1221	109342	840	8133		150664	204,99
VIII	1576	66355	6389	8970	1812	620		84147	53,39
Σ	23880	746281	32683	217965	25500	36222	7626	1066278	44,65
Просечно									

Табела 18. Оперативни трошкови машине В4

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pctm}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	1833	56.867	1.648	208	1680	156		60559	33,04
II	4424	146.051	4.371	29.636	5156	3848	2542	191604	43,31
III	4541	147.489	5.776	11.145	5436	9160		179006	39,42
IV	4922	150.761	4.041	4.483	5436	8611	2542	175874	35,73
V	2520	100.919	3.222	7.811	3064	6966		121981	48,41
VI	3293	106.095	4.045	27.330	3772	11014	2542	154798	47,01
Σ	21533	708.182	23103	80.612	39755	7626	7626	883822	41,04
Просечно									

Табела 19. Оперативни трошкови машине В5

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pctm}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	1376	44.815	839	113	1.812			47579	34,58
II	1435	46.114	1.838	368	2.092	2552		52963	36,91
III	3158	88.434	2.134	24.408	3.344	3848	2542	124710	39,49
IV	4512	149.861	5.703	10.271	4.464	10431		180730	40,06
V	3743	119.554	4.507	34.270	5.156	9900	2542	175929	47,00
VI	1929	65.647	3.112	3.553	2.504	5664		80480	41,72
VII	3437	124.361	6.725	31.063	3.344	4643	2542	172679	50,24
Σ	19590	638.786	24.858	104.046	22.716	37.038	7626	835069	42,63
Просечно									

Табела 20. Оперативни трошкови машине В6

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pcm}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	1591	53.985	1.091	77	2092			57245	35,98
II	2021	57.070	3.280	1.620	3064	5215		70248	34,76
III	4293	111.513	3.525	12.416	4316	3496	5084	140350	32,69
IV	2949	95.622	3.983	2.716	3064	4872		110257	37,39
V	3902	116.763	4.500	26.500	5848	8327	2542	164480	42,15
VI	154	6.021	778	162	560	1888		9409	61,10
VII	1714	71.429	1.850	17.205	1120	3568	3898	99070	57,80
Σ	16624	512.404	19.006	60.696	20064	27366	11524	651060	39,16
Просечно									

Табела 21. Трошкови руковаоца машина - тип В

Машина	Година рада	Остварено мото часова (moto h)	C_{op} - кумулативно (\$)	$C_{op}/moto\ h$ (\$/moto h)
B1	7	19.547	257.172	13,16
B2	8	28.098	333.626	11,87
B3	8	23.880	333.626	13,97
B4	6	21.533	248.479	11,54
B5	7	19.590	291.945	14,90
B6	7	16.624	252.846	15,21

Табела 22. Укупни трошкови по мото часу машине – тип В

Година рада	Машина В1		Машина В2		Машина В3	
	Време рада (moto h)	$C_t/moto\ h$ (\$/moto h)	Време рада (moto h)	$C_t/moto\ h$ (\$/moto h)	Време рада (moto h)	$C_t/moto\ h$ (\$/moto h)
I	2.351	64,54	2.641	57,25	1.825	76,10
II	2.482	71,40	3.523	72,42	4.535	59,10
III	4.294	68,01	4.683	56,47	4.835	55,60
IV	3.090	77,63	4.422	64,80	4.848	47,26
V	4.294	56,76	4.372	73,96	4.299	63,11
VI	2.473	82,76	1.897	92,82	1.227	111,35
VII	563	160,13	3.209	74,19	735	316,92
VIII			3.351	81,73	1.576	104,46
Σ	19.547		28.098		23.880	
Просечно		71,59		70,07		71,62

Табела 23. Укупни трошкови по мото часу машине – тип В

Година рада	Машина В4		Машина В5		Машина В6	
	Време рада (moto h)	C_t /moto h (\$/moto h)	Време рада (moto h)	C_t /moto h (\$/moto h)	Време рада (moto h)	C_t /moto h (\$/moto h)
I	1.833	76,82	1.376	101,13	1.591	93,54
II	4.424	61,58	1.435	101,10	2.021	80,34
III	4.541	57,09	3.158	68,49	4.293	54,02
IV	4.922	51,23	4.512	59,47	2.949	67,09
V	2.520	81,35	3.743	72,20	3.902	66,33
VI	3.293	71,51	1.929	89,42	154	404,67
VII			3.437	77,47	1.714	112,40
VIII						
Σ	21.533		19.590		16.624	
Просечно		63,40		75,44		75,48

Табела 24. Просечне вредности трошкова по мото часу машине – тип В

Машина	Година рада	Остварено мото часова (moto h)	Просечне вредности трошкова по moto h			
			C_{ow} (\$/moto h)	C_o (\$/moto h)	C_{op} (\$/moto h)	C_t (\$/moto h)
B1	7	19547	13,90	44,54	13,16	71,59
B2	8	28098	11,05	47,14	11,87	70,07
B3	8	23880	13,00	44,65	13,97	71,62
B4	6	21533	10,81	41,04	11,54	63,40
B5	7	19590	17,91	42,63	14,90	75,44
B6	7	16624	21,10	39,16	15,21	75,48

Табела 25. Трошкови власништва машина - тип С

Машина	Набавна вредност машине (\$)	Укупно време ангажовања (година)	Остварено мото часова (moto h)	Амортизациона стопа (%)	Годишња амортизација (\$)	Акумулација амортизације (\$)	C_{ow} /moto h (\$/moto h)
C1	556.073	7	24.599	8	45.264	316.850	12,88
C2	556.073	8	24.096	8	45.264	362.115	15,03
C3	556.073	8	24.418	8	45.264	362.115	14,83
C4	556.073	6	20.291	8	45.264	271.586	13,38
C5	556.073	6	17.497	8	45.264	271.586	15,52
C6	556.073	6	18.108	8	45.264	271.586	15,00
C7	556.073	6	17.656	8	45.264	271.586	15,38

Табела 26. Оперативни трошкови машине С1

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pct}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	1229	37.239	585	2.730	840			41394	33,68
II	2258	78.213	1.350	578	2932			83073	36,79
III	4169	138.129	5.177	28.351	4052	2336	2542	180587	43,32
IV	4811	169.365	3.288	53.641	4184	3463		233941	48,63
V	3418	144.605	3.731	21.952	3772	4152	8586	186798	54,65
VI	4827	187.871	3.730	34.512	4464	7700	2542	240818	49,89
VII	3887	150.079	5.319	34.628	3904	8976		202906	52,20
Σ	24599	905501	23179	176392	24148	26627	13670	1169516	47,54
Просечно									

Табела 27. Оперативни трошкови машине С2

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pct}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	1045	34.782	612	104	560	376		36433	34,86
II	2561	95.352	1.984	1.367	2652			101354	39,58
III	2883	94.656	3.390	789	3492	2192	2542	107061	37,14
IV	4054	141.258	2.631	1.737	4464	1912	2542	154545	38,12
V	4960	219.309	4.175	13.792	4464	3932	2542	248214	50,04
VI	3743	144.456	4.185	50.222	3624	10744	2542	215774	57,65
VII	1438	65.886	2.114	1.792	1532	3300		74624	51,89
VIII	3412	135.641	3.706	26.581	3212	3144	2542	174826	51,24
Σ	24096	931.340	22797	96.385	24000	25600	12710	1112831	46,18
Просечно									

Табела 28. Оперативни трошкови машине С3

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pct}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	1183	33759	95	76	1120			35050	29,63
II	2329	75297	1682	386	2652	1016		81034	34,79
III	2862	82312	2687	1009	3492	1096		90596	31,65
IV	3924	125105	2529	8512	4052		2542	142740	36,38
V	4747	181348	3706	22904	4464	1888	2542	216852	45,68
VI	4151	166514	3143	25197	4464	8275	2542	210135	50,62
VII	2266	95867	2103	6114	3064	7616		114763	50,65
VIII	2956	115093	5696	21747	2520	11380	2542	158978	53,78
Σ	24418	875294	21641	85946	25828	31271	10168	1050148	43,01
Просечно									

Табела 29. Оперативни трошкови машине С4

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pct}				Укупно C_o (\$)	C_o /moto h (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	3208	88.559	2.729	118	4464	944		96814	30,18
II	5038	174.239	2.509	1.700	3772	1888		184108	36,54
III	3218	135.845	3.821	214.647	2932	1888	2542	361676	112,39
IV	2476	99.552	4.035	104.560	1812	2516	2542	215016	86,84
V	4441	168.105	4.384	4.624	4332	12392		193837	43,65
VI	1910	69.798	3.367	28.088	2092	4804		108149	56,62
Σ	20291	736.099	20.845	353.737	19404	24432	5084	1159600	57,15
Просечно									

Табела 30. Оперативни трошкови машине С5

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pct}				Укупно C_o (\$)	C_o /moto h (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	2364	81.041	988		2240	944		85212	36,05
II	3459	114.535	1.235	533	3772	1960		122035	35,28
III	1732	67.410	1.037	1.960	1680	1888		73976	42,71
IV	3560	126.076	1.681	17.979	4184	6600	2542	159063	44,68
V	2382	84.791	1.417	10.510	2652	8076		107446	45,11
VI	4000	150.614	2.673	25.019	3772	6976	1356	190411	47,60
Σ	17497	624.468	9030	56.002	18300	26444	3898	738142	42,19
Просечно									

Табела 31. Оперативни трошкови машине С6

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_{lo} (\$)	C_{pct}				Укупно C_o (\$)	C_o /moto h (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	1977	65.690	284	59.130	1960			127064	64,27
II	1939	68.252	517	1.107	2240	1888		74003	38,17
III	4458	163.826	4.515	22.752	2800	4183	2542	200618	45,00
IV	4319	160.599	3.463	7.561	3640	9096	2542	186900	43,27
V	4335	183.991	3.817	7.165	3640	15359		213972	49,36
VI	1080	46.731	2.263	37.664	1120	1096	2542	91416	84,64
Σ	18108	689.088	14.859	135.379	15400	31622	7626	893974	49,37
Просечно									

Табела 32. Оперативни трошкови машине С7

Година рада	Време рада (moto h)	C_f (\$)	C_o (\$)	C_{pct}				Укупно C_o (\$)	$C_o/moto\ h$ (\$/moto h)
				C_{sp} (\$)	C_{ws} (\$)	C_{wr} (\$)	C_{wgr} (\$)		
I	1711	61.940	625	5.282	1680			69527	40,64
II	2694	96.050	993	152	2240	1096		100531	37,32
III	3214	164.279	4.441	3.366	2800	2071		176957	55,06
IV	3681	141.417	3.270	54.476	3080	7624		209867	57,01
V	3590	135.589	3.957	3.781	3080	8872		155279	43,25
VI	2766	108.557	2.203	4.137	1960	7208		124065	44,85
Σ	17656	707.832	15.491	71.193	14840	26871		836227	47,36
Просечно									

Табела 33. Трошкови руковаоца машина - тип С

Машина	Година рада	Остварено мото часова (moto h)	C_{op} - кумулативно (\$)	$C_{op}/moto\ h$ (\$/moto h)
C1	7	24.599	291.945	11,87
C2	8	24.096	333.626	13,85
C3	8	24.418	333.626	13,66
C4	6	20.291	250.169	12,33
C5	6	17.497	250.169	14,30
C6	6	18.108	250.169	13,82
C7	6	17.656	250.169	14,17

Табела 34. Укупни трошкови по мото часу машине – тип С

Година рада	Машина С1		Машина С2		Машина С3		Машина С4	
	Време рада (moto h)	$C_i/moto\ h$ (\$/moto h)	Време рада (moto h)	$C_i/moto\ h$ (\$/moto h)	Време рада (moto h)	$C_i/moto\ h$ (\$/moto h)	Време рада (moto h)	$C_i/moto\ h$ (\$/moto h)
I	1.229	104,24	1.045	117,85	1.183	102,93	3.208	57,21
II	2.258	75,44	2.561	73,65	2.329	72,26	5.038	52,97
III	4.169	64,12	2.883	67,21	2.862	61,95	3.218	140,20
IV	4.811	65,82	4.054	58,53	3.924	57,46	2.476	122,04
V	3.418	80,83	4.960	68,08	4.747	64,53	4.441	63,63
VI	4.827	67,95	3.743	80,93	4.151	71,62	1.910	102,14
VII	3.887	75,03	1.438	113,60	2.266	89,80		
VIII			3.412	76,72	2.956	83,19		
Σ	24.599				24.418		20.291	
Просечно		72,29		75,06		71,50		82,86

Табела 35. Укупни трошкови по мото часу машине – тип С

Година рада	Машина С5		Машина С6		Машина С7	
	Време рада (moto h)	C_i /moto h (\$/moto h)	Време рада (moto h)	C_i /moto h (\$/moto h)	Време рада (moto h)	C_i /moto h (\$/moto h)
I	2.364	72,73	1.977	108,13	1.711	91,32
II	3.459	59,20	1.939	80,84	2.694	68,03
III	1.732	94,37	4.458	65,07	3.214	82,90
IV	3.560	69,16	4.319	63,45	3.681	80,69
V	2.382	82,36	4.335	69,83	3.590	67,97
VI	4.000	69,34	1.080	165,15	2.766	76,29
Σ	17.497		8.108		7.656	
Просечно		72,01		78,18		76,91

Табела 36. Просечне вредности трошкова по мото часу машине – тип С

Машина	Година рада	Остварено мото часова (moto h)	Просечне вредности трошкова по moto h			
			C_{ow} (\$/moto h)	C_o (\$/moto h)	C_{op} (\$/moto h)	C_i (\$/moto h)
C1	7	24.599	12,88	47,54	11,87	72,29
C2	8	24.096	15,03	46,18	13,85	75,06
C3	8	24.418	14,83	43,01	13,66	71,50
C4	6	20.291	13,38	57,15	12,33	82,86
C5	6	17.497	15,52	42,19	14,30	72,01
C6	6	18.108	15,00	49,37	13,82	78,18
C7	6	17.656	15,38	47,36	14,17	76,91

Табела 37. Укупни трошкови по мото часу машине – тип А

Година рада	Машина							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
	C_i [\$/moto h]							
I	50,72	51,37	84,17	70,98	90,30	87,79	55,40	66,97
II	63,73	73,80	87,89	59,84	86,97	61,24	52,00	58,96
III	61,35	56,05	58,97	54,79	70,43	73,56	101,06	61,23
IV	57,25	65,42	69,86	53,66	67,83	54,84	68,51	362,72
V	121,60	94,54	77,85	61,93	67,84	69,01	94,15	74,81
VI	77,35	85,88	77,69	84,07	76,92	75,68	76,72	66,52
VII	62,38	87,80	60,95	96,17	59,29	68,30	74,07	69,44
VIII	112,14	106,70	135,91	91,19	659,70	82,02	104,44	98,80
IX	103,23		68,54	58,21	160,83	84,82	89,33	108,87
X			77,16	113,57	71,03	83,27	119,57	84,98
XI			123,24	81,17	97,31	94,86	79,42	110,05
Просечно	77,60	78,59	77,84	72,00	79,29	87,79	82,10	82,87

Табела 38. Укупни трошкови по мото часу машине – тип В

Година рада	Машина					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6
	C_t [\$/moto h]					
I	64,54	57,25	76,10	76,82	101,13	93,54
II	71,40	72,42	59,10	61,58	101,10	80,34
III	68,01	56,47	55,60	57,09	68,49	54,02
IV	77,63	64,80	47,26	51,23	59,47	67,09
V	56,76	73,96	63,11	81,35	72,20	66,33
VI	82,76	92,82	111,35	71,51	89,42	404,67
VII	160,13	74,19	316,92		77,47	112,40
VIII		81,73	104,46			
Просечно	71,59	70,07	71,62	63,40	75,44	75,48

Табела 39. Укупни трошкови по мото часу машине – тип С

Година рада	Машина						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	C_t [\$/moto h]						
I	104,24	117,85	102,93	57,21	72,73	108,13	91,32
II	75,44	73,65	72,26	52,97	59,20	80,84	68,03
III	64,12	67,21	61,95	140,20	94,37	65,07	82,90
IV	65,82	58,53	57,46	122,04	69,16	63,45	80,69
V	80,83	68,08	64,53	63,63	82,36	69,83	67,97
VI	67,95	80,93	71,62	102,14	69,34	165,15	76,29
VII	75,03	113,60	89,80				
VIII		76,72	83,19				
Просечно	72,29	75,06	71,50	82,86	72,01	78,18	76,91

Легенда:

- C_{ow} – трошкови власништва (costs of ownership);
- C_o – оперативни трошкови (operational costs), ($C_f + C_{lo} + C_{pcm}$);
- C_f – трошкови погонске енергије (costs of fuel);
- C_{lo} – трошкови мазива, уља, филтера итд. (costs of lubricants, oils, filters, etc.);
- C_{pcm} – трошкови превентивног и корективног одржавања (costs of preventive and corrective maintenance), ($C_{sp} + C_{ws} + C_{wr} + C_{wgr}$);
- C_{sp} – трошкови резервних делова, потрошног материјала и опреме (cost of spare parts, consumable materials and equipment);
- C_{ws} – трошкови утрошеног времена (радни часови) за сервисирање (costs of time consumption (work hours) for servicing);
- C_{wr} – трошкови утрошеног времена (радни часови) за оправке (costs of time consumption (work hours) for repairs);
- C_{wgr} – трошкови утрошеног времена (радни часови) за генералне оправке (costs of time consumption (work hours) for general repairs);
- C_{op} – трошкови руковаоца (operator costs);
- C_t – укупни трошкови (total costs), ($C_{ow} + C_o + C_{op}$).

ПРИЛОГ 3

Структура max-min композиције за оцену употребног квалитета дозера А1

Табела 1. Структура тах-тип композиције за оцену употребног квалитета - дозер А1

Ω	КОМБИНАЦИЈА				μ				Ω	КОМБИНАЦИЈА				μ			
1	1	1	1	1	0,27	0,27	0,27	0,40	3	3	3	3	3	0,39	0,39	0,39	0,20
	1	1	1	2	0,27	0,27	0,27	0,20		3	3	3	4	0,39	0,39	0,39	0,20
	1	1	2	1	0,27	0,27	0,35	0,40		3	3	4	1	0,39	0,39	0,31	0,40
	1	2	1	1	0,27	0,35	0,27	0,40		3	3	4	2	0,39	0,39	0,31	0,20
	2	1	1	1	1	0,35	0,27	0,27		0,40	3	3	4	3	0,39	0,39	0,31	0,20
2	1	1	1	3	0,27	0,27	0,27	0,20	3	3	5	1	0,39	0,39	0,15	0,40	
	1	1	1	4	0,27	0,27	0,27	0,20	3	3	5	2	0,39	0,39	0,15	0,20	
	1	1	2	2	0,27	0,27	0,35	0,20	3	4	1	2	0,39	0,31	0,27	0,20	
	1	1	2	3	0,27	0,27	0,35	0,20	3	4	1	3	0,39	0,31	0,27	0,20	
	1	1	2	4	0,27	0,27	0,35	0,20	3	4	1	4	0,39	0,31	0,27	0,20	
	1	1	3	1	0,27	0,27	0,39	0,40	3	4	2	1	0,39	0,31	0,35	0,40	
	1	1	3	2	0,27	0,27	0,39	0,20	3	4	2	2	0,39	0,31	0,35	0,20	
	1	1	3	3	0,27	0,27	0,39	0,20	3	4	2	3	0,39	0,31	0,35	0,20	
	1	1	3	4	0,27	0,27	0,39	0,20	3	4	2	4	0,39	0,31	0,35	0,20	
	1	1	4	1	0,27	0,27	0,31	0,40	3	4	3	1	0,39	0,31	0,39	0,40	
	1	1	4	2	0,27	0,27	0,31	0,20	3	4	3	2	0,39	0,31	0,39	0,20	
	1	1	4	3	0,27	0,27	0,31	0,20	3	4	3	3	0,39	0,31	0,39	0,20	
	1	1	5	1	0,27	0,27	0,15	0,40	3	4	4	1	0,39	0,31	0,31	0,40	
	1	1	5	2	0,27	0,27	0,15	0,20	3	4	4	2	0,39	0,31	0,31	0,20	
	1	2	1	2	0,27	0,35	0,27	0,20	3	4	5	1	0,39	0,31	0,15	0,40	
	1	2	1	3	0,27	0,35	0,27	0,20	3	5	1	1	0,39	0,22	0,27	0,40	
	1	2	1	4	0,27	0,35	0,27	0,20	3	5	1	2	0,39	0,22	0,27	0,20	
	1	2	2	1	0,27	0,35	0,35	0,40	3	5	1	3	0,39	0,22	0,27	0,20	
	1	2	2	2	0,27	0,35	0,35	0,20	3	5	1	4	0,39	0,22	0,27	0,20	
	1	2	2	3	0,27	0,35	0,35	0,20	3	5	2	1	0,39	0,22	0,35	0,40	
	1	2	2	4	0,27	0,35	0,35	0,20	3	5	2	2	0,39	0,22	0,35	0,20	
	1	2	3	1	0,27	0,35	0,39	0,40	3	5	2	3	0,39	0,22	0,35	0,20	
	1	2	3	2	0,27	0,35	0,39	0,20	3	5	3	1	0,39	0,22	0,39	0,40	
	1	2	3	3	0,27	0,35	0,39	0,20	3	5	3	2	0,39	0,22	0,39	0,20	
	1	2	4	1	0,27	0,35	0,31	0,40	3	5	4	1	0,39	0,22	0,31	0,40	
	1	2	4	2	0,27	0,35	0,31	0,20	4	1	1	4	0,31	0,27	0,27	0,20	
	1	2	5	1	0,27	0,35	0,15	0,40	4	1	2	3	0,31	0,27	0,35	0,20	
	1	3	1	1	0,27	0,39	0,27	0,40	4	1	2	4	0,31	0,27	0,35	0,20	
	1	3	1	2	0,27	0,39	0,27	0,20	4	1	3	2	0,31	0,27	0,39	0,20	
	1	3	1	3	0,27	0,39	0,27	0,20	4	1	3	3	0,31	0,27	0,39	0,20	
	1	3	1	4	0,27	0,39	0,27	0,20	4	1	3	4	0,31	0,27	0,39	0,20	
	1	3	2	1	0,27	0,39	0,35	0,40	4	1	4	1	0,31	0,27	0,31	0,40	
	1	3	2	2	0,27	0,39	0,35	0,20	4	1	4	2	0,31	0,27	0,31	0,20	
	1	3	2	3	0,27	0,39	0,35	0,20	4	1	4	3	0,31	0,27	0,31	0,20	
	1	3	3	1	0,27	0,39	0,39	0,40	4	1	4	4	0,31	0,27	0,31	0,20	
	1	3	3	2	0,27	0,39	0,39	0,20	4	1	5	1	0,31	0,27	0,15	0,40	
	1	3	4	1	0,27	0,39	0,31	0,40	4	1	5	2	0,31	0,27	0,15	0,20	
	1	4	1	1	0,27	0,31	0,27	0,40	4	1	5	3	0,31	0,27	0,15	0,20	
	1	4	1	2	0,27	0,31	0,27	0,20	4	2	1	3	0,31	0,35	0,27	0,20	
	1	4	1	3	0,27	0,31	0,27	0,20	4	2	1	4	0,31	0,35	0,27	0,20	
	1	4	2	1	0,27	0,31	0,35	0,40	4	2	2	2	0,31	0,35	0,35	0,20	
	1	4	2	2	0,27	0,31	0,35	0,20	4	2	2	3	0,31	0,35	0,35	0,20	
	1	4	3	1	0,27	0,31	0,39	0,40	4	2	2	4	0,31	0,35	0,35	0,20	
	1	5	1	1	0,27	0,22	0,27	0,40	4	2	3	1	0,31	0,35	0,39	0,40	
	1	5	1	2	0,27	0,22	0,27	0,20	4	2	3	2	0,31	0,35	0,39	0,20	
	1	5	2	1	0,27	0,22	0,35	0,40	4	2	3	3	0,31	0,35	0,39	0,20	
	2	1	1	2	0,35	0,27	0,27	0,20	4	2	3	4	0,31	0,35	0,39	0,20	
	2	1	1	3	0,35	0,27	0,27	0,20	4	2	4	1	0,31	0,35	0,31	0,40	
2	1	1	4	0,35	0,27	0,27	0,20	4	2	4	2	0,31	0,35	0,31	0,20		
2	1	2	1	0,35	0,27	0,35	0,40	4	2	4	3	0,31	0,35	0,31	0,20		
2	1	2	2	0,35	0,27	0,35	0,20	4	2	5	1	0,31	0,35	0,15	0,40		

2	1	2	3	0,35	0,27	0,35	0,20	4	2	5	2	0,31	0,35	0,15	0,20
2	1	2	4	0,35	0,27	0,35	0,20	4	3	1	2	0,31	0,39	0,27	0,20
2	1	3	1	0,35	0,27	0,39	0,40	4	3	1	3	0,31	0,39	0,27	0,20
2	1	3	2	0,35	0,27	0,39	0,20	4	3	1	4	0,31	0,39	0,27	0,20
2	1	3	3	0,35	0,27	0,39	0,20	4	3	2	1	0,31	0,39	0,35	0,40
2	1	4	1	0,35	0,27	0,31	0,40	4	3	2	2	0,31	0,39	0,35	0,20
2	1	4	2	0,35	0,27	0,31	0,20	4	3	2	3	0,31	0,39	0,35	0,20
2	1	5	1	0,35	0,27	0,15	0,40	4	3	2	4	0,31	0,39	0,35	0,20
2	2	1	1	0,35	0,35	0,27	0,40	4	3	3	1	0,31	0,39	0,39	0,40
2	2	1	2	0,35	0,35	0,27	0,20	4	3	3	2	0,31	0,39	0,39	0,20
2	2	1	3	0,35	0,35	0,27	0,20	4	3	3	3	0,31	0,39	0,39	0,20
2	2	1	4	0,35	0,35	0,27	0,20	4	3	4	1	0,31	0,39	0,31	0,40
2	2	2	1	0,35	0,35	0,35	0,40	4	3	4	2	0,31	0,39	0,31	0,20
2	2	2	2	0,35	0,35	0,35	0,20	4	3	5	1	0,31	0,39	0,15	0,40
2	2	2	3	0,35	0,35	0,35	0,20	4	4	1	1	0,31	0,31	0,27	0,40
2	2	3	1	0,35	0,35	0,39	0,40	4	4	1	2	0,31	0,31	0,27	0,20
2	2	3	2	0,35	0,35	0,39	0,20	4	4	1	3	0,31	0,31	0,27	0,20
2	2	4	1	0,35	0,35	0,31	0,40	4	4	1	4	0,31	0,31	0,27	0,20
2	3	1	1	0,35	0,39	0,27	0,40	4	4	2	1	0,31	0,31	0,35	0,40
2	3	1	2	0,35	0,39	0,27	0,20	4	4	2	2	0,31	0,31	0,35	0,20
2	3	1	3	0,35	0,39	0,27	0,20	4	4	2	3	0,31	0,31	0,35	0,20
2	3	2	1	0,35	0,39	0,35	0,40	4	4	3	1	0,31	0,31	0,39	0,40
2	3	2	2	0,35	0,39	0,35	0,20	4	4	3	2	0,31	0,31	0,39	0,20
2	3	3	1	0,35	0,39	0,39	0,40	4	4	4	1	0,31	0,31	0,31	0,40
2	4	1	1	0,35	0,31	0,27	0,40	4	5	1	1	0,31	0,22	0,27	0,40
2	4	1	2	0,35	0,31	0,27	0,20	4	5	1	2	0,31	0,22	0,27	0,20
2	4	2	1	0,35	0,31	0,35	0,40	4	5	1	3	0,31	0,22	0,27	0,20
2	5	1	1	0,35	0,22	0,27	0,40	4	5	2	1	0,31	0,22	0,35	0,40
3	1	1	1	0,39	0,27	0,27	0,40	4	5	2	2	0,31	0,22	0,35	0,20
3	1	1	2	0,39	0,27	0,27	0,20	4	5	3	1	0,31	0,22	0,39	0,40
3	1	1	3	0,39	0,27	0,27	0,20	5	1	1	3	0,17	0,27	0,27	0,20
3	1	1	4	0,39	0,27	0,27	0,20	5	1	1	4	0,17	0,27	0,27	0,20
3	1	2	1	0,39	0,27	0,35	0,40	5	1	2	2	0,17	0,27	0,35	0,20
3	1	2	2	0,39	0,27	0,35	0,20	5	1	2	3	0,17	0,27	0,35	0,20
3	1	2	3	0,39	0,27	0,35	0,20	5	1	2	4	0,17	0,27	0,35	0,20
3	1	3	1	0,39	0,27	0,39	0,40	5	1	3	1	0,17	0,27	0,39	0,40
3	1	3	2	0,39	0,27	0,39	0,20	5	1	3	2	0,17	0,27	0,39	0,20
3	1	4	1	0,39	0,27	0,31	0,40	5	1	3	3	0,17	0,27	0,39	0,20
3	2	1	1	0,39	0,35	0,27	0,40	5	1	3	4	0,17	0,27	0,39	0,20
3	2	1	2	0,39	0,35	0,27	0,20	5	1	4	1	0,17	0,27	0,31	0,40
3	2	1	3	0,39	0,35	0,27	0,20	5	1	4	2	0,17	0,27	0,31	0,20
3	2	2	1	0,39	0,35	0,35	0,40	5	1	4	3	0,17	0,27	0,31	0,20
3	2	2	2	0,39	0,35	0,35	0,20	5	1	5	1	0,17	0,27	0,15	0,40
3	2	3	1	0,39	0,35	0,39	0,40	5	1	5	2	0,17	0,27	0,15	0,20
3	3	1	1	0,39	0,39	0,27	0,40	5	2	1	2	0,17	0,35	0,27	0,20
3	3	1	2	0,39	0,39	0,27	0,20	5	2	1	3	0,17	0,35	0,27	0,20
3	3	2	1	0,39	0,39	0,35	0,40	5	2	1	4	0,17	0,35	0,27	0,20
3	4	1	1	0,39	0,31	0,27	0,40	5	2	2	1	0,17	0,35	0,35	0,40
4	1	1	1	0,31	0,27	0,27	0,40	5	2	2	2	0,17	0,35	0,35	0,20
4	1	1	2	0,31	0,27	0,27	0,20	5	2	2	3	0,17	0,35	0,35	0,20
4	1	1	3	0,31	0,27	0,27	0,20	5	2	2	4	0,17	0,35	0,35	0,20
4	1	2	1	0,31	0,27	0,35	0,40	5	2	3	1	0,17	0,35	0,39	0,40
4	1	2	2	0,31	0,27	0,35	0,20	5	2	3	2	0,17	0,35	0,39	0,20
4	1	3	1	0,31	0,27	0,39	0,40	5	2	3	3	0,17	0,35	0,39	0,20
4	2	1	1	0,31	0,35	0,27	0,40	5	2	4	1	0,17	0,35	0,31	0,40
4	2	1	2	0,31	0,35	0,27	0,20	5	2	4	2	0,17	0,35	0,31	0,20
4	2	2	1	0,31	0,35	0,35	0,40	5	2	5	1	0,17	0,35	0,15	0,40
4	3	1	1	0,31	0,39	0,27	0,40	5	3	1	1	0,17	0,39	0,27	0,40
5	1	1	1	0,17	0,27	0,27	0,40	5	3	1	2	0,17	0,39	0,27	0,20
5	1	1	2	0,17	0,27	0,27	0,20	5	3	1	3	0,17	0,39	0,27	0,20

3	5	1	2	1	0,17	0,27	0,35	0,40	4	5	3	1	4	0,17	0,39	0,27	0,20
	5	2	1	1	0,17	0,35	0,27	0,40		5	3	2	1	0,17	0,39	0,35	0,40
	1	1	4	4	0,27	0,27	0,31	0,20		5	3	2	2	0,17	0,39	0,35	0,20
	1	1	5	3	0,27	0,27	0,15	0,20		5	3	2	3	0,17	0,39	0,35	0,20
	1	1	5	4	0,27	0,27	0,15	0,20		5	3	3	1	0,17	0,39	0,39	0,40
	1	2	3	4	0,27	0,35	0,39	0,20		5	3	3	2	0,17	0,39	0,39	0,20
	1	2	4	3	0,27	0,35	0,31	0,20		5	3	4	1	0,17	0,39	0,31	0,40
	1	2	4	4	0,27	0,35	0,31	0,20		5	4	1	1	0,17	0,31	0,27	0,40
	1	2	5	2	0,27	0,35	0,15	0,20		5	4	1	2	0,17	0,31	0,27	0,20
	1	2	5	3	0,27	0,35	0,15	0,20		5	4	1	3	0,17	0,31	0,27	0,20
	1	2	5	4	0,27	0,35	0,15	0,20		5	4	2	1	0,17	0,31	0,35	0,40
	1	3	2	4	0,27	0,39	0,35	0,20		5	4	2	2	0,17	0,31	0,35	0,20
	1	3	3	3	0,27	0,39	0,39	0,20		5	4	3	1	0,17	0,31	0,39	0,40
	1	3	3	4	0,27	0,39	0,39	0,20		5	5	1	1	0,17	0,22	0,27	0,40
	1	3	4	2	0,27	0,39	0,31	0,20		5	5	1	2	0,17	0,22	0,27	0,20
	1	3	4	3	0,27	0,39	0,31	0,20		5	5	2	1	0,17	0,22	0,35	0,40
	1	3	4	4	0,27	0,39	0,31	0,20		1	4	5	4	0,27	0,31	0,15	0,20
	1	3	5	1	0,27	0,39	0,15	0,40		1	5	4	4	0,27	0,22	0,31	0,20
	1	3	5	2	0,27	0,39	0,15	0,20		1	5	5	3	0,27	0,22	0,15	0,20
	1	3	5	3	0,27	0,39	0,15	0,20		1	5	5	4	0,27	0,22	0,15	0,20
	1	3	5	4	0,27	0,39	0,15	0,20		2	3	5	4	0,35	0,39	0,15	0,20
	1	4	1	4	0,27	0,31	0,27	0,20		2	4	4	4	0,35	0,31	0,31	0,20
	1	4	2	3	0,27	0,31	0,35	0,20		2	4	5	3	0,35	0,31	0,15	0,20
	1	4	2	4	0,27	0,31	0,35	0,20		2	4	5	4	0,35	0,31	0,15	0,20
	1	4	3	2	0,27	0,31	0,39	0,20		2	5	3	4	0,35	0,22	0,39	0,20
	1	4	3	3	0,27	0,31	0,39	0,20		2	5	4	3	0,35	0,22	0,31	0,20
	1	4	3	4	0,27	0,31	0,39	0,20		2	5	4	4	0,35	0,22	0,31	0,20
	1	4	4	1	0,27	0,31	0,31	0,40		2	5	5	2	0,35	0,22	0,15	0,20
	1	4	4	2	0,27	0,31	0,31	0,20		2	5	5	3	0,35	0,22	0,15	0,20
	1	4	4	3	0,27	0,31	0,31	0,20		2	5	5	4	0,35	0,22	0,15	0,20
	1	4	4	4	0,27	0,31	0,31	0,20		3	2	5	4	0,39	0,35	0,15	0,20
	1	4	5	1	0,27	0,31	0,15	0,40		3	3	4	4	0,39	0,39	0,31	0,20
	1	4	5	2	0,27	0,31	0,15	0,20		3	3	5	3	0,39	0,39	0,15	0,20
	1	4	5	3	0,27	0,31	0,15	0,20		3	3	5	4	0,39	0,39	0,15	0,20
	1	5	1	3	0,27	0,22	0,27	0,20		3	4	3	4	0,39	0,31	0,39	0,20
	1	5	1	4	0,27	0,22	0,27	0,20		3	4	4	3	0,39	0,31	0,31	0,20
	1	5	2	2	0,27	0,22	0,35	0,20		3	4	4	4	0,39	0,31	0,31	0,20
	1	5	2	3	0,27	0,22	0,35	0,20		3	4	5	2	0,39	0,31	0,15	0,20
	1	5	2	4	0,27	0,22	0,35	0,20		3	4	5	3	0,39	0,31	0,15	0,20
	1	5	3	1	0,27	0,22	0,39	0,40		3	4	5	4	0,39	0,31	0,15	0,20
	1	5	3	2	0,27	0,22	0,39	0,20		3	5	2	4	0,39	0,22	0,35	0,20
	1	5	3	3	0,27	0,22	0,39	0,20		3	5	3	3	0,39	0,22	0,39	0,20
1	5	3	4	0,27	0,22	0,39	0,20	3	5	3	4	0,39	0,22	0,39	0,20		
1	5	4	1	0,27	0,22	0,31	0,40	3	5	4	2	0,39	0,22	0,31	0,20		
1	5	4	2	0,27	0,22	0,31	0,20	3	5	4	3	0,39	0,22	0,31	0,20		
1	5	4	3	0,27	0,22	0,31	0,20	3	5	4	4	0,39	0,22	0,31	0,20		
1	5	5	1	0,27	0,22	0,15	0,40	3	5	5	1	0,39	0,22	0,15	0,40		
1	5	5	2	0,27	0,22	0,15	0,20	3	5	5	2	0,39	0,22	0,15	0,20		
2	1	3	4	0,35	0,27	0,39	0,20	3	5	5	3	0,39	0,22	0,15	0,20		
2	1	4	3	0,35	0,27	0,31	0,20	3	5	5	4	0,39	0,22	0,15	0,20		
2	1	4	4	0,35	0,27	0,31	0,20	4	1	5	4	0,31	0,27	0,15	0,20		
2	1	5	2	0,35	0,27	0,15	0,20	4	2	4	4	0,31	0,35	0,31	0,20		
2	1	5	3	0,35	0,27	0,15	0,20	4	2	5	3	0,31	0,35	0,15	0,20		
2	1	5	4	0,35	0,27	0,15	0,20	4	2	5	4	0,31	0,35	0,15	0,20		
2	2	2	4	0,35	0,35	0,35	0,20	4	3	3	4	0,31	0,39	0,39	0,20		
2	2	3	3	0,35	0,35	0,39	0,20	4	3	4	3	0,31	0,39	0,31	0,20		
2	2	3	4	0,35	0,35	0,39	0,20	4	3	4	4	0,31	0,39	0,31	0,20		
2	2	4	2	0,35	0,35	0,31	0,20	4	3	5	2	0,31	0,39	0,15	0,20		
2	2	4	3	0,35	0,35	0,31	0,20	4	3	5	3	0,31	0,39	0,15	0,20		
2	2	4	4	0,35	0,35	0,31	0,20	4	3	5	4	0,31	0,39	0,15	0,20		

2	2	5	1	0,35	0,35	0,15	0,40	4	4	2	4	0,31	0,31	0,35	0,20
2	2	5	2	0,35	0,35	0,15	0,20	4	4	3	3	0,31	0,31	0,39	0,20
2	2	5	3	0,35	0,35	0,15	0,20	4	4	3	4	0,31	0,31	0,39	0,20
2	2	5	4	0,35	0,35	0,15	0,20	4	4	4	2	0,31	0,31	0,31	0,20
2	3	1	4	0,35	0,39	0,27	0,20	4	4	4	3	0,31	0,31	0,31	0,20
2	3	2	3	0,35	0,39	0,35	0,20	4	4	4	4	0,31	0,31	0,31	0,20
2	3	2	4	0,35	0,39	0,35	0,20	4	4	5	1	0,31	0,31	0,15	0,40
2	3	3	2	0,35	0,39	0,39	0,20	4	4	5	2	0,31	0,31	0,15	0,20
2	3	3	3	0,35	0,39	0,39	0,20	4	4	5	3	0,31	0,31	0,15	0,20
2	3	3	4	0,35	0,39	0,39	0,20	4	4	5	4	0,31	0,31	0,15	0,20
2	3	4	1	0,35	0,39	0,31	0,40	4	5	1	4	0,31	0,22	0,27	0,20
2	3	4	2	0,35	0,39	0,31	0,20	4	5	2	3	0,31	0,22	0,35	0,20
2	3	4	3	0,35	0,39	0,31	0,20	4	5	2	4	0,31	0,22	0,35	0,20
2	3	4	4	0,35	0,39	0,31	0,20	4	5	3	2	0,31	0,22	0,39	0,20
2	3	5	1	0,35	0,39	0,15	0,40	4	5	3	3	0,31	0,22	0,39	0,20
2	3	5	2	0,35	0,39	0,15	0,20	4	5	3	4	0,31	0,22	0,39	0,20
2	3	5	3	0,35	0,39	0,15	0,20	4	5	4	1	0,31	0,22	0,31	0,40
2	4	1	3	0,35	0,31	0,27	0,20	4	5	4	2	0,31	0,22	0,31	0,20
2	4	1	4	0,35	0,31	0,27	0,20	4	5	4	3	0,31	0,22	0,31	0,20
2	4	2	2	0,35	0,31	0,35	0,20	4	5	4	4	0,31	0,22	0,31	0,20
2	4	2	3	0,35	0,31	0,35	0,20	4	5	5	1	0,31	0,22	0,15	0,40
2	4	2	4	0,35	0,31	0,35	0,20	4	5	5	2	0,31	0,22	0,15	0,20
2	4	3	1	0,35	0,31	0,39	0,40	4	5	5	3	0,31	0,22	0,15	0,20
2	4	3	2	0,35	0,31	0,39	0,20	5	1	4	4	0,17	0,27	0,31	0,20
2	4	3	3	0,35	0,31	0,39	0,20	5	1	5	3	0,17	0,27	0,15	0,20
2	4	3	4	0,35	0,31	0,39	0,20	5	1	5	4	0,17	0,27	0,15	0,20
2	4	4	1	0,35	0,31	0,31	0,40	5	2	3	4	0,17	0,35	0,39	0,20
2	4	4	2	0,35	0,31	0,31	0,20	5	2	4	3	0,17	0,35	0,31	0,20
2	4	4	3	0,35	0,31	0,31	0,20	5	2	4	4	0,17	0,35	0,31	0,20
2	4	5	1	0,35	0,31	0,15	0,40	5	2	5	2	0,17	0,35	0,15	0,20
2	4	5	2	0,35	0,31	0,15	0,20	5	2	5	3	0,17	0,35	0,15	0,20
2	5	1	2	0,35	0,22	0,27	0,20	5	2	5	4	0,17	0,35	0,15	0,20
2	5	1	3	0,35	0,22	0,27	0,20	5	3	2	4	0,17	0,39	0,35	0,20
2	5	1	4	0,35	0,22	0,27	0,20	5	3	3	3	0,17	0,39	0,39	0,20
2	5	2	1	0,35	0,22	0,35	0,40	5	3	3	4	0,17	0,39	0,39	0,20
2	5	2	2	0,35	0,22	0,35	0,20	5	3	4	2	0,17	0,39	0,31	0,20
2	5	2	3	0,35	0,22	0,35	0,20	5	3	4	3	0,17	0,39	0,31	0,20
2	5	2	4	0,35	0,22	0,35	0,20	5	3	4	4	0,17	0,39	0,31	0,20
2	5	3	1	0,35	0,22	0,39	0,40	5	3	5	1	0,17	0,39	0,15	0,40
2	5	3	2	0,35	0,22	0,39	0,20	5	3	5	2	0,17	0,39	0,15	0,20
2	5	3	3	0,35	0,22	0,39	0,20	5	3	5	3	0,17	0,39	0,15	0,20
2	5	4	1	0,35	0,22	0,31	0,40	5	3	5	4	0,17	0,39	0,15	0,20
2	5	4	2	0,35	0,22	0,31	0,20	5	4	1	4	0,17	0,31	0,27	0,20
2	5	5	1	0,35	0,22	0,15	0,40	5	4	2	3	0,17	0,31	0,35	0,20
3	1	2	4	0,39	0,27	0,35	0,20	5	4	2	4	0,17	0,31	0,35	0,20
3	1	3	3	0,39	0,27	0,39	0,20	5	4	3	2	0,17	0,31	0,39	0,20
3	1	3	4	0,39	0,27	0,39	0,20	5	4	3	3	0,17	0,31	0,39	0,20
3	1	4	2	0,39	0,27	0,31	0,20	5	4	3	4	0,17	0,31	0,39	0,20
3	1	4	3	0,39	0,27	0,31	0,20	5	4	4	1	0,17	0,31	0,31	0,40
3	1	4	4	0,39	0,27	0,31	0,20	5	4	4	2	0,17	0,31	0,31	0,20
3	1	5	1	0,39	0,27	0,15	0,40	5	4	4	3	0,17	0,31	0,31	0,20
3	1	5	2	0,39	0,27	0,15	0,20	5	4	4	4	0,17	0,31	0,31	0,20
3	1	5	3	0,39	0,27	0,15	0,20	5	4	5	1	0,17	0,31	0,15	0,40
3	1	5	4	0,39	0,27	0,15	0,20	5	4	5	2	0,17	0,31	0,15	0,20
3	2	1	4	0,39	0,35	0,27	0,20	5	4	5	3	0,17	0,31	0,15	0,20
3	2	2	3	0,39	0,35	0,35	0,20	5	5	1	3	0,17	0,22	0,27	0,20
3	2	2	4	0,39	0,35	0,35	0,20	5	5	1	4	0,17	0,22	0,27	0,20
3	2	3	2	0,39	0,35	0,39	0,20	5	5	2	2	0,17	0,22	0,35	0,20
3	2	3	3	0,39	0,35	0,39	0,20	5	5	2	3	0,17	0,22	0,35	0,20
3	2	3	4	0,39	0,35	0,39	0,20	5	5	2	4	0,17	0,22	0,35	0,20

3	2	4	1	0,39	0,35	0,31	0,40	5	5	3	1	0,17	0,22	0,39	0,40	
3	2	4	2	0,39	0,35	0,31	0,20	5	5	3	2	0,17	0,22	0,39	0,20	
3	2	4	3	0,39	0,35	0,31	0,20	5	5	3	3	0,17	0,22	0,39	0,20	
3	2	4	4	0,39	0,35	0,31	0,20	5	5	3	4	0,17	0,22	0,39	0,20	
3	2	5	1	0,39	0,35	0,15	0,40	5	5	4	1	0,17	0,22	0,31	0,40	
3	2	5	2	0,39	0,35	0,15	0,20	5	5	4	2	0,17	0,22	0,31	0,20	
3	2	5	3	0,39	0,35	0,15	0,20	5	5	4	3	0,17	0,22	0,31	0,20	
3	3	1	3	0,39	0,39	0,27	0,20	5	5	5	1	0,17	0,22	0,15	0,40	
3	3	1	4	0,39	0,39	0,27	0,20	5	5	5	2	0,17	0,22	0,15	0,20	
3	3	2	2	0,39	0,39	0,35	0,20	5	4	5	5	4	0,31	0,22	0,15	0,20
3	3	2	3	0,39	0,39	0,35	0,20		5	4	5	4	0,17	0,31	0,15	0,20
3	3	2	4	0,39	0,39	0,35	0,20		5	5	4	4	0,17	0,22	0,31	0,20
3	3	3	1	0,39	0,39	0,39	0,40		5	5	5	3	0,17	0,22	0,15	0,20
3	3	3	2	0,39	0,39	0,39	0,20		5	5	5	4	0,17	0,22	0,15	0,20

Мр Драгица Јагодић Крунић, дипл. инж. рударства

Б И О Г Р А Ф И Ј А

Драгица Јагодић Крунић рођена је 18. 01. 1966. године у Тврдојевцу, општина Уб, Република Србија. Основну и средњу школу машинског смера завршила је у Убу. Основне студије завршила је 1993. основне на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду на смеру површинска експлоатација. Одбранила је дипломски рад под називом „Геотехнички услови формирања спољашњег одлагалишта п.к. Тамнава-Западно поље на простору унутрашњег одлагалишта п.к. Тамнава-Источно поље” под менторством проф. др Милана Цветковића и стекла високо образовање и назив дипломираног инжењера рударства.

Стручни испит положила је 2000. године у Савезу инжењера и техничара Србије у Београду. Државни стручни испит по програму за високо образовање положила је 2009. године пред комисијом Министарства државне управе и локалне самоуправе Републике Србије.

Завршила је магистарске студије на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду на смеру менаџмент у површинској експлоатацији. Одбранила је 2014. године магистарску тезу под називом „Оптимизација организације процеса површинске експлоатације” под менторством проф. др Лазара Кричка и стекла академски назив магистра техничких наука у области рударства – менаџмент у површинској експлоатацији.

У ЈП „Електропривреда Србије”, ПД РБ „Колубара” д.о.о. Лазаревац радила је од 1997. године до 2011. године. У ДП „Тамнава-Западно поље” (1997. – 2004.) радила је на пословима инжењера оперативе у погону површинског копа „Тамнава-Западно поље”, технолога за откопавање отквивке и технолог за откопавање угља у рударско-техничкој припреми. У ДП „Површински копови”, Сектор за производно-техничке послове (2004. – 2011.) радила је на пословима руководиоца Одељења за технологију и план „Тамнава-Источно поље”, технолога за откопавање отквивке на површинском копу „Тамнава-Источно поље” и технолога за откопавање отквивке на површинском копу „Велики Црљени”.

Од децембра 2011. године ради у Сектору за рударство и геологију министарства надлежног за рударство. Обављала је послове начелника Одељења за праћење стања и управне послове у области рударства и геологије (2011. – 2013.) и начелника Одељења за рударство (2013. – 2014.) у звању вишег саветника. Од 2014. године до данас ради на пословима самосталног саветника за управне послове у области површинске експлоатације минералних сировина у Сектору за геологију и рударство Министарства рударства и енергетике Републике Србије.

Објавила је више радова као аутор или коаутор у међународним часописима и зборницима међународних и националних научних скупова из области рударства.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Драгица Д. Јагодић Крунић

Број индекса Р713/2016

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

РАЗВОЈ МОДЕЛА УПОТРЕБНОГ КВАЛИТЕТА ПОМОЋНЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА ЛИГНИТА

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора	Драгица Д. Јагодић Крунић
Број индекса	Р713/2016
Студијски програм	Рударско инжењерство
Наслов рада	РАЗВОЈ МОДЕЛА УПОТРЕБНОГ КВАЛИТЕТА ПОМОЋНЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА ЛИГНИТА
Ментор	Проф. др Милош Танасијевић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива 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 аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

РАЗВОЈ МОДЕЛА УПОТРЕБНОГ КВАЛИТЕТА ПОМОЋНЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА ЛИГНИТА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.