

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Жељко М. Праштало

**ОДЛУЧИВАЊЕ У СЛУЧАЈУ ДИФЕРЕНТНОСТИ  
ПРОЈЕКТНИХ РУДНИЧКИХ РЕШЕЊА  
УПОРЕДНИМ ЈЕДНО И  
ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИМ МОДЕЛОВАЊЕМ**

Докторска дисертација

Београд, 2024

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Željko M. Praštalo

**DECISION MAKING IN CASE OF DIFFERENCE OF  
PROJECT MINING SOLUTIONS BY  
COMPARATIVE ONE AND MULTICRITERIA  
MODELING**

Doctorial Dissertation

Belgrade, 2024

**Ментор:**

**др Игор Миљановић, ред. проф.**

Ужа научна област: Рачунарство и системско инжењерство  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

**Чланови комисије:**

**др Игор Миљановић, ред. проф.**

Ужа научна област: Рачунарство и системско инжењерство  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

**др Томислав Шубарановић, ванред. проф.**

Ужа научна област: Површинска експлоатација лежишта минералних сировина  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

**др Марија Кузмановић, ред. проф.**

Ужа научна област: Операциона истраживања  
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

**Датум одбране:**

# ОДЛУЧИВАЊЕ У СЛУЧАЈУ ДИФЕРЕНТНОСТИ ПРОЈЕКТНИХ РУДНИЧКИХ РЕШЕЊА УПОРЕДНИМ ЈЕДНО И ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИМ МОДЕЛОВАЊЕМ

## РЕЗИМЕ:

Рударски системи поседују читав низ својстава која их, на одређени начин, препоручују за примену савремених метода из домена операционих истраживања и системског инжењерства.

У контексту одлучивања у рударству се, у светлу примене различитих метода као помоћних алата у процесу одлучивања, поставља питање квалитета решења. Експертско знање и расположивост и применљивост, као и познавање аналитичких алата представља једну димензију, док питање доношења одлуке у ситуацији диферентних решења представља другу. Која средства су доносиоцу одлука на располагању у таквој ситуацији, како их применити и како тумачити добијене резултате, а затим извршити њихов трансфер у конкретну одлуку?

Предмет истраживања предложене дисертације је упоредна примена једно и вишекритеријумске анализе у решавању проблема у рударству, и питање доношења управљачких одлука када су решења диферентна.

У сврху одређивања приоритетних снабдевача кречњачком минералном сировином, 2014. године урађена је „Студија о могућности снабдевања кречњаком за потребе одсумпоравања димних гасова (ОДГ) ТЕ Костолац, ТЕ Никола Тесла и нових термо капацитета“ у којој се користила вишекритеријумска анализа појединих сегмената потребних за одлучивање. Пожељније би било да је уместо ове „сегментне“ анализе, урађена анализа која би објединила све елементе потребне за квалитетно одлучивање у једном јединственом моделу за одлучивање. Покушај решавања овог проблема у јединственом методолошком приступу усмерио је докторанда у истраживања, са циљем могућности проналаска модела који би објединио све важне факторе који утичу на избор најквалитетнијег решења при одлуци о избору начина снабдевања термоелектрана кречњачким агрегатом за процес одсумпоравања димних гасова.

Анализа осетљивости рангова показала је да мале до ниже средње промене ентитетских параметара не утичу на стабилност решења, што упућује на закључак да би вишеатрибутно конституисан план снабдевања био такође релативно постојан. Међутим, тестирање осетљивости рангова са различитим релативним тежинама атрибута, показало је јаку повезаност, што упозорава да тежине морају бити промишљено и објективно дефинисане.

Разлике моделских резултата које су готово извесне, могуће је премостити преферирањем критеријума, најчешће економетријског, у овом случају коришћена је цена кречњака, пондерисањем или другим приступом.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: *оптимизација, линеарни локацијски модел, линеарно програмирање, вишекритеријумска анализа, експлоатација и потрошња кречњака, PROMETHEE*

НАУЧНА ОБЛАСТ: РУДАРСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

УЖА НАУЧНА ОБЛАСТ: РАЧУНАРСТВО И СИСТЕМСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

УДК: 622:005.53(043.3)

# DECISION MAKING IN CASE OF DIFFERENCE OF PROJECT MINING SOLUTIONS BY COMPARATIVE ONE AND MULTICRITERIA MODELING

## ABSTRACT:

Mining systems possess attributes which recommend them for application of modern methods from domain of operational research and systemic engineering.

In context of deciding in mining industry, in the light of application of different methods as help tools in process of deciding, the question of solution quality appears. Expert knowledge and availability and applicability, also and knowledge of analytical tools represent one dimension, while the question of decision-making in situation of different decisions represents the other dimension. Which tools are available to the decision-maker in that situation, how to implement them and how to interpret results, and then transfer them to a decision?

The subject of research of proposed dissertation is parallel use of single and multiple criteria analysis on problem solving in mining industry and a question of decision making of management decisions when solutions are different.

Purposefully, to decide priority suppliers of limestone as a mineral material, in the year 2014., the "Study of the possible supply of limestone for desulfurization of flue gases TE Kostolac, TE Nikola Tesla and new thermal capacities" was made, in which multiple criteria analysis was used for individual segments needed for a decision. It would have been more desirable that, instead of this "segment" analysis, the analysis which would include all the elements needed for quality decision making in one unified model for decision making. The try to solve this problem in unique methodological approach encouraged PhD student towards the direction of research for possibility to find model which would unite all the major factors that impact the choice of the most quality solution when decision making about the way to supply thermal power plants with limestone for desulfurization process of flue gases.

Analysis of rank sensitivity showed that small to small-medium changes of entity parameters do not impact stability of a solution, from which can be concluded that multiple criteria made plan of supply plan would be also relatively stable. However, testing of rank sensitivity with different relative attribute weights showed strong connection, which indicates that the weights must be thoughtfully and objectively defined.

Differences between model results which are almost certain can be resolved with preferred criteria, most likely econometric. In this case the price of limestone is used by weighting or other approach.

**KEY WORDS:** *optimization, linear location model, linear programming, exploitation and consumption of limetone, PROMETHEE*

**SCIENTIFIC FIELD:** MINING ENGINEERING

**SCIENTIFIC SUBFIELD:** COMPUTING AND SYSTEMS ENGINEERING

**UDC:** 622:005.53(043.3)

# ЗАХВАЛНОСТ

Побуда за израду једног оваквог научног рада мора потећи од неког ко је посвећен истраживању рударства и ко проналази нове научне нивое кроз ову веома захтевну научну грану. Имао сам изузетну срећу да ми се у професионалном израстању пут укрсти са истрајним и посвећеним човеком којем дугујем велику захвалност да ме у моментима блокаде усмери у правом смеру. Тема дисертације је произишла захваљујући стручном усмеравању од стране проф. Вујића у моментима анализе већ урађених пројеката које је било потребно надоградити научним истраживањима.

Неизмерну захвалност дугујем Академику Слободану Вујићу.

Члановима комисије, проф. Марији Кузмановић, проф. Томиславу Шубарановићу и ментору, проф. Игору Миљановићу велика захвалност на пружању стручних савета у циљу достизања коначне верзије дисертације. Такође, њихова помоћ у анализи података и дефинисању свих потребних сегмената дисертације је немерљива.

Запосленима у Рударском институту д.о.о. Београд, велика захвалност на разумевању и подршци у току израде дисертације. Посебно се захваљујем колегама Драгану Милошевићу и колегиници Др Јасмини Нешковић на помоћи у завршној фази израде.

Родитељима хвала на упорности и стрпљењу, и важним животним лекцијама у тешким тренутцима.

Хвала мојој породици, супрузи Бојани, синовима Страхињи и Немањи, који су имали разумевања, вере и подршке за моју одсутност и посвећеност изради дисертације,

Београд

Март 2024.

Жељко Праштало

## СКРАЋЕНИЦЕ

|           |   |
|-----------|---|
| ОДГ       | – Одсумпоравање димних гасова   |
| ПК        | – Површински коп  |
| DEA       | – <i>Data Envelopment Analysis</i>  |
| PROMETHEE | – <i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations</i> |
| ILP       | – <i>Integer Linear Programming</i>   |
| MIP       | – <i>Mixed-Integer Linear Programming</i>                                     |
| ELECTRE   | – <i>Elimination and Choice Translating Reality</i>                           |
| АНР       | – Аналитички хијерархијски процес   |
| TOPSIS    | – <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>       |
| VIKOR     | – Вишекритеријумско компромисно рангирање                                     |
| GRASP     | – <i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedures</i>                         |
| GGVNS     | – <i>General Variable Neighborhood Search</i>                                 |
| NAIADE    | – <i>Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments</i>     |
| GAIA      | – <i>Geometric Analysis for Interactive Aid</i>                               |

# САДРЖАЈ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. УВОД</b> .....  | <b>1</b>  |
| 1.1. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА.....   | 1         |
| 1.2. НАУЧНИ ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА.....  | 2         |
| 1.3. ОСНОВНЕ ПОЛАЗНЕ ПОСТАВКЕ У ИСТРАЖИВАЊИМА.....                              | 3         |
| 1.4. ПРОГРАМ ИСТРАЖИВАЊА.....   | 3         |
| 1.5. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА.....  | 4         |
| 1.6. ДОСТИГНУЋА НА ПРЕДМЕТНОМ ПОЉУ У СВЕТУ.....                                 | 4         |
| <b>2. ОДЛУЧИВАЊЕ</b> .....  | <b>13</b> |
| 2.1. ПОЈАМ И ДЕФИНИЦИЈА ОДЛУЧИВАЊА.....   | 13        |
| 2.1.1. ОДЛУЧИВАЊЕ У ПОСЛОВНОМ ПРОЦЕСУ.....                                      | 13        |
| 2.1.2. ДЕФИНИЦИЈЕ ОДЛУЧИВАЊА.....   | 14        |
| 2.2. ПРОЦЕС ОДЛУЧИВАЊА И МЕНАџМЕНТ.....   | 15        |
| 2.3. ПОСЛОВНО ОДЛУЧИВАЊЕ.....   | 16        |
| 2.4. ПОСЛОВНО ОДЛУЧИВАЊЕ У ОБЛАСТИ РУДАРСТВА.....                               | 18        |
| 2.4.1. ФАКТОРИ ДОНОШЕЊА ОДЛУКЕ У РУДАРСТВУ.....                                 | 18        |
| 2.4.2. КЛАСИФИКАЦИЈА ОДЛУЧИВАЊА У РУДАРСТВУ И КРИТЕРИЈУМИ ОДЛУЧИВАЊА.....       | 18        |
| <b>3. ЛИНЕАРНИ И ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ ОПТИМИЗАЦИОНИ МОДЕЛИ</b> .....               | <b>20</b> |
| 3.1. ЛИНЕАРНО ПРОГРАМИРАЊЕ.....   | 20        |
| 3.1.1. ДЕФИНИСАЊЕ ЛИНЕАРНОГ ПРОГРАМИРАЊА И КОМПОНЕНТЕ.....                      | 21        |
| 3.1.2. МЕТОДЕ ЛИНЕАРНОГ ПРОГРАМИРАЊА.....                                       | 23        |
| 3.1.3. ПРИМЕНА ЛИНЕАРНОГ ПРОГРАМИРАЊА.....                                      | 27        |
| 3.2. ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ОДЛУЧИВАЊЕ.....  | 30        |
| 3.2.1. ДЕФИНИСАЊЕ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА.....                            | 30        |
| 3.2.2. КОРАЦИ У ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОМ ОДЛУЧИВАЊУ.....                              | 30        |
| 3.2.3. ИДЕНТИФИКАЦИЈА И КЛАСИФИКАЦИЈА МЕТОДА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА..... | 31        |
| 3.2.4. ОДЛИКЕ МОДЕЛА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА.....                         | 34        |
| 3.2.5. НАЈЗНАЧАЈНИЈЕ МЕТОДЕ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА.....                  | 35        |
| 3.2.5.1. <i>ELECTRE</i> метода.....   | 37        |
| 3.2.5.2. <i>TOPSIS</i> метода.....  | 38        |
| 3.2.5.3. Фази-вишекритеријумско одлучивање.....                                 | 39        |
| 3.2.5.4. Аналитички хијерархијски процес - АНР.....                             | 39        |
| 3.2.5.5. Анализа објављивањем података.....                                     | 40        |
| 3.2.6. ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ОДЛУЧИВАЊЕ У ОБЛАСТИ РУДАРСТВА.....                    | 40        |
| 3.2.6.1. Карактеристике вишекритеријумског одлучивања у рударству.....          | 41        |



|   |            |
|---|------------|
| 3.2.7. МЕТОДА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА PROMETHEE.....  | 43         |
| 3.2.7.1. Проучавање PROMETHEE методе у вишекритеријумском одлучивању.....                           | 43         |
| 3.2.7.2. PROMETHEE метода – појам и дефиниције.....   | 44         |
| 3.2.7.3. Варијације PROMETHEE методе.....   | 45         |
| 3.2.7.4. Анализа могућности примене PROMETHEE методе у процесу одлучивања.....                      | 47         |
| 3.2.7.5. Модификована PROMETHEE метода.....   | 49         |
| 3.2.7.6. GAIA план.....   | 49         |
| 3.2.8. ПРИМЕНА PROMETHEE МЕТОДЕ.....  | 49         |
| 3.2.9. ПРОЦЕС ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА КРОЗ ПРИМЕНУ АНР И PROMETHEE МЕТОДЕ.....                | 52         |
| <b>4. ТЕСТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТ.....</b>                                  | <b>54</b>  |
| 4.1. ПРИКАЗ ПРОБЛЕМА.....   | 54         |
| 4.1.1. СНАБДЕВАЊЕ КРЕЧЊАКОМ ЗА ПОТРЕБЕ ОДСУМПОВАЊА ГАСОВА ИЗ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА ЕПС-А..... | 54         |
| 4.1.2. РАСПОЛОЖИВИ РЕСУРСИ КРЕЧЊАКА И ПОТЕНЦИЈАЛНИ СНАБДЕВАЧИ.....                                  | 55         |
| 4.2. ЛОКАЦИЈСКИ МОДЕЛ ЕНТИТЕТА ПРОИЗВОДЊЕ И ПОТРОШЊЕ КРЕЧЊАКА.....                                  | 56         |
| 4.3 МАТРИЧНИ МОДЕЛ ПОТРЕБА И ПРОИЗВОДЊЕ.....  | 72         |
| 4.3.1. Поставка једнокритеријумског модела реалног систем.....                                      | 72         |
| 4.3.2. ПОСТАВКА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ МОДЕЛА РЕАЛНОГ СИСТЕМА.....                                      | 77         |
| 4.3.3. МАТЕМАТИЧКИ ЈЕДНОКРИТЕРИЈУМСКИ МОДЕЛ РЕАЛНОГ СИСТЕМА.....                                    | 80         |
| 4.3.4. МАТЕМАТИЧКИ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ МОДЕЛ РЕАЛНОГ СИСТЕМА.....                                     | 89         |
| 4.3.5. РЕЗУЛТАТИ ЈЕДНОКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ.....  | 95         |
| 4.3.6. РЕЗУЛТАТИ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ.....   | 98         |
| 4.3.7. ПОРЕЂЕЊЕ РЕЗУЛТАТАТ ЕКСПЕРИМЕНАТА.....   | 101        |
| <b>5. ЗАКЉУЧАК.....</b>   | <b>105</b> |
| <b>6. ЛИТЕРАТУРА.....</b>   | <b>106</b> |

## СПИСАК СЛИКА

|  |     |
|--|-----|
| Слика 1. Однос одлучивања и менаџерских функција.....  | 16  |
| Слика 2. Модел вишециљног одлучивања.....  | 32  |
| Слика 3. Модел вишеатрибутског одлучивања.....   | 33  |
| Слика 4. Хијерархија циљева.....   | 42  |
| Слика 5. Типови генерисаних критеријума код PROMETHEE методе.....  | 48  |
| Слика 6. Графички приказ броја радова у оквиру којих се примењује PROMETHEE метода.....  | 50  |
| Слика 7. Упоредна примена PROMETHEE и других метода у научним истраживањима пронађеним на порталу KoBSON од 1985. до 2015. Године..... | 51  |
| Слика 8. Софтвери који подржавају PROMETHEE методу.....  | 52  |
| Слика 9. Локације површинских копова и термоенергетских објеката у Србији.....   | 56  |
| Слика 10. Варијанта А: граф структуре ситема.....  | 72  |
| Слика 11. Експлоатациони век површинских копова – на основу утврђених резерви и садашње годишње производње.....                        | 72  |
| Слика 12. Варијанта Б: граф структуре система.....   | 73  |
| Слика 13. Варијанта В: граф структуре ситема.....  | 73  |
| Слика 14. Ранг површинских копова - Варијанта А.....   | 98  |
| Слика 15. Ранг површинских копова - Варијанта Б.....   | 99  |
| Слика 16. Ранг површинских копова - Варијанта В.....   | 100 |

## СПИСАК ТАБЕЛА

|  |     |
|--|-----|
| Табела 1. Спецификација хемијских својстава кречњака потребних за ОДГ.....                                 | 55  |
| Табела 2. Списак лежишта са овереним билансним резервама и одобрењем за експлоатацију за 2014. Годину..... | 55  |
| Табела 3. Варијанта А: модел система – ТЕ Колубара Б није у функцији.....                                  | 74  |
| Табела 4. Варијанта Б: Модел система – ТЕ Колубара Б и ПК5 нису у функцији.....                            | 75  |
| Табела 5. Варијанта В: Модел система – сви ентитети су у функцији.....                                     | 76  |
| Табела 6. Тежине критеријума.....  | 78  |
| Табела 7. Варијанта А: Модел система – ТЕ Колубара Б није у функцији.....                                  | 78  |
| Табела 8. Варијанта Б: Модел система – ТЕ Колубара Б и ПК5 нису у функцији.....                            | 79  |
| Табела 9. Варијанта В: Модел система – сви ентитети су у функцији.....                                     | 79  |
| Табела 10. Матрични модел Варијанте А.....   | 80  |
| Табела 11. Матрични модел Варијанте Б.....   | 83  |
| Табела 12. Варијанта В: матрични једнокритеријумски модел.....   | 86  |
| Табела 13. Симболички вишекритеријумски модел Варијанте А.....   | 89  |
| Табела 14. Цифарски вишекритеријумски модел Варијанта А.....   | 90  |
| Табела 15. Симболички вишекритеријумски модел Варијанте Б.....   | 91  |
| Табела 16. Цифарски вишекритеријумски модел Варијанте Б.....   | 92  |
| Табела 17. Симболички вишекритеријумски модел Варијанте В.....   | 93  |
| Табела 18. Цифарски вишекритеријумски модел Варијанте В.....   | 94  |
| Табела 19. Резултати једнокритеријумске анализе варијанте А.....   | 95  |
| Табела 20. Резултати једнокритеријумске анализе варијанте Б.....   | 96  |
| Табела 21. Резултати једнокритеријумске анализе варијанте В.....   | 97  |
| Табела 22. Резултати вишекритеријумске анализе варијанта А.....  | 98  |
| Табела 23. Резултати вишекритеријумске анализе варијанта Б.....  | 99  |
| Табела 24. Резултати вишекритеријумске анализе варијанта В.....  | 100 |
| Табела 25. Упоредна анализа једнокритеријумског и вишекритеријумског решења - Варијанта А.....             | 102 |
| Табела 26. Упоредна анализа једнокритеријумског и вишекритеријумског решења - Варијанта Б.....             | 103 |
| Табела 27. Упоредна анализа једнокритеријумског и вишекритеријумског решења - Варијанта В.....             | 104 |

# 1. УВОД

## 1.1. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

Сложеност проблема управљања индустријским процесима расте са порастом сложености индустријских система - констатација која представља суштину развоја операционих истраживања и сродних научних дисциплина које се баве проблемима управљања процесима. Рударски системи поседују читав низ својстава која их, на одређени начин, препоручују за примену савремених метода из домена операционих истраживања и системског инжењерства.

Историјски гледано, одлучивање у рударству засновано је на искуству доносилаца одлука. Овакав приступ, упркос чињеници да се многе процедуре ослањају или почивају на фактору „експертског мишљења” или „знања” носи са собом недовољну поузданост и прецизност. Имајући у виду бројност и разнородност чинилаца који утичу на процесе експлоатације минералних сировина (природни, тржишно-економски, технички, технолошки итд.), као и њихову конфликтност, односно супротстављеност смера утицаја, одлучивање се у суштини, састоји у њиховом сагледавању и аналитичкој интеграцији. На овај начин се неодређеност, иако инхерентна рударству, сузбија и своди на ниво довољан за доношење коректних управљачких одлука.

Процес у коме минерална сировина прође пут од руде до полупроизвода или коначног тржишног производа може се у сваком случају описати комбинацијом термина као што су „систем”, „вишеетапни” и „полифазни”. У таквом окружењу, задатак оптимизације процеса експлоатације и припреме минералних сировина представља етапни циљ задатка одлучивања. У условима бројности утицајних чинилаца, недовољности и/или неодређености и непрецизности података, поменути задатак оптимизације како за подсистеме рударског производног система, тако и систем у целини је по својој суштини вишедимензионог карактера. Шта више, може се тврдити да задатак превазилази оперативни ниво одлучивања и да се позиционира по свим нивоима управљања системом.

Ипак, пројектовање, односно конципирање, разрада, реализација пројектних решења и њихова примена у пракси представља окосницу целог система на коју се наслањају и временска и просторна димензија. Сходно томе, одлучивање у овом сегменту у било којој фази животног века рударског односно рудничког објекта има далекосежне последице по све подсистеме, па је проблем оптимизације пројектних решења у рударству потребно решавати са посебно пажњом. Обзиром да је пројектовање у рударству активност која прати животно век рудника кроз све фазе, значај и осетљивост пројектних рудничких решења постаје очигледна.

Анализом процеса одлучивања у домену пројектовања, проблем се отвара „фронтално” те се подразумева да су за његово решавање дозвољена сва средства, али се тада може поставити питање која су то средства и како утврдити њихову применљивост у појединачним случајевима односно конкретним ситуацијама.

Питања избора принципа и метода решавања, као и питање доношења одлука на основу анализе резултата примењених метода налазе се међу веома осетљивим питањима на која је, у општем случају, немогуће дати једнозначан одговор. Међутим, када је реч о практичној реализацији и анализи остварљивости и применљивости пројектних решења, до одговора се, у складу са одговарајућим ограничењима, може доћи.

У овом радном оквиру налазе се питања која су представљала иницијални фактор за разматрања у предложеној дисертацији.

## **1.2. НАУЧНИ ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА**

У контексту одлучивања у рударству се, у светлу примене различитих метода као помоћних алата у процесу одлучивања, поставља питање квалитета решења. Експертско знање и расположивост и применљивост, као и познавање аналитичких алата представља једну димензију, док питање доношења одлуке у ситуацији диферентних решења представља другу. Која средства су доносиоцу одлука на располагању у таквој ситуацији, како их применити и како тумачити добијене резултате а затим извршити њихов трансфер у конкретну одлуку?

Предмет истраживања предложене дисертације је упоредна примена једно и вишекритеријумске анализе у решавању проблема у рударству, и питање доношења управљачких одлука када су решења диферентна.

У овим околностима, присутан је и одређени ризик, који се пре свега односи на неизвесност у погледу узрочно-последичних релација диферентности решења. Поред тога, питање мерљивости није без значаја, обзиром да различите методе најчешће немају међусобно детерминисане релације, те је резултате примене метода врло тешко директно поредити. Ово питање потребно је поставити и на њега одговорити и када је у питању значајност различитих фактора односно група утицајних фактора, као и када је у питању међусобни однос разматраних пројектних решења са аспекта резултата анализа.

Додатна разматрања потребна су и када је реч о осетљивости процеса одлучивања и управљања. Последице одлука које се доносе на нивоу доношења пројектних решења видљиве су непосредно у производњи те економици пословања рудника, али и кроз сигурност производње, безбедност рада, заштиту животне и радне средине. У ситуацији када се ради о стратешким сировинама, дејство управљачких одлука на нивоу рудника, преноси се у већој или мањој мери на све учеснике у производном ланцу, нпр. ланац енергетске трансмисије: производња угља, конверзија у топлотну и електричну енергију, дистрибуција електричне енергије, потрошња па и шире.

Одлучивање у случају диферентности пројектних решења је дакле аналитички процес који осим довољности и поузданости улазних података и документације за анализу, захтева адекватне математичко-моделске алате, дефинисана правила и процедуру одлучивања. У том смислу циљеви истраживања докторске дисертације обухватају:

- Истраживања и анализу информација о достигнућима на овом пољу у свету;
- Истраживања и анализу проблемски оријентисаних једно и вишекритеријумских математичко-моделских алата;
- Тест-експериментална истраживања ефеката примене једно и вишекритеријумских математичко-моделских алата на одговарајућем рудничко-продуктивном ланцу;
- Анализу резултата истраживања;
- Дефинисање правила односно процедуре одлучивања у случају диферентности моделских решења.

### **1.3. ОСНОВНЕ ПОЛАЗНЕ ПОСТАВКЕ У ИСТРАЖИВАЊИМА**

Прелиминарна анализа литературних извора из операционих истраживања и примене у рударству показује бројност научних и стручних радова о једно и вишекритеријумским математичко-моделским методама, али супротно овој бројности, бројност радова на тему упоредне примене је занемарљиво мали. Сазнање је опредељујуће утицало на избор теме и дефинисање концепције истраживања са полазним поставкама:

- Бројност научних и стручних радова о једно и вишекритеријумским математичко-моделским методама;
- Занемарљив број радова на тему упоредне примене у рударству једно и вишекритеријумских математичко-моделских метода;
- Отвореност питања процедуре и поступка приликом доношења одлука у случају диферентности једно и вишекритеријумског решења.

### **1.4. ПРОГРАМ ИСТРАЖИВАЊА**

Изложена сазнања и сагледаност захтевности и значаја проблема, дефинише логичку и физичку топологију програма истраживања, обухватајући активности:

- Сагледавање, отварање и детерминација проблема;
- Аквизиција информација и података из литературних извора;
- Оцена оствареног и искустава на предметном пољу са предлогом поступка даљих истраживања;

- Анализа и избор једно и вишекритеријумских математички модела за даља истраживања;
- Избор одговарајућег рудничко - продуктивног система за истраживања примене једно и вишекритеријумске анализе за подршку одлучивања;
- Тест-експериментална истраживања, анализа резултата;
- Запажања са предлогом даљих истраживања.

## 1.5. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Методологија истраживања, прилагођена проблему, програму и циљевима истраживања, спаја теоријска и опитна истраживања: литература проучавање достигнућа на предметном пољу, закључивање засновано на овим сазнањима, дефинисање ток даљих истраживања, анализу и избор адекватних математичко-моделских алата за експеримент, избор реалног рудничког система за експеримент, тест-експериментална истраживања, завршна оцена, дефинисање поступка у случају диферентности моделских решења, закључак.

## 1.6. ДОСТИГНУЋА НА ПРЕДМЕТНОМ ПОЉУ У СВЕТУ

Методе и поступци операционих истраживања данас заузимају једно од водећих места када је реч о практичним аспектима рударског инжењерства. У том смислу, може се успоставити потпуна историјска аналогија са индустријским системима уопште, обзиром на пораст сложености примењених технологија и процеса, просторну и временску дистрибуцију елемената рударских система, као и промене у захтевима тржишта и друштвеног окружења.

Операциона истраживања представљају веома широку и разнородну „породицу“ метода и поступака који се примењују, како се то често говори, са циљем оптимизације процеса односно система. Самим тим, класификација поменутих метода, пре свега математичких у ужем смислу, није једнозначна. Другим речима, скуп метода операционих истраживања није прецизно одређен, те, када је реч о њиховим применама у некој области, постоје различита интерпретације. Ипак, са практичног аспекта, може се рећи да се примене ових метода, тачније њихови прикази у доступној литератури могу груписати око следећих елемената:

- Примене метода математичког програмирања;
- Примене метода теорије одлучивања;
- Примене посебних метода и поступака, као што су меко рачунање (*soft computing*), анализа и моделирање Интернета интелигентних уређаја (*Internet of Things*) и великих података (*big data*), симулационе методе и технике, мрежно планирање, теорије замене итд.

Током претходне деценије, приближно, објављен је изван број литературних прегледа у овој области. По својој аналитичности и обиму приказаног материјала, нарочито су значајни следећи радови:

- Newman A., et al., (2010) са свеобухватним прегледом истраживања у области планирања и пројектовања рудника у површинској и подземној експлоатацији. Према ауторима, стохастичко планирање у рударству би у наредном периоду могло постати доминантно. Трендови указују на брже решавање све већих и сложенијих модела, чиме се напушта традиционалан приступ рачунања преко блокова и постепено долази до решавања једног, монолитног, проблема. Такође, често су у употреби хеуристичке методе базиране на агрегацији, али и методе декомпозиције као што је Лагранжова релаксација [1].
- Преглед аутора Jang H., и Topal E., (2014) фокусиран је на примену метода *soft computing* у рударству. Представљени су радови повезани са механиком стена, избором методе експлоатације, избором машина и опреме и утврђивањем параметара минирања. Констатовано је да се, у зависности од сегмента, најчешће користе методе вештачких неуронских мрежа, фази алгоритми и генерално, експертски системи. Нешто ређе су у употреби генетски алгоритми, као и хибридни неуро-фази системи [2].
- Sitorus F., Brito-Parada P., (2019) са детаљним прегледом истраживања примене метода вишекритеријумског одлучивања у рударству и припреми минералних сировина, када је реч о проблемима типа избора, односно селекције. На основу прегледа великог броја радова, уочен је нагли пораст броја ових радова. Проблем који се далеко најчешће решава овим методама (око 30% случајева) је избор методе откопавања. Метода вишекритеријумског одлучивања која је далеко најчешће коришћена је АНР, (као и софтвер „*Expert Choice*” који функционише на бази АНР. Када је реч о фази методама вишекритеријумског одлучивања, фази АНР такође предњачи по примени испред метода TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE и VIKOR [3].

Када је реч о области примене поменутих метода, у оквиру рударских система није могуће издвојити активност која није адекватна за примену метода операционих истраживања. Самим тим, примери примене који су приказани у литературним изворима односе се на целокупан циклус планирања и производње у рударству.

Као што је већ речено, у рударству се релативно често разматра проблем избора методе откопавања (након што је условима експлоатације утврђено да ће се на некој локацији одвијати подземна или површинска експлоатација). Са тим у вези, аутори Azadeh et al., (2009) предлажу модификацију познате Николасове нумеричке методе за избор технологије откопавања развијене осамдесетих година XX века на бази фази АНР, односно на бази контроле степена неконзистентности (у оквиру АНР методе) уз помоћ Николасове нумеричке методе [4].



У свом раду објављеном 2012., аутори Chicoisne et al., представили су нови алгоритам за проблем израде плана производње на површинским коповим заснован на модификацији раније формулисаног алгоритма целобројног програмирања. Модификација се односи на утврђивање плана производње са једним или два ограничења по капацитету., чиме је реализована практична применљивост алгоритма C-PIT развијеног још шездесетих година XX века [5].

Проблеми планирања производње обрађени су и у издању „Advances in Applied Strategic Mine Planing“(2018). Издање се фокусира на оптимизацију пројектовања и планирања, као и на значајна питања у вези са управљањем техничким ризицима у производњи. Нарочит допринос у овој области демонстриран је у области геостатистичке симулације и стохастичког планирања.

Cherchenevski et al. (2019) су, такође са идејом оптимизације планирања производње у руднику, користили стохастички приступ. Идеја стохастичности последица је инхерентне неизвесности са аспекта квалитета улазне сировине. Према изложеном, „идеализовани модели“ као што су модели развијени на бази криговања нпр., не дају довољно добре резултате у дужем временском периоду. Бољи резултати, односно адекватнији планови могу се очекивати употребом пробабилистичке анализе са предиктивним мапирањем ризика услед којих се и јавља неизвесност [6].

Модел линеарног програмирања за развој дугорочних планова производње коришћен је у раду аутора Koushavand et al. (2014). Модел, из класе мешаних целобројних, узима у обзир промене у квалитету сировине, као и постојеће количине откопане руде на складовима. Утврђено је да се са порастом капацитета постројења за припрему руде, трошкови неизвесности (у погледу квалитета руде) смањују до одређене тачке. Што је капацитет постројења за припрему већи, потребне су веће количине откопане руде како би трошкови неизвесности били што мањи. Већи рудници, са високим капацитетима откопане руде и постројења за припрему имају веће цене неизвесности [7].

Мешано целобројно програмирање коришћено је и у раду аутора Afum et al. (2019), са циљем развоја радног оквира за стратегију експлоатације површинским или подземним начином откопавања. У стратегији су разматрани случајеви искључиво површинске или подземне експлоатације, као и различите варијанте транзиција и коегзистенције ова два вида. Радни оквир је тестиран на лежишту злата, разматрањем стратегије по којој цена откопавања једног блока расте са дубином лежишта све до тачке након које подземна експлоатација постаје исплативија од површинске. Даљи развој радног оквира предвиђа увођење стохастичких параметара (квалитет сировине и геотехничке променљиве) [8].

Аутори Gholamnejad J., et al., (2020) предлажу нову формулацију оптимизације за дугорочно планирање производње на површинским коповима које смањује покретање машина и опреме по етажама смањењем броја радних етажа у сваком засебном планском периоду. Као ограничења коришћени су масени капацитет процеса припреме и експлоатације, постојеће резерве, квалитет и ограничења у покретима машина и опреме. Укупан број активних етажа мањи је за око трећину у односу на раније коришћене планове [9].

Lutsenko et al., у свом раду из 2021. предлажу нови метод за одређивање коначних контура површинског копа на бази динамичких економских ограничења која одређују коначну дубину пројектованог површинског копа. Динамика напредовања површинског копа, између осталог, зависи и од промене параметара. Предложени модел је временски променљив, чиме је успостављена узрочно-последична веза са актуелним стањем на терену [10].

У веома интересантном раду из 2013., аутори Espinoza et al., су покушали да обједине знања из области „класичних“ проблема у површинској експлоатацији, односно проблема крајњих граница површинског копа и план производње на копу (у две варијанте). Проблем крајњих граница се, према ауторима, своди на утврђивање скупа тродимензионалних блокова који садрже рудне и некорисне минерале са циљем добијања максималне вредности под геопросторним ограничењима. Проблем плана производње на површинском копу обично је представљен максимизацијом нето профита од откопане руде, под ограничењима везаним са употребом ресурса и претходно формираних геолошких услова. Обично се у проширеним варијантама овог проблема разматрају доње границе употребе ресурса, утврђивање да ли разматрани блок спада у јалови материјал или материјал који ће се прерађивати, просечна ограничења постројења за припрему минералних сировина и стање, односно количина откопаног материјала на коме још увек није отпочео процес припреме. Анализа проблема ове топологије решаваних у литератури омогућила је развој „MineLib“ библиотеке са подацима о постављеним моделима за већи број различитих лежишта, коју је могуће користити као извор стандардизованих израза и поступака у решавању проблема у површинској експлоатацији методама математичког програмирања, већ и као основу за развој нових алгоритама [11].

На примеру мешања фосфатне руде пореклом са три локације, приказана је примена модела линеарног програмирања у релативно једноставном окружењу (Ali et al., 2018). Укупан број стенских врста је био 9 (по три врсте са сваке локације). Развојем модела, остварени су резултати који омогућују оптималан рад постројења за прераду формирањем мешавине руда фосфата одговарајућег квалитета [12].

Примена мулти-агентних система у оперативном планирању у површинској експлоатацији анализирана је у раду аутора Cohen M W., Coelho V. N., (2021). Мулти-агентни системи су интелигентни системи оспособљени за подршку раду система који се састоји од већег броја интерактивних. Издвајају се четири карактеристике ових система: аутономност, доношење одлука и самосвесност које се описују преко следећих чинилаца: локалност, децентрализација, робусност и скалабилност. У раду је приказана анализа употребљивости оваквих система са аспекта развоја оперативног дневног распореда који би омогућио оптималан распоред рада машина, изналажење оптималних путања мобилних машина и уређаја и остваривање жељене дневне производње [13].

Коришћени модел развијен је као хибридни алгоритам на бази метахеуристичког алгоритма *Greedy Randomized Adaptive Search Procedures* (GRASP) и *General Variable Neighborhood Search* (GGVNS). Приказани су резултати који оправдавају улогу мулти-агентних система, на основу смањења броја

коришћене опреме, као и потрошње горива. На овај начин, према тврдњама аутора, може се остварити до око 30% смањења дневних производних трошкова.

Проблем технолошких токова у експлоатацији минералних сировина такође представља тему од значаја када је реч о примени метода операционих истраживања. У раду којим је представљен оптимизациони модел технолошких токова на рудницима угља (Khorolskyi et al., 2020), базиран на принципима мрежног планирања, предложено је усвајање новог, сложеног критеријума који би се састојао из односа откопаних количина и количине чистог угља, односа садржаја пепела у равном и чистом угљу и укупне запремине стенског материјала. Сложени критеријум би представљао показатељ баланса технолошког тока у рудницима угља [14].

У свом раду из 2017., аутори Shishvan M.S., и Bendorf J., изложили су стохастички симулациони модел, развијен до нивоа технолошке спремности 6 са аспекта применљивости у индустријском окружењу (технологија која је спремна за демонстрацију у релевантном окружењу). Намена модела је подршка процесу доношења одлука у управљању тока материјала у рударству. Приказани су резултати паралелних тестова модела на два велика рудника лигнита са површинском експлоатацијом (Хамбах и Профен), праћењем кључних индикатора перформанси. Тестови су спроведени у два режима – са и без стохастичке компоненте симулационог модела која је одговорна за понашање система у случају отказа. Резултатима је демонстрирана употребљивост предметног симулационог модела са аспекта праћења капацитета производње лигнита и насталог јаловог материјала [15].

Развој 3D динамичког оптимизационог модела који омогућује пројектовање сипки у оквиру рудника са подземном експлоатацијом у условима неизвесности на бази фази „0-1“ линеарног програмирања је тема рада аутора Halilović et al., (2023). У оквиру модела, транспортни трошкови третирају се као трошкови производње, док су трошкови за развој и изградњу система сипки сматрани инвестиционим трошковима. Од посебног је значаја развој нове функције рангирања (за потребе претраживања оптималне вредности у фази окружењу) која трансформише фази оптимизациони модел у „класичан“ коришћењем Торичелијеве тачке на троугаоном фази броју. Модел постављен на овим основама омогућује утврђивање оптималног броја сипки, њихову локацију и оптималан динамички план транспорта [16].

У оквиру извештаја/мастер тезе „*Comparison of the genetic algorithm and linear programming approaches to optimally locate orepasses in the Venetia underground project*”, (2019), аутор Dabula G., истраживане су могућности оптимизације процеса утврђивања локације сипки у подземној експлоатацији на примеру рудника Venetia лоцираном у Јужној Африци. Истраживања су показала смањење цене производње укупно за око 12% када је реч о примени генетских алгоритама, односно 10,5% за линеарно програмирање. У односу на стандардно примењене методе, предложено је знатно померање локације сипки за око 30% а незнатно померање за око 15% [17].

Фази линеарно програмирање коришћено је и у раду аутора Rahmanpour M., Osanloo M. (2017) са циљем утврђивања оптималног плана производње у

условима неизвесности. Фазификација променљивих за дати пример (рудник кречњака у Ирану) извршена је на основу прикупљених података за целу радну годину рудника са девијацијом од 2% у односу на номиналне вредности. Захваљујући флексибилности оствареној уз помоћ фазификације, доносиоци одлука на руднику могу, на крају израчунавања, извршити избор између неколико опција. Увођење неизвесности је допринело да се укупне планиране количине повећавају, односно да се трошковима експлоатације плаћа цена неизвесности услед повећане производње [18].

Проблем избора и одговарајућег времена за замену опреме тема је истраживања у коме је као основна метода коришћено стохастичко линеарно програмирање. У раду аутора Santelices et al., (2015), развијен је одговарајући модел. Као почетне претпоставке усвојено је следеће: познати распоред, једну локацију, искоришћење опреме након периода њене експлоатације, константни капацитет, хетерогеност постојеће опреме, празан ход опреме, пуно искоришћење и статичност модела. Предложени модел захтева процес линеаризације, а увођење „стохастичке расположивости“ камиона и утоварача даје робусно решење које остаје употребљиво и у случају промена у траженом капацитету. У односу на раније примењивано решење, предложени модел даје одговарајуће резултате са повећаном вероватноћом [19].

У раду који се бави утврђивањем оптимизацијом трошкова за тешку опрему у производњи раскривке на рудницима угља, аутори Erwanda et al., (2021), користили су линеарно програмирање и тзв. „фактор поклапања“ (eng. match factor), односно однос стопе доласка камиона и радног времена утоварача. На примеру (рудник угља у Индонезији) приказано је годишње повећање капацитета за приближно 18% применом поменутог методе [20].

Моделовање финансијских ризика у рударству представља један од пресудних фактора када је реч о доношењу одлуке о реализацији било ког рударског пројекта, односно о његовој остварљивости. Међутим, број објављених радова није сасвим у складу са овим значајем, пошто је могуће издвојити свега неколико текстова који се баве предметним питањем. Један од таквих радова је рад аутора Abdel Sabour S.A, Wood G. (2009), у коме је за пример рудника злата представљена анализа која би била од користи у процесу одлучивања. У раду је демонстрирано да „класичне“ методе као што су анализа осетљивости у спрези са Монте Карло симулацијом, или анализа метод есконтовања нето новчаног тока (eng. Discounted Cash Flow) не дају адекватне резултате у динамичком окружењу, са повећаном неизвесношћу, нарочито када је реч о вишегодишњим пројектима, који преовлађују у рударству. Као алтернатива, предложен је модел вредновања реалних опција (eng. Real Options Valuation), за који је демонстриран напредак у апсорбовању стратешких вредности. Другим речима, модел позитивно делује са аспекта оптимизације трајања експлоатације омогућавањем додатне екстракције корисних минерала [21].

Решавање проблема одлучивања у пројектовању рудника је, са порастом сложености система експлоатације, доживело помак од интуитивних и релативно једноставних алгоритама ка веома сложеним поступцима који доводе до релативно задовољавајућих одлука, односно препорука. У том смислу, Martinez L. A. (2009) предлаже утврђивање новог евалуативног радног оквира који се ослања

на процену неизвесности и ризика и с тим у вези излаже неколико принципа који би омогућили апстраховање неизвесности у одлучивање у фази пројектовања [22].

Пре свега, квантификација неизвесности не може се ослањати на једну вредност, обзиром да се на тај начин подстиче тзв. „ток средњих вредности“ који представља губитак ширине информација. Одговарајућим поступком квантификације ризика, нпр., могуће је успоставити представу „више резолуције“ о предметном проблему уз истовремено унапређење реакције на идентификоване ризике. Поред тога, резултати оваквог приступа омогућили би:

- Добијање квантификације и одговарајућег нивоа ризика преко расподеле вероватноће,
- Мапу перформанси технолошких и економских индикатора са идентификацијом области са повећаним ризиком или са недостајућим или непотпуним подацима,
- Сагледавање и процену кључних ризика и добити од пројекта по алтернативама, и
- Идентификацију и процену реалистичних и практичних стратешких оперативних и управљачких одлука повезаних са затварањем рудника.

У најскорије време, захваљујући брзом технолошком напретку, употреба беспилотних летелица (eng. UAV – *unmanned aerial vehicles*) је у свим гранама индустрије у порасту. У областима са активним или рударским радовима у плану/развоју, употреба беспилотних летелица је у интензивном порасту. Према Ren et al., (2019), радни оквир примене беспилотних летелица протеже се од праћења стања рударских радова, преко мониторинга животне средине до процене капацитета за рекултивацију као и планирања и реализације односно мониторинга након рекултивације. Фокус примене метода које спадају у област оперативних истраживања је пре свега у обради великих количина података - „Big data“ који се аквизирају путем LiDAR и других система и који имају низак ниво аутоматизације и низак капацитет за обраду у реалном времену [23].

Методе обраде великих количина података интересантне су у области рударства и са аспекта изградње капацитета за прелазак на „Mining 4.0“ као следећег степена развоја рударства који би требало да интегрише „проширену стварност“ (eng. *Augmented reality*), обраду великих количина података, употребу аутономних возила на рудницима, различите методе симулације процеса, радног окружења и интеграције система, као и Интернет ствари (eng. *Internet of Things*). У монографији „Напредна аналитика у рударском инжењерству“, разматрају се актуелне методе које се користе у различитим сегментима експлоатације и припреме руда, од планирања производње, преко експлоатације до припреме минералних сировина. Према ауторима, аналитичке методе представљају један од стубова дигиталне трансформације рударства, доприносећи при томе смањивању неизвесности у условима оштрих ограничења, односно унапређењу контроле и

превладавања постојећих ризика, како финансијских, тако и са аспекта безбедности и сигурности производног процеса.

У сличном издању – „Примењена аналитика података у рударском инжењерству“ (2021) дат је детаљан преглед алата који спадају у групу аналитике а који се примењују у рударству у склопу дигиталне трансформације рударства. Технике обухватају машинско учење, тј. развој вештачке интелигенције са аспекта предиктивног одржавања опреме и машина у рударству као и побољшања енергетске ефикасности и смањења емисије гасова.

У раду „*Mining 4.0 in the context of Developing Countries*“, Bongaerts J., (2020) даје пресек стања, потреба и очекиваних користи од преласка на радни оквир „*Mining 4.0*“ када је реч о земљама у развоју, са изложеним примером потпуно аутоматизованог рудника злата Сијама у Малију. Очекиване последице за велики број рудника оличене су оптимизацијом производње, смањењем трошкова, као и унапређеном безбедношћу на раду [24].

Интеграција заштите на раду у рударске пројекте представља један од основних сегмената рударских пројеката на свим нивоима пројектовања, од идејног до извођачких. У оквиру разматрања овог процеса у Канади, аутори Badri et al. (2011) су анализирали и груписали факторе ризика различитог порекла. Уз помоћ методе АНР, за четири групе нежељених догађаја (професионална обољења, пад производње, пад квалитета и индустријски акциденти) утврђени су приоритетни фактори у погледу адекватније реакције и спречавања или умањивања последица ових догађаја [25].

Са циљем развоја предиктивног модела ризика по здравље запослених, између осталог и у рударству, Sarkar et al., (2018), користили су методе оптимизације вештачких неуронских мрежа и методе потпорних вектора (eng. SVM – support vector machine) помоћу генетских алгоритама и роја честица (eng. PSO – particle swarm optimization). Аутори су демонстрирали предности вештачких неуронских мрежа уз помоћ оптимизације ројем честица у односу на друге предиктивне моделе у смислу предвиђања акцидентних ситуација на радном месту [26].

У делу монографије „*Handbook of Operations Research in Natural Resources*“ (2007) посвећеном рударству, разматрају се оптимизационе технике у површинској и подземној експлоатацији са аспекта моделовања рудног тела, пројектовања и планирања производње, планирања рудничке транспортне мреже, дизајна рудничких просторија и сл. Посебна пажња посвећена је и припреми руда бакра, у смислу оптимизације потрошње енергије [27].

Напредна аналитика и интеграција методе аналитике у процес доношења одлука у рударству је предмет интересовања више аутора. На пример, радни оквир „*TCS Peacock*“ се користи у оквиру процеса пелетизације руде гвожђа, као и за предвиђање садржаја силицијума у металуршким производима. Радни оквир користи информације и обрађене податке о сировини из шест различитих извора, а затим на бази четири издвојене аналитичке целине, коришћењем неуронских мрежа, методе потпорних вектора, кластеровања временских серија, генетских

алгоритама, као и различитих варијанти математичког програмирања обезбеђује резултате који представљају улазне информације за процесе одлучивања на више хијерархијских нивоа.

Као показатељ трендова и импликација развоја нових технологија на рударство, прегледни рад „*A comprehensive review on internet of things (IoT) and its implications in the mining industry*“ из 2020. представља корисну анализу која пружа свеобухватан увид у трендове истраживања и потенцијалне правце примене и утицајне путеве нових технологија на рударство у целини [28].

## 2. ОДЛУЧИВАЊЕ

### 2.1. ПОЈАМ И ДЕФИНИЦИЈА ОДЛУЧИВАЊА

“Донео сам одлуку” - данас веома често употребљавана реченица, коју користе одрасли у свакодневной комуникацији, руководиоци у својим радним колективима, стратеги при планирању будућих корака па чак и деца у свакодневной игри, сматра се за природну реакцију када треба одабрати следећи потез у свакодневном битисању. Суштина је да иза овако једноставне ствари, на први поглед, стоји скуп елемената који се инстинктивно сагледавају и анализирају у кратком временском интервалу. Можемо сматрати да одлучивање постоји у личном животу, породици, предузећу и широј заједници [29]. Код деце брзина доношења исправне одлуке може се сматрати природним интелектом, код одраслих може се сматрати животним искуством, код руководиоца у предузећу може бити одраз претходно добро испланираних радних задатака, али код доношења стратешких одлука потребно је нешто више, ту на сцену ступа Теорија одлучивања.

#### 2.1.1. Одлучивање у пословном процесу

Систем савременог пословања, без обзира на област у којој се то пословање обавља, захтева добру организацију пословног процеса као и начина реализације активности како би се остварио пословни успех. Доношење ефикасних менаџерских одлука је услов без кога се не може организовати функционисање пословних субјеката [30], у условима сталних промена глобалних фактора. Из тог разлога, постоји велики број елемената који мора бити задовољен, што указује на значај доброг менаџмента пословног процеса. Основу доброг менаџмента свакако чини доношење квалитетних пословних одлука, због чега је незаобилазни елемент квалитетног управљања пословним системом свакако доношење адекватних пословних одлука. У складу са тим, постоји потреба да се сагледа и сам процес одлучивања.

Наиме, значајно је напоменути да се људи свакодневно, не само у оквиру пословних активности већ и у приватном животу сусрећу са нужношћу доношења одлука, с обзиром на чињеницу да адекватна одлука може изазвати адекватну акцију. У складу са тим, човек у великом броју случајева између понуђених могућности бира ону која потпуније задовољава интересе субјекта одлучивања, што указује на потребу да процес одлучивања прати адекватно познавање области у којој се доноси одлука, али и познавање могућности избора као и елемената избора, како би и сама одлука била адекватна. Одлуке се доносе унутар интердисциплинарног оквира који подразумева примену, филозофије, економије, статистике, психологије, математике, права, социологије, антропологије, политичке науке, зато је важно да се пре доношења пословних одлука доносиоци одлуке посаветују са саветником за одређену област проблема [31].

Сам процес избора између две или више алтернатива, може се означити као процес одлучивања. Поред тога, одлучивање се може означити и као процес решавања проблема. Међутим, немогуће је заобићи чињеницу да било која одлука, била она везана за пословни процес или приватне активности, захтева



дубљу анализу свим могућих ефеката који могу настати усмеравањем активности у раду у смеру донете одлуке, па је тако могуће истаћи да процес одлучивања неминовно траје одређени временски период, а завршава се свакако доношењем одлуке. Према томе, одлука се може означити као кулминација процеса одлучивања, али и једна од кључних ствари у раду менаџмента, с обзиром на чињеницу да свака активност у компанији зависи од донете одлуке менаџмента компаније.

### 2.1.2. Дефиниције одлучивања

Како је процес одлучивања један од најзначајнијих процеса у раду пословних система, интересантно је сагледати и могуће дефиниције процеса одлучивања, с обзиром на чињеницу да је сам значај одлучивања у пословним процесима као и у раду менаџмента компанија изазвао потребу да се одлучивање дефинише на различите начине. Као најзначајније дефиниције одлучивања, могу се издвојити следеће [32]:

- „Одлучивање је избор смера односно начина одлучивања између више алтернатива“
- „Одлучивање је процес идентификације проблема и процес решавања проблема“
- „Одлучивање је процес одабира бољег и жељеног деловања из сета алтернатива“
- „Одлучивање је решавање проблема, што значи да онај који одлучује мора видети проблем“
- „Свако одлучивање јесте избор“

Наиме, сви наведени облици дефинисања процеса одлучивања, на ефикасан начин повезују феномене избора, одлуке, проблема и будућих активности компаније. У складу са тим, процес одлучивања се обједињено може дефинисати као процес доношења одлуке приликом постојања избора, у оквиру којег је потребно сагледати све потенцијалне изборе, уз адекватно познавање потенцијалних избора као и исхода потенцијалног избора [32].

На основу начина на који је процес одлучивања дефинисан, без обзира на његово присуство у свим елементима живота појединца, процес одлучивања у највећој мери је повезан са менаџментом компаније. Према томе, анализу процеса одлучивања као и учешћа процеса одлучивања у различитим областима деловања друштва међу којима је свакако и рударство, потребно је проширити и анализом повезаности управљања и одлучивања.

## 2.2. ПРОЦЕС ОДЛУЧИВАЊА И МЕНАѢМЕНТ

Процес одлучивања чији је главни резултат одлука која би ефикасно усмерила деловање у неком пословном систему или реализацију неких приватних активности неминовно је повезан са многим појмовима значајним за функционисање пословног система. У складу са тим, немогуће је говорити о одлучивању, а да се не спомене значај феномена као што су:

- управљање;
- руковођење;
- менаѢмент;
- организациона структура компаније.

Наведени елементи указују на тесну везу која постоји између менаѢмента и одлучивања у пословном процесу. Сам појам менаѢмента, у највећем броју случајева се може сагледати као вештина управљања. Ефикасно функционисање али и развој друштвених система, привредних субјеката и целокупног друштва, зависи од квалитетног управљања. Решавање разнородних проблема коришћењем управљачког приступа, једна је од важнијих карактеристика модерног менаѢмента. МенаѢмент је у данашње време неопходан за ефикасно деловање, развој и опште функционисање. Према савременим дефиницијама, менаѢмент представља сложени процес у којем се група људи усмерава према извршавању пословних задатака са циљем постизања унапред утврђених планова [33].

Дефинисању феномена менаѢмента као и повезаности менаѢмента и одлучивања, потребно је приступити и кроз анализу функција менаѢмента. За функције менаѢмента користе различити термини, али концепт увек подразумева дати скуп циљева и задатака у одређеном макро-микро пословном подухвату који је, прихваћен од стране власника различитих фактора производње, менаѢера и осталих укључених у те подухвате. Ту морају бити утврђена очекивања на релацијама одређеног нивоа годишње зараде и нивоа остварених производних и других резултата, као и очекивања у погледу дугорочног развоја и годишњег раста пољопривредног газдинства и слично. Мада ови циљеви и задаци нису увек формализовани у писаној форми о њима се размишља и често дискутује.

Када се говори о функцијама менаѢмента, свакако морају бити истакнуте следеће [34]:

- планирање;
- организација;
- руковођење;

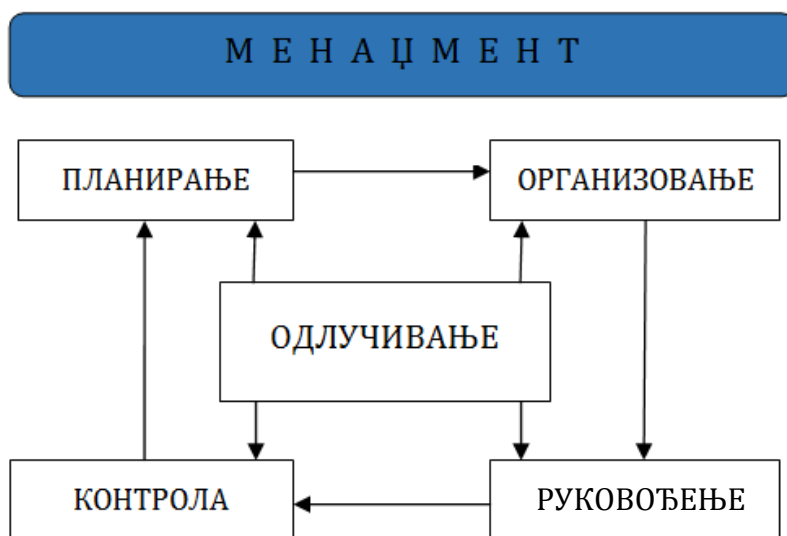
- контрола.

Наравно, све ове функције, могу се остварити кроз међусобно садејство, а у оквиру свих ових функција могуће је пронаћи значај процеса одлучивања.

Када је реч о односу који се остварује између управљања и одлучивања, интересантно је истаћи да је одлучивање заправо једна од управљачких функција која резултира одлуком путем које менаџмент управља пословним системом. У складу са тим, неретко долази и до изједначавања феномена управљања и одлучивања, односно, управљање пословним системом остварује кроз одлучивање.

Са друге стране, значајну везу када је реч о функцијама менаџмента могуће је пронаћи и у односу руковођења и одлучивања. Наиме, руковођење се може означити као функција који произилази из положаја у процесу рада, при чему је одлучивање свакако шири појам од руковођења.

Одлучивање се, у складу са начином на који је повезано са сваком појединачном функцијом менаџмента, може означити и као активност која се налази у средишту свих менаџерских функција. Неретко се оно означава и као посебна функција менаџмента, али и као најважнија функција менаџмента, па је тако однос одлучивања и менаџерских функција, представљен у на слици 1 [32].



Слика 1. Однос одлучивања и менаџерских функција

Према: Сућеска А. (2018). Пословно одлучивање, Травник: Универзитет у Травнику [32]

### 2.3. ПОСЛОВНО ОДЛУЧИВАЊЕ

У складу са начином на који је одлучивање повезано са менаџментом и менаџерским функцијама, али и значајем који менаџмент има на ефикасно пословање у савременом добу, могуће је претпоставити посебан значај

одлучивања у пословним активностима, па самим тим и феномена пословног одлучивања. Пословно одлучивање могуће је дефинисати као сваки облик одлучивања изван сфере приватности. Наиме, одлуке у пословању могу остварити утицај на већи или мањи број чланова организације, па у неким случајевима могу остварити утицај и на све запослене у компанији [35]. Пословно одлучивање дефинише се на сличан начин као и само одлучивање које је дефинисано у оквиру претходних поглавља, и то као избор између две или више могућности решавања проблема у различитим пословним ситуацијама. Међутим, разлика коју прави пословно одлучивање, јесте чињеница да пословно одлучивање носи два значајна елемента а то су [32]:

- више систематичности и
- већи ниво одговорности приликом доношења пословних одлука.

У складу са значајем пословног одлучивања у доношењу пословних одлука, интересантно је истаћи да је кроз време развијен велики број теорија одлучивања, међу којима су доминантне [36]:

- хронолошке теорије одлучивања, међу којима су класична, неокласична и модерна теорија;
- теорије затворених и отворених система;
- рационалне и ограничено рационалне теорије;
- класичне, бихејвиористичке и ирационалне теорије;
- процедуралне и фазне теорије;
- нормативне, дескриптивне и прескриптивне теорије.

Главна карактеристика, јесте чињеница да се у оквиру сваке појединачне теорије, одлучивање поставља као централни елемент акције у пословању. Међутим, потребно је унапредити доношење одлука како би се неизвесности које доносе промене економских услова, напредак технологије и брз темпо модернизације индустријских процеса, предупредиле кроз стварање организационе изврсноности [30]. Упознавање фактора одлучивања, свакако унапређује и квалитет одлучивања, због чега је анализа фактора који могу остварити утицај на пословање и на пословну одлуку једна од основа квалитетне пословне одлуке.

## 2.4. ПОСЛОВНО ОДЛУЧИВАЊЕ У ОБЛАСТИ РУДАРСТВА

### 2.4.1. Фактори доношења одлуке у рударству

Пословно одлучивање присутно је у готово свим областима савременог пословања. У складу са тим, могуће је сагледати специфичности пословног одлучивања у области рударства. Наиме, доношење одлуке у пословању носи са собом одређене тешкоће. Када је реч о рударству, највећи утицај на доношење одлуке свакако могу имати елементи (фактори) као што су [37]:

- утицаји фактора који се тешко могу предвидети, као што су;
  - концентрација метана у јами,
  - продор воде,
  - берзанска догађања на тржишту,
  - технолошки ексцеси,
  - друге природне или вештачки изазване катастрофе.
- сложеност као и комплексност у процесу мерења релевантних параметара стања стенског масива радне средине;
- недостатак поузданих података који се односе на стања и процесе у реалном систему и окружењу;
- присуство карактеристичних конфликтних ситуација, као што су повишени ризици и неповољни догађаји који могу настати кроз интеракцију технолошких процеса или утицај подземних рударских радова на померања терена;
- ограниченост времена које је потребно за доношење одлуке, поготово када је реч о процесним ситуацијама, за које се може везати и недостатак времена за тестирање и проверавање понуђеног решења.

### 2.4.2. Класификација одлучивања у рударству и критеријуми одлучивања

Интересантно је истаћи да се за процес одлучивања у рударству везују различити ризици. Те ризике је изузетно тешко елиминисати, иако постоји могућност ублажавања последица ризика применом ефикасног приступа у одлучивању. Наиме, за рударство се везују различите ситуације у којима је потребно донети брзу пословну одлуку, при чему је изузетно тешко направити класификацију ризика у рударству. Међутим, класификација може да понуди селекцију математичко-моделских приступа за доношење управљачких одлука. У складу са тим, најприсутнија је класификација према одређености стања реалног система, према којој постоји подела на [38]:

- одлучивање у условима детерминисаности;

- одлучивање у фазилогичким условима;
- одлучивање у условима ризика;
- одлучивање у условима ризика;
- одлучивање у условима конфликта;
- одлучивање у условима секвенцијалности.

Као најзначајнији критеријуми у оквиру одлучивања у рударству, издвајају се [37]:

- критеријум оптимизма, који полази од претпоставке да ће увек наступати најповољнија стања система која ће омогућити максимални ефекат одлуке која је донесена у процесу одлучивања;
- критеријум песимизма, потпуно супротан критеријуму оптимизма, с обзиром на полази од песимистичке претпоставке да ће наступити најнеповољније стање;
- критеријум жаљења, као критеријум који се односи на тумачење изгубљених прилика, на начин да се из претходних лоших искустава донесе најефикаснија и најбоља одлука;
- критеријум рационалности, који се односи на оне ситуације одлучивања у условима ризика, при чему овај критеријум полази од претпоставке да је коначан број стања у којима се систем може наћи, при чему је свако стање подједнако вероватно, и мора се узети у обзир приликом одлучивања.

## 3. ЛИНЕАРНИ И ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ ОПТИМИЗАЦИОНИ МОДЕЛИ

### 3.1. ЛИНЕАРНО ПРОГРАМИРАЊЕ

Линеарно програмирање је техника математичког моделирања у којој се линеарна функција максимизира или минимизира када је подвргнута различитим ограничењима. Ова техника је корисна за вођење квантитативних одлука у пословном планирању, индустријском инжењерству и у мањој мери, у друштвеним и физичким наукама. Решење проблема линеарног програмирања своди се на проналажење оптималне вредности (највеће или најмање, у зависности од проблема) линеарног израза (који се назива функција циља или критеријумска функција) [39].

Линеарно програмирање се сматра важном техником која се користи за проналажење оптималног коришћења ресурса. Термин „линеарно програмирање“ састоји се од две речи - линеарно и програмирање. Реч „линеарно“ дефинише однос између више варијабли са степеном један. Реч „програмирање“ дефинише процес одабира најбољег решења из различитих алтернатива. Основне компоненте линеарног програмирања су циљна функција, варијабле одлучивања и ограничења. Циљна функција је математички израз који се жели минимизовати (у случају минимизације) или максимизовати (у случају максимизације). Ова функција је линеарна комбинација варијабли које треба оптимизовати. Варијабле одлучивања су непознанице које треба оптимизовати. Ове варијабле се обично означавају са  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  итд. Ограничења су неједнакости и равнотеже које морају бити задовољене како би се пронашло решење које је допустиво. Ограничења су обично изражена као линеарни изрази који комбинују варијабле одлучивања.

Прве примене метода линеарног програмирања забележене су касних 1930-их, у областима производних распореда и економије, у радовима америчког математичара руског порекла Леонида Канторовича и америчког економисте руског порекла Василија Леонтјева, али је њихов рад деценијама игнорисан. Током Другог светског рата, линеарно програмирање се увелико користило са циљем оптимизације транспорта, распореда и алокације ресурса под одређеним ограничењима као што су трошкови и доступност. Ове примене у реалним условима су знатно допринеле утврђивању прихватљивости ове методе, која је добила даљи подстицај 1947. године развојем Симплекс методе америчког математичара Џорџа Данцига, која је у великој мери поједноставила решавање проблема линеарног програмирања [40].

Међутим, како су расле потребе за решавањем све сложенијих проблема који укључују више варијабли, број неопходних операција се експоненцијално ширио и премашио рачунски капацитет чак и најмоћнијих рачунара. Један од значајнијих корака у развоју линеарног програмирања уследио је 1979., када је совјетски математичар јерменског порекла Леонид Хачијан открио полиномски алгоритам (у коме број рачунских корака расте као степен броја променљивих, а не експоненцијално) и на тај начин омогућава решавање до сада недоступних проблема. Међутим, Хачијанов алгоритам (назван елипсоидна метода) био је спорији од Симплекс методе у практичним применама. Индијски математичар

Нарендра Кармаркар је 1984. године открио још један алгоритам полиномског времена, метод унутрашње тачке, који се показао конкурентним Симплекс методи [40].

### 3.1.1. Дефинисање линераног програмирања и компоненте

Линеарно програмирање презентује се као математичка техника која се користи за решавање проблема оптимизације, где се покушава пронаћи најбољи резултат (најбоље решење) у складу с одређеним ограничењима [41]. Ова техника се назива линеарно јер се проблеми и циљеви изражавају линеарним математичким функцијама, а ограничења се такође изражавају као линеарни систем неједнакости [42]. Основне компоненте линеарног програмирања су: циљна функција, варијабле одлучивања и ограничења [39].

Циљна функција представља математички израз који изражава циљ оптимизације, тј. оно што се жели постићи у оквиру проблема. Циљна функција се обликује као линеарна комбинација варијабли одлучивања. У наставку је приказано неколико основних појмова о циљној функцији [39]:

- Минимизација или максимизација – Циљна функција може бити конструисана за минимизацију или максимизацију. На пример, у проблему минимизације трошкова, циљна функција ће садржати трошкове као линеарну комбинацију варијабли. У проблемима максимизације профита, циљна функција ће садржати приходе или профитне маргине;
- Линеарна комбинација варијабли – Циљна функција се обично састоји од линеарних комбинација варијабли одлучивања. То значи да се варијабле одлучивања множе са одређеним коефицијентима (тежинама) и затим се додају или одузимају како би се добио укупан циљ. На пример, ако постоје две варијабле одлучивања  $x_1$  и  $x_2$ , циљна функција може изгледати овако:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2$$

где су  $c_1$  и  $c_2$  коефицијенти;

- Циљ оптимизације – Циљна функција јасно дефинише оно што се покушава постићи у оквиру проблема линеарног програмирања. На пример, може се тежити минимизовању укупних трошкова производње или максимизовању укупног профита;
- Ограничења – Циљна функција је подложна ограничењима која се морају поштовати. Ограничења су изражена као неједнакости и услови које варијабле одлучивања морају задовољити како би решење било прихватљиво.

Кључни корак у процесу линеарног програмирања је пронаћи вредности варијабли одлучивања које минимизују или максимизују вредност циљне функције, уз поштовање свих ограничења [43]. Овај процес захтева примену



математичких метода за решавање линеарних система и проналажење оптималних решења [44].

Варијабле одлучивања представљају непознате вредности које треба оптимизовати како би се постигао циљ проблема. У наставку је приказано неколико битних аспеката везаних за варијабле одлучивања [39]:

- Непознате вредности – Варијабле одлучивања представљају вредности које треба одредити како би се постигло оптимално решење проблема. На пример, у контексту проблема планирања производње, варијабле одлучивања могу представљати количину сваког производа који ће бити произведен;
- Ознаке варијабли – Варијабле одлучивања обично се означавају словима  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  итд. Број и ознака варијабли зависе од специфичног проблема и колико различитих вредности треба да се оптимизује;
- Количине које се оптимизују – Вредности варијабли одлучивања представљају количине које се оптимизују како би се постигао циљ проблема. То могу бити количине производа, ресурса, трошкова, прихода, или било која друга релевантна величина у контексту проблема;
- Ограничења – Вредности варијабли одлучивања су подложне ограничењима. Ограничења су изражена као линеарни изрази који дефинишу дозвољени опсег вредности варијабли. На пример, може постојати горња и доња граница за одређене варијабле;
- Циљна функција – Вредности варијабли одлучивања улазе у циљну функцију, која се оптимизује. Циљна функција је математички израз који изражава циљ оптимизације као линеарну комбинацију варијабли.

У процесу решавања проблема линеарног програмирања, циљ је пронаћи вредности варијабли одлучивања које минимализује или максимализује вредност циљне функције, уз поштовање свих ограничења. Различите вредности варијабли се испитивањем и прилагођавањем траже како би се постигло оптимално решење које задовољава циљ проблема и ограничења [45].

Ограничења дефинишу услове које решење мора да испуњава како би било прихватљиво [43]. У наставку је приказано неколико кључних аспеката везаних за ограничења [39]:

- Неједнакости и равнотеже – Ограничења се могу изразити као неједнакости (нпр.  $\leq$ ,  $\geq$ ) и равнотеже (нпр.  $=$ ). Неједнакости се користе за постављање горњих и доњих граница за вредности варијабли одлучивања као и граница различитих елемената система, док се равнотеже користе за постизање тачног подударана између различитих елемената система;

- Линеарни изрази – Ограничења се изражавају као линеарни математички изрази који комбинују варијабле одлучивања. То значи да се варијабле одлучивања множе са одређеним коефицијентима (тежинама) и затим се додају или одузимају како би се добили линеарни изрази. На пример, ограничење може изгледати овако:

$$2x_1 + 3x_2 \leq 10;$$

- Број и комплексност ограничења – Број и комплексност ограничења зависе од конкретног проблема. Могу постојати различите врсте ограничења у истом проблему, као што су ограничења ресурса, технолошка ограничења или ограничења капацитета;
- Услови прихватљивости – Решење које задовољава сва ограничења назива се прихватљивим решењем. Ово решење је оно које се тражи у процесу линеарног програмирања;
- Графички приказ – Ограничења се често могу графички приказати у дводимензионалном простору као линије или површине. То помаже визуализацији проблема и могућих решења.

Ограничења играју кључну улогу у обликовању и постизању оптималног решења у складу са специфичностима проблема који се решава [45].

### 3.1.2. Методе линеарног програмирања

Најчешће коришћена метода решавања проблема линеарног програмирања је Симплекс. Треба напоменути да постоје и друге методе за решавање проблема линеарног програмирања, укључујући дуалну Симплекс методу, методу унутрашње тачаке, методу дуалности, итд. [39]. Избор методе зависи од сложености проблема и доступних алата [42]. Симплекс метода је најчешће коришћена метода и обично је најучинковитија за решавање сложених проблема линеарног програмирања [39].

**Симплекс метода** итеративно тражи оптимално решење путем промена вредности варијабле одлучивања. Симплекс метода је веома ефикасна и може се применити на широк спектар проблема [46]. Неколико кључних тачака о Симплекс методи приказано је у наставку [39]:

- Итеративни процес – Симплекс метода функционише кроз итеративни процес. Почиње од почетног допустивог решења и наставља се све док се не достигне оптимално решење или се утврди да проблем нема ограничено решење;
- Геометријски приступ – Основна идеја Симплекс методе је да се проблем линеарног програмирања може представити као полиедар у  $n$ -димензионалном простору. Метода се креће кроз врхове овог полиедра како би се приближила оптималном решењу;

- Промене варијабли одлучивања – У сваком кораку итерације, Симплекс метода бира варијаблу за промену (која ће постати базна варијабла) и варијаблу за замену (која ће постати небазна варијабла). Ове промене се врше тако да се побољшава вредност циљне функције и задовољавају ограничења;
- Допустиво решење – Током процеса, Симплекс метода одржава допустиво решење, где све вредности варијабли одлучивања остају унутар дозвољених граница (нпр.  $\geq 0$ );
- Оптимално решење – Циљ Симплекс методе је пронаћи оптимално решење, тј. оно које минимизује или максимизује вредност циљне функције у складу са свим ограничењима. Достиже се када се установи да не постоји боље суседно базно допустиво решење и тада се процес зауставља;
- Симплекс метода, иако експоненцијалне сложености, у пракси показује знатно боље понашање, тј. понаша се као да је полиномијалне сложености;
- Варијанте Симплекс методе – Постоје различите варијанте Симплекс методе које су развијене како би се носиле са посебним типовима проблема, као што су дуална Симплекс метода и „велико М“ метода.

Симплекс метода се често користи у апликацијама као што су управљање залихама, расподела ресурса, транспортни проблеми, и многи други проблеми оптимизације у пословном и инжењерском окружењу [47].

**Графичка метода** је једноставан и интуитиван начин за решавање проблема линеарног програмирања, али је примењива углавном на проблеме са две варијабле, мада се користи и за решавање проблема са три варијабле [41]. Неколико кључних тачака о графичкој методи приказано је у наставку [39]:

- Приказивање на графикону – У графичкој методи, циљна функција и сва ограничења проблема изражавају се као линеарне једначине и неједначине. Затим се те једначине и неједначине користе за цртање линија или равни на дводимензионалном графикону;
- Проналажење пресека – Циљ графичке методе је пронаћи област пресека, или преклопа, свих ограничења, што представља допустиво подручје за решење проблема. Ова област обично је конвексан полиедар;
- Проналажење оптималног решења – Унутар тог допустивог подручја, оптимално решење се налази на тачки где циљна функција достиже максимум (у случају максимизације) или минимум (у случају минимизације). Ово је тачка где градијент циљне функције постаје нула у односу на варијабле одлучивања;

Иако је графичка метода корисна за разумевање основних принципа линеарног програмирања и за решавање једноставних проблема, за сложеније

проблеме се обично користе нумерички алати и методе као што су Симплекс метода или метода унутрашње тачке, које могу руковати са много већим бројем варијабли и ограничења [39].

**Дуална Симплекс метода** се користи када је почетно решење проблема у дуалном простору боље од почетног решења у примарном простору. Дуална Симплекс метода користи сличне принципе као и обична Симплекс метода, али се усредсређује на дуалне варијабли и дуалне ограничења [48]. У наставку су приказане кључне тачке везане за Дуалну Симплекс методу [39]:

- Употреба у специфичним случајевима – Дуална Симплекс метода се примењује када је почетно решење проблема у дуалном простору боље или прецизније од почетног решења у примарном простору. Ово је често случај код проблема линеарног програмирања с одређеним структурним карактеристикама;
- Принципи обичне Симплекс методе – Дуална Симплекс метода задржава основне принципе и технику обичне Симплекс методе. То укључује итеративно побољшавање тренутног решења како би се постигло оптимално решење;
- Фокус на дуалним варијаблима и ограничењима – Главна разлика између дуалне Симплекс методе и обичне Симплекс методе је усмерена на дуалне варијабли и дуална ограничења. Дуалне варијабли представљају сензитивност примарних ограничења према променама у циљној функцији, док дуална ограничења одражавају допринос примарних варијабли променама у ограничењима циљне функције;
- Креирање дуалног проблема – Дуална Симплекс метода почиње стварањем дуалног проблема користећи оригиналне примарне податке. Дуални проблем се користи за оптимизацију и пружа информације о примарном проблему;
- Итеративно ажурирање дуалних варијабли и ограничења – Метода итеративно ажурира дуалне варијабли и дуална ограничења како би се постигло побољшано дуално решење. Ово се ради тако да се промени смер у дуалном простору који води према бољем дуалном решењу, чиме се помаже у оптимизацији примарног проблема;
- Карактеристике проблема – Дуална Симплекс метода је посебно корисна у проблемима где су дуални проблеми лако решиви или имају повољне карактеристике, што може убрзати конвергенцију методе.

Дуална Симплекс метода се често користи у стварним применама, посебно када је почетно решење у дуалном простору погодније за оптимизацију или када је потребно анализирати дуалну осетљивост проблема линеарног програмирања [48].

**Метода унутрашње тачке** је друга популарна метода за решавање проблема линеарног програмирања. Ова метода се фокусира на тражење решења унутар полиедра ограничења, а не дуж спољних ивица полиедра. Метода унутрашње тачке је ефикасна за велике проблеме са строгим ограничењима [49]. Неколико кључних тачака везаних за ову методу приказано је у наставку [39]:

- Решење унутар полиедра – Метода унутрашње тачке се фокусира на проналажење решења унутар полиедра ограничења, што је област ограничена унутар граница проблема. Ова метода је контрастна у односу на Симплекс метод, који се креће дуж спољних ивица полиедра;
- Елиминација неосновних варијабли – Основна идеја методе унутрашње тачке је елиминација неосновних варијабли и фокусирање на тражење решења које задовољава ограничења унутар полиедра. То се постиже кроз итеративне кораке;
- Изазови са строгим ограничењима – Метода унутрашње тачке често се користи у случајевима где постоје строжа ограничења или када су варијабле одлучивања ограничене на одређене вредности (нпр. целобројне вредности). Ова метода може ефикасно радити са проблемима са целобројним ограничењима, познатим као *Integer Linear Programming* (ILP) и *Mixed-Integer Linear Programming* (MIP);
- Итеративни процес – Слично Симплекс методи, и метода унутрашње тачке ради кроз итеративни процес. У сваком кораку, она покушава да приближи решење унутар полиедра које је ближе оптималном решењу;
- Ефикасност за велике проблеме – Метода унутрашње тачке је често ефикасна за велике проблеме са великим бројем варијабли и ограничењима. Такође се може применити на нелинеарне проблеме оптимизације.

Метода унутрашње тачке је посебно корисна за проблеме са строгим ограничењима и проблемима са целобројним ограничењима [49]. Она може пружити стабилна и ефикасна решења за широк спектар оптимизационих проблема, иако избор између Симплекс методе и методе унутрашње тачке зависи од карактеристика самог проблема и захтева за решењем [39].

**Концепт дуалности** – дуалност је концепт који се користи у решавању проблема линеарног програмирања. Пратећи дуални проблем који се изводи из оригиналног проблема, могу се добити корисне информације о горњим и доњим границама решења, што може помоћи у оптимизацији [46]. Једна од значајнијих примена је код линеарног транспортног проблема, где се МоДи метода базира баш на теорији дуалности. Неколико кључних тачака везаних за методу дуалности приказано је у наставку [39]:

- Дуалне варијабле – Дуални проблем има своје дуалне варијабле које се повезују са сваким ограничењем оригиналног проблема. Те дуалне

варијабле се користе како би се израчунале горње и доње границе вредности циљне функције оригиналног проблема;

- Слабљење ограничења – Дуалност се користи за слабљење ограничења оригиналног проблема. То значи да се кроз дуални проблем може доћи до сазнања колико се оригинално ограничење може релаксирати (учинити мање строжим) док се још увек задовољава услов оптималности;
- *Duality gap* (јаз дуалности) – Разлика између вредности циљне функције оригиналног проблема и дуалног проблема позната је као „јаз дуалности“. Ако је „јаз дуалности“ нула, то значи да је постигнуто оптимално решење оригиналног проблема;
- Употреба дуалности – Дуалност се користи за добијање горњих и доњих ограничења за вредност циљне функције, чиме се олакшава одређивање оптималних решења, посебно у ситуацијама где је оригинални проблем сложен и тешко га је решити директно.

Метода дуалности је посебно корисна за разумевање и анализу проблема линеарног програмирања. Дуални проблем и дуалне варијабле нуде додатне информације о проблему и омогућавају аналитички приступ оптимизацији. Ова метода се често користи у анализи осетљивости, прорачунима трошкова и користи за проналажење оптималних решења у тешким проблемима оптимизације [46].

### 3.1.3. Примена линеарног програмирања

Линеарно програмирање има широку примену у различитим областима због своје способности решавања проблема оптимизације са линеарним циљевима и ограничењима. У наставку је приказано неколико кључних области где се линеарно и целобројно линеарно програмирање примењује [42], [44], [50], [51]:

- Управљање залихама – Линеарно програмирање се користи за оптимизацију нивоа залиха и наруџби, како би се смањили трошкови складиштења, а истовремено осигурала доступност производа и сировина;
- Производња и расподела – Компаније користе линеарно програмирање како би оптимизовале производњу и расподелу ресурса, као што су радна снага, материјали и енергија. Ово помаже у смањењу производних трошкова и оптимизацији ланца снабдевања;
- Транспортни проблеми – Линеарно програмирање се користи за решавање транспортних проблема, као што су распоред возача и камиона за ефикасну испоруку робе;

- Маркетинг и оглашавање – Компаније користе линеарно програмирање за оптимизацију маркетиншких и оглашивачких кампања како би постигле максимални учинак с ограниченим буџетом;
- Телекомуникације и мреже – Линеарно програмирање се користи за оптимизацију капацитета и путања у телекомуникационим мрежама како би се обезбедила ефикасна комуникација;
- Производно планирање – Индустрије користе линеарно програмирање за планирање производње, оптимизацију ресурса и распореда машина како би се максимизирала ефикасност производње;
- Спорт и распоређивање – У спортским такмичењима и организацијама, линеарно програмирање се користи за израду распореда такмичења, распореда утакмица и оптимизацију ресурса;
- Здравствени сектор – У здравственим установама, линеарно програмирање се користи за оптимизацију распореда особља, болничких кревета и планирање операција.
- Енергетика – Линеарно програмирање се користи за оптимизацију производње и расподеле електричне енергије, како би се осигурала ефикасна и поуздана опскрба енергијом.

Ово су само неке од области у којима се линеарно програмирање примењује за решавање проблема оптимизације. С обзиром на своју широку примењивост, ова техника игра кључну улогу у унапређењу ефикасности и доношењу бољих одлука у различитим индустријама и секторима [51].

Линеарно програмирање има различите примене у области рударства и експлоатације минералних ресурса, као што је приказано у прегледу литературних извора (стр.105). Ово су неки од начина на које се линеарно програмирање користи у овој области:

- Оптимизација планирања рудника – Линеарно програмирање се може применити за оптимизацију планирања рудника, укључујући распоред ископавања, транспорта материјала, и планирање операција. Циљ је минимизирати трошкове и максимизирати профит узимајући у обзир ограничења капацитета, сигурност и заштиту животне средине.
- Оптимално распоређивање ресурса – У рударским операцијама, постоји потреба за ефикасним распоређивањем ресурса као што су радна снага, опрема и енергија. Линеарно програмирање помаже у оптимизацији расподеле ових ресурса како би се постигла највећа ефикасност производње;
- Распоређивање возила и транспорта – За транспорт руде и других материјала из рудника до места прераде или транспорта на тржиште,

линеарно програмирање се користи за оптимизацију распореда и рута возила, минимизирајући трошкове транспорта и време путовања.

- Планирање и оптимизација производње – У рударској индустрији, често се морају задовољити специфични захтеви за квалитет и количину минералних ресурса. Линеарно програмирање помаже у постизању ових циљева уз минималне трошкове;
- Решавање проблема везаних за капацитете – Капацитети рударских постројења, као што су дробилице и сепарације, могу бити ограничени. Линеарно програмирање помаже у оптимизацији употребе тих капацитета како би се обезбедила максимална производња; Планирање рударских операција у неповољним условима – У ситуацијама где су присутни неповољни услови, као што су геотехничке потешкоће или околишна ограничења, линеарно програмирање помаже у развоју планова операција који узимају у обзир ове факторе;
- Оптимизација ланца снабдевања: Укључујући све кораке од ископавања до прераде и транспорта, ланац снабдевања у рударству може бити сложен. Линеарно програмирање помаже у оптимизацији свих ових корака како би се постигла максимална ефикасност.

Правилна примена линеарног програмирања у рударству може помоћи компанијама да остваре значајне уштеде у трошковима и да повећају ефикасност својих операција, што је посебно важно у овој индустрији која се суочава са изазовима као што су смањење резерви и повећање захтева за одрживим пословањем.



## 3.2. ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ОДЛУЧИВАЊЕ

### 3.2.1. Дефинисање вишекритеријумског одлучивања

Приликом дефинисања специфичности процеса одлучивања у пословању, истиче се сложеност овог процеса, која почива на чињеници утицаја бројних фактора на пословање, али и различитости критеријума при доношењу одлуке. У складу са тим, сложени пословни системи неминовно намећу различите критеријуме за доношење одлуке. Тако су ситуације одлучивања у којима постоји потреба да се размотри више критеријума, углавном конфликтне природе, док се њихова вредност неретко односи на полазне информације, које су потребне како би се направио избор најбоље акције из датог скупа акција. Када дође до овакве ситуације у одлучивању, она се назива вишекритеријумско одлучивање [52].

Природа вишекритеријумског одлучивања почива у сложеним проблемима, дефинисаним углавном у условима неодређености, при којима је проблем могуће сагледати са више аспеката (критеријума) и за које је тешко пронаћи оптимално решење. Према томе, могуће је истаћи сложеност доношења одлуке у оваквим случајевима. Код вишекритеријумског одлучивања, одлуку доноси једна особа или група доносилаца одлука који представљају експерте за поједине области, које могу испољити свој утицај на одлуку [53].

Експерти у различитим областима за које се доноси одлука, исказују сопствена знања и искуства, као и идеје и преференције, а уз помоћ аналитичара, који је одговоран за избор и примену адекватне методе, доносе одлуку.

### 3.2.2. Кораци у вишекритеријумском одлучивању

Сложеност вишекритеријумског одлучивања као феномена, указује на потребу за постојањем одређених корака на основу којих је могуће спровести вишекритеријумско одлучивање. У складу са тим, свака метода вишекритеријумског одлучивања користи исте кораке, а то су:

- идентификација проблема, као први и основни корак у процесу одлучивања,
- структурирање проблема,
- дефинисање модела,
- примена модела и
- доношење коначаног избора одлуке на основу резултата модела.

Када је реч о идентификацији модела као првом кораку у доношењу одлуке, интересантно је истаћи да она захтева прецизан увид у расположиве информације. У складу са тим, она се може посматрати као адекватан одговор на

питање колико доносилац одлуке заправо познаје проблем којем приступа и за који је потребно доносити одлуку. Према томе, адекватно дефинисање проблема, дефинише и друге елементе одлучивања као што су [54]:

- циљеви које је потребно постићи;
- могућа алтернативна решења приликом доношења одлуке;
- критеријуми одлучивања који описују перформансе алтернатива.

Када је реч о структурирању проблема као другом кораку у вишекритеријумском одлучивању, интересантно је истаћи да је структурирање проблема заправо један од најзначајнијих али уједно и један од најтежих корака у одлучивању. Циљ овог корака јесте омогућити превођење лоше дефинисаних проблема у скуп добро дефинисаних [53]:

- елемената;
- релација;
- операција, кроз коришћење формалног језика.

Поред наведеног, интересантно је истаћи да се овај корак неретко назива и уметничком страном одлучивања, с обзиром на чињеницу да све везе и утицаји наведених елемената одлучивања морају бити приказане на најпогоднији начин од стране аналитичара.

### **3.2.3. Идентификација и класификација метода вишекритеријумског одлучивања**

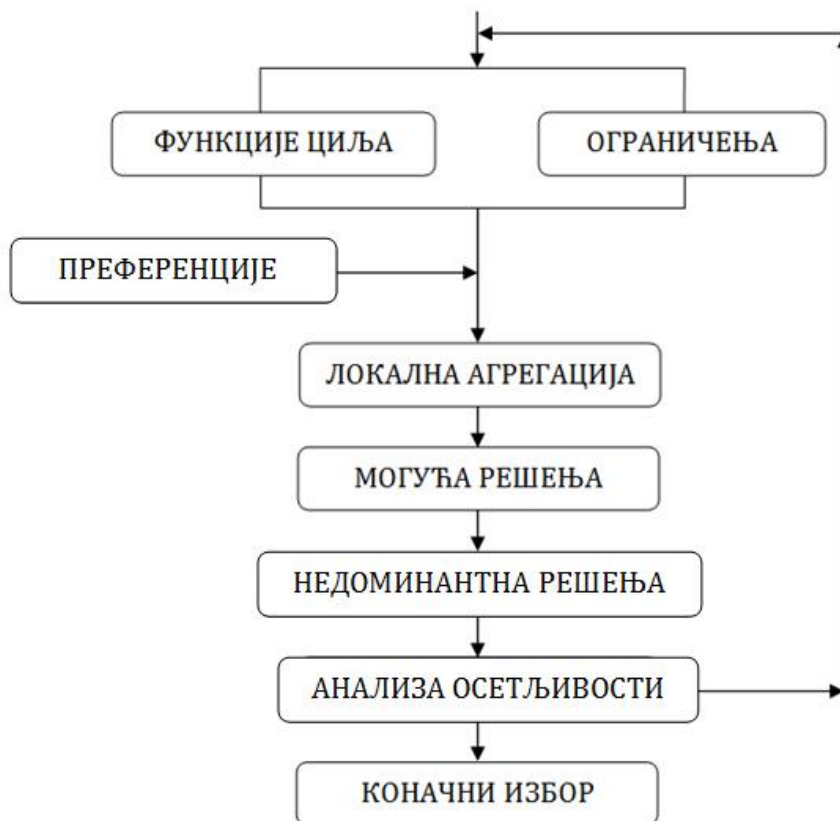
Сложеност процеса одлучивања, а самим тим и вишекритеријумског одлучивања наводи и на постојање различитих метода које се примењују у процесу одлучивања. У литератури постоји велики број различитих класификација метода вишекритеријумског одлучивања. На пример, у зависности од поступка и избора адекватне акције, методе вишекритеријумског одлучивања могуће је класификовати у групе [52]:

- вишециљног одлучивања;
- вишеатрибутивног одлучивања.

За методе које спадају у групу вишециљног одлучивања карактеристично је да се проблеми вишециљног одлучивања обично класификују у континуалне проблеме одлучивања и карактерише их постојање изузетно великог броја алтернатива које нису познате пре саме процедуре оптимизације. Према томе, могуће је истаћи да се вишециљно одлучивање заправо заснива на оптимизацији више, најчешће конфликтних функција циља, које се преводе у

једнокритеријумски проблем одлучивања, ради проналажења оптималног решења из широког скупа могућих решења, у условима ограничености ресурса [53].

Модел вишециљног одлучивања, представљен је на слици 2.

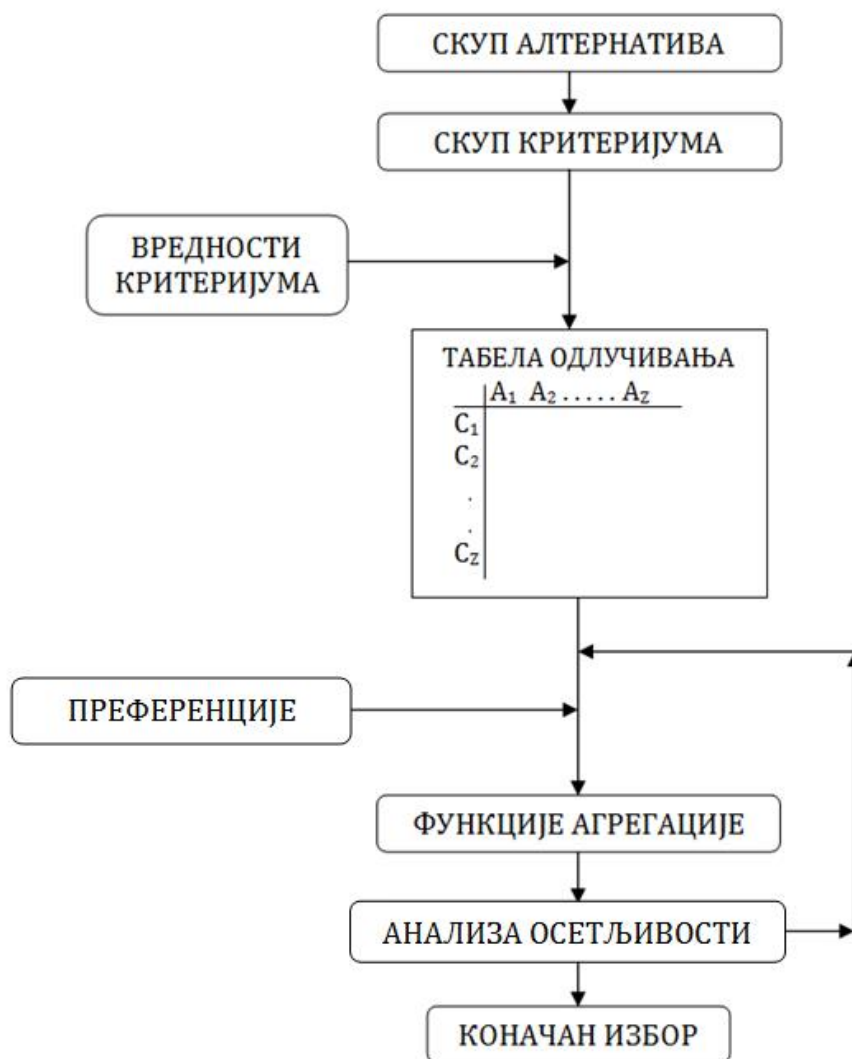


Слика 2. Модел вишециљног одлучивања

*Према: Вулевић, Т. (2017). Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско - планинских подручја Србије, Докторска теза, Београд: Шумарски факултет Универзитета у Београду [53]*

Са друге стране, када је реч о вишеатрибутивном одлучивању, значајно је напоменути то да је за ове методе карактеристично формирање евалуационе табеле или матрице одлучивања. Ова матрица треба да садржи податке о вредностима критеријума за дате алтернативе. Скуп алтернатива који се процењује је дискретан, коначан и углавном унапред познат, па је читав група метода вишекритеријумског одлучивања, позната под називом дискретне методе. Ограничења нису активна као код вишециљног одлучивања, већ су укључена у атрибуте, који се користе као критеријуми за вредновање алтернатива. Не трага се за оптималним решењем, јер постоји више конфликтних критеријума, већ за компромисним решењем [53].

На слици 3 представљен је модел претходно описаног вишеатрибутивног одлучивања.



Слика 3. Модел вишеатрибутивног одлучивања

Према: Вулевић, Т. (2017). Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско - планинских подручја Србије, Докторска теза, Београд: Шумарски факултет Универзитета у Београду [53]

Поред представљене поделе које се односе на методе вишекритеријумског одлучивања, могуће је истаћи да се те методе могу класификовати и на другачије начине, па је тако често могуће уочити сврставање метода вишекритеријумског одлучивања у једну од три групе као што су [55]:

- методе које припадају америчкој школи, као што су:
  - метода вишеатрибутивне теорије корисности,
  - метода вишеатрибутивне теорије вредности.
- методе вишег ранга припадају француској школи, као што су:
  - ELECTRE,

- PROMETHEE (која ће бити детаљније сагледана у оквиру наредног поглавља у тези),
- NAIADE,
- REGIME метода које се заснивају на поређењу алтернатива у паровима, и њиховом рангирању,
- методе програмирања, као методе вишециљног програмирања код којих се истовремено максимизира или минимизира неколико циљева исказаних функцијом која је непозната, при одређеном скупу ограничења, а потребно је пронаћи ефикасно решење.

### 3.2.4. Одлике модела вишекритеријумског одлучивања

Систем савременог пословања доживљава константна унапређења, а самим тим и намеће све већу комплексност доношења одлука, због чега се подиже комплексност и када је у питању вишекритеријумско одлучивање у пословању. Наиме, без обзира на то да ли је реч о мултидисциплинарном проблему одлучивања или се говори о проблему који је повезан са целином или делом одређеног пословног система, при одлучивању у таквом мултиваријабилном амбијенту велики је значај коришћења модела који се заснивају на вишекритеријумским принципима [56].

Може се истаћи да вишекритеријумски модели успешно могу апроксимирати услове многих процеса, па погодују решавању бројних проблема везаних за процес доношења одлуке. Наиме, њена основна функција садржана је у обезбеђењу адекватног формалног оквира за моделирање вишедимензионалних проблема одлучивања, поготово када је реч о проблемима који захтевају [56], [57]:

- анализу сложености одлука;
- релевантност последица донете одлуке;
- потребу за постојањем одговорности донесених одлука.

Разни фактори утичу на процес доношења одлуке, сложеност окружења и субјективност природе одлуке неке су од карактеристика које захтевају примену вишекритеријумске методологије. У протеклом периоду вишекритеријумске анализе доживљавају раст популарности и убрзан развој примене у решавању сложених проблема, али и при доношењу важних одлука пословних система.

У потреби сагледавања значаја и функције вишекритеријумског одлучивања у савременом пословању, интересантно је сагледати и сврху оваквог облика одлучивања. Наиме, као основна сврха модела вишекритеријумског одлучивања, може се истаћи поједностављење и олакшање доносиоцима одлука да на адекватан начин донесу одговарајуће одлуке у условима када постоји велики број критеријума, често међусобно супротстављени, које треба разматрати. Присуство великог броја различитих критеријума у моделу носи са

собом чињеницу да модели постају знатно комплекснији и сложенији за решавање.

Код доношења одлуке код којих се бира оптимално решење рангирањем алтернатива, поузданост крајњег решења треба узети за саму процедуру анализе, а не за тип модела и водити рачуна о следећим корацима [56]:

- валидност података – квалитет и квантитет полазних параметара;
- обавезна примена већег броја модела са истим полазним параметрима;
- анализа рангова добијених различитим методама и проналаска крајњег решења у случају различитости рангирања.

Дефинисање математичке форме потребног вишекритеријумског модела одлучивања, изискује добар одабир алтернатива у складу са циљевима које одлуком треба остварити [57]. Ипак, и тако добро дефинисани улазни подаци нису гарант да ће се применом различитих модела вишекритеријумске анализе добити идентични рангови [56].

### 3.2.5. Најзначајније методе вишекритеријумског одлучивања

У потреби да се ефикасно представе специфичности вишекритеријумског одлучивања, неопходно је обратити пажњу на специфичне методе које се везују за вишекритеријумско одлучивање. Наиме, вишекритеријумско одлучивање се може означити као савремена област изучавања, чији значај расте у претходном периоду. Различите методе вишекритеријумске анализе, своју примену проналазе у решавању различитих проблема савремених пословних система. У складу са тим, могуће је истаћи да вишекритеријумско одлучивање допушта доносиоцу одлуке, тј. менаџменту пословног система да активно учествује у процесу доношења одлуке, а самим тим вишекритеријумско одлучивање значајно доприноси разумевању пословних проблема доносиоцу одлуке, али и суочавању са комплексношћу и неизвесношћу у пословању, које су свакако пратећи елементи пословања у савременом добу.

Према томе, основна улога вишекритеријумског одлучивања није искључиво сведена на пасивну имплементацију решења, већ оно активно доприноси структурирању проблема са којима се пословни систем суочава. У складу са тим, могуће је претпоставити значај развоја различитих метода вишекритеријумског одлучивања, које је потребно познавати.

Иако су у оквиру претходних поглавља у раду представљени елементи класификације метода вишекритеријумског одлучивања, са циљем да се укаже на значај тих метода као и њихову различитост потребно је сагледати основне карактеристике најзначајнијих и најприменљивијих метода вишекритеријумског одлучивања. У складу са тим, када је реч о методама вишекритеријумског одлучивања, могуће је издвојити две главне школе мишљења које су усмерене на проблем људског избора, а то су америчка и француска школа [58].

Методе вишекритеријумског одлучивања су бројне и разноврсне а самим тим постоје и различити облици класификација ових метода. Једну од класификација метода дали су аутори Chen и Hwang. Према њима, методе су класификоване према врсти и детаљности информација од стране доносиоца одлука. У складу са тим, методе су разврстане у две значајне групе а то су [59]:

- Методе без информација о атрибутима;
- Методе којима су потребне прецизније информације о атрибутима.

Када је реч о првој групи метода, најзначајније су [57]:

- Метода доминације;
- MAXIMIN метода;
- MAXIMAX метода.

Са друге стране, када је реч о методама за које су потребне одређене информације о атрибутима, могуће је истаћи значај [57]:

- коњунктивне методе;
- дисјунктивне методе;
- лексикографске методе;
- методе линеарног додељивања;
- методе једноставних адитивних тежина;
- АНР - метода аналитичког хијерархијског процеса;
- ELECTRE методе;
- TOPSIS методе.

Када је реч о сложености метода вишекритеријумског одлучивања, као и постојања великог броја ових метода, могуће је истаћи да постоји велики број разлога због којих је дошло до развоја различитих метода и техника. Један од најзначајнијих разлога јесте то што постоји више разлога који су довели до појаве великог броја метода и техника постоје различити типови проблема са којима се пословни системи суочавају, а које је потребно поставити у контекст вишекритеријумског одлучивања. Други значајни разлог свакако је расположиво време за доношење одлуке, с обзиром на чињеницу да подаци који су доступни

или прикупљени као основа за доношење одлуке могу често варирати, у зависности од проблема за који је потребно донети одлуку.

Значајна предност коју пружају методе вишекритеријумског одлучивања, свакако је могућност најбољег разумевања комплексних проблема у различитим условима у реалном простору. Поред тога, методе побољшавају квалитет процеса одлучивања. Међутим, све методе имају одређене предности и недостатке, због чега неће свака метода бити потпуно ефикасна за сваки пословни систем, што је потребно узети у обзир приликом избора адекватне методе у одлучивању.

Као методе које су се показале као најзначајније у процесу вишекритеријумског одлучивања у највећем броју различитих пословних система, издвајају се [57]:

- PROMETHEE метода, која је примењена у експерименталном делу;
- ELECTRE метода;
- TOPSIS метода;
- Методе фази вишекритеријумског одлучивања;
- АНР метода;
- Анализа објавијањем података.

### 3.2.5.1. ELECTRE метода

Једна од најприхватљивијих и највише коришћених метода вишекритеријумског одлучивања свакако је ELECTRE метода. Изворно, назив ове методе могуће је представити кроз речи: *Elimination and Choice Translating Reality*. Своју употребу налази у процесу рангирања алтернатива приликом доношења одлуке.

У основи ова метода усмерена је ка решавању задатака вишеатрибутивног одлучивања тако што се пласирање могућих одлука изводи поређењем атрибута [56], а метода је креирана услед слабости и недостатака постојећих метода за доношење одлука. Након настанка ове методе 1966 - 1968, развијен је велики број других метода услед прилагођавања специфичним сегментима пословања. Интересантно је рећи да се ELECTRE метода користи када постоји проблем немогућности одређивања строге доминације једне алтернативе над другом. У складу са тим, приликом примене ове методе, јавља се потреба за увођењем веза вишег реда, тј. потреба за дефинисањем критеријума за механичко додељивање ранга [52].

Као што је и наведено, у основи ELECTRE методе, извршава се поређење две алтернативе, према сваком од критеријума. Алтернатива  $X$  надјачава алтернативу



У када је боља за већину критеријума, и истовремено не постоји критеријум или критеријуми по којем је алтернатива  $X$  јасно лошија од од алтернативе  $Y$  [56].

Рангирање алтернатива дефинише се релацијама [56]:

- $X$  надмашује  $Y$  ако је  $c(X, Y) \geq p$  и  $d(X, Y) \leq q$
- $Y$  надмашује  $X$  ако је  $c(Y, X) \geq p$  и  $d(Y, X) \leq q$
- за остале случајеве се каже да су алтернативе неупоредиве

где је:

$p$  – највиши степен сагласности ( $p = 1$ )

$q$  – најнижи степен несагласности ( $q = 0$ )

Поменути индекси сагласности представљају квантитативне показатеље сагласности или несагласности да се одређена алтернатива може рангирати испред неке друге алтернативе по основу свих критеријума истовремено.

Ово је разлог што се ова метода понекад назива и анализом сагласности, а као таква прилагодљива је и применљива у већини пословних система [52].

### 3.2.5.2. TOPSIS метода

Још једна значајна метода коју је потребно описати приликом анализе специфичности вишекритеријумског одлучивања, свакако је и TOPSIS метода. Као и претходно описана ELECTRE метода, TOPSIS је назив добила по почетним словима речи: *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*. Њен настанак везан је за потребу да се пронађе адекватна алтернатива за ELECTRE методу [60].

TOPSIS метода нуди могућност ефикасног дефинисања идеалног и негативно-идеалног решења за постојећи проблем у пословном систему. Наиме, идеално решење се може описати као решење које нуди могућност максимизације критеријума бенефита, као и минимизације критеријума трошка. У складу са тим, могуће је истаћи да се у основи ове методе налази схватање да изабрана алтернатива геометријски најближа идеалном решењу, а најудаљенија је од анти идеалног решења [37].

У анализи TOPSIS методе, значајно је напоменути и то да она полази од претпоставке да сваки атрибут има тенденцију монотоног раста или смањења корисности. У складу са тим, применом ове методе, могуће на једноставан начин идентификовати идеално и анти идеално решење. Релативна сличност са идеалним решењем рангира алтернативе, што онемогућује истовремену сличност алтернативе са идеалним и идеалним анти решењем [37], [57].

### 3.2.5.3. Фази-вишекритеријумско одлучивање

Фази вишекритеријумско одлучивање представља групу метода које су најчешће примењиване у пракси у последњих 10-ак година. Практично све постојеће методе вишекритеријумског одлучивања имају и своју фази варијанту, односно варијанту методе базирану на примени фази бројева. Теорија фази скупова, на којој су засновани и дефинисани фази бројеви представља специфичну математичку формулацију која омогућава моделирање процеса у којима је изражена [56]:

- неизвесност;
- субјективност;
- неодређеност.

Интересантно је истаћи да се корени ове методе могу пронаћи још у раним америчким истраживањима професора Zadeh-а (1965), који се уједно сматра творцем теорије фази-скупова. Наведени метод је од велике корисности у стварним процесима, у којима су услед сложености процеса проблеми често непрецизно описани.

У логици коју носи овај методолошки приступ, могуће је истаћи да изјаве нису ни тачне ни нетачне, већ се посматрају као изјаве које су у одређеном степену истинитости. Теорија фази-скупова омогућава да се на адекватан начин третирају „расплинути“ резултати, и самим тим изразито неодређене. У складу са тим, као основни циљ ове методе може се представити смањење или потпуна елиминација субјективности приликом одређивања тежине критеријума у одређивању.

### 3.2.5.4. Аналитички хијерархијски процес - АНР

Овај процес заправо представља једну од највише коришћених метода вишекритеријумског одлучивања, која је заснована на доношењу одлука кроз три карактеристична корака, а то су [61]:

- декомпозиција система;
- на сваком нивоу врши се међусобно поређење елемената [56];
- синтеза приоритета.

Аналитички хијерархијски процес може се означити као техника која је заснована на развоју хијерархијског модела проблема, чиме долази до поједностављења али и унапређења разумевања сложеног проблема који је постављен пред пословни систем. На врху хијерархије налази се циљ, тј. проблем одлучивања. На средњим хијерархијским нивоима, налазе се критеријуми и подкритеријуми одлучивања, а алтернативе се налазе на дну хијерархије.

У складу са тим, расчлањивање проблема одлучивања хијерархијске нивое дефинише доносилац одлуке, а самим тим дефинише интензитет и тежину преференције сваке алтернативе [56]. Значи концепција методе почива на поређењу алтернатива према нивоима.

### 3.2.5.5. Анализа обавијањем података

Као последња значајна метода вишекритеријумског одлучивања, наведена је метода анализе обавијањем података, или DEA (*Data Envelopment Analysis*) метода. Наиме ова метода представља методу која је настала са циљем мерења успешности пословања непрофитних организација, код којих профит није мерило успешности пословања, већ други фактори, које је потребно сагледати, а што заправо усложњава проблем доношења одлуке у пословању.

Наведена метода заправо представља непараметарску технику за мерење ефикасности јединица одлучивања. У складу са тим, она захтева посебну функционалну форму. Према томе, ефикасност која се израчунава овом методом, може бити анализирана и квантификована као однос збира тежинских коефицијената и вредности улаза односно излаза коме су додељени.

Основне фазе на којима почива ова метода, тј. на основу којих долази до разлагања и разумевања проблема, као и доношења одлуке јесу [57]:

- фаза дефинисања и избора јединица одлучивања;
- фаза одређивања улазних и излазних променљивих;
- фаза избора адекватног DEA модела;
- фаза решавања DEA модела, као и анализе и тумачења резултата.

### 3.2.6. Вишекритеријумско одлучивање у области рударства

Након увида у специфичности метода вишекритеријумског одлучивања, могуће је сагледати могућности примене ових метода у области рударства. Наиме, могуће је истаћи да је процес одлучивања који је везан за коришћење природних ресурса веома комплексан, па тако често укључује различите чиниоце који имају различите приоритете. Према томе, доношење квалитетних одлука веома је сложено и тешко, а самим тим и захтева адекватну помоћ, због чега се доносиоци одлука често ослањају на интуицију или хеуристичке приступе у поједностављењу проблема на које наилазе.

Када је реч о процесу доношења одлука у области управљања природним ресурсима, па тако и рударства, интересантно је истаћи да је оно свакако засновано на мултидисциплинарној научној бази која укључује скуп како природних тако и друштвених наука. Међутим, адекватно доношење одлука у овој области захтева и познавање многих других пратећих елемената као што су медицина, етика и политика. Управо из тог разлога, присутан је значај различитих метода вишекритеријумског одлучивања.

Предност примене различитих метода одлучивања, заснована је у могућности сагледавања проблема са различитих аспеката, па се, услед тога може сматрати да је донета одлука у том случају меродавнија и квалитетнија. У складу са тим, када је реч о пројектима експлоатације природних ресурса, интересантно је истаћи то да постоје одређени типови улазних информација значајни за доношење одлука. Међу њима потребно је издвојити четири основна типа а то су [62]:

- резултати претходних студија;
- процена ризика;
- анализа корист и трошкова (*cost-benefit*);
- преференције чинилаца.

Међутим, потребно је имати у виду и то да постојећи процес одлучивања не пружа никакво упутство о томе на који начин интегрисати или проценити релативну важност информација из сваког од наведених извора. Управо то може значајно отежати процес одлучивања, с обзиром на чињеницу да наведене информације могу бити и квантитативне и квалитативне што додатно усложњава проблем.

Када је реч о потреби за превазилажењем наведеног проблема, могуће је истаћи да вишекритеријумско одлучивање може бити изузетно значајно у овом процесу. Наиме, методе вишекритеријумског одлучивања могу бити употребљене и код индивидуалног као и код групног одлучивања [57].

Код индивидуалног одлучивања у области експлоатације природних ресурса, потребно је истаћи да најпре долази до процене вредности донетог суда, као и утврђивања вредности различитих алтернативних пројеката у зависности од задатих критеријума, као и вршења избора адекватне акције. Са друге стране, када је реч о групном одлучивању, у том процесу долази до квантификовања преференција чинилаца које је интензивније и укључује различите аспекте сагледавања задатог проблема.

### **3.2.6.1. Карактеристике вишекритеријумског одлучивања у рударству**

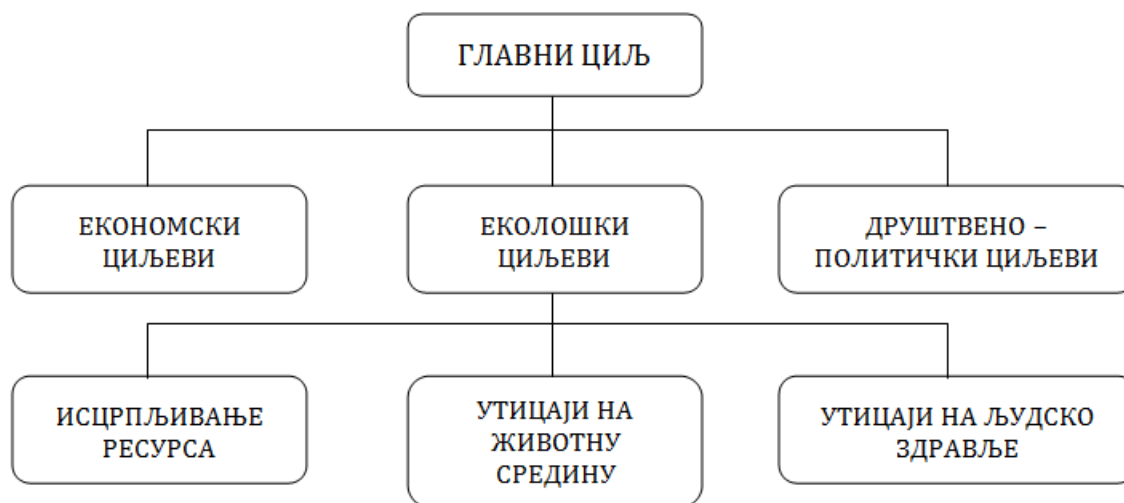
У складу са значајем примене вишекритеријумског одлучивања у области рударства, неопходно је сагледати основне карактеристике вишекритеријумског одлучивања које га заправо и чине практичним за употребу у овој области. Према томе, могуће је уочити најзначајније карактеристике међу којима су [62]:

- чињеница да се настоји да се установи експлицитан број више сукобљених критеријума;
- чињеница да у рударству вишекритеријумско одлучивање доприноси значајно у структурирању задатог проблема;

- чињеница да вишекритеријумско одлучивање обезбеђује модел који може послужити као фокус дискусије;
- нуди процес који води до рационалних, објашњивих и оправданих одлука.

Наиме, на основу наведених карактеристика које указују на значај вишекритеријумског одлучивања, испоставља се да методе вишекритеријумског одлучивања представљају изузетно погодно средство за анализу комплексних проблема као што су проблеми типични за управљање природним ресурсима. Могу се користити комбинације квантитативних и квалитативних података, а уједно су методе тако структурисане да омогућавају планирање и стварање подржавајућег окружења одлучивању. Поред тога, значајно је истаћи да су последње деценије у области експлоатације природних ресурса, довеле до постављања фокуса на примену вишекритеријумских метода у решавању проблема и дилема у области управљања природним ресурсима.

Поред наведеног, такође је значајно и то да процес експлоатације минералних ресурса, уједно захтева и коришћење помоћних алата приликом доношења одлука везаних за избор пројекта који ће бити реализовани. Према томе, као основни циљ неретко се намеће избор оног пројекта који неће задовољити само постављене економске, већ и еколошке и друштвене стандарде. Наиме, карактеристични циљеви са аспекта овог типа експлоатације везани су за економске, еколошке и друштвено-политичке захтеве. На слици 4 представљена је хијерархија циљева који се могу јавити у области рударства, а које је свакако потребно узети у обзир приликом анализе процеса одлучивања у рударству.



Слика 4. Хијерархија циљева

Према: Поповић, Г. (2014). Вишекритеријумска евалуација пројекта експлоатације минералних ресурса, Београд: Мегатренд Универзитет, Факултет за менаџмент [62]

У области експлоатације минералних ресурса вишекритеријумске методе су углавном коришћене за избор методе експлоатације [3].

Међутим, значајно је напоменути то да нема случаја у коме би пројекти експлоатације минералних ресурса били бирани на основу различитих типова критеријума претходно наведених. Примени вишекритеријумских метода у области минералних ресурса је пажња посвећена последњих десетак година, на основу чега се може закључити да је наведено научно поље још у развоју и да има још доста простора за рад и даље унапређење.

### 3.2.7. Метода вишекритеријумског одлучивања PROMETHEE

Метода PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation*) је једна од најновијих метода у области вишекритеријумске анализе, а развили су је професори Мершал, Бранс и Винк [63] PROMETHEE метода обухвата: PROMETHEE I за делимично рангирање алтернатива и PROMETHEE II за потпуно рангирање алтернатива.

Основни принцип PROMETHEE II методе базира се поређењу алтернатива по паровима по сваком од критеријума (прва с другом, прва с трећом, друга с првом, друга с трећом...), док имплементација методе захтева информације:

- релативној важности (тежини) критеријума, коју доносилац одлуке прикладно одређује за сваки од критеријума,
- типу функције преференција за сваки критеријум, коју такође одређује доносилац одлуке. Винк и Бранс [64] су предложили шест основних типова критеријума (функција преференције), слика 5.
  - (1) обичан критеријум;
  - (2) квази критеријум;
  - (3) критеријум са линеарном преференцијом;
  - (4) степенести критеријум;
  - (5) критеријум линеарне преференције са подручјем индиферентности; и
  - (6) Гаусов критеријум. За сваки од критеријума потребно је и дефинисати одређене вредности параметара.

Ова метода биће примењена у експерименталном делу истраживања.

#### 3.2.7.1. Проучавање PROMETHEE методе у вишекритеријумском одлучивању

Начин на који је дефинисано вишекритеријумско одлучивање као и значај метода вишекритеријумског одлучивања, указује на чињеницу да савремени пословни системи тешко излазе на крај у процесу доношења комплексних одлука, без адекватног избора методе која би допринела:

- разумевању постојећег проблема,

- рашчлањивању и поједностављењу постојећег проблема, као и
- доношењу адекватне одлуке.

Према томе представљен је значај постојећих метода вишекритеријумског одлучивања, које се могу примењивати у различитим доменима пословања. Због теме дисертације направљен посебан осврт на област рударства, тј. експлоатације природних ресурса. Наиме, процес доношења одлука од стране различитих доносилаца, наводи на доступност неколико различитих алтернатива, при чему избор адекватне одлуке подразумева упоређивање тих алтернатива и њихову анализу које могу имати како негативних, тако и позитивних последица. У складу са тим, сам појам одлуке може се пренети у акцију која се предузима од стране доносиоца, како би се постигао одређени циљ.

Наравно, постоји више функција критеријума који имају могућност разјашњења конкретног проблема, па тако на пример уколико се као приоритет постави постизање једног циља, може доћи до негативног утицаја тог циља на друге циљеве пословног система. У складу са тим, избор начина на који је могуће донети пословну одлуку изузетно је значајан, па је тако веома важно разумети разлике које постоје између једнокритеријумских и вишекритеријумских модела.

Наиме, као основна разлика између једнокритеријумских и вишекритеријумских модела одлучивања наводи се то да код једнокритеријумских метода постоји једна функција циља која је дефинисана над конкретним скупом ограничења. Са друге стране, када је реч о вишекритеријумским методама, у проблемима се оперише са две или више функција циља.

Као основни циљ читавог процеса издваја се проналажење најповољнијег решења у тренутним условима. У складу са тим, већи број упоређиваних алтернатива, нуди могућност доношења квалитетније одлуке, због чега је избор адекватне методе у процесу одлучивања изузетно значајан. Да би се дошло до адекватне методе, постоји потреба за разумевањем сваке појединачне методе, па ће тако у оквиру овог поглавља, бити детаљније представљена PROMETHEE метода.

У основном дефинисању ове методе, могуће је истаћи да је она заправо једна од најзначајнијих метода из модела вишекритеријумског одлучивања. Развијена је од стране Jean-Pierre Brans, са циљем да се поједностави процес одлучивања у тренуцима када менаџер мора да изврши адекватан избор између више различитих алтернатива и критеријума за које се може рећи да су међусобно конфликтни. Према томе, ова метода изузетно је значајна за пословне системе који функционишу у променљивом тржишту [65].

### **3.2.7.2. PROMETHEE метода – појам и дефиниције**

Сам процес развоја метода вишекритеријумског одлучивања заснован је на проналажењу недостатака претходно развијених метода и њиховом унапређењу, или унапређењу начина одлучивања у сфери која није покривена претходним

методама. Самим тим, PROMETHEE метода, као релативно млада метода представља специфичан облик унапређења претходно креираних метода [57].

Значај PROMETHEE методе, могуће је посматрати и кроз велики број примера практичне примене ове методе у различитим областима пословања, као што су [65].

- банкарство;
- медицина;
- хемијска индустрија;
- инвестиције;
- туризам;
- друге области пословања у којима неретко услед променљивости тржишта долази до потребе за избором једне од међусобно супротстављених алтернатива.

Да би се разумео значај PROMETHEE методе у доношењу одлука у савременим пословним системима, постоји потреба да се сагледају предности ове методе. Наиме, основна предност PROMETHEE методе садржана је у једноставности њене примене. Могуће је истаћи да је метода базирана на табели одлучивања као формалном начину за приказивање проблема одлучивања, који садржи све његове елементе. У складу са тим, параметри који су коришћени у оквиру анализе могу имати своје тумачење и значај, при чему долази до потпуног елиминисања осталих пратећих елемената, што омогућава избегавање конфликата [66].

Поред наведеног, могуће је истаћи да се проблеми који се обично решавају применом PROMETHEE методе, превасходно односе на рангирање и избор најприхватљивије алтернативе по основу дефинисаних критеријума. У складу са тим, код PROMETHEE методе могуће је уочити три значајна корака који наводе на адекватан избор алтернативе, а самим тим и доношење одлуке. Међу тим корацима издвајају се [52]:

- проширење структуре преференција и увођење општег критеријума,
- конструкција графа вишег ранга, и
- експлоатација добијеног графа.

Метода PROMETHEE обухвата следеће кораке [67]:



- Корак 1. Одређивање девијације (одступања) заснованог на поређењу по паровима:

$$d_j(a,b) = g_j(a) - g_j(b); \quad j = 1, \dots, n$$

где  $d_j(a,b)$  означава разлику између процене алтернатива  $a$  и  $b$  за сваки критеријум.

- Корак 2. Одређивање функције преференције:

$$P_j(a,b) = F_j[d_j(a,b)]; \quad j = 1, \dots, n$$

где  $P_j(a,b)$  означава преференцију алтернативе  $a$  у вези са алтернативом  $b$  за сваки критеријум, као функцију  $d_j(a,b)$

- Корак 3. Одређивање индекса преференције:

$$\forall a, b \in A, \quad \pi(a,b) = \sum_{j=1}^n P_j(a,b)w_j$$

где  $\pi(a,b)$  од  $a$  до  $b$  (од 0 до 1) је дефинисано као сума  $p(a,b)$  за сваки критеријум, и  $w_j$  је тежина  $j$ -ог критеријума.

- Корак 4. Одређивање токова вишег реда / PROMETHEE I делимично рангирање:

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a,x) \quad \text{и} \quad \phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a,x)$$

где  $\phi^+(a)$  и  $\phi^-(a)$  означавају позитиван, односно негативан ток за сваку алтернативу.

- **Корак 5.** Одређивање нето токова вишег реда / PROMETHEE II потпуно рангирање

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

где  $\phi(a)$  означава нето ток вишег реда за сваку алтернативу.

### 3.2.7.3. Варијације PROMETHEE методе

У анализи специфичности PROMETHEE методе, веома је значајно узети у обзир чињеницу да без обзира на то што се PROMETHEE метода представља као релативно млада метода, она је прошла кроз неколико еволутивних фаза. У складу са тим, развијале су се различите варијације посматране методе, које је потребно поменути приликом описа PROMETHEE методе.

У пракси се користе четири варијације поменуте методе, а то су [57]:

- PROMETHEE I;
- PROMETHEE II;
- PROMETHEE III;
- PROMETHEE IV.

Када је реч о прва два модалитета они су први пут презентовани од стране креатора методе 1982. године на конференцији „*L'ingénierie de la decision*“ на универзитету у Канади, док су друга два модалитета развијена само неколико година касније.

У основи идеје за развој PROMETHEE I методе, налазила се потреба да се помогне доносиоцу одлуке да делимично рангира посматране алтернативе. Са друге стране, проблем потпуног рангирања је решен већ увођењем PROMETHEE II модалитета, па се тако у оквиру PROMETHEE II одређује потпуни поредак посматраних алтернатива.

PROMETHEE III, нуди могућност интервалног поретка алтернатива, док четврта варијација ове методесагледава непрекидан низ алтернатива. Успешна имплементација PROMETHEE методе зависи од доносиоца одлуке јер одређује вредност сваког критеријума и дефинише ниво на интервалној скали. [57].

Значајно је напоменути да PROMETHEE метода нуди могућност нагомилавања како квалитативних тако и квантитативних критеријума који могу бити различите важности у једну релацију парцијалног рангирања скупа алтернатива, или комбинованог рангирања, чиме је могуће потпуно рангирати алтернативе (што је донела појава PROMETHEE II методе).

#### **3.2.7.4. Анализа могућности примене PROMETHEE методе у процесу одлучивања**

Да би се разумела могућност примене PROMETHEE методе у вишекритеријумском одлучивању, потребно је сагледати могуће типове генерисаних критеријума који се примењују код ове методе. Постоји шест карактеристичних типова критеријума, тј. функција преференција, па су тако на слици 5 представљени типови генерисаних критеријума:

| Критеријуми   |  | Дефинисаност   | Параметри |
|---|--|--|-----------|
| Тип   | График   |  |           |
| Уобичајен критеријум  | <p>Type 1: Usual Criterion</p>                     | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$                                   | -         |
| Квази критеријум  | <p>Type 2: U-shape Criterion</p>                   | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$                                   | q         |
| Критеријум са линеарном преферентношћу                          | <p>Type 3: V-shape Criterion</p>                   | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$  | p         |
| Степенasti критеријум   | <p>Type 4: Level Criterion</p>                     | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$     | p, q      |
| Критеријум са линеарном преферентношћу и облашћу индиферентност | <p>Type 5: V-shape with indifference Criterion</p> | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$ | p, q      |
| Гаусов критеријум   | <p>Type 6: Gaussian Criterion</p>                  | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$           | s         |

Слика 5. Типови критеријума код PROMETHEE методе

Према: Chapter 5, PROMETHEE METHODS, Jean-Pierre Brans - Centrum voor Statistiek en Operationeel Onderzoek Vrije, Bertrand Mareschal Service de Mathématiques de la Gestion [68]

Наиме, у зависности од конкретног проблема, доносилац одлуке има могућност одабира једне од шест преференцијских функција, при чему бржи раст функције уједно подразумева и већи израз преференција у појединим сегментима.

### 3.2.7.5. Модификована PROMETHEE метода

У анализи специфичности које се односе на PROMETHEE методу вишекритеријумског одлучивања, потребно је сагледати и модификације ове методе. Наиме, постоје случајеви у којима се у процесу одлучивања поред квантитативних могу појавити и квалитативни критеријуми, који се могу појавити у дескриптивном облику, као атрибути. У складу са тим, постоји потреба да се PROMETHEE методи приступи уз одређене модификације.

Модификација PROMETHEE методе, односи се на проширење могућности исказивања интензитета преференције у критеријуму по којем долази до упоређивања. У складу са тим, могуће је истаћи да доносиоцу одлуке ова проширења значајно олакшавају да одреди границе преференције и интензивност преференције брзине субјективно.

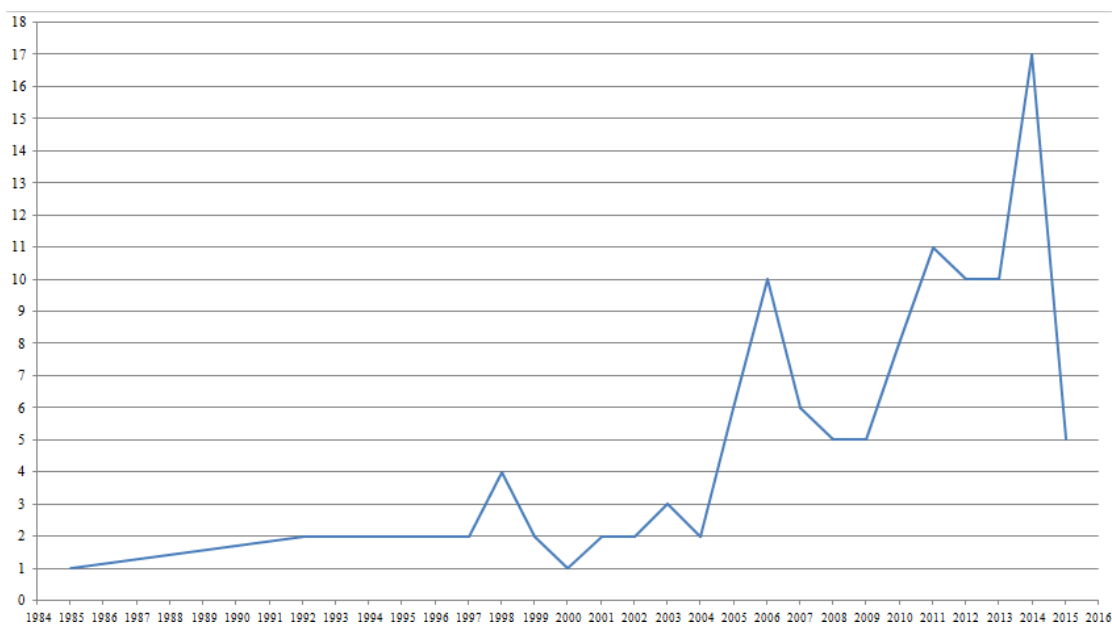
### 3.2.7.6. GAIA план

Још један елемент који је могуће представити у оквиру анализе специфичности PROMETHEE методе вишекритеријумског одлучивања, свакако је GAIA план [64].

Према анализи главних компоненти техника је дефинисана са два својствена вектора који одговарају сопственим вредностима од коваријансе матрице од нето токова једног критеријума. Обзиром да се одређене информације могу изгубити после пројекције. GAIA план може се представити као мета модел или модел модела, а информације које овај план обезбеђује могу се означити изузетно поузданим.

### 3.2.8. Примена PROMETHEE методе

У анализи специфичности и карактеристика као и могућности примене PROMETHEE методе вишекритеријумског одлучивања, значајно је сагледати и њен значај као и учесталост примене ове методе у различитим облицима пословања, али и у оквиру различитих научних истраживања. У складу са тим, могуће је сагледати специфичности примене PROMETHEE методе у одређеним научним радовима. Према истраживању спроведеном на Факултету техничких наука у Чачку могуће је уочити варијацију броја научних радова постављених на KoBSON портал у оквиру којих је примењена PROMETHEE метода у периоду од 1985. до 2014. године, што је приказано и на графичком приказу на слици 5.



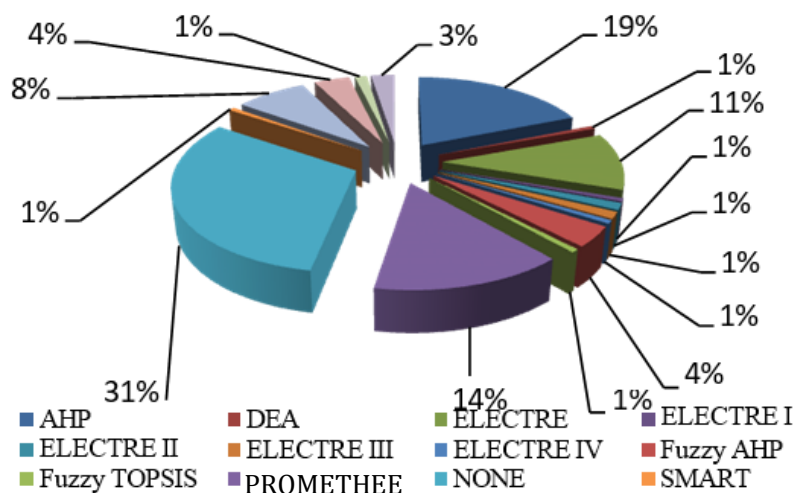
Слика 6. Графички приказ броја радова у оквиру којих се примењује PROMETHEE метода

Према: Пауновић, М. (2014). *Анализа могућности примене PROMETHEE методе у одлучивању* [66]

На слици је могуће приметити континуирани раст броја аутора који примењују PROMETHEE методу у потреби да се дође до одређених научних сазнања, што свакако потврђује примену PROMETHEE методе у научним истраживањима, без обзира на област у оквиру које су радови настали. У складу са тим, највећи број радова у посматраном истраживању, заснован на PROMETHEE методи објављен је у 2014. години, што потврђује све већи раст значаја посматране методе.

Међутим, значај вишекритеријумског одлучивања, повезан је и са чињеницом да у научноистраживачким радовима у различитим областима, велику примену налазе и друге методе, па је тако у анализи специфичности PROMETHEE методе значајно уочити однос употребе PROMETHEE методе и осталих метода вишекритеријумског одлучивања које су коришћене у радовима у оквиру истог истраживања [66].

У складу са тим, на слици 6 представљен је однос употребе различитих метода вишекритеријумског одлучивања у научним радовима.



Слика 7. Упоредна примена PROMETHEE и других метода у научним истраживањима пронађеним на порталу KobSON од 1985. до 2014. године

Извор: Пауновић, М. (2014). *Анализа могућности примене PROMETHEE методе у одлучивању* [66]

Као што је могуће приметити на графикону, највећу примену налазе ELECTRE, AHP и PROMETHEE методе вишекритеријумског одлучивања. Међутим, свакако је потребно имати у виду да свака метода може имати значајну примену у зависности од самог проблема са којим се доносилац одлуке суочава у датом тренутку.

Такође, у домену анализе заступљености и примене PROMETHEE методе, могуће је истаћи и могућност примене ове методе вишекритеријумског одлучивања и у домену комбинације са савременим технолошким решењима која свакако поједностављују њену примену. У складу са тим, могуће је указати и на софтверску подршку PROMETHEE методи, али и на заступљеност примене PROMETHEE методе у одређеним софтверима.

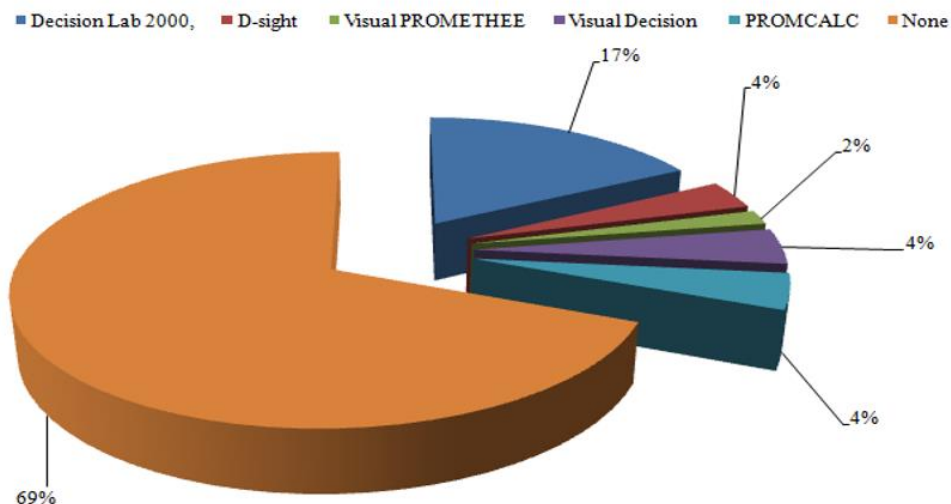
Интересантно је истаћи да је прва примена, тј. имплементација PROMETHEE методе усклађена са софтверским решењем реализована још 1980. године, када је радила под MS-DOS оперативним системом. Међутим, данас је примена ове методе кроз софтвер достигла значајан степен развоја. У складу са тим, могуће је сагледати различите софтвере који пружају подршку PROMETHEE методи.

Међу тим софтверима, могуће је издвојити:

- Decision Lab 2000;
- D-sight;
- Visual PROMETHEE;
- Visual Decision;

- PROMCALC.

док је заступљеност примене PROMETHEE методе у овим софтверима представљена на слици 7.



Слика 8. Софтвери који подржавају PROMETHEE методу

Извор: Пауновић, М. (2014). *Анализа могућности примене PROMETHEE методе у одлучивању* [66]

### 3.2.9. Процес вишекритеријумског одлучивања кроз примену АНР и PROMETHEE методе

Како је у оквиру претходних поглавља представљен значај вишекритеријумског одлучивања, са посебним фокусом на област рударства, али и утврђивање значаја вишекритеријумског одлучивања у свим сферама деловања људи, могуће је сагледати ток целокупног процеса одлучивања, кроз примену PROMETHEE методе. Тако се сам процес одлучивања у случају доношења одлуке да се одлучивање изведе применом АНР и PROMETHEE методе, може свести на четири кључна корака [69]:

- прикупљање података;
- АНР прорачуни;
- PROMETHEE прорачуни;
- доношење одлуке као основни циљ вишекритеријумског одлучивања.

Међутим, сам процес доношења одлуке прати одређени ниво сложености који је везан са међукораке које је потребно обавити у анализи. Поред тога, значајно је имати у виду да су наведени кораци међусобно повезани на начин да зависе један од другог, па тако свака појединачна фаза представља услов за развој нове фазе.

У складу са тим, почетна фаза у одлучивању свакако је прикупљање података. Квалитет реализације ове фазе у великој мери доприноси квалитету одлуке која ће бити донета, с обзиром на чињеницу да су наредне фазе више везане за математичке прорачуне, чији квалитет расте квалитетом и квантитетом прикупљених података на основу којих се одлука доноси.

Међутим, поред процес прикупљања, „data gathering“ фазу прате и задаци одређивања адекватног метода за доношење одлуке, као и критеријума који ће се узети у обзир приликом доношења одлуке. Управо из тог разлога, „data gathering“ фаза неретко се може означити и као најсложенија али и фаза која најдуже траје у вишекритеријумском одлучивању, без обзира на метод који је одабран [64].

Даље фазе доношења одлуке, везане су за конкретне примене метода, при чему се за фазу „ANP computations“ везује активност додељивања критеријума. Са друге стране, када је реч о примени PROMETHEE методе, веома је значајно истаћи да се у самој анализи очекује доношење одлуке о функцијама и параметрима за одабрани критеријум, али и примена како PROMETHEE I, тако и PROMETHEE II метода, с обзиром на чињеницу да квалитетно доношење одлуке захтева како парцијално тако и комплетно рангирање расположивих алтернатива у доношењу одлуке [69].

У складу са свим наведеним елементима, могуће је закључити да је реализација процеса вишекритеријумског одлучивања веома сложена, с обзиром на сложеност сваке појединачне фазе којој се приступа.

Са друге стране, подизање сложености самог процеса доношења одлуке, кроз повећање улазних података, времена избора методе вишекритеријумског одлучивања, и детаљне реализације сваког елемента изабране методе, доприноси квалитетнијој одлуци. Управо из тог разлога, познавање самог процеса доношења одлука, као и расположивих метода, може значајно допринети унапређењу рада менаџмента компаније у било којој области пословања, с обзиром на то да је пословно одлучивање један од основних задатака менаџмента.



## **4. ТЕСТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА**

### **4.1. ПРИКАЗ ПРОБЛЕМА**

Експлоатација кречњака не може се сматрати приоритетном граном рударства, и као таква није праћена потребом за великим стратешким финансијским анализама. Међутим, отпочињањем увођења мокрог кречњачког поступка одсумпоравања димних гасова у термоенергетске објекте на угаљ у Електропривреди Србије будући ланци снабдевања се увелико анализирају и тражи се најповољније решење овог проблема. Кречњак као производ прљаве индустрије каквом се сматра рударство [70], нагло постаје један од главних ресурса за ублажавање негативних ефеката животне средине, које Република Србија као произвођач електричне енергије из термо објеката продукује у животну средину. Анализа свих ресурса кречњака који имају потребне карактеристике за овај процес, показала се као веома битна у утврђивању најповољнијег, најјефикаснијег, најјефтинијег и преваходно квалитетног решења. Поред квалитета сировине и елементи као што су транспортне руте, производња, заинтересованост произвођача, капацитети, имају свог удела приликом вршења анализе.

У сврху одређивања приоритетних снабдевача кречњачком минералном сировином, 2014. године као први документ, урађена је „Студија о могућности снабдевања кречњаком за потребе одсумпоравања димних гасова (ОДГ) ТЕ Костолац, ТЕ Никола Тесла и нових термо капацитета“ у којој се користила вишекритеријумска анализа појединих сегмената потребних за одлучивање. Пожељније би било да је уместо ове „сегментне“ анализе, урађена вишекритеријумска анализа која би објединила све елементе потребне за квалитетно одлучивање у једном јединственом моделу за одлучивање.

Покушај решавања овог проблема у јединственом методолошком приступу среће се у раду Др. Милинка Радосављевића и Ак. Слободана Вујића „ЈЕДНОФАЗНИ ЛОКАЦИЈСКИ МОДЕЛ УПРАВЉАЊА СНАБДЕВАЊЕМ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА КРЕЧЊАКОМ ЗА ОДСУМПОВАЊЕ ДИМНИХ ГАСОВА“ који је потакао докторанда у смеру истраживања могућности проналаска модела који би објединио све важне факторе који утичу на избор најквалитетнијег решења при одлуци о избору начина снабдевања термоелектрана кречњачким агрегатом за процес одсумпоравања димних гасова.

#### **4.1.1. Снабдевање кречњаком за потребе одсумпоравања гасова из термоенергетских постројења ЕПС-а**

Како би се кречњак могао користити у процесу одсумпоравања димних гасова мора да задовољи одређене квалитативне захтеве задате од стране термоенергетских објеката, који су дати у табели 1.

Табела 1. Спецификација хемијских својстава кречњака потребних за ОДГ [71]

| Параметар                          | ТЕКО Б1-Б2 и Б3 | ТЕНТ А3-А6 | ТЕНТ Б1-Б2 и Б3 |
|------------------------------------|-----------------|------------|-----------------|
| CaCO <sub>3</sub> , %              | ≥ 94            | ≥ 94       | ≥ 94            |
| MgCO <sub>3</sub> , %              | ≤ 3             | ≤ 3        | ≤ 3             |
| SiO <sub>2</sub> , %               | ≤ 3             | ≤ 3        | ≤ 3             |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % | ≤ 0,8           | ≤ 0,8      | ≤ 0,8           |
| Укупне интерне материје %          | ≤ 6             | ≤ 6        | ≤ 6             |
| реактивност, %                     |                 | 50         |                 |

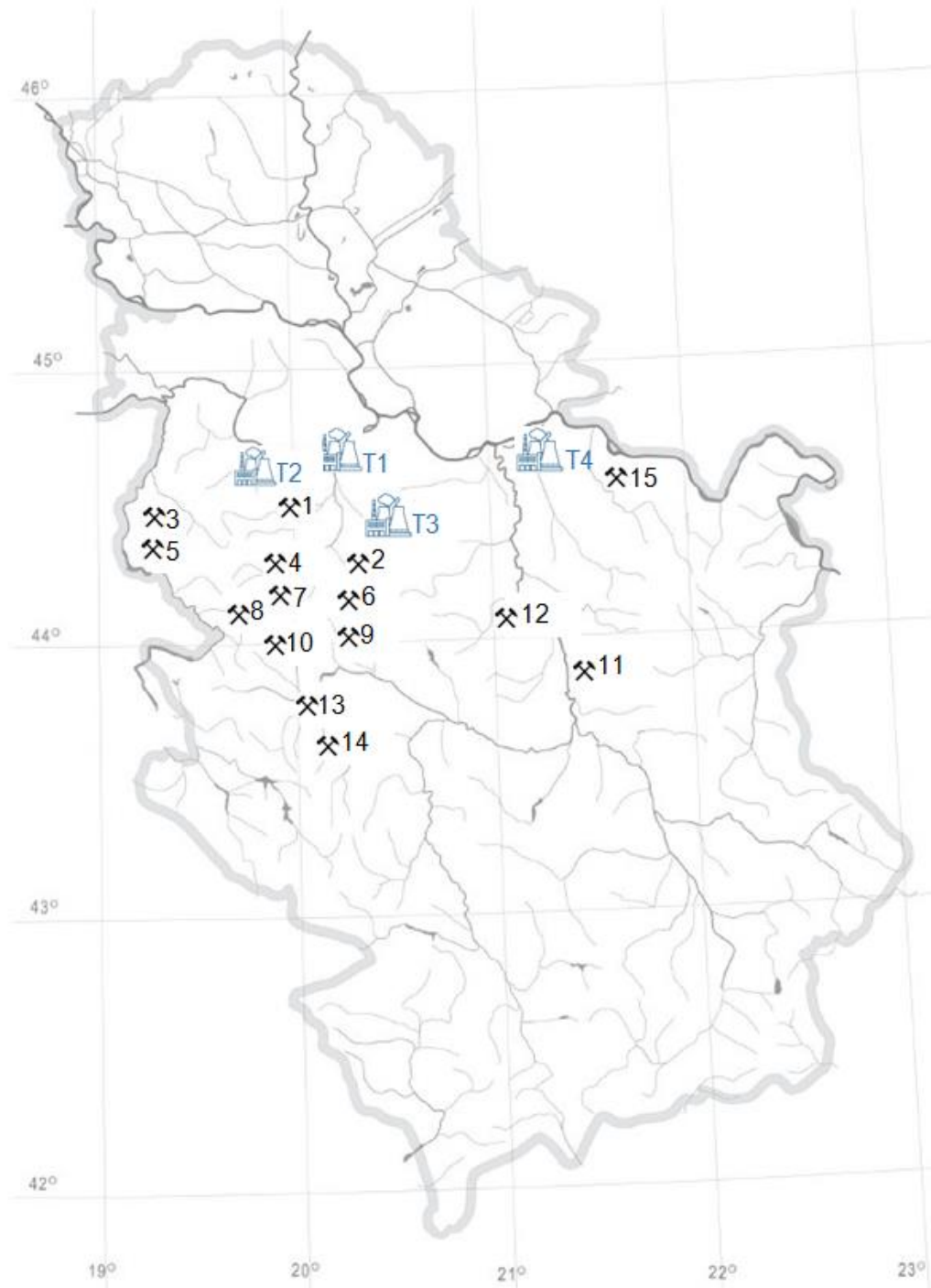
#### 4.1.2. Распоживи ресурси кречњака и потенцијални снабдевачи

На основу улазних података о хемијским својствима кречњака потребних за процес ОДГ у термоенергетским објектима, затражен је од министарства рударства и енергетике списак свих одобрених експлоатационих поља који имају потребан квалитет сировине и тај списак је дат у табели 2.

Табела 2. Списак лежишта са овереним билансним резервама и одобрењем за експлоатацију за 2014. годину [71]

| Назив лежишта        | Општина      | Садржај %         |       |      | Резерве (t) | Резерве (m <sup>3</sup> ) | Одобрени капацитет     |
|----------------------|--------------|-------------------|-------|------|-------------|---------------------------|------------------------|
|                      |              | CaCO <sub>3</sub> | CaO   | MgO  |             |                           |                        |
| Каменити врх         | Аранђеловац  |                   | 54,47 | 0,59 | 1.433.851   | 529.096                   | 26.132 t               |
| Врхови               | Брус         |                   | 54,17 | 0,55 | 2.796.087   | 1.013.075                 | 60.000 t               |
| Чот                  | Мали Зворник |                   | 55,27 | 0,48 | 2.293.379   | 846.265                   | 50.000 t               |
| Бресник              | Краљево      | 98,57             | 55,23 | 0,33 | 1.471.954   | 547.195                   | 20.000 m <sup>3</sup>  |
| Јазовник             | Владимирци   |                   | 55,36 | 0,49 | 28.343.131  | 11.337.252                | 400.000 t              |
| Заграђе коп 5        | Бор          | 96,59             |       |      | 34.905.437  | 13.171.863                | 305.000 t              |
| Потај Чука           | Жагубица     |                   | 53,31 | 1,04 | 7.528.720   | 2.865.900                 | 100.000 t              |
| Понорац              | Кучево       | 98,46             | 55,13 | 0,59 | 1.701.874   | 647.100                   | 40.000 m <sup>3</sup>  |
| Грабовик             | Пожега       | 94,96             | 53,27 | 1,72 | 60.436.249  | 22.485.007                | 300.000 m <sup>3</sup> |
| Каона                | Кучево       |                   | 51,81 | 1,18 | 76.167.549  | 28.634.417                | 300.000 t              |
| Градац               | Крупањ       |                   | 54,27 | 0,37 | 9.400.880   | 3.507.791                 | 70.000 m <sup>3</sup>  |
| Манастириште         | Топола       |                   | 53,37 | 1,17 | 3.366.946   | 1.242.415                 | 120.000 t              |
| Суводо               | Пожега       |                   | 54,51 | 1,07 | 87.016.039  | 32.347.970                | 750.000 t              |
| Каменитовац          | Ваљево       |                   | 54,86 | 0,67 | 7.152.849   | 2.649.203                 | 100.000 m <sup>3</sup> |
| Плана                | Параћин      | 98,58             | 55,23 | 0,52 | 3.900.669   | 1.450.063                 | 100.000 m <sup>3</sup> |
| Душкина Мала         | Прешево      |                   | 54,51 | 0,63 | 17.052.590  | 6.362.907                 | 600.000 t              |
| Крст                 | Ваљево       |                   | 55,16 | 0,34 | 14.213.219  | 5.264.155                 | 350.000 t              |
| Непричава            | Лајковац     |                   | 53,21 | 0,66 | 4.339.048   | 1.601.125                 | 160.000                |
| Бакића Врело         | Аранђеловац  |                   | 54,27 | 1,09 | 9.731.767   | 3.604.358,00              | 200.00 t               |
| Јовановића забран 1  | Аранђеловац  | 97,99             | 53,89 |      | 226.783     | 85.161,00                 | 60.000 m <sup>3</sup>  |
| Паун Баре - Албатрос | Аранђеловац  |                   | 53,92 | 1,00 | 3.887.118   | 1.434.360,00              | 45.000 m <sup>3</sup>  |
| Рујевачки Крш        | Мионица      |                   | 53,03 | 1,22 | 6.620.905   | 2.489.062,00              | 30.000 m <sup>3</sup>  |
| Брезовац             | Аранђеловац  |                   | 54,78 | 0,61 | 3.881.991   | 1.242.415.                | 50.000 m <sup>3</sup>  |
| Заблаће              | Шабац        |                   | 54,98 | 0,40 |             | 1.566.879,00              | 100.000 m <sup>3</sup> |
| Паун Баре            | Аранђеловац  |                   | 54,25 | 0,73 | 1.207.688   | 447.292,00                | 20.000 m <sup>3</sup>  |
| Равње                | Ваљево       |                   | 54,49 | 0,61 | 8.043.062   | 2.978.912,00              | 370.000 m <sup>3</sup> |
| Чанчар               | Аранђеловац  |                   | 55,22 | 0,28 | 1.363.613   | 509.381,00                | 100.000 t              |
| Виногради            | Аранђеловац  | 92,80             | 52,01 | 3,42 | 1.217.050   |                           | 100.000 t              |
| Шешевица             | Коцељева     | 97,92             |       |      | 3.141.059   | 1.208.100,00              | 300.000 t              |
| Ковиловача           | Деспотовац   |                   | 54,71 | 0,51 | 21.645.896  | 8.140.943,00              | 125.000 m <sup>3</sup> |

## 4.2. ЛОКАЦИЈСКИ МОДЕЛ ЕНТИТЕТА ПРОИЗВОДЊЕ И ПОТРОШЊЕ КРЕЧЊАКА



Слика 9. Локације површинских копова и термоенергетских објеката у Србији

На следећим сликама представљени су руднички објекти представљени у апликацији „*Google Earth*“ и транспортне руте представљене у апликацији „*Google Maps*“.

## 1 - ПК ЈАЗОВНИК

Налази се на око 35 km од Шапца према Ваљеву у западној Србији. Оверене резерве кречњака износе око 28.300.000 t. Садржај компоненти  $\text{CaO}$  55,36%,  $\text{CaCO}_3$  97,04%. Пројектовани годишњи капацитет површинског копа је 500.000 t, постоји могућност повећања. За транспорт сировине користе се друмским и водени путеви. На реци Сави у селу Дебрц изграђена је пристан за утовар кречњака у барже. Квалитет кречњака омогућава широку примену, користи се као техничко-грађевински камен - фракционисани агрегат, у цементној индустрији, у индустрији шећера, као пунило у хемијској и фармацеутској индустрији, у производњи сточне хране итд.



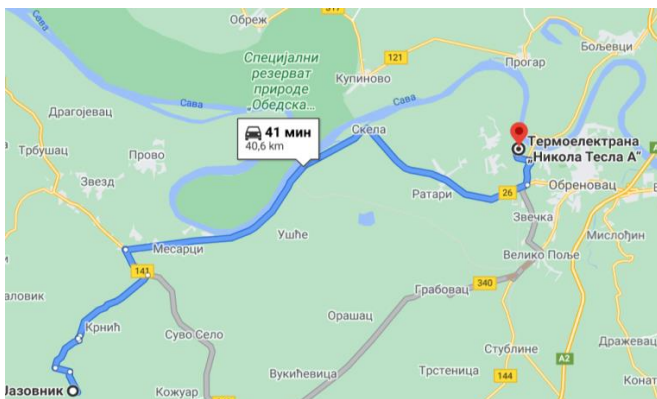
Локација ПК Јазовник



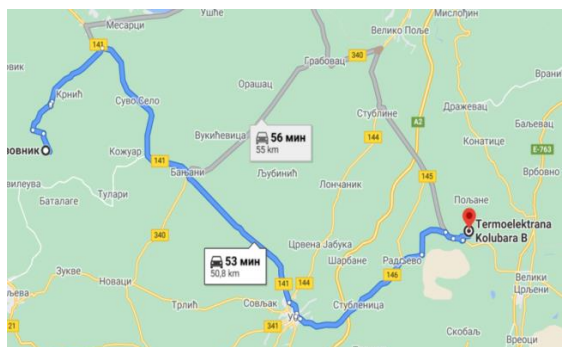
Комплекс ПК Јазовник



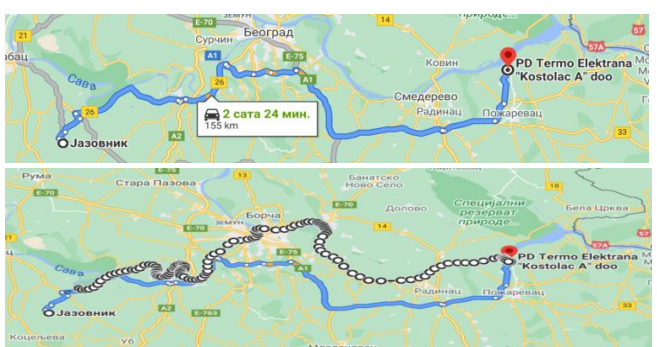
ПК Јазовник - ТЕ „Никола Тесла Б“



ПК Јазовник - ТЕ „Никола Тесла А“



ПК Јазовник - ТЕ „Колубара Б“



ПК Јазовник - ТЕ „Костолац А“

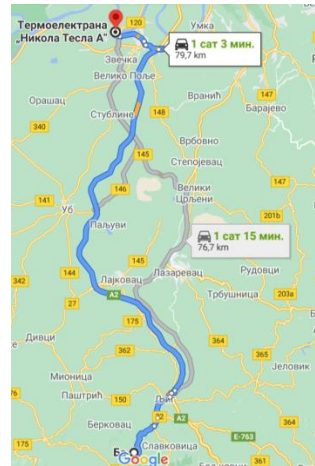
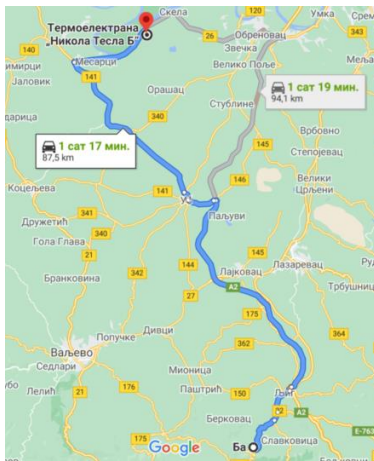
## 2 - ПК РУЈЕВАЦ

Налази се у месту Ба, 40-ак km јужно од Љига, у Колубарском округу. Оверене резерве кречњака износе око 13.299.739 t. Садржај компоненти СаО 55,36%, СаСО<sub>3</sub> 99,57%. Пројектовани годишњи капацитет површинског копа је 200.000 t. За транспорт сировине користи се друмским саобраћај. Квалитет кречњака омогућава широку примену, користи се као сепарисани агрегат за бетоне, микронизирани карбонат као пуниоц у индустрији лепкова и везива, у путоградњи, у производњи сточне хране, у хемијској индустрији итд.



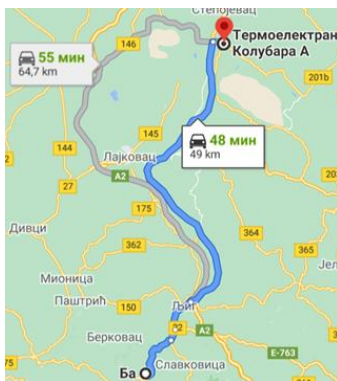
Локација ПК Рујевац

Комплекс ПК Рујевац

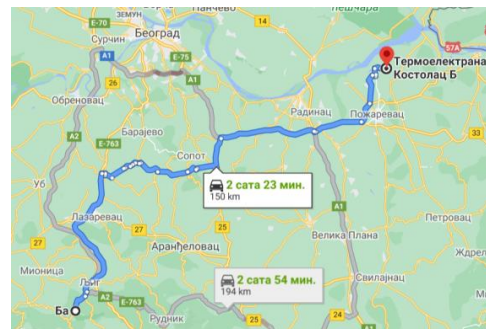


ПК Јазовник - ТЕ „Никола Тесла Б“

ПК Јазовник - ТЕ „Никола Тесла А“



ПК Јазовник - ТЕ „Колубара Б“



ПК Рујевац - ТЕ „Костолац Б“

### 3 - ПК ЧОТ – ТРЕШЊИЦА

Налази се у Малом Зворнику. Оверене резерве мермера износе око 2.293.379 t. Просечни годишњи капацитет површинског копа је 50.000 t. За транспорт сировине користи се друмски транспорт. Користи се као фракционисани агрегат, микронизован калцијум као карбонатна сировина у индустрији боја и лакова, папира и у фармацеутској индустрији.

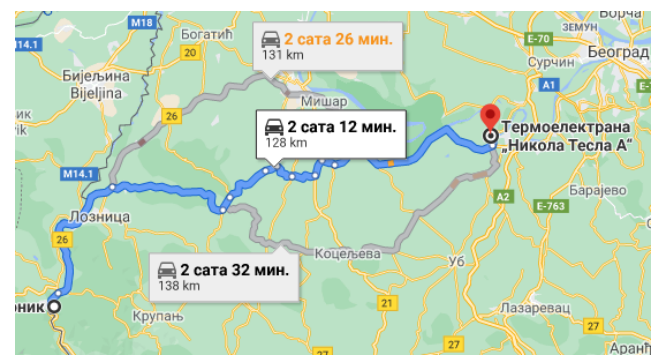


Локација ПК Чот - Трешњица

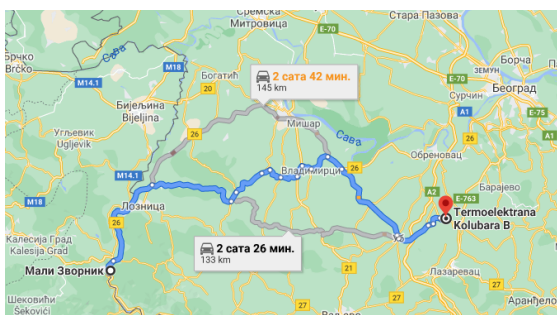


ПК Забрежје - ТЕ „Никола Тесла Б“

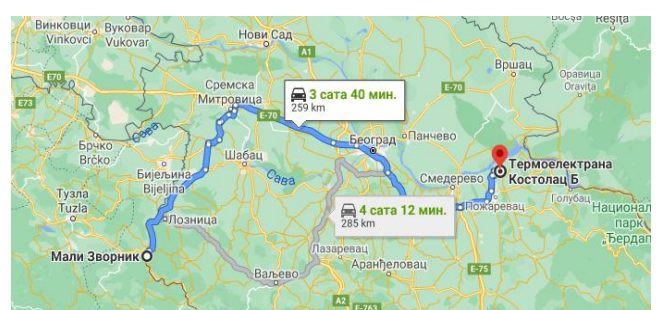
Комплекс ПК Чот – Трешњица



ПК Забрежје - ТЕ „Никола Тесла А“



ПК Забрежје - ТЕ „Колубара Б“



ПК Забрежје - ТЕ „Костолац Б“

#### 4 - ПК КРСТ

Налази се на око 15 km западно од Мионице. Оверене резерве кречњака износе око 9.911.603 t. Садржај компоненти CaO 55,16%, CaCO<sub>3</sub> 98,50%. Пројектовани годишњи капацитет површинског копа је 800.000 t, постоји могућност повећања. За транспорт сировине користе се друмским. Квалитет кречњака омогућава широку примену, користи се као техничко-грађевински камен - фракционисани агрегат, у цементној индустрији, у индустрији шећера, као пунило у хемијској и фармацеутској индустрији, у производњи сточне хране итд.



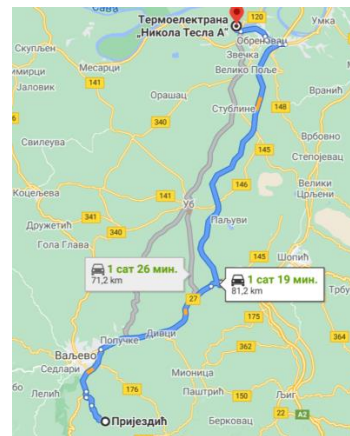
Локација ПК Крст



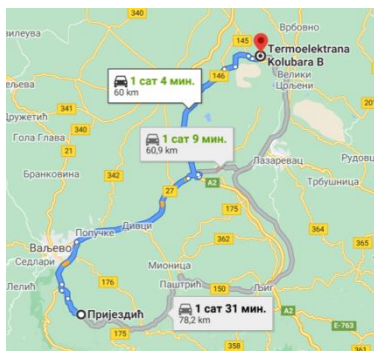
Комплекс ПК Крст



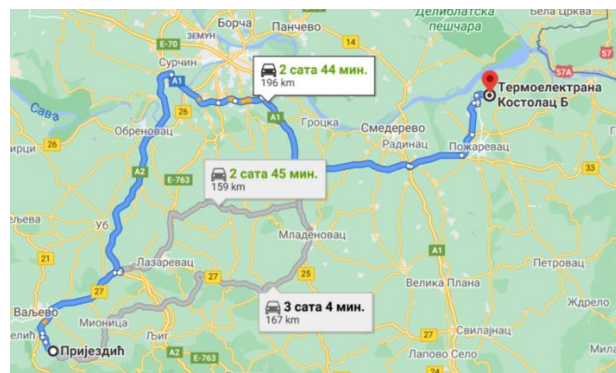
ПК Крст - ТЕ „Никола Тесла Б“



ПК Крст - ТЕ „Никола Тесла А“



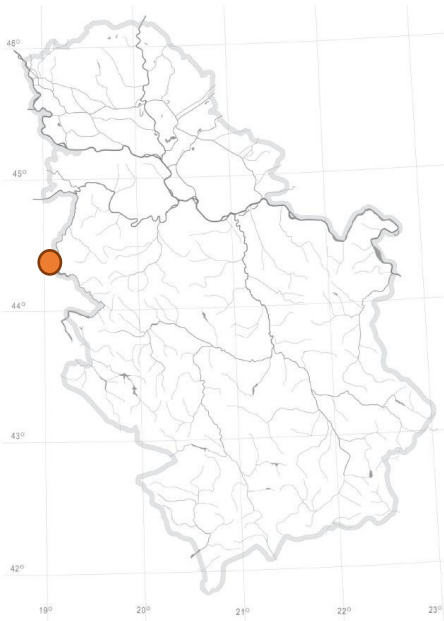
ПК Крст - ТЕ „Колубара Б“



ПК Крст - ТЕ „Костолац Б“

## 5 - ПК БУЧЕВСКИ ПОТОК

Налази се у општини Мали Зворник у западној Србији. Оверене резерве кречњака износе око 9.703.204 t. Садржај компоненте  $\text{CaCO}_3$  97,54%. Пројектовани годишњи капацитет површинског копа је 1.500.000 t, постоји могућност повећања. За транспорт сировине користе се друмским и железнички транспорт. Квалитет кречњака омогућава широку примену, користи се као техничко-грађевински камен - фракционисани агрегат, у цементној индустрији, у индустрији шећера.



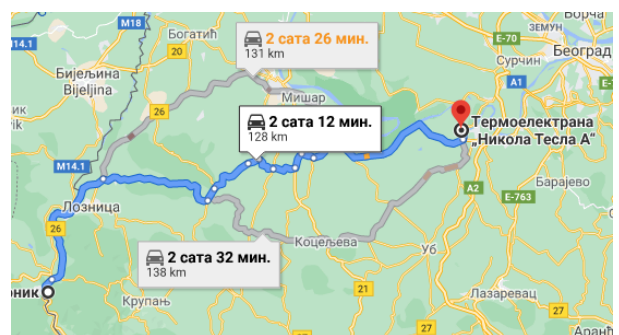
Локација ПК Бучевски Поток



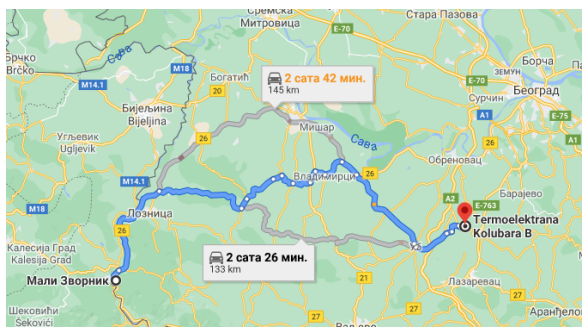
Комплекс ПК Бучевски Поток



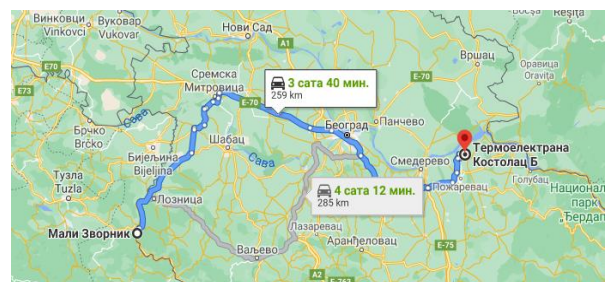
ПК Бучевски Поток - ТЕ „Никола Тесла Б“



ПК Бучевски Поток - ТЕ „Никола Тесла А“



ПК Бучевски Поток - ТЕ „Колубара Б“



ПК Бучевски Поток - ТЕ „Костолац Б“



## 6 - ПК РУЈЕВАЧКИ КРШ

Налази се код Мионице. Оверене резерве кречњака износе око 9.328.875 t. Садржај компоненти  $\text{CaCO}_3$  94,39%. Пројектовани годишњи капацитет површинског копа је 150.000 t, постоји могућност повећања. За транспорт сировине користе се друмским. Квалитет кречњака омогућава широку примену, користи се као техничко-грађевински камен - фракционисани агрегат.

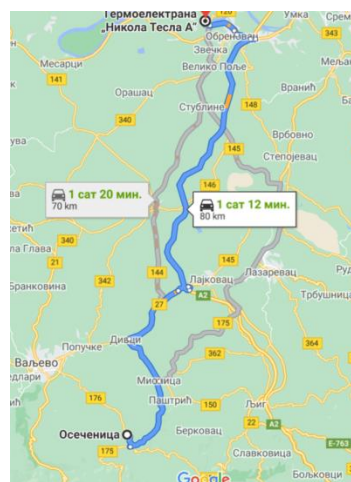


Локација ПК Рујевачки Крш



ПК Рујевачки Крш - ТЕ „Никола Тесла Б“

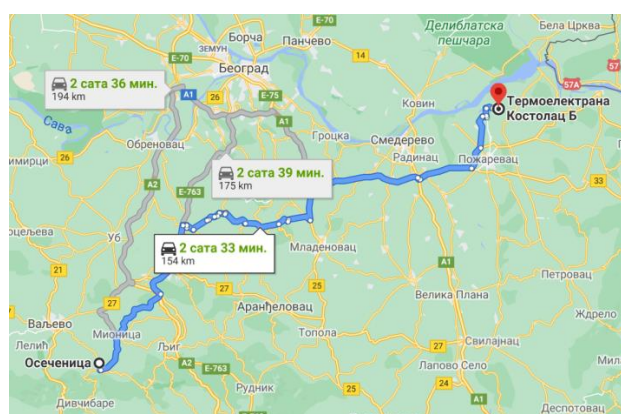
Комплекс ПК Рујевачки Крш



ПК Рујевачки Крш - ТЕ „Никола Тесла А“



ПК Рујевачки Крш - ТЕ „Колубара Б“



ПК Рујевачки Крш - ТЕ „Костолац Б“

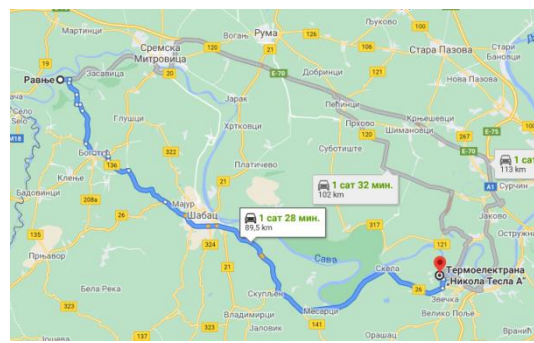
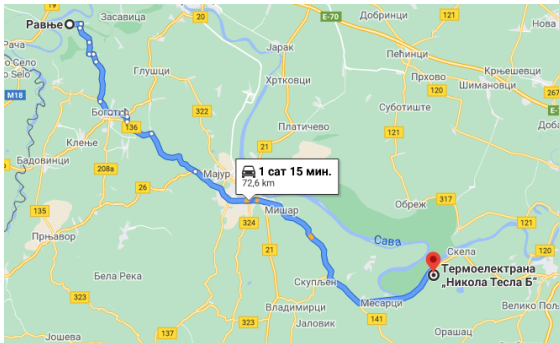
## 7 - ПК КАМЕНИТОВАЦ

Налази се код Ваљева. Оверене резерве кречњака износе око 7.152.849 т. Садржај компоненти  $\text{CaCO}_3$  97,97%. Пројектовани годишњи капацитет површинског копа је 162.000 т. За транспорт сировине користе се друмским. Квалитет кречњака омогућава широку примену, користи се као техничко-грађевински камен - фракционисани агрегат, у цементној индустрији.



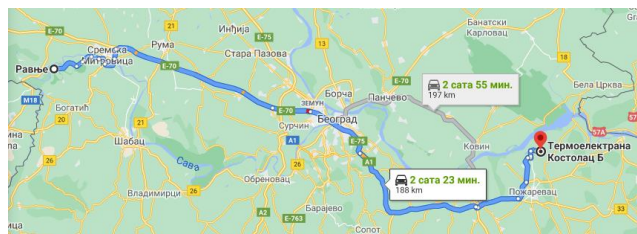
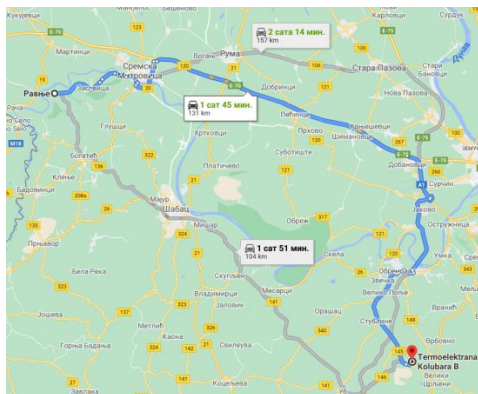
Локација ПК Каменитовац

Комплекс ПК Каменитовац



ПК Каменитовац - ТЕ „Никола Тесла Б“

ПК Каменитовац - ТЕ „Никола Тесла А“



ПК Каменитовац - ТЕ „Колубара Б“

ПК Каменитовац - ТЕ „Костолац Б“

## 8 - ПК РАВЊЕ

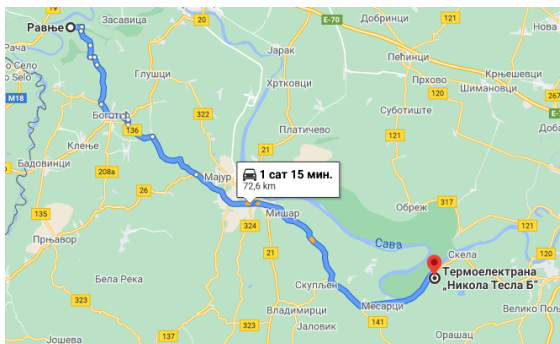
Налази се у селу Равње, које припада граду Ваљеву. Оверене резерве кречњака износе око 6.597.322 t. Садржај компоненте CaCO<sub>3</sub> 97,00 %. Просечни годишњи капацитет површинског копа је 300.000 t, са могућношћу проширења производње. За транспорт сировине користи се друмски транспорт. Користи се као техничко-грађевински камен - фракционисани агрегат.



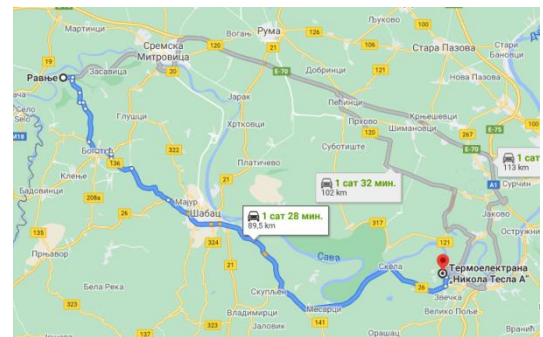
Локација ПК Равње



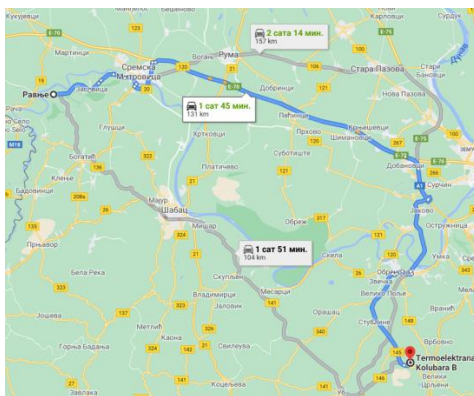
Комплекс ПК Равње



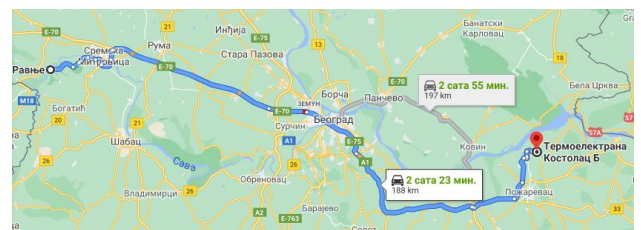
ПК Равње - ТЕ „Никола Тесла Б“



ПК Равње - ТЕ „Никола Тесла А“



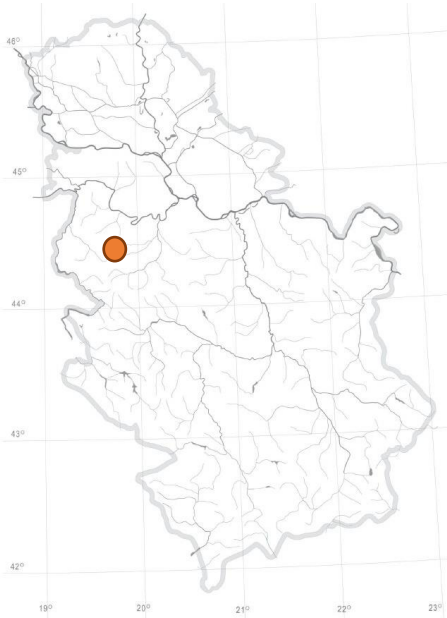
ПК Равње - ТЕ „Колубара Б“



ПК Равње - ТЕ „Костолац Б“

## 9 - ПК ШЕШЕВИЦА

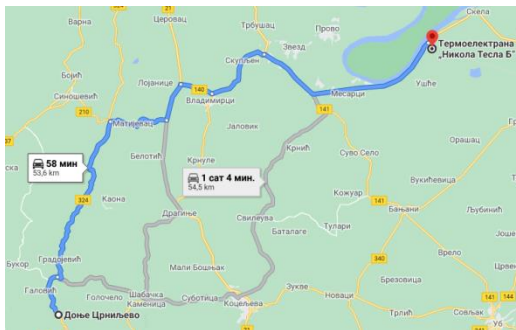
Налази се у општини Коцељева, Мачвански округ. Оверене резерве кречњака износе око 17.378.554 t. Садржај компоненте  $\text{CaCO}_3$  95,19%. Просечни годишњи капацитет површинског копа је 280.000 t, са могућношћу проширења производње. За транспорт сировине користи се друмски транспорт. Користи се као техничко - грађевински камен - фракционисани агрегат.



Локација ПК Шешевица



Комплекс ПК Шешевица



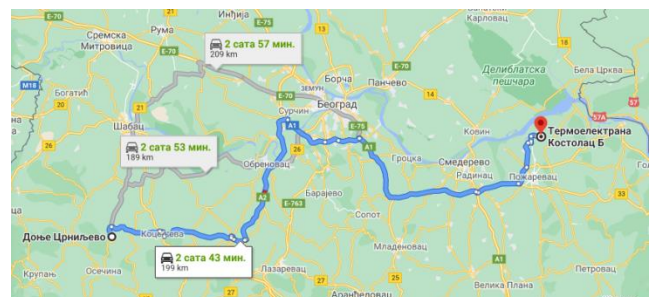
ПК Шешевица - ТЕ „Никола Тесла Б“



ПК Шешевица - ТЕ „Никола Тесла А“



ПК Шешевица - ТЕ „Колубара Б“



ПК Шешевица - ТЕ „Костолац Б“

## 10 - ПК ПОДБУКОВИ

Налази се 30 km од Ваљева ка Косјерићу. Оверене резерве кречњака износе око 17.254.093 t. Садржај компоненте  $\text{CaCO}_3$  97,04%. Просечни годишњи капацитет површинског копа је 500.000 t, са могућношћу проширења производње. За транспорт сировине користи се друмски и железнички транспорт уз надоградњу уговорног места. Користи се као техничко-грађевински камен - фракционисани агрегат.



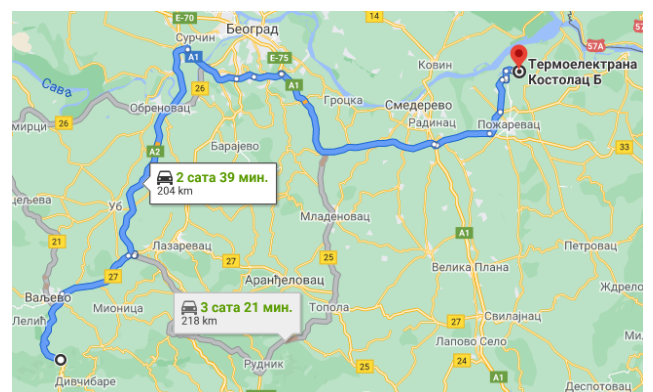
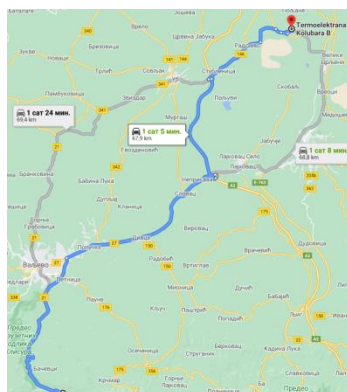
Локација ПК Подбукови

Комплекс ПК Подбукови



ПК Подбукови - ТЕ „Никола Тесла Б“

ПК Подбукови - ТЕ „Никола Тесла А“



ПК Подбукови - ТЕ „Колубара Б“

ПК Подбукови - ТЕ „Костолац Б“

## 11 - ПК КОВИЛОВАЧА

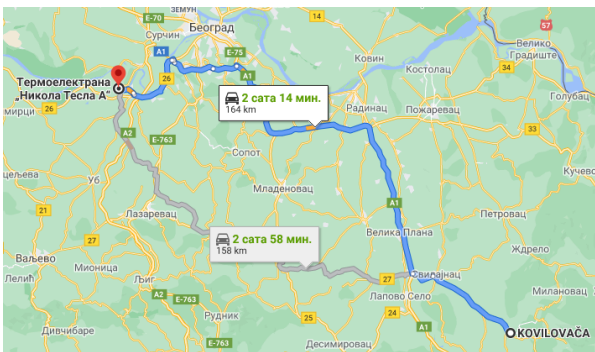
Налази се у месту Деспотовац у Поморавском округу. Оверене резерве кречњака износе око 48.541.228 т. Садржај компоненти СаО 56,49%, СаСО<sub>3</sub> 97,55%. Пројектовани годишњи капацитет површинског копа је 2.000.000 т. За транспорт сировине користи се друмски и железнички саобраћај. Квалитет кречњака омогућава широку примену, користи се као сепарисани агрегат у путоградњи, индустрија шећера, металургија и агроиндустрија итд.



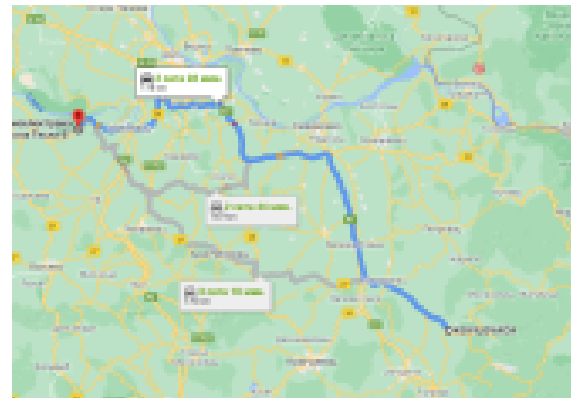
Локација ПК Ковиловача



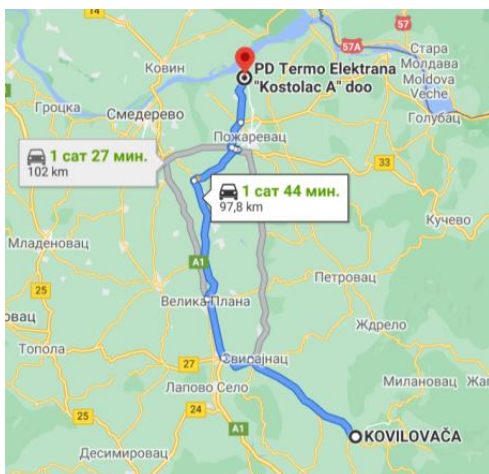
Комплекс ПК Ковиловача



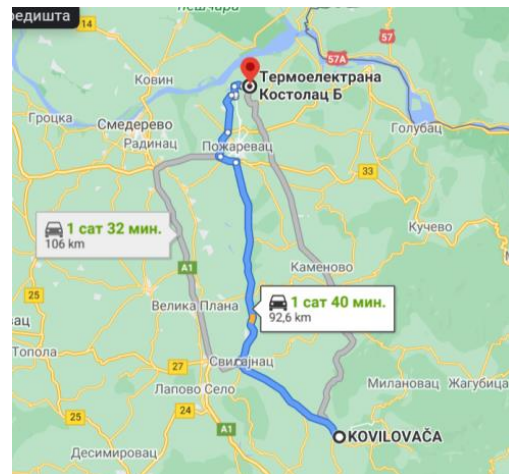
ПК Ковиловача - ТЕ „Никола Тесла А“



ПК Ковиловача - ТЕ „Никола Тесла Б“



ПК Ковиловача - ТЕ „Костолац А“



ПК Ковиловача - ТЕ „Костолац Б“

## 12 - ПК ЗАБРЕЖЈЕ

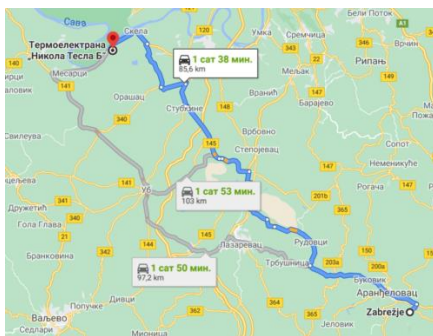
Налази се 3,5 km јужно од Аранђеловца. Оверене резерве мермера износе око 18.000.000 t. Садржај компоненте  $\text{CaCO}_3$  95,34%, селективним откопом могуће је постићи садржај и до 99,00%. Просечни годишњи капацитет површинског копа је 300.000 t. За транспорт сировине користи се друмски транспорт. Користи се као фракционисани агрегат, микронизован калцијум као карбонатна сировина у индустрији боја и лакова, папира и у фармацеутској индустрији.



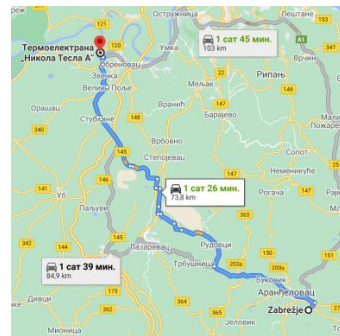
Локација ПК Забрежје



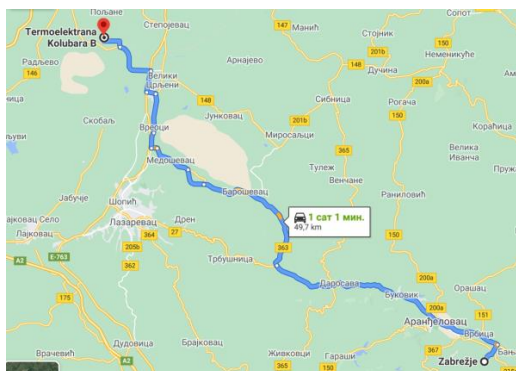
Комплекс ПК Забрежје



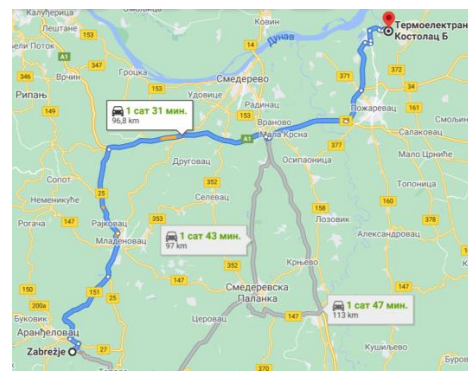
ПК Забрежје - ТЕ „Никола Тесла Б“



ПК Забрежје - ТЕ „Никола Тесла А“



ПК Забрежје - ТЕ „Колубара Б“



ПК Забрежје - ТЕ „Костолац Б“

### 13 - ПК ГРАБОВИК

Налази се 7 km северно од Пожеге у месту Јелен До. Оверене резерве кречњака износе око 53.706.736 t. Садржај компоненте  $\text{CaCO}_3$  94,96%. Просечни годишњи капацитет површинског копа је 900.000 t, са могућношћу проширења производње. За транспорт сировине користе се друмски и железнички транспорт. Користи се као сепарисани агрегат, микронизирани калцијум као карбонатна сировина.



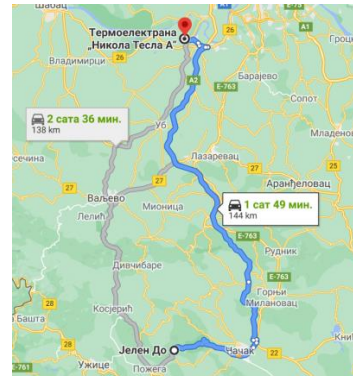
Локација ПК Грабовик



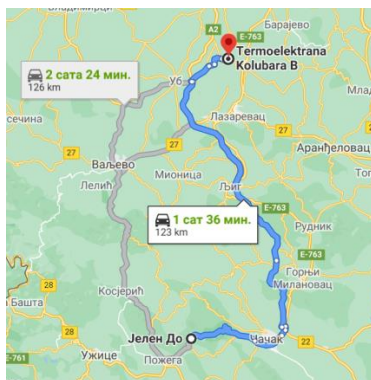
Комплекс ПК Грабовик



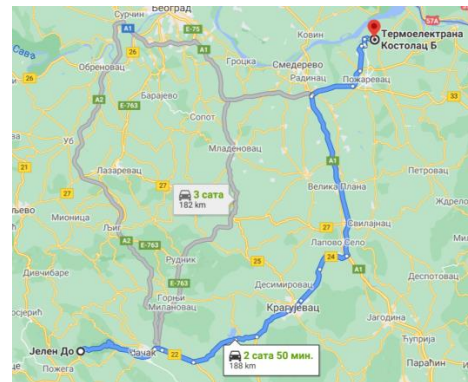
ПК Грабовик - ТЕ „Никола Тесла Б“



ПК Грабовик - ТЕ „Никола Тесла А“



ПК Грабовик - ТЕ „Колубара Б“



ПК Грабовик - ТЕ „Костолац Б“



## 14 - ПК СУВОДО

Налази се 7 km северно од Пожеге у месту Јелен До. Оверене резерве кречњака износе око 79.482.637 t. Садржај компоненте  $\text{CaCO}_3$  97,02%. Просечни годишњи капацитет површинског копа је 750.000 t. За транспорт сировине користе се друмски и железнички транспорт. Користи се као сепарисани агрегат, као техничко-грађевински камен, микронизован калцијум као карбонатна сировина за одсумпоравање димних гасова и друге технолошке поступке.

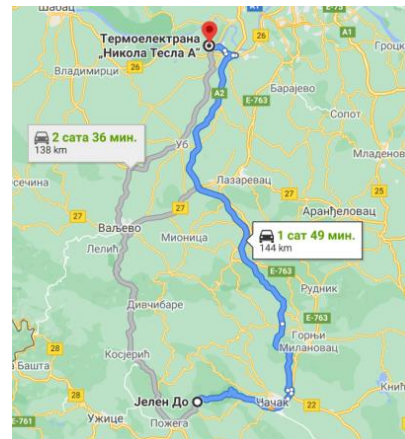


Локација ПК Суводо

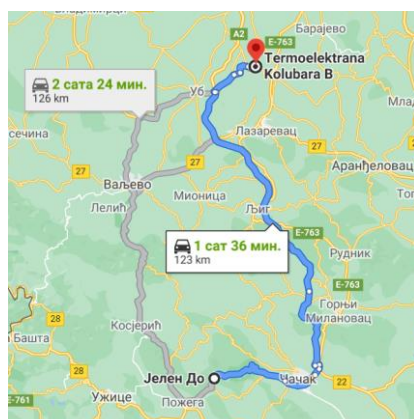
Комплекс ПК Суводо



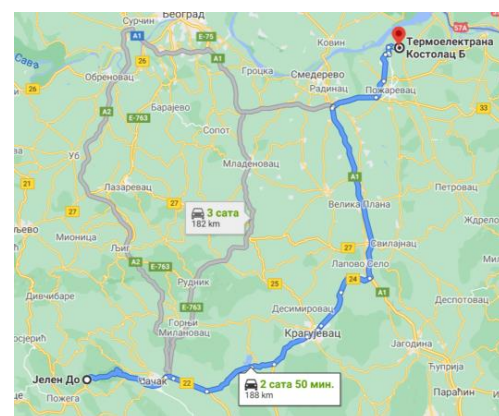
ПК Суводо - ТЕ „Никола Тесла Б“



ПК Суводо - ТЕ „Никола Тесла А“



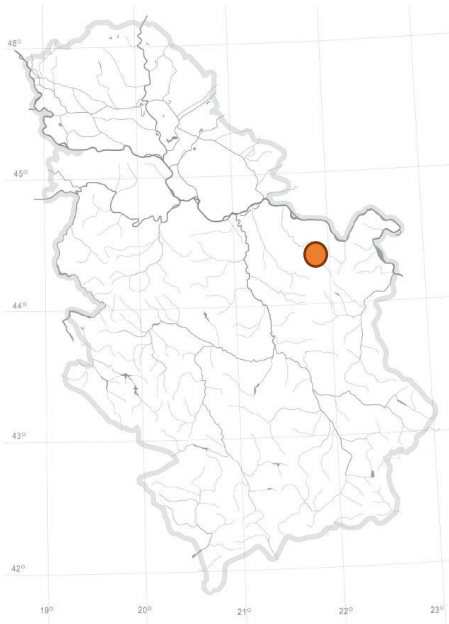
ПК Суводо - ТЕ „Колубара Б“



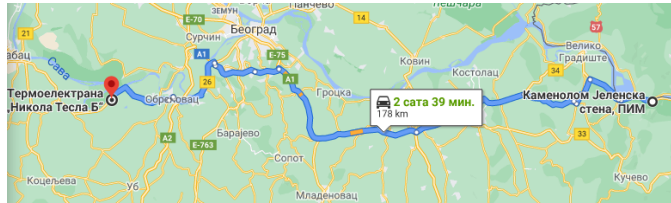
ПК Суводо - ТЕ „Костолац Б“

## 15 - ПК ЈЕЛЕНСКА СЕНА

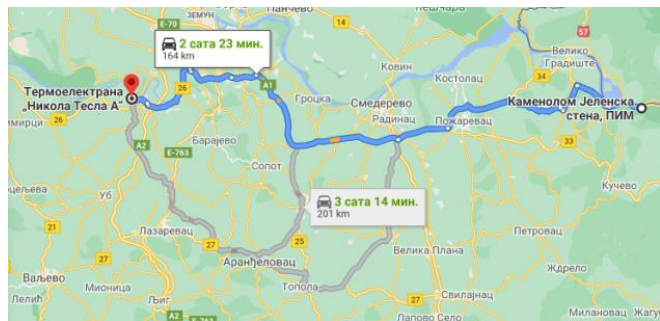
Налази се 9 km источно од Голупца. Оверене резерве кречњака износе око 17.000.000 t. Садржај компоненте  $\text{CaCO}_3$  96,06%. Просечни годишњи капацитет површинског копа је 300.000 t. За транспорт сировине користе се водени (речни) транспорт као највећа предност и друмски транспорт. Користи се као техничко-грађевински камен - фракционисани агрегат.



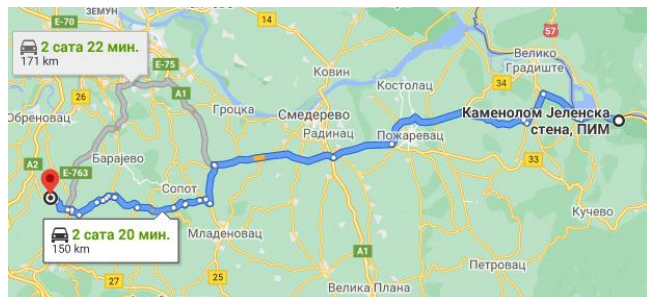
Локација ПК Јеленска стена



ПК Јеленска стена - ТЕ „Никола Тесла Б“



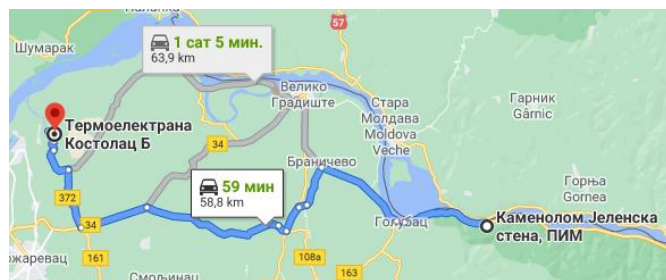
ПК Јеленска стена - ТЕ „Никола Тесла А“



ПК Јеленска стена - ТЕ „Колубара Б“



Комплекс ПК Јеленска стена



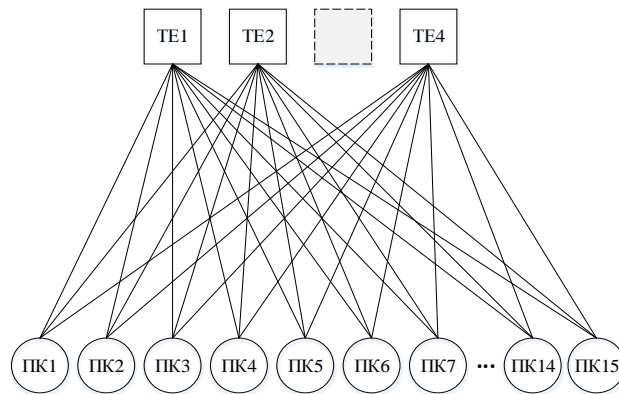
ПК Јеленска стена - ТЕ „Костолац Б“

## 4.3 МАТРИЧНИ МОДЕЛ ПОТРЕБА И ПРОИЗВОДЊЕ

### 4.3.1. ПОСТАВКА ЈЕДНОКРИТЕРИЈУМСКОГ МОДЕЛА РЕАЛНОГ СИСТЕМА

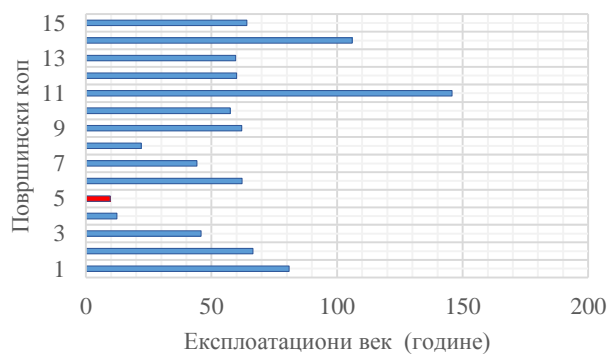
Једнокритеријумски модел реалног система почива на полазним условима:

- Број ентитета у систему варира у времену, ТЕ Колубара Б још није изграђена, а ПК5 испада из система уколико утврђене резерве корисне минералне сировине не буду проширене. У том смислу разматрају се три варијанте различитих ентитетских структура;
  - Варијанта А: у систему су три потрошача кречњака (ТЕ Никола Тесла А и Б и Костолац Б) и 15 потенцијалних снабдевача – површинских копова. Граф структуре система ове варијанте приказан је на слици 10, а модел система дат је у табели 3.

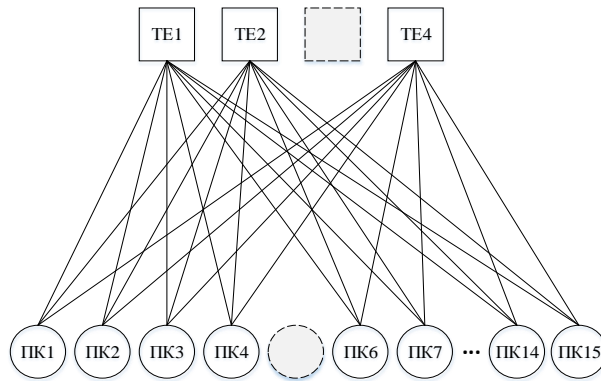


Слика 10. Варијанта А: граф структуре ситема [72]

- Варијанта Б: у систему су три потрошача кречњака (ТЕ Никола Тесла А и Б и Костолац Б) и 14 потенцијалних снабдевача – површинских копова. Под претпоставком да утврђене резерве кречњака остану непромењене и да производња ПК5 остане на садашњем нивоу, после 10 година обуставља се производња на овом површинском копу, слика 11. Граф структуре система ове варијанте приказан је на слици 12, а модел система дат је у табели 4.

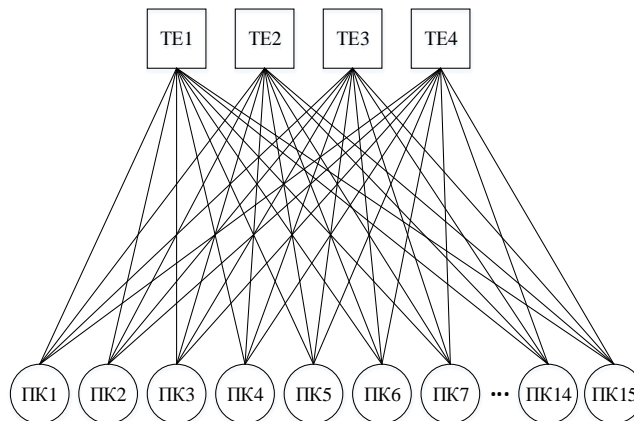


Слика 11. Експлоатациони век површинских копова – на основу утврђених резерви и садашње годишње производње [72]



Слика 12. Варијанта Б: граф структуре система [72]

- Варијанта В: у систему су четири потрошача кречњака (ТЕ Никола Тесла А и Б, Колубара Б и Костолац Б) и 15 потенцијалних снабдевача – површинских копова. Граф структуре система ове варијанте приказан је на слици 13, а модел система дат је у табели 5.



Слика 13. Варијанта В: граф структуре ситема [72]

- Критеријум оптималног снабдевања кречњаком термоелектрана, односно функционисања система на релацији производних могућности површински копова и потреба термоелектрана – је минимална јединична цена кречњака допремљеног на депонију термоелектране;
- Просечан квалитет кречњака на депонији термоелектрана мора бити  $\geq 95,00\%$   $\text{CaCO}_3$ ;
- Потребе термоелектрана за кречњаком морају бити задовољене у потпуности.

Табела 3. Варијанта А: модел система – ТЕ Колубара Б није у функцији

| Површински коп | Оверене резерве (t) | Капацитет пов. копа (t/год) | Експлоатациони век рудника (год) | СаСО <sub>2</sub> (%) | Продајна цена (дин/t) | Термоелектрана   |          |         |          |             |          |          |  |  |  |
|----------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|----------|---------|----------|-------------|----------|----------|--|--|--|
|                |                     |                             |                                  |                       |                       | Т1               |          | Т2      |          | Т3          |          | Т4       |  |  |  |
|                |                     |                             |                                  |                       |                       | Потребе (t)      |          |         |          |             |          |          |  |  |  |
|                |                     |                             |                                  |                       |                       | 245.000          |          | 270.000 |          |             |          | 285.000  |  |  |  |
|                |                     |                             |                                  |                       |                       | Трошкови (дин/t) |          |         |          |             |          |          |  |  |  |
| ТТ             |                     | ЗТ                          |                                  | Т                     |                       | ЗТ               |          | Т       |          | ЗТ          |          |          |  |  |  |
| 1              | 28.300.000          | 350.000                     | 80,86                            | 97,04                 | 520                   | 350,00           | 870,00   | 240,00  | 760,00   | Није у раду | 880,00   | 1400     |  |  |  |
| 2              | 13.299.739          | 200.000                     | 66,50                            | 99,57                 | 520                   | 567,35           | 1.087,35 | 567,35  | 1.087,35 |             | 1.362,89 | 1.882,89 |  |  |  |
| 3              | 2.293.379           | 50.000                      | 45,87                            | 98,38                 | 520                   | 771,56           | 1.291,56 | 771,56  | 1.291,56 |             | 2.571,69 | 3.091,69 |  |  |  |
| 4              | 9.911.603           | 800.000                     | 12,39                            | 98,50                 | 560                   | 758,49           | 1.318,49 | 715,31  | 1.275,31 |             | 1.449,23 | 2.009,23 |  |  |  |
| 5              | 9.703.204           | 1.000.000                   | 9,70                             | 97,54                 | 570                   | 771,56           | 1.341,56 | 771,56  | 1.341,56 |             | 2.312,66 | 2.882,66 |  |  |  |
| 6              | 9.328.875           | 150.000                     | 62,19                            | 94,39                 | 650                   | 758,49           | 1.408,49 | 758,49  | 1.408,49 |             | 1.362,89 | 2.012,89 |  |  |  |
| 7              | 7.152.849           | 162.000                     | 44,15                            | 97,97                 | 580                   | 844,83           | 1.424,83 | 715,31  | 1.295,31 |             | 1.708,26 | 2.288,26 |  |  |  |
| 8              | 6.597.322           | 300.000                     | 21,99                            | 97,00                 | 600                   | 844,83           | 1.444,83 | 672,14  | 1.272,14 |             | 1.708,26 | 2.308,26 |  |  |  |
| 9              | 17.378.554          | 280.000                     | 62,07                            | 95,19                 | 570                   | 672,14           | 1.242,14 | 542,63  | 1.112,63 |             | 1.708,26 | 2.278,26 |  |  |  |
| 10             | 17.254.093          | 300.000                     | 57,51                            | 97,04                 | 630                   | 466,66           | 1.096,66 | 466,66  | 1.096,66 |             | 731,86   | 1.361,86 |  |  |  |
| 11             | 48.541.228          | 333.000                     | 145,77                           | 97,29                 | 660                   | 731,86           | 1.391,86 | 731,86  | 1.391,86 |             | 547,46   | 1.207,46 |  |  |  |
| 12             | 18.000.000          | 300.000                     | 60,00                            | 95,34                 | 540                   | 715,31           | 1.255,31 | 801,66  | 1.341,66 |             | 931,17   | 1.471,17 |  |  |  |
| 13             | 53.706.736          | 900.000                     | 59,67                            | 94,96                 | 630                   | 568,16           | 1.198,16 | 568,16  | 1.198,16 |             | 771,56   | 1.401,56 |  |  |  |
| 14             | 79.482.637          | 750.000                     | 105,98                           | 97,02                 | 630                   | 568,16           | 1.198,16 | 568,16  | 1.198,16 |             | 771,56   | 1.401,56 |  |  |  |
| 15             | 25.642.326          | 400.000                     | 64,11                            | 96,06                 | 530                   | 920,00           | 1.450,00 | 920,00  | 1.450,00 |             | 400,00   | 930,00   |  |  |  |

**Тумач**

**ПОВРШИНСКИ КОП:**

- |                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| 1 – Јазовник       | 9 – Шешевица        |
| 2 – Рујевац        | 10 – Подбукови      |
| 3 – Чот - Трешњица | 11 – Ковиловача     |
| 4 – Крст           | 12 – Забрежје       |
| 5 – Бучевски поток | 13 – Грабовик       |
| 6 – Рујевачки крш  | 14 – Суводо         |
| 7 – Каменитовац    | 15 – Јеленска стена |
| 8 – Равње          |                     |

**ТЕРМОЕЛЕКТРАНА:**

- |                     |
|---------------------|
| Т1 – Никола Тесла А |
| Т2 – Никола Тесла Б |
| Т3 – Колубара Б     |
| Т4 – Костолац Б     |

ТРАНСПОРТ: друмски; водени; железнички

ТРОШКОВИ: тт – трошкови транспорта; зт – збирни трошкови

Табела 4. Варијанта Б: Модел система – ТЕ Колубара Б и ПК5 нису у функцији

| Површински коп | Оверене резерве (t) | Капацитет пов. копа (t/год) | Експлоатациони век рудника (год) | СаСО <sub>2</sub> (%) | Продајна цена (дин/t) | Термоелектрана   |          |         |          |    |          |          |  |
|----------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|----------|---------|----------|----|----------|----------|--|
|                |                     |                             |                                  |                       |                       | Т1               |          | Т2      |          | Т3 |          | Т4       |  |
|                |                     |                             |                                  |                       |                       | Потребе (t)      |          |         |          |    |          |          |  |
|                |                     |                             |                                  |                       |                       | 245.000          |          | 270.000 |          |    |          | 285.000  |  |
|                |                     |                             |                                  |                       |                       | Трошкови (дин/t) |          |         |          |    |          |          |  |
| ТТ             | ЗТ                  | Т                           | ЗТ                               | Није у раду           |                       | Т                | ЗТ       |         |          |    |          |          |  |
| 1              | 28.300.000          | 350.000                     | 80,86                            | 97,04                 | 520                   | 350,00           | 870,00   | 240,00  | 760,00   |    | 880,00   | 1.400,00 |  |
| 2              | 13.299.739          | 200.000                     | 66,50                            | 99,57                 | 520                   | 567,35           | 1.087,35 | 567,35  | 1.087,35 |    | 1.362,89 | 1.882,89 |  |
| 3              | 2.293.379           | 50.000                      | 45,87                            | 98,38                 | 520                   | 771,56           | 1.291,56 | 771,56  | 1.291,56 |    | 2.571,69 | 3.091,69 |  |
| 4              | 9.911.603           | 800.000                     | 12,39                            | 98,50                 | 560                   | 758,49           | 1.318,49 | 715,31  | 1.275,31 |    | 1.449,23 | 2.009,23 |  |
| 5              | Обустава рад        |                             |                                  |                       |                       |                  |          |         |          |    |          |          |  |
| 6              | 9.328.875           | 150.000                     | 62,19                            | 94,39                 | 650                   | 758,49           | 1.408,49 | 758,49  | 1.408,49 |    | 1.362,89 | 2.012,89 |  |
| 7              | 7.152.849           | 162.000                     | 44,15                            | 97,97                 | 580                   | 844,83           | 1.424,83 | 715,31  | 1.295,31 |    | 1.708,26 | 2.288,26 |  |
| 8              | 6.597.322           | 300.000                     | 21,99                            | 97,00                 | 600                   | 844,83           | 1.444,83 | 672,14  | 1.272,14 |    | 1.708,26 | 2.308,26 |  |
| 9              | 17.378.554          | 280.000                     | 62,07                            | 95,19                 | 570                   | 672,14           | 1.242,14 | 542,63  | 1.112,63 |    | 1.708,26 | 2.278,26 |  |
| 10             | 17.254.093          | 300.000                     | 57,51                            | 97,04                 | 630                   | 466,66           | 1.096,66 | 466,66  | 1.096,66 |    | 731,86   | 1.361,86 |  |
| 11             | 48.541.228          | 333.000                     | 145,77                           | 97,29                 | 660                   | 731,86           | 1.391,86 | 731,86  | 1.391,86 |    | 547,46   | 1.207,46 |  |
| 12             | 18.000.000          | 300.000                     | 60,00                            | 95,34                 | 540                   | 715,31           | 1.255,31 | 801,66  | 1.341,66 |    | 931,17   | 1.471,17 |  |
| 13             | 53.706.736          | 900.000                     | 59,67                            | 94,96                 | 630                   | 568,16           | 1.198,16 | 568,16  | 1.198,16 |    | 771,56   | 1.401,56 |  |
| 14             | 79.482.637          | 750.000                     | 105,98                           | 97,02                 | 630                   | 568,16           | 1.198,16 | 568,16  | 1.198,16 |    | 771,56   | 1.401,56 |  |
| 15             | 25.642.326          | 400.000                     | 64,11                            | 96,06                 | 530                   | 920,00           | 1.450,00 | 920,00  | 1.450,00 |    | 400,00   | 930,00   |  |

**Тумач**

## ПОВРШИНСКИ КОП:

- 1 – Јазовник  
2 – Рујевац  
3 – Чот - Трешњица  
4 – Крст  
5 – Бучевски поток  
6 – Рујевачки крш  
7 – Каменитовац  
8 – Равње

- 9 – Шешевица  
10 – Подбукови  
11 – Ковиловача  
12 – Забрежје  
13 – Грабовик  
14 – Суводо  
15 – Јеленска стена

## ТЕРМОЕЛЕКТРАНА:

- Т1 – Никола Тесла А  
Т2 – Никола Тесла Б  
Т3 – Колубара Б  
Т4 – Костолац Б

ТРАНСПОРТ: друмски; водени; железнички

ТРОШКОВИ: тт – трошкови транспорта; зт – збирни трошкови

Табела 5. Варијанта В: Модел система – сви ентитети су у функцији [72]

| Површински коп | Оверене резерве (t) | Капацитет пов. копа (t/год) | Експлоатациони век рудника (год) | СаСО <sub>3</sub> (%) | Продајна цена (дин/t) | Термоелектрана   |          |         |          |          |          |          |          |
|----------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                |                     |                             |                                  |                       |                       | Т1               |          | Т2      |          | Т3       |          | Т4       |          |
|                |                     |                             |                                  |                       |                       | Потребе (t)      |          |         |          |          |          |          |          |
|                |                     |                             |                                  |                       |                       | 245.000          |          | 270.000 |          | 75.000   |          | 285.000  |          |
|                |                     |                             |                                  |                       |                       | Трошкови (дин/t) |          |         |          |          |          |          |          |
|                |                     |                             |                                  |                       |                       | тт               | зт       | т       | зт       | т        | зт       | т        | зт       |
| 1              | 28.300.000          | 350.000                     | 80,86                            | 97,04                 | 520                   | 350,00           | 870,00   | 240,00  | 760,00   | 380,00   | 1.490,00 | 880,00   | 1.400,00 |
| 2              | 13.299.739          | 200.000                     | 66,50                            | 99,57                 | 520                   | 567,35           | 1.087,35 | 567,35  | 1.087,35 | 313,43   | 833,43   | 1.362,89 | 1.882,89 |
| 3              | 2.293.379           | 50.000                      | 45,87                            | 98,38                 | 520                   | 771,56           | 1.291,56 | 771,56  | 1.291,56 | 771,56   | 1.291,56 | 2.571,69 | 3.091,69 |
| 4              | 9.911.603           | 800.000                     | 12,39                            | 98,50                 | 560                   | 758,49           | 1.318,49 | 715,31  | 1.275,31 | 585,80   | 1.145,80 | 1.449,23 | 2.009,23 |
| 5              | 9.703.204           | 1.000.000                   | 9,70                             | 97,54                 | 570                   | 771,56           | 1.341,56 | 771,56  | 1.341,56 | 771,56   | 1.341,56 | 2.312,66 | 2.882,66 |
| 6              | 9.328.875           | 150.000                     | 62,19                            | 94,39                 | 650                   | 758,49           | 1.408,49 | 758,49  | 1.408,49 | 585,80   | 1.235,80 | 1.362,89 | 2.012,89 |
| 7              | 7.152.849           | 162.000                     | 44,15                            | 97,97                 | 580                   | 844,83           | 1.424,83 | 715,31  | 1.295,31 | 931,17   | 1.511,17 | 1.708,26 | 2.288,26 |
| 8              | 6.597.322           | 300.000                     | 21,99                            | 97,00                 | 600                   | 844,83           | 1.444,83 | 672,14  | 1.272,14 | 931,17   | 1.531,17 | 1.708,26 | 2.308,26 |
| 9              | 17.378.554          | 280.000                     | 62,07                            | 95,19                 | 570                   | 672,14           | 1.242,14 | 542,63  | 1.112,63 | 628,97   | 1.198,97 | 1.708,26 | 2.278,26 |
| 10             | 17.254.093          | 300.000                     | 57,51                            | 97,04                 | 630                   | 466,66           | 1.096,66 | 466,66  | 1.096,66 | 466,66   | 1.096,66 | 731,86   | 1.361,86 |
| 11             | 48.541.228          | 333.000                     | 145,77                           | 97,29                 | 660                   | 731,86           | 1.391,86 | 731,86  | 1.391,86 | 731,86   | 1.391,86 | 547,46   | 1.207,46 |
| 12             | 18.000.000          | 300.000                     | 60,00                            | 95,34                 | 540                   | 715,31           | 1.255,31 | 801,66  | 1.341,66 | 499,46   | 1.039,46 | 931,17   | 1.471,17 |
| 13             | 53.706.736          | 900.000                     | 59,67                            | 94,96                 | 630                   | 568,16           | 1.198,16 | 568,16  | 1.198,16 | 568,16   | 1.198,16 | 771,56   | 1.401,56 |
| 14             | 79.482.637          | 750.000                     | 105,98                           | 97,02                 | 630                   | 568,16           | 1.198,16 | 568,16  | 1.198,16 | 568,16   | 1.198,16 | 771,56   | 1.401,56 |
| 15             | 25.642.326          | 400.000                     | 64,11                            | 96,06                 | 530                   | 920,00           | 1.450,00 | 920,00  | 1.450,00 | 1.362,89 | 1.892,89 | 400,00   | 930,00   |

**Тумач**

ПОВРШИНСКИ КОП:

- 1 – Јазовник
- 2 – Рујевац
- 3 – Чот - Трешњица
- 4 – Крст
- 5 – Бучевски поток
- 6 – Рујевачки крш
- 7 – Каменитовац
- 8 – Равње
- 9 – Шешевица
- 10 – Подбукови
- 11 – Ковиловача
- 12 – Забрежје
- 13 – Грабовик
- 14 – Суводо
- 15 – Јеленска стена

ТЕРМОЕЛЕКТРАНА:

- Т1 – Никола Тесла А
- Т2 – Никола Тесла Б
- Т3 – Колубара Б
- Т4 – Костолац Б

ТРАНСПОРТ: друмски; водени; железнички

ТРОШКОВИ: тт – тршкови транспорта; зт – збирни трошкови

#### 4.3.2. ПОСТАВКА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ МОДЕЛА РЕАЛНОГ СИСТЕМА

У изради Тезе је коришћена PROMETHEE II метода. Тежински фактори атрибута за рангирање површинских копова представљени су у табели 6. Коришћен је критеријум линеарне преференције са подручјем индиферентности.

Рангирање површинских копова (алтернатива) урађено је помоћу Decision Lab софтвера.

Полазни услови вишекритеријумског модела реалног система:

1. Број ентитета у систему варира у времену, ТЕ Колубара Б још није изграђена, а ПК5 испада из система уколико утврђене резерве корисне минералне сировине не буду проширене. У том смислу разматрају се три варијанте различитих ентитетских структура;
2. Варијанта А: у систему су три потрошача кречњака (ТЕ Никола Тесла А и Б и Костолац Б) и 15 потенцијалних снабдевача – површинских копова. Граф структуре система ове варијанте приказан је на слици 10, а модел система представљен је у табели 7.
3. Варијанта Б: у систему су три потрошача кречњака (ТЕ Никола Тесла А и Б и Костолац Б) и 14 потенцијалних снабдевача – површинских копова. Под претпоставком да утврђене резерве кречњака остану непромењен и да производња ПК5 остане на садашњем нивоу, после 10 година обуставља се производња на овом површинском копу, слика 11. Граф структуре система ове варијанте приказан је на слици 12, а модел система представљен је у табели 8.
4. Варијанта В: у систему су четири потрошача кречњака (ТЕ Никола Тесла А и Б, Колубара Б и Костолац Б) и 15 потенцијалних снабдевача – површинских копова. Граф структуре система ове варијанте приказан је на слици 13, а модел система представљен је у табели 9.
5. Укупна број критеријума осам.
6. Критеријум трошкова (трошкови производње и транспорта) – цена кречњака → MIN.
7. Критеријум квалитета сировине (садржај  $\text{CaCO}_3$ ) → MAX
8. Критеријум производних могућности, односно капацитета површинског копа → MAX
9. Критеријум експлоатационог века површинског копа → MAX



Табела 6. Тежине критеријума [72]

| Атрибути    | Капацитет ПК | Експлоатациони<br>Век ПК | Квалитет<br>кречњака | Производна цена<br>кречњака | Трошкови транспорта |        |        |        |
|-------------|--------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|--------|--------|--------|
|             |              |                          |                      |                             | ПК-ТЕ1              | ПК-ТЕ2 | ПК-ТЕ3 | ПК-ТЕ4 |
|             |              |                          |                      |                             | A1                  | A2     | A3     | A4     |
| Тежине      | 0,15         | 0,1                      | 0,7                  | 0,55                        | 0,7                 | 0,7    | 0,7    | 0,7    |
| Критеријуми | MAX          | MAX                      | MAX                  | MIN                         | MIN                 | MIN    | MIN    | MIN    |

Табела 7. Варијанта А: Модел система – ТЕ Колубара Б није у функцији [72]

| Површински<br>коп | Атрибути     |        |       |      |          |          |  |          |
|-------------------|--------------|--------|-------|------|----------|----------|--|----------|
|                   | A1           | A2     | A3    | A4   | A5       | A6       |  | A8       |
| 1                 | 350.000,00   | 80,86  | 97,04 | 520  | 870,00   | 760,00   |  | 1.400,00 |
| 2                 | 200.000,00   | 66,50  | 99,57 | 520  | 1.087,35 | 1.087,35 |  | 1.882,89 |
| 3                 | 50.000,00    | 45,87  | 98,38 | 520  | 1.291,56 | 1.291,56 |  | 3.091,69 |
| 4                 | 800.000,00   | 12,39  | 98,50 | 560  | 1.318,49 | 1.275,31 |  | 2.009,23 |
| 5                 | 1.000.000,00 | 9,70   | 97,54 | 570  | 1.341,56 | 1.341,56 |  | 2.882,66 |
| 6                 | 150.000,00   | 62,19  | 94,39 | 650  | 1.408,49 | 1.408,49 |  | 2.012,89 |
| 7                 | 162.000,00   | 44,15  | 97,97 | 580  | 1.424,83 | 1.295,31 |  | 2.288,26 |
| 8                 | 300.000,00   | 21,99  | 97,00 | 600  | 1.444,83 | 1.272,14 |  | 2.308,26 |
| 9                 | 280.000,00   | 62,07  | 95,19 | 570  | 1.242,14 | 1.112,63 |  | 2.278,26 |
| 10                | 300.000,00   | 57,51  | 97,04 | 630  | 1.096,66 | 1.096,66 |  | 1.361,86 |
| 11                | 333.000,00   | 145,77 | 97,29 | 660  | 1.391,86 | 1.391,86 |  | 1.207,46 |
| 12                | 300.000,00   | 60,00  | 95,34 | 540  | 1.255,31 | 1.341,66 |  | 1.471,17 |
| 13                | 900.000,00   | 59,67  | 94,96 | 630  | 1.198,16 | 1.198,16 |  | 1.401,56 |
| 14                | 750.000,00   | 105,98 | 97,02 | 630  | 1.198,16 | 1.198,16 |  | 1.401,56 |
| 15                | 400.000,00   | 64,11  | 96,06 | 530  | 1.450,00 | 1.450,00 |  | 930,00   |
| Тежине            | 0,15         | 0,1    | 0,7   | 0,55 | 0,7      | 0,7      |  | 0,7      |
| Критеријуми       | MAX          | MAX    | MAX   | MIN  | MIN      | MIN      |  | MIN      |

Табела 8. Варијанта Б: Модел система – ТЕ Колубара Б и ПК5 нису у функцији [72]

| Површински<br>коп | Атрибути   |        |       |      |          |          |          |
|-------------------|------------|--------|-------|------|----------|----------|----------|
|                   | A1         | A2     | A3    | A4   | A5       | A6       | A8       |
| 1                 | 350.000,00 | 80,86  | 97,04 | 520  | 870,00   | 760,00   | 1.400,00 |
| 2                 | 200.000,00 | 66,50  | 99,57 | 520  | 1.087,35 | 1.087,35 | 1.882,89 |
| 3                 | 50.000,00  | 45,87  | 98,38 | 520  | 1.291,56 | 1.291,56 | 3.091,69 |
| 4                 | 800.000,00 | 12,39  | 98,50 | 560  | 1.318,49 | 1.275,31 | 2.009,23 |
| 5                 |            |        |       |      |          |          |          |
| 6                 | 150.000,00 | 62,19  | 94,39 | 650  | 1.408,49 | 1.408,49 | 2.012,89 |
| 7                 | 162.000,00 | 44,15  | 97,97 | 580  | 1.424,83 | 1.295,31 | 2.288,26 |
| 8                 | 300.000,00 | 21,99  | 97,00 | 600  | 1.444,83 | 1.272,14 | 2.308,26 |
| 9                 | 280.000,00 | 62,07  | 95,19 | 570  | 1.242,14 | 1.112,63 | 2.278,26 |
| 10                | 300.000,00 | 57,51  | 97,04 | 630  | 1.096,66 | 1.096,66 | 1.361,86 |
| 11                | 333.000,00 | 145,77 | 97,29 | 660  | 1.391,86 | 1.391,86 | 1.207,46 |
| 12                | 300.000,00 | 60,00  | 95,34 | 540  | 1.255,31 | 1.341,66 | 1.471,17 |
| 13                | 900.000,00 | 59,67  | 94,96 | 630  | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.401,56 |
| 14                | 750.000,00 | 105,98 | 97,02 | 630  | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.401,56 |
| 15                | 400.000,00 | 64,11  | 96,06 | 530  | 1.450,00 | 1.450,00 | 930,00   |
| Тежине            | 0,15       | 0,1    | 0,7   | 0,55 | 0,7      | 0,7      | 0,7      |
| Критеријуми       | MAX        | MAX    | MAX   | MIN  | MIN      | MIN      | MIN      |

Табела 9. Варијанта В: Модел система – сви ентитети су у функцији [72]

| Површински<br>коп | Атрибути  |        |       |      |          |          |          |          |
|-------------------|-----------|--------|-------|------|----------|----------|----------|----------|
|                   | A1        | A2     | A3    | A4   | A5       | A6       | A7       | A8       |
| 1                 | 350.000   | 80,86  | 97,04 | 520  | 870,00   | 760,00   | 1.490,00 | 1.400,00 |
| 2                 | 200.000   | 66,50  | 99,57 | 520  | 1.087,35 | 1.087,35 | 833,43   | 1.882,89 |
| 3                 | 50.000    | 45,87  | 98,38 | 520  | 1.291,56 | 1.291,56 | 1.291,56 | 3.091,69 |
| 4                 | 800.000   | 12,39  | 98,50 | 560  | 1.318,49 | 1.275,31 | 1.145,80 | 2.009,23 |
| 5                 | 1.000.000 | 9,70   | 97,54 | 570  | 1.341,56 | 1.341,56 | 1.341,56 | 2.882,66 |
| 6                 | 150.000   | 62,19  | 94,39 | 650  | 1.408,49 | 1.408,49 | 1.235,80 | 2.012,89 |
| 7                 | 162.000   | 44,15  | 97,97 | 580  | 1.424,83 | 1.295,31 | 1.511,17 | 2.288,26 |
| 8                 | 300.000   | 21,99  | 97,00 | 600  | 1.444,83 | 1.272,14 | 1.531,17 | 2.308,26 |
| 9                 | 280.000   | 62,07  | 95,19 | 570  | 1.242,14 | 1.112,63 | 1.198,97 | 2.278,26 |
| 10                | 300.000   | 57,51  | 97,04 | 630  | 1.096,66 | 1.096,66 | 1.096,66 | 1.361,86 |
| 11                | 333.000   | 145,77 | 97,29 | 660  | 1.391,86 | 1.391,86 | 1.391,86 | 1.207,46 |
| 12                | 300.000   | 60,00  | 95,34 | 540  | 1.255,31 | 1.341,66 | 1.039,46 | 1.471,17 |
| 13                | 900.000   | 59,67  | 94,96 | 630  | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.401,56 |
| 14                | 750.000   | 105,98 | 97,02 | 630  | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.401,56 |
| 15                | 400.000   | 64,11  | 96,06 | 530  | 1.450,00 | 1.450,00 | 1.892,89 | 930,00   |
| Тежине            | 0,15      | 0,1    | 0,7   | 0,55 | 0,7      | 0,7      | 0,7      | 0,7      |
| Критеријуми       | MAX       | MAX    | MAX   | MIN  | MIN      | MIN      | MIN      | MIN      |

### 4.3.3. МАТЕМАТИЧКИ ЈЕДНОКРИТЕРИЈУМСКИ МОДЕЛ РЕАЛНОГ СИСТЕМА

На основу поставке једнокритеријумског модела развијени су матрични модели за варијанте које су разматране у току истраживања. У табелама 10, 11 и 12, представљени су матрични модели за варијанте А, Б и В.

#### Варијанта А:

Табела 10. Матрични модел Варијанте А

| Пов. коп | $Q_{\max}$<br>(t/год) | $S_{kk}$<br>(%) | Термоелектрана             |            |            |            |                     |            |
|----------|-----------------------|-----------------|----------------------------|------------|------------|------------|---------------------|------------|
|          |                       |                 | Т1                         |            | Т2         |            | Т3 (Т4)             |            |
|          |                       |                 | Потреба (t)                |            |            |            |                     |            |
|          |                       |                 | $P_{TE1}$                  |            | $P_{TE2}$  |            | $P_{TE3} (P_{TE4})$ |            |
|          |                       |                 | Цена (дин/t), испорука (t) |            |            |            |                     |            |
|          |                       |                 | Цена                       | Испорука   | Цена       | Испорука   | Цена                | Испорука   |
| 1        | $Q_1$                 | $S_1$           | $c_{1,1}$                  | $x_{1,1}$  | $c_{1,2}$  | $x_{1,2}$  | $c_{1,3}$           | $x_{1,3}$  |
| 2        | $Q_2$                 | $S_2$           | $c_{2,1}$                  | $x_{2,1}$  | $c_{2,2}$  | $x_{2,2}$  | $c_{2,3}$           | $x_{2,3}$  |
| 3        | $Q_3$                 | $S_3$           | $c_{3,1}$                  | $x_{3,1}$  | $c_{3,2}$  | $x_{3,2}$  | $c_{3,3}$           | $x_{3,3}$  |
| 4        | $Q_4$                 | $S_4$           | $c_{4,1}$                  | $x_{4,1}$  | $c_{4,2}$  | $x_{4,2}$  | $c_{4,3}$           | $x_{4,3}$  |
| 5        | $Q_5$                 | $S_5$           | $c_{5,1}$                  | $x_{5,1}$  | $c_{5,2}$  | $x_{5,2}$  | $c_{5,3}$           | $x_{5,3}$  |
| 6        | $Q_6$                 | $S_6$           | $c_{6,1}$                  | $x_{6,1}$  | $c_{6,2}$  | $x_{6,2}$  | $c_{6,3}$           | $x_{6,3}$  |
| 7        | $Q_7$                 | $S_7$           | $c_{7,1}$                  | $x_{7,1}$  | $c_{7,2}$  | $x_{7,2}$  | $c_{7,3}$           | $x_{7,3}$  |
| 8        | $Q_8$                 | $S_8$           | $c_{8,1}$                  | $x_{8,1}$  | $c_{8,2}$  | $x_{8,2}$  | $c_{8,3}$           | $x_{8,3}$  |
| 9        | $Q_9$                 | $S_9$           | $c_{9,1}$                  | $x_{9,1}$  | $c_{9,2}$  | $x_{9,2}$  | $c_{9,3}$           | $x_{9,3}$  |
| 10       | $Q_{10}$              | $S_{10}$        | $c_{10,1}$                 | $x_{10,1}$ | $c_{10,2}$ | $x_{10,2}$ | $c_{10,3}$          | $x_{10,3}$ |
| 11       | $Q_{11}$              | $S_{11}$        | $c_{11,1}$                 | $x_{11,1}$ | $c_{11,2}$ | $x_{11,2}$ | $c_{11,3}$          | $x_{11,3}$ |
| 12       | $Q_{12}$              | $S_{12}$        | $c_{12,1}$                 | $x_{12,1}$ | $c_{12,2}$ | $x_{12,2}$ | $c_{12,3}$          | $x_{12,3}$ |
| 13       | $Q_{13}$              | $S_{13}$        | $c_{13,1}$                 | $x_{13,1}$ | $c_{13,2}$ | $x_{13,2}$ | $c_{13,3}$          | $x_{13,3}$ |
| 14       | $Q_{14}$              | $S_{14}$        | $c_{14,1}$                 | $x_{14,1}$ | $c_{14,2}$ | $x_{14,2}$ | $c_{14,3}$          | $x_{14,3}$ |
| 15       | $Q_{15}$              | $S_{15}$        | $c_{15,1}$                 | $x_{15,1}$ | $c_{15,2}$ | $x_{15,2}$ | $c_{15,3}$          | $x_{15,3}$ |

## Симболички једнокритеријумски модел Варијанте А

### ФУНКЦИЈА КРИТЕРИЈУМА

$$f(x)_{\min} = C_{1,1}x_{1,1} + C_{1,2}x_{1,2} + C_{1,3}x_{1,3} + C_{2,1}x_{2,1} + C_{2,2}x_{2,2} + C_{2,3}x_{2,3} + C_{3,1}x_{3,1} + C_{3,2}x_{3,2} + C_{3,3}x_{3,3} + \dots + C_{15,1}x_{15,1} + C_{15,2}x_{15,2} + C_{15,3}x_{15,3} \rightarrow \min$$

### ОГРАНИЧЕЊА

#### Услови могућности производње

$$x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} \leq Q_1$$

$$x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} \leq Q_2$$

$$x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3} \leq Q_3$$

...

$$x_{15,1} + x_{15,2} + x_{15,3} \leq Q_{15}$$

#### Услови потреба термоелектрана

$$x_{1,1} + x_{2,1} + x_{3,1} + x_{4,1} + x_{5,1} + x_{6,1} + x_{7,1} + x_{8,1} + x_{9,1} + x_{10,1} + x_{11,1} + x_{12,1} + x_{13,1} + x_{14,1} + x_{15,1} = P_{TE1}$$

$$x_{1,2} + x_{2,2} + x_{3,2} + x_{4,2} + x_{5,2} + x_{6,2} + x_{7,2} + x_{8,2} + x_{9,2} + x_{10,2} + x_{11,2} + x_{12,2} + x_{13,2} + x_{14,2} + x_{15,2} = P_{TE2}$$

$$x_{1,3} + x_{2,3} + x_{3,3} + x_{4,3} + x_{5,3} + x_{6,3} + x_{7,3} + x_{8,3} + x_{9,3} + x_{10,3} + x_{11,3} + x_{12,3} + x_{13,3} + x_{14,3} + x_{15,3} = P_{TE4}$$

#### Услови квалитета сировине

$$[(x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3})S_1 + (x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3})S_2 + (x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3})S_3 + \dots + (x_{15,1} + x_{15,2} + x_{15,3})S_{15}] / (\sum x_{i,j}) \geq S_{\min} \text{ за } i=1,15; j=1,4$$

$$x_{i,j} \geq 0$$

## Цифарски једнокритеријумски модел Варијанте А

### ФУНКЦИЈА КРИТЕРИЈУМА

$$f(x)_{\min} = 870x_{1,1} + 760x_{1,2} + 1.400x_{1,3} + 1.087,35x_{2,1} + 1087,35x_{2,2} + 1.882,89x_{2,3} + 1.291,56x_{3,1} + 1.291,56x_{3,2} + 3.091,69x_{3,3} + [\dots] + 1.450x_{15,1} + 1.450x_{15,2} + 930x_{15,3} \rightarrow \min$$

## ОГРАНИЧЕЊА

Услов могућности производње

$$x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} \leq 350.000$$

$$x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} \leq 200.000$$

$$x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3} \leq 50.000$$

$$x_{4,1} + x_{4,2} + x_{4,3} \leq 800.000$$

$$x_{5,1} + x_{5,2} + x_{5,3} \leq 1.000.000$$

$$x_{6,1} + x_{6,2} + x_{6,3} \leq 150.000$$

$$x_{7,1} + x_{7,2} + x_{7,3} \leq 162.000$$

$$x_{8,1} + x_{8,2} + x_{8,3} \leq 300.000$$

$$x_{9,1} + x_{9,2} + x_{9,3} \leq 280.000$$

$$x_{10,1} + x_{10,2} + x_{10,3} \leq 300.000$$

$$x_{11,1} + x_{11,2} + x_{11,3} \leq 333.000$$

$$x_{12,1} + x_{12,2} + x_{12,3} \leq 300.000$$

$$x_{13,1} + x_{13,2} + x_{13,3} \leq 900.000$$

$$x_{14,1} + x_{14,2} + x_{14,3} \leq 750.000$$

$$x_{15,1} + x_{15,2} + x_{15,3} \leq 400.000$$

Услови потреба термоелектрана

$$x_{1,1} + x_{2,1} + x_{3,1} + x_{4,1} + x_{5,1} + x_{6,1} + x_{7,1} + x_{8,1} + x_{9,1} + x_{10,1} + x_{11,1} + x_{12,1} + x_{13,1} + x_{14,1} + x_{15,1} = 245.000$$

$$x_{1,2} + x_{2,2} + x_{3,2} + x_{4,2} + x_{5,2} + x_{6,2} + x_{7,2} + x_{8,2} + x_{9,2} + x_{10,2} + x_{11,2} + x_{12,2} + x_{13,2} + x_{14,2} + x_{15,2} = 270.000$$

$$x_{1,3} + x_{2,3} + x_{3,3} + x_{4,3} + x_{5,3} + x_{6,3} + x_{7,3} + x_{8,3} + x_{9,3} + x_{10,3} + x_{11,3} + x_{12,3} + x_{13,3} + x_{14,3} + x_{15,3} = 285.000$$

Услов квалитета сировине

$$[(x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3})97,04 + (x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3})99,57 + (x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3})98,38 + \dots]$$

$$(x_{15,1} + x_{15,2} + x_{15,3})96,06] / (\sum x_{i,j}) \geq 95 \quad i=1,15; \quad j=1,4$$

$$x_{i,j} \geq 0$$

ВАРИЈАНТА Б:

Табела 11. Матрични модел Варијанте Б

| Пов. коп | $Q_{\max}$<br>(t/год) | $S_{kk}$<br>(%) | Термоелектрана             |            |            |            |                         |            |
|----------|-----------------------|-----------------|----------------------------|------------|------------|------------|-------------------------|------------|
|          |                       |                 | Т1                         |            | Т2         |            | Т3 (Т4)                 |            |
|          |                       |                 | Потреба (t)                |            |            |            |                         |            |
|          |                       |                 | $P_{TE1}$                  |            | $P_{TE2}$  |            | $P_{TE3}$ ( $P_{TE4}$ ) |            |
|          |                       |                 | Цена (дин/t), испорука (t) |            |            |            |                         |            |
|          |                       |                 | Цена                       | Испорука   | Цена       | Испорука   | Цена                    | Испорука   |
| 1        | $Q_1$                 | $S_1$           | $C_{1,1}$                  | $X_{1,1}$  | $C_{1,2}$  | $X_{1,2}$  | $C_{1,3}$               | $X_{1,3}$  |
| 2        | $Q_2$                 | $S_2$           | $C_{2,1}$                  | $X_{2,1}$  | $C_{2,2}$  | $X_{2,2}$  | $C_{2,3}$               | $X_{2,3}$  |
| 3        | $Q_3$                 | $S_3$           | $C_{3,1}$                  | $X_{3,1}$  | $C_{3,2}$  | $X_{3,2}$  | $C_{3,3}$               | $X_{3,3}$  |
| 4        | $Q_4$                 | $S_4$           | $C_{4,1}$                  | $X_{4,1}$  | $C_{4,2}$  | $X_{4,2}$  | $C_{4,3}$               | $X_{4,3}$  |
| 5        | $Q_5$                 | $S_5$           | $C_{5,1}$                  | $X_{5,1}$  | $C_{5,2}$  | $X_{5,2}$  | $C_{5,3}$               | $X_{5,3}$  |
| 6        | $Q_6$                 | $S_6$           | $C_{6,1}$                  | $X_{6,1}$  | $C_{6,2}$  | $X_{6,2}$  | $C_{6,3}$               | $X_{6,3}$  |
| 7        | $Q_7$                 | $S_7$           | $C_{7,1}$                  | $X_{7,1}$  | $C_{7,2}$  | $X_{7,2}$  | $C_{7,3}$               | $X_{7,3}$  |
| 8        | $Q_8$                 | $S_8$           | $C_{8,1}$                  | $X_{8,1}$  | $C_{8,2}$  | $X_{8,2}$  | $C_{8,3}$               | $X_{8,3}$  |
| 9        | $Q_9$                 | $S_9$           | $C_{9,1}$                  | $X_{9,1}$  | $C_{9,2}$  | $X_{9,2}$  | $C_{9,3}$               | $X_{9,3}$  |
| 10       | $Q_{10}$              | $S_{10}$        | $C_{10,1}$                 | $X_{10,1}$ | $C_{10,2}$ | $X_{10,2}$ | $C_{10,3}$              | $X_{10,3}$ |
| 11       | $Q_{11}$              | $S_{11}$        | $C_{11,1}$                 | $X_{11,1}$ | $C_{11,2}$ | $X_{11,2}$ | $C_{11,3}$              | $X_{11,3}$ |
| 12       | $Q_{12}$              | $S_{12}$        | $C_{12,1}$                 | $X_{12,1}$ | $C_{12,2}$ | $X_{12,2}$ | $C_{12,3}$              | $X_{12,3}$ |
| 13       | $Q_{13}$              | $S_{13}$        | $C_{13,1}$                 | $X_{13,1}$ | $C_{13,2}$ | $X_{13,2}$ | $C_{13,3}$              | $X_{13,3}$ |
| 14       | $Q_{14}$              | $S_{14}$        | $C_{14,1}$                 | $X_{14,1}$ | $C_{14,2}$ | $X_{14,2}$ | $C_{14,3}$              | $X_{14,3}$ |

## Симболички једнокритеријумски модел Варијанте Б

ФУНКЦИЈА КРИТЕРИЈУМА

$$f(x)_{\min} = C_{1,1}x_{1,1} + C_{1,2}x_{1,2} + C_{1,3}x_{1,3} + C_{2,1}x_{2,1} + C_{2,2}x_{2,2} + C_{2,3}x_{2,3} + C_{3,1}x_{3,1} + C_{3,2}x_{3,2} + C_{3,3}x_{3,3} + \dots + C_{14,1}x_{14,1} + C_{14,2}x_{14,2} + C_{14,3}x_{14,3} \rightarrow \min$$

ОГРАНИЧЕЊА

Услов могућности производње

$$x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} + x_{1,4} \leq Q_1$$

$$x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} + x_{2,4} \leq Q_2$$

$$x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3} + x_{3,4} \leq Q_3$$

...

$$x_{14,1} + x_{14,2} + x_{14,3} + x_{14,4} \leq Q_{14}$$

Услов потреба термоелектрана

$$x_{1,1} + x_{2,1} + x_{3,1} + x_{4,1} + x_{5,1} + x_{6,1} + x_{7,1} + x_{8,1} + x_{9,1} + x_{10,1} + x_{11,1} + x_{12,1} + x_{13,1} + x_{14,1} = P_{TE1}$$

$$x_{1,2} + x_{2,2} + x_{3,2} + x_{4,2} + x_{5,2} + x_{6,2} + x_{7,2} + x_{8,2} + x_{9,2} + x_{10,2} + x_{11,2} + x_{12,2} + x_{13,2} + x_{14,2} = P_{TE2}$$

$$x_{1,3} + x_{2,3} + x_{3,3} + x_{4,3} + x_{5,3} + x_{6,3} + x_{7,3} + x_{8,3} + x_{9,3} + x_{10,3} + x_{11,3} + x_{12,3} + x_{13,3} + x_{14,3} = P_{TE4}$$

Услов квалитета сировине

$$[(x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3})S_1 + (x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3})S_2 + (x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3})S_3 + \dots + (x_{14,1} + x_{14,2} + x_{14,3})S_{14}] / (\sum x_{i,j}) \geq S_{\min} \text{ за } i=1,15; j=1,4$$

$$x_{i,j} \geq 0$$

## Цифарски једнокритеријумски модел Варијанте Б

ФУНКЦИЈА КРИТЕРИЈУМА

$$f(x)_{\min} = 870x_{1,1} + 760x_{1,2} + 1.400x_{1,3} + 1.087,35x_{2,1} + 1087,35x_{2,2} + 1.882,89x_{2,3} + 1.291,56x_{3,1} + 1.291,56x_{3,2} + 3.091,69x_{3,3} + \dots + 1.450x_{14,1} + 1.450x_{14,2} + 930x_{14,3} \rightarrow \min$$

## ОГРАНИЧЕЊА

## Услов могућности производње

$$x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} \leq 350.000$$

$$x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} \leq 200.000$$

$$x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3} \leq 50.000$$

$$x_{4,1} + x_{4,2} + x_{4,3} \leq 800.000$$

$$x_{5,1} + x_{5,2} + x_{5,3} \leq 150.000$$

$$x_{6,1} + x_{6,2} + x_{6,3} \leq 162.000$$

$$x_{7,1} + x_{7,2} + x_{7,3} \leq 300.000$$

$$x_{8,1} + x_{8,2} + x_{8,3} \leq 280.000$$

$$x_{9,1} + x_{9,2} + x_{9,3} \leq 300.000$$

$$x_{10,1} + x_{10,2} + x_{10,3} \leq 333.000$$

$$x_{11,1} + x_{11,2} + x_{11,3} \leq 300.000$$

$$x_{12,1} + x_{12,2} + x_{12,3} \leq 900.000$$

$$x_{13,1} + x_{13,2} + x_{13,3} \leq 750.000$$

$$x_{14,1} + x_{14,2} + x_{14,3} \leq 400.000$$

## Услов потреба термоелектрана

$$x_{1,1} + x_{2,1} + x_{3,1} + x_{4,1} + x_{5,1} + x_{6,1} + x_{7,1} + x_{8,1} + x_{9,1} + x_{10,1} + x_{11,1} + x_{12,1} + x_{13,1} + x_{14,1} = 245.000$$

$$x_{1,2} + x_{2,2} + x_{3,2} + x_{4,2} + x_{5,2} + x_{6,2} + x_{7,2} + x_{8,2} + x_{9,2} + x_{10,2} + x_{11,2} + x_{12,2} + x_{13,2} + x_{14,2} = 270.000$$

$$x_{1,3} + x_{2,3} + x_{3,3} + x_{4,3} + x_{5,3} + x_{6,3} + x_{7,3} + x_{8,3} + x_{9,3} + x_{10,3} + x_{11,3} + x_{12,3} + x_{13,3} + x_{14,3} = 285.000$$

## Услов квалитета сировине

$$[(x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3})97,04 + (x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3})99,57 + (x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3})98,38 + [...]$$

$$(x_{14,1} + x_{14,2} + x_{14,3})96,06] / (\sum x_{i,j}) \geq 95 \quad i=1,15; \quad j=1,4$$

$$x_{i,j} \geq 0$$



ВАРИЈАНТА В

Табела 12. Варијанта В: матрични једнокритеријумски модел [70]

| Пов. коп | $Q_{\max}$<br>(t/год) | $S_{\text{кк}}$<br>(%) | Термоелектрана             |            |            |            |            |            |            |            |
|----------|-----------------------|------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|          |                       |                        | Т1                         |            | Т2         |            | Т3         |            | Т4         |            |
|          |                       |                        | Потреба (t)                |            |            |            |            |            |            |            |
|          |                       |                        | $P_{TE1}$                  |            | $P_{TE2}$  |            | $P_{TE3}$  |            | $P_{TE4}$  |            |
|          |                       |                        | Цена (дин/t), испорука (t) |            |            |            |            |            |            |            |
|          |                       |                        | Цена                       | испорука   | Цена       | испорука   | Цена       | испорука   | Цена       | испорука   |
| 1        | $Q_1$                 | $S_1$                  | $C_{1,1}$                  | $X_{1,1}$  | $C_{1,2}$  | $X_{1,2}$  | $C_{1,3}$  | $X_{1,3}$  | $C_{1,4}$  | $X_{1,4}$  |
| 2        | $Q_2$                 | $S_2$                  | $C_{2,1}$                  | $X_{2,1}$  | $C_{2,2}$  | $X_{2,2}$  | $C_{2,3}$  | $X_{2,3}$  | $C_{2,4}$  | $X_{2,4}$  |
| 3        | $Q_3$                 | $S_3$                  | $C_{3,1}$                  | $X_{3,1}$  | $C_{3,2}$  | $X_{3,2}$  | $C_{3,3}$  | $X_{3,3}$  | $C_{3,4}$  | $X_{3,4}$  |
| 4        | $Q_4$                 | $S_4$                  | $C_{4,1}$                  | $X_{4,1}$  | $C_{4,2}$  | $X_{4,2}$  | $C_{4,3}$  | $X_{4,3}$  | $C_{4,4}$  | $X_{4,4}$  |
| 5        | $Q_5$                 | $S_5$                  | $C_{5,1}$                  | $X_{5,1}$  | $C_{5,2}$  | $X_{5,2}$  | $C_{5,3}$  | $X_{5,3}$  | $C_{5,4}$  | $X_{5,4}$  |
| 6        | $Q_6$                 | $S_6$                  | $C_{6,1}$                  | $X_{6,1}$  | $C_{6,2}$  | $X_{6,2}$  | $C_{6,3}$  | $X_{6,3}$  | $C_{6,4}$  | $X_{6,4}$  |
| 7        | $Q_7$                 | $S_7$                  | $C_{7,1}$                  | $X_{7,1}$  | $C_{7,2}$  | $X_{7,2}$  | $C_{7,3}$  | $X_{7,3}$  | $C_{7,4}$  | $X_{7,4}$  |
| 8        | $Q_8$                 | $S_8$                  | $C_{8,1}$                  | $X_{8,1}$  | $C_{8,2}$  | $X_{8,2}$  | $C_{8,3}$  | $X_{8,3}$  | $C_{8,4}$  | $X_{8,4}$  |
| 9        | $Q_9$                 | $S_9$                  | $C_{9,1}$                  | $X_{9,1}$  | $C_{9,2}$  | $X_{9,2}$  | $C_{9,3}$  | $X_{9,3}$  | $C_{9,4}$  | $X_{9,4}$  |
| 10       | $Q_{10}$              | $S_{10}$               | $C_{10,1}$                 | $X_{10,1}$ | $C_{10,2}$ | $X_{10,2}$ | $C_{10,3}$ | $X_{10,3}$ | $C_{10,4}$ | $X_{10,4}$ |
| 11       | $Q_{11}$              | $S_{11}$               | $C_{11,1}$                 | $X_{11,1}$ | $C_{11,2}$ | $X_{11,2}$ | $C_{11,3}$ | $X_{11,3}$ | $C_{11,4}$ | $X_{11,4}$ |
| 12       | $Q_{12}$              | $S_{12}$               | $C_{12,1}$                 | $X_{12,1}$ | $C_{12,2}$ | $X_{12,2}$ | $C_{12,3}$ | $X_{12,3}$ | $C_{12,4}$ | $X_{12,4}$ |
| 13       | $Q_{13}$              | $S_{13}$               | $C_{13,1}$                 | $X_{13,1}$ | $C_{13,2}$ | $X_{13,2}$ | $C_{13,3}$ | $X_{13,3}$ | $C_{13,4}$ | $X_{13,4}$ |
| 14       | $Q_{14}$              | $S_{14}$               | $C_{14,1}$                 | $X_{14,1}$ | $C_{14,2}$ | $X_{14,2}$ | $C_{14,3}$ | $X_{14,3}$ | $C_{14,4}$ | $X_{14,4}$ |
| 15       | $Q_{15}$              | $S_{15}$               | $C_{15,1}$                 | $X_{15,1}$ | $C_{15,2}$ | $X_{15,2}$ | $C_{15,3}$ | $X_{15,3}$ | $C_{15,4}$ | $X_{15,4}$ |

## Симболички једнокритеријумски модел Варијанте В

### ФУНКЦИЈА КРИТЕРИЈУМА

$$f(\mathbf{x})_{\min} = C_{1,1}x_{1,1} + C_{1,2}x_{1,2} + C_{1,3}x_{1,3} + C_{1,4}x_{1,4} + C_{2,1}x_{2,1} + C_{2,2}x_{2,2} + C_{2,3}x_{2,3} + C_{2,4}x_{2,4} + \\ C_{3,1}x_{3,1} + C_{3,2}x_{3,2} + C_{3,3}x_{3,3} + C_{3,4}x_{3,4} + [\dots] + C_{15,1}x_{15,1} + C_{15,2}x_{15,2} + C_{15,3}x_{15,3} + C_{15,4}x_{15,4} \rightarrow \min$$

### ОГРАНИЧЕЊА

#### Услови могућности производње

$$x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} + x_{1,4} \leq Q_1$$

$$x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} + x_{2,4} \leq Q_2$$

$$x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3} + x_{3,4} \leq Q_3$$

...

$$x_{15,1} + x_{15,2} + x_{15,3} + x_{15,4} \leq Q_{15}$$

#### Услови потреба термоелектрана

$$x_{1,1} + x_{2,1} + x_{3,1} + x_{4,1} + x_{5,1} + x_{6,1} + x_{7,1} + x_{8,1} + x_{9,1} + x_{10,1} + x_{11,1} + x_{12,1} + x_{13,1} + x_{14,1} + x_{15,1} = P_{TE1}$$

$$x_{1,2} + x_{2,2} + x_{3,2} + x_{4,2} + x_{5,2} + x_{6,2} + x_{7,2} + x_{8,2} + x_{9,2} + x_{10,2} + x_{11,2} + x_{12,2} + x_{13,2} + x_{14,2} + x_{15,2} = P_{TE2}$$

$$x_{1,3} + x_{2,3} + x_{3,3} + x_{4,3} + x_{5,3} + x_{6,3} + x_{7,3} + x_{8,3} + x_{9,3} + x_{10,3} + x_{11,3} + x_{12,3} + x_{13,3} + x_{14,3} + x_{15,3} = P_{TE3}$$

$$x_{1,4} + x_{2,4} + x_{3,4} + x_{4,4} + x_{5,4} + x_{6,4} + x_{7,4} + x_{8,4} + x_{9,4} + x_{10,4} + x_{11,4} + x_{12,4} + x_{13,4} + x_{14,4} + x_{15,4} = P_{TE4}$$

#### Услови квалитета сировине

$$[(x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} + x_{1,4})S_1 + (x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} + x_{2,4})S_2 + (x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3} + x_{3,4})S_3 + \\ [\dots] + (x_{15,1} + x_{15,2} + x_{15,3} + x_{15,4})S_{15}] / (\sum x_{i,j}) \geq S_{\min} \text{ за } i=1,15; j=1,4 \\ x_{i,j} \geq 0$$

**Варијанта В: цифарски једнокритеријумски модел**

## ФУНКЦИЈА КРИТЕРИЈУМА

$$f(x)_{\min} = 870x_{1,1} + 760x_{1,2} + 1.490x_{1,3} + 1.400x_{1,4} + 1.087,35x_{2,1} + 1.087,35x_{2,2} + 833,43x_{2,3} + 1.882,89x_{2,4} + 1.291,56x_{3,1} + 1.291,56x_{3,2} + 1.291,56x_{3,3} + 3.091,69x_{3,4} + [...] + 1.450x_{15,1} + 1.450x_{15,2} + 1.892,89x_{15,3} + 930x_{15,4} \rightarrow \min$$

## ОГРАНИЧЕЊА

## Услови могућности производње

$$\begin{aligned} x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} + x_{1,4} &\leq 350.000 \\ x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} + x_{2,4} &\leq 200.000 \\ x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3} + x_{3,4} &\leq 50.000 \\ x_{4,1} + x_{4,2} + x_{4,3} + x_{4,4} &\leq 800.000 \\ x_{5,1} + x_{5,2} + x_{5,3} + x_{5,4} &\leq 1.000.000 \\ x_{6,1} + x_{6,2} + x_{6,3} + x_{6,4} &\leq 150.000 \\ x_{7,1} + x_{7,2} + x_{7,3} + x_{7,4} &\leq 162.000 \\ x_{8,1} + x_{8,2} + x_{8,3} + x_{8,4} &\leq 300.000 \\ x_{9,1} + x_{9,2} + x_{9,3} + x_{9,4} &\leq 280.000 \\ x_{10,1} + x_{10,2} + x_{10,3} + x_{10,4} &\leq 300.000 \\ x_{11,1} + x_{11,2} + x_{11,3} + x_{11,4} &\leq 333.000 \\ x_{12,1} + x_{12,2} + x_{12,3} + x_{12,4} &\leq 300.000 \\ x_{13,1} + x_{13,2} + x_{13,3} + x_{13,4} &\leq 900.000 \\ x_{14,1} + x_{14,2} + x_{14,3} + x_{14,4} &\leq 750.000 \\ x_{15,1} + x_{15,2} + x_{15,3} + x_{15,4} &\leq 400.000 \end{aligned}$$

## Услови потреба термоелектрана

$$x_{1,1} + x_{2,1} + x_{3,1} + x_{4,1} + x_{5,1} + x_{6,1} + x_{7,1} + x_{8,1} + x_{9,1} + x_{10,1} + x_{11,1} + x_{12,1} + x_{13,1} + x_{14,1} + x_{15,1} = 245.000$$

$$x_{1,2} + x_{2,2} + x_{3,2} + x_{4,2} + x_{5,2} + x_{6,2} + x_{7,2} + x_{8,2} + x_{9,2} + x_{10,2} + x_{11,2} + x_{12,2} + x_{13,2} + x_{14,2} + x_{15,2} = 270.000$$

$$x_{1,3} + x_{2,3} + x_{3,3} + x_{4,3} + x_{5,3} + x_{6,3} + x_{7,3} + x_{8,3} + x_{9,3} + x_{10,3} + x_{11,3} + x_{12,3} + x_{13,3} + x_{14,3} + x_{15,3} = 75.000$$

$$x_{1,4} + x_{2,4} + x_{3,4} + x_{4,4} + x_{5,4} + x_{6,4} + x_{7,4} + x_{8,4} + x_{9,4} + x_{10,4} + x_{11,4} + x_{12,4} + x_{13,4} + x_{14,4} + x_{15,4} = 285.000$$

## Услов квалитета сировине

$$\begin{aligned} &[(x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} + x_{1,4})97,04 + (x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} + x_{2,4})99,57 + (x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3} + x_{3,4})98,38 + [...] + \\ &(x_{15,1} + x_{15,2} + x_{15,3} + x_{15,4})96,06] / (\sum x_{i,j}) \geq 95 \quad i=1,15; \quad j=1,4 \\ &x_{i,j} \geq 0 \end{aligned}$$

#### 4.3.4. МАТЕМАТИЧКИ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ МОДЕЛ РЕАЛНОГ СИСТЕМА

На основу поставке вишекритеријумског модела развијени су симболички и цифарски модели за варијанте које су разматране у току истраживања. У табелама 13, 15 и 17, представљени су симболички вишекритеријумски модели за варијанте А, Б и В. Табеле 14, 16 и 18, представљају цифарске вишекритеријумске моделе за варијанте А, Б и В.

#### ВАРИЈАНТА А

Табела 13. Симболички вишекритеријумски модел Варијанте А

| Површински<br>коп       | А т р и б у т |            |            |            |            |            |            |
|-------------------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                         | A1            | A2         | A3         | A4         | A5         | A6         | A7 (A8)    |
| 1                       | $a_{1,1}$     | $a_{1,2}$  | $a_{1,3}$  | $a_{1,4}$  | $a_{1,5}$  | $a_{1,6}$  | $a_{1,7}$  |
| 2                       | $a_{2,1}$     | $a_{2,2}$  | $a_{2,3}$  | $a_{2,4}$  | $a_{2,5}$  | $a_{2,6}$  | $a_{2,7}$  |
| 3                       | $a_{3,1}$     | $a_{3,2}$  | $a_{3,3}$  | $a_{3,4}$  | $a_{3,5}$  | $a_{3,6}$  | $a_{3,7}$  |
| 4                       | $a_{4,1}$     | $a_{4,2}$  | $a_{4,3}$  | $a_{4,4}$  | $a_{4,5}$  | $a_{4,6}$  | $a_{4,7}$  |
| 5                       | $a_{5,1}$     | $a_{5,2}$  | $a_{5,3}$  | $a_{5,4}$  | $a_{5,5}$  | $a_{5,6}$  | $a_{5,7}$  |
| 6                       | $a_{6,1}$     | $a_{6,2}$  | $a_{6,3}$  | $a_{6,4}$  | $a_{6,5}$  | $a_{6,6}$  | $a_{6,7}$  |
| 7                       | $a_{7,1}$     | $a_{7,2}$  | $a_{7,3}$  | $a_{7,4}$  | $a_{7,5}$  | $a_{7,6}$  | $a_{7,7}$  |
| 8                       | $a_{8,1}$     | $a_{8,2}$  | $a_{8,3}$  | $a_{8,4}$  | $a_{8,5}$  | $a_{8,6}$  | $a_{8,7}$  |
| 9                       | $a_{9,1}$     | $a_{9,2}$  | $a_{9,3}$  | $a_{9,4}$  | $a_{9,5}$  | $a_{9,6}$  | $a_{9,7}$  |
| 10                      | $a_{10,1}$    | $a_{10,2}$ | $a_{10,3}$ | $a_{10,4}$ | $a_{10,5}$ | $a_{10,6}$ | $a_{10,7}$ |
| 11                      | $a_{11,1}$    | $a_{11,2}$ | $a_{11,3}$ | $a_{11,4}$ | $a_{11,5}$ | $a_{11,6}$ | $a_{11,7}$ |
| 12                      | $a_{12,1}$    | $a_{12,2}$ | $a_{12,3}$ | $a_{12,4}$ | $a_{12,5}$ | $a_{12,6}$ | $a_{12,7}$ |
| 13                      | $a_{13,1}$    | $a_{13,2}$ | $a_{13,3}$ | $a_{13,4}$ | $a_{13,5}$ | $a_{13,6}$ | $a_{13,7}$ |
| 14                      | $a_{14,1}$    | $a_{14,2}$ | $a_{14,3}$ | $a_{14,4}$ | $a_{14,5}$ | $a_{14,6}$ | $a_{14,7}$ |
| 15                      | $a_{15,1}$    | $a_{15,2}$ | $a_{15,3}$ | $a_{15,4}$ | $a_{15,5}$ | $a_{15,6}$ | $a_{15,7}$ |
| Критеријум:             | MAX           | MAX        | MAX        | MIN        | MIN        | MIN        | MIN        |
| Тежина:                 | 0,15          | 0,1        | 0,7        | 0,55       | 0,7        | 0,7        | 0,7        |
| Нормализоване<br>тежине | 0,042         | 0,028      | 0,195      | 0,153      | 0,195      | 0,195      | 0,195      |

#### Атрибут:

A1 – Годишњи капацитет ПК  
 A2 – Експлоатациони век ПК  
 A3 – Квалитет кречњака  
 A4 – Производна цена ПК

A5 – Транспортни трошкови до Т1  
 A6 – Транспортни трошкови до Т2  
 A7 – Транспортни трошкови до Т4

Табела 14. Цифарски вишекритеријумски модел Варијанта А

| Површински<br>коп        | А т р и б у т |        |       |       |          |          |          |
|--------------------------|---------------|--------|-------|-------|----------|----------|----------|
|                          | A1            | A2     | A3    | A4    | A5       | A6       | A7 (A8)  |
| 1                        | 350.000,00    | 80,86  | 97,04 | 520   | 870,00   | 760,00   | 1.400,00 |
| 2                        | 200.000,00    | 66,50  | 99,57 | 520   | 1.087,35 | 1.087,35 | 1.882,89 |
| 3                        | 50.000,00     | 45,87  | 98,38 | 520   | 1.291,56 | 1.291,56 | 3.091,69 |
| 4                        | 800.000,00    | 12,39  | 98,50 | 560   | 1.318,49 | 1.275,31 | 2.009,23 |
| 5                        | 1.000.000,00  | 9,70   | 97,54 | 570   | 1.341,56 | 1.341,56 | 2.882,66 |
| 6                        | 150.000,00    | 62,19  | 94,39 | 650   | 1.408,49 | 1.408,49 | 2.012,89 |
| 7                        | 162.000,00    | 44,15  | 97,97 | 580   | 1.424,83 | 1.295,31 | 2.288,26 |
| 8                        | 300.000,00    | 21,99  | 97,00 | 600   | 1.444,83 | 1.272,14 | 2.308,26 |
| 9                        | 280.000,00    | 62,07  | 95,19 | 570   | 1.242,14 | 1.112,63 | 2.278,26 |
| 10                       | 300.000,00    | 57,51  | 97,04 | 630   | 1.096,66 | 1.096,66 | 1.361,86 |
| 11                       | 333.000,00    | 145,77 | 97,29 | 660   | 1.391,86 | 1.391,86 | 1.207,46 |
| 12                       | 300.000,00    | 60,00  | 95,34 | 540   | 1.255,31 | 1.341,66 | 1.471,17 |
| 13                       | 900.000,00    | 59,67  | 94,96 | 630   | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.401,56 |
| 14                       | 750.000,00    | 105,98 | 97,02 | 630   | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.401,56 |
| 15                       | 400.000,00    | 64,11  | 96,06 | 530   | 1.450,00 | 1.450,00 | 930,00   |
| Критеријум:              | MAX           | MAX    | MAX   | MIN   | MIN      | MIN      | MIN      |
| Тежина:                  | 0,15          | 0,1    | 0,7   | 0,55  | 0,7      | 0,7      | 0,7      |
| Нормализова<br>не тежине | 0,042         | 0,028  | 0,195 | 0,153 | 0,195    | 0,195    | 0,195    |

## ВАРИЈАНТА Б

Табела 15. Симболички вишекритеријумски модел Варијанте Б

| Површински<br>коп       | А т р и б у т |            |            |            |            |            |            |
|-------------------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                         | A1            | A2         | A3         | A4         | A5         | A6         | A7 (A8)    |
| 1                       | $a_{1,1}$     | $a_{1,2}$  | $a_{1,3}$  | $a_{1,4}$  | $a_{1,5}$  | $a_{1,6}$  | $a_{1,7}$  |
| 2                       | $a_{2,1}$     | $a_{2,2}$  | $a_{2,3}$  | $a_{2,4}$  | $a_{2,5}$  | $a_{2,6}$  | $a_{2,7}$  |
| 3                       | $a_{3,1}$     | $a_{3,2}$  | $a_{3,3}$  | $a_{3,4}$  | $a_{3,5}$  | $a_{3,6}$  | $a_{3,7}$  |
| 4                       | $a_{4,1}$     | $a_{4,2}$  | $a_{4,3}$  | $a_{4,4}$  | $a_{4,5}$  | $a_{4,6}$  | $a_{4,7}$  |
| 5(6)                    | $a_{5,1}$     | $a_{5,2}$  | $a_{5,3}$  | $a_{5,4}$  | $a_{5,5}$  | $a_{5,6}$  | $a_{5,7}$  |
| 6(7)                    | $a_{6,1}$     | $a_{6,2}$  | $a_{6,3}$  | $a_{6,4}$  | $a_{6,5}$  | $a_{6,6}$  | $a_{6,7}$  |
| 7(8)                    | $a_{7,1}$     | $a_{7,2}$  | $a_{7,3}$  | $a_{7,4}$  | $a_{7,5}$  | $a_{7,6}$  | $a_{7,7}$  |
| 8(9)                    | $a_{8,1}$     | $a_{8,2}$  | $a_{8,3}$  | $a_{8,4}$  | $a_{8,5}$  | $a_{8,6}$  | $a_{8,7}$  |
| 9(10)                   | $a_{9,1}$     | $a_{9,2}$  | $a_{9,3}$  | $a_{9,4}$  | $a_{9,5}$  | $a_{9,6}$  | $a_{9,7}$  |
| 10(11)                  | $a_{10,1}$    | $a_{10,2}$ | $a_{10,3}$ | $a_{10,4}$ | $a_{10,5}$ | $a_{10,6}$ | $a_{10,7}$ |
| 11(12)                  | $a_{11,1}$    | $a_{11,2}$ | $a_{11,3}$ | $a_{11,4}$ | $a_{11,5}$ | $a_{11,6}$ | $a_{11,7}$ |
| 12(13)                  | $a_{12,1}$    | $a_{12,2}$ | $a_{12,3}$ | $a_{12,4}$ | $a_{12,5}$ | $a_{12,6}$ | $a_{12,7}$ |
| 13(14)                  | $a_{13,1}$    | $a_{13,2}$ | $a_{13,3}$ | $a_{13,4}$ | $a_{13,5}$ | $a_{13,6}$ | $a_{13,7}$ |
| 14(15)                  | $a_{14,1}$    | $a_{14,2}$ | $a_{14,3}$ | $a_{14,4}$ | $a_{14,5}$ | $a_{14,6}$ | $a_{14,7}$ |
| Критеријум:             | MAX           | MAX        | MAX        | MIN        | MIN        | MIN        | MIN        |
| Тежине:                 | 0,15          | 0,1        | 0,7        | 0,55       | 0,7        | 0,7        | 0,7        |
| Нормализоване<br>тежине | 0,042         | 0,028      | 0,195      | 0,153      | 0,195      | 0,195      | 0,195      |

**Атрибут:**

A1 – Годишњи капацитет ПК

A2 – Експлоатациони век ПК

A3 – Квалитет кречњака

A4 – Производна цена ПК

A5 – Транспортни трошкови до T1

A6 – Транспортни трошкови до T2

A7 – Транспортни трошкови до T4

Табела 16. Цифарски вишекритеријумски модел Варијанте Б

| Површински<br>коп       | А т р и б у т |        |       |       |          |          |          |
|-------------------------|---------------|--------|-------|-------|----------|----------|----------|
|                         | A1            | A2     | A3    | A4    | A5       | A6       | A7 (A8)  |
| 1                       | 350.000,00    | 80,86  | 97,04 | 520   | 870,00   | 760,00   | 1.400,00 |
| 2                       | 200.000,00    | 66,50  | 99,57 | 520   | 1.087,35 | 1.087,35 | 1.882,89 |
| 3                       | 50.000,00     | 45,87  | 98,38 | 520   | 1.291,56 | 1.291,56 | 3.091,69 |
| 4                       | 800.000,00    | 12,39  | 98,50 | 560   | 1.318,49 | 1.275,31 | 2.009,23 |
| 5(6)                    | 150.000,00    | 62,19  | 94,39 | 650   | 1.408,49 | 1.408,49 | 2.012,89 |
| 6(7)                    | 162.000,00    | 44,15  | 97,97 | 580   | 1.424,83 | 1.295,31 | 2.288,26 |
| 7(8)                    | 300.000,00    | 21,99  | 97,00 | 600   | 1.444,83 | 1.272,14 | 2.308,26 |
| 8(9)                    | 280.000,00    | 62,07  | 95,19 | 570   | 1.242,14 | 1.112,63 | 2.278,26 |
| 9(10)                   | 300.000,00    | 57,51  | 97,04 | 630   | 1.096,66 | 1.096,66 | 1.361,86 |
| 10(11)                  | 333.000,00    | 145,77 | 97,29 | 660   | 1.391,86 | 1.391,86 | 1.207,46 |
| 11(12)                  | 300.000,00    | 60,00  | 95,34 | 540   | 1.255,31 | 1.341,66 | 1.471,17 |
| 12(13)                  | 900.000,00    | 59,67  | 94,96 | 630   | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.401,56 |
| 13(14)                  | 750.000,00    | 105,98 | 97,02 | 630   | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.401,56 |
| 14(15)                  | 400.000,00    | 64,11  | 96,06 | 530   | 1.450,00 | 1.450,00 | 930,00   |
| Критеријум:             | MAX           | MAX    | MAX   | MIN   | MIN      | MIN      | MIN      |
| Тежине:                 | 0,15          | 0,1    | 0,7   | 0,55  | 0,7      | 0,7      | 0,7      |
| Нормализоване<br>тежине | 0,042         | 0,028  | 0,195 | 0,153 | 0,195    | 0,195    | 0,195    |

## ВАРИЈАНТА В

Табела 17. Симболички вишекритеријумски модел Варијанте В

| Површински коп       | Атрибут     |            |            |            |            |            |            |            |
|----------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                      | A1          | A2         | A3         | A4         | A5         | A6         | A7         | A8         |
| 1                    | $a_{1,1}$   | $a_{1,2}$  | $a_{1,3}$  | $a_{1,4}$  | $a_{1,5}$  | $a_{1,6}$  | $a_{1,7}$  | $a_{1,8}$  |
| 2                    | $a_{2,1}$   | $a_{2,2}$  | $a_{2,3}$  | $a_{2,4}$  | $a_{2,5}$  | $a_{2,6}$  | $a_{2,7}$  | $a_{2,8}$  |
| 3                    | $a_{3,1}$   | $a_{3,2}$  | $a_{3,3}$  | $a_{3,4}$  | $a_{3,5}$  | $a_{3,6}$  | $a_{3,7}$  | $a_{3,8}$  |
| 4                    | $a_{4,1}$   | $a_{4,2}$  | $a_{4,3}$  | $a_{4,4}$  | $a_{4,5}$  | $a_{4,6}$  | $a_{4,7}$  | $a_{4,8}$  |
| 5                    | $a_{5,1}$   | $a_{5,2}$  | $a_{5,3}$  | $a_{5,4}$  | $a_{5,5}$  | $a_{5,6}$  | $a_{5,7}$  | $a_{5,8}$  |
| 6                    | $a_{6,1}$   | $a_{6,2}$  | $a_{6,3}$  | $a_{6,4}$  | $a_{6,5}$  | $a_{6,6}$  | $a_{6,7}$  | $a_{6,8}$  |
| 7                    | $a_{7,1}$   | $a_{7,2}$  | $a_{7,3}$  | $a_{7,4}$  | $a_{7,5}$  | $a_{7,6}$  | $a_{7,7}$  | $a_{7,8}$  |
| 8                    | $a_{8,1}$   | $a_{8,2}$  | $a_{8,3}$  | $a_{8,4}$  | $a_{8,5}$  | $a_{8,6}$  | $a_{8,7}$  | $a_{8,8}$  |
| 9                    | $a_{9,1}$   | $a_{9,2}$  | $a_{9,3}$  | $a_{9,4}$  | $a_{9,5}$  | $a_{9,6}$  | $a_{9,7}$  | $a_{9,8}$  |
| 10                   | $a_{10,1}$  | $a_{10,2}$ | $a_{10,3}$ | $a_{10,4}$ | $a_{10,5}$ | $a_{10,6}$ | $a_{10,7}$ | $a_{10,8}$ |
| 11                   | $a_{11,1}$  | $a_{11,2}$ | $a_{11,3}$ | $a_{11,4}$ | $a_{11,5}$ | $a_{11,6}$ | $a_{11,7}$ | $a_{11,8}$ |
| 12                   | $a_{12,1}$  | $a_{12,2}$ | $a_{12,3}$ | $a_{12,4}$ | $a_{12,5}$ | $a_{12,6}$ | $a_{12,7}$ | $a_{12,8}$ |
| 13                   | $a_{13,1}$  | $a_{13,2}$ | $a_{13,3}$ | $a_{13,4}$ | $a_{13,5}$ | $a_{13,6}$ | $a_{13,7}$ | $a_{13,8}$ |
| 14                   | $a_{14,1}$  | $a_{14,2}$ | $a_{14,3}$ | $a_{14,4}$ | $a_{14,5}$ | $a_{14,6}$ | $a_{14,7}$ | $a_{14,8}$ |
| 15                   | $a_{15,1}$  | $a_{15,2}$ | $a_{15,3}$ | $a_{15,4}$ | $a_{15,5}$ | $a_{15,6}$ | $a_{15,7}$ | $a_{15,8}$ |
| Критеријум           | MAX         | MAX        | MAX        | MIN        | MIN        | MIN        | MIN        | MIN        |
| Тежина               | 0,15        | 0,1        | 0,7        | 0,55       | 0,7        | 0,7        | 0,7        | 0,7        |
| Нормализоване тежине | 0,0348<br>4 | 0,023<br>2 | 0,1628     | 0,1279     | 0,1628     | 0,1628     | 0,1628     | 0,1628     |

**Атрибут:**

A1 – Годишњи капацитет ПК

A2 – Експлоатациони век ПК

A3 – Квалитет кречњака

A4 – Производна цена ПК

A5 – Транспортни трошкови до T1

A6 – Транспортни трошкови до T2

A7 – Транспортни трошкови до T3

A8 – Транспортни трошкови до T4



Табела 18. Цифарски вишекритеријумски модел Варијанте В

| Површински<br>коп          | А т р и б у т |        |        |        |          |          |          |          |
|----------------------------|---------------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|
|                            | A1            | A2     | A3     | A4     | A5       | A6       | A7       | A8       |
| 1                          | 350.000,00    | 80,86  | 97,04  | 520    | 870,00   | 760,00   | 1490     | 1.400,00 |
| 2                          | 200.000,00    | 66,50  | 99,57  | 520    | 1.087,35 | 1.087,35 | 833,43   | 1.882,89 |
| 3                          | 50.000,00     | 45,87  | 98,38  | 520    | 1.291,56 | 1.291,56 | 1.291,56 | 3.091,69 |
| 4                          | 800.000,00    | 12,39  | 98,50  | 560    | 1.318,49 | 1.275,31 | 1145,8   | 2.009,23 |
| 5                          | 1.000.000,00  | 9,70   | 97,54  | 570    | 1.341,56 | 1.341,56 | 1.341,56 | 2.882,66 |
| 6                          | 150.000,00    | 62,19  | 94,39  | 650    | 1.408,49 | 1.408,49 | 1.235,80 | 2.012,89 |
| 7                          | 162.000,00    | 44,15  | 97,97  | 580    | 1.424,83 | 1.295,31 | 1.511,17 | 2.288,26 |
| 8                          | 300.000,00    | 21,99  | 97,00  | 600    | 1.444,83 | 1.272,14 | 1.531,17 | 2.308,26 |
| 9                          | 280.000,00    | 62,07  | 95,19  | 570    | 1.242,14 | 1.112,63 | 1.198,97 | 2.278,26 |
| 10                         | 300.000,00    | 57,51  | 97,04  | 630    | 1.096,66 | 1.096,66 | 1.096,66 | 1.361,86 |
| 11                         | 333.000,00    | 145,77 | 97,29  | 660    | 1.391,86 | 1.391,86 | 1.391,86 | 1.207,46 |
| 12                         | 300.000,00    | 60,00  | 95,34  | 540    | 1.255,31 | 1.341,66 | 1.039,46 | 1.471,17 |
| 13                         | 900.000,00    | 59,67  | 94,96  | 630    | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.401,56 |
| 14                         | 750.000,00    | 105,98 | 97,02  | 630    | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.401,56 |
| 15                         | 400.000,00    | 64,11  | 96,06  | 530    | 1.450,00 | 1.450,00 | 1.892,89 | 930,00   |
| Критеријум                 | MAX           | MAX    | MAX    | MIN    | MIN      | MIN      | MIN      | MIN      |
| Тежина                     | 0,15          | 0,1    | 0,7    | 0,55   | 0,7      | 0,7      | 0,7      | 0,7      |
| Нормализо -<br>ване тежине | 0,03484       | 0,0232 | 0,1628 | 0,1279 | 0,1628   | 0,1628   | 0,1628   | 0,1628   |

#### 4.3.5. РЕЗУЛТАТИ ЈЕДНОКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ

Матрични модел је решен у *Excel Solver* применом Симплекс методе линеарног програмирања.

Варијанта А:

Табела 19. Резултати једнокритеријумске анализе варијанте А [73]

| i                         | x <sub>ij</sub> |            |            | Капацитет<br>пов. копа<br>(t/год) | Σ x        |
|---------------------------|-----------------|------------|------------|-----------------------------------|------------|
|                           | j               |            |            |                                   |            |
|                           | T1              | T2         | T4         |                                   |            |
| ПК1                       | 80.000,00       | 270.000,00 |            | 350.000,00                        | 350.000,00 |
| ПК2                       | 165.000,00      |            |            | 200.000,00                        | 165.000,00 |
| ПК3                       |                 |            |            | 50.000,00                         | 0          |
| ПК4                       |                 |            |            | 800.000,00                        | 0          |
| ПК5                       |                 |            |            | 1.000.000,00                      | 0          |
| ПК6                       |                 |            |            | 150.000,00                        | 0          |
| ПК7                       |                 |            |            | 162.000,00                        | 0          |
| ПК8                       |                 |            |            | 300.000,00                        | 0          |
| ПК9                       |                 |            |            | 280.000,00                        | 0          |
| ПК10                      |                 |            |            | 300.000,00                        | 0          |
| ПК11                      |                 |            |            | 333.000,00                        | 0          |
| ПК12                      |                 |            |            | 300.000,00                        | 0          |
| ПК13                      |                 |            |            | 900.000,00                        | 0          |
| ПК14                      |                 |            |            | 750.000,00                        | 0          |
| ПК15                      |                 |            | 285.000,00 | 400.000,00                        | 285.000,00 |
| Σ x                       | 245.000,00      | 270.000,00 | 285.000,00 |                                   |            |
| f(x) = 719.262.750,00     |                 |            |            |                                   |            |
| Квалитет сировине 97,21 % |                 |            |            |                                   |            |

Варијанта Б:

Табела 20. Резултати једнокритеријумске анализе варијанте Б [73]

| i                         | x <sub>ij</sub> |            |            | Капацитет<br>пов. копа<br>(t/год) | Σ x        |
|---------------------------|-----------------|------------|------------|-----------------------------------|------------|
|                           | j               |            |            |                                   |            |
|                           | T1              | T2         | T4         |                                   |            |
| ПК1                       | 80.000,00       | 270.000,00 |            | 350.000,00                        | 350.000,00 |
| ПК2                       | 165.000,00      |            |            | 200.000,00                        | 165.000,00 |
| ПК3                       |                 |            |            | 50.000,00                         | 0          |
| ПК4                       |                 |            |            | 800.000,00                        | 0          |
| ПК6                       |                 |            |            | 150.000,00                        | 0          |
| ПК7                       |                 |            |            | 162.000,00                        | 0          |
| ПК8                       |                 |            |            | 300.000,00                        | 0          |
| ПК9                       |                 |            |            | 280.000,00                        | 0          |
| ПК10                      |                 |            |            | 300.000,00                        | 0          |
| ПК11                      |                 |            |            | 333.000,00                        | 0          |
| ПК12                      |                 |            |            | 300.000,00                        | 0          |
| ПК13                      |                 |            |            | 900.000,00                        | 0          |
| ПК14                      |                 |            |            | 750.000,00                        | 0          |
| ПК15                      |                 |            | 285.000,00 | 400.000,00                        | 285.000,00 |
| Σ x                       | 245.000,00      | 270.000,00 | 285.000,00 |                                   |            |
| f(x) = 719.262.750,00     |                 |            |            |                                   |            |
| Квалитет сировине 97,21 % |                 |            |            |                                   |            |

Варијанта В:

Табела 21. Резултати једнокритеријумске анализе варијанте В [73]

| i                         | x <sub>ij</sub> |            |           |            | Капацитет<br>пов. копа<br>(t/год) | Σx         |
|---------------------------|-----------------|------------|-----------|------------|-----------------------------------|------------|
|                           | j               |            |           |            |                                   |            |
|                           | T1              | T2         | T3        | T4         |                                   |            |
| PK1                       | 80.000,00       | 270.000,00 | 0         |            | 350.000,00                        | 350.000,00 |
| PK2                       | 125.000,00      |            | 75.000,00 |            | 200.000,00                        | 200.000,00 |
| PK3                       |                 |            |           |            | 50.000,00                         |            |
| PK4                       |                 |            |           |            | 800.000,00                        |            |
| PK5                       |                 |            |           |            | 1.000.000,00                      |            |
| PK6                       |                 |            |           |            | 150.000,00                        |            |
| PK7                       |                 |            |           |            | 162.000,00                        |            |
| PK8                       |                 |            |           |            | 300.000,00                        |            |
| PK9                       |                 |            |           |            | 280.000,00                        |            |
| PK10                      | 40.000,00       |            |           |            | 300.000,00                        | 40.000,00  |
| PK11                      |                 |            |           |            | 333.000,00                        |            |
| PK12                      |                 |            |           |            | 300.000,00                        |            |
| PK13                      |                 |            |           |            | 900.000,00                        |            |
| PK14                      |                 |            |           |            | 750.000,00                        |            |
| PK15                      |                 |            |           | 285.000,00 | 400.000,00                        | 285.000,00 |
| Σx                        | 245.000,00      | 270.000,00 | 75.000,00 | 285.000,00 |                                   |            |
| f(x) = 782.142.400,00     |                 |            |           |            |                                   |            |
| Квалитет сировине 97,30 % |                 |            |           |            |                                   |            |

#### 4.3.6. РЕЗУЛТАТИ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ

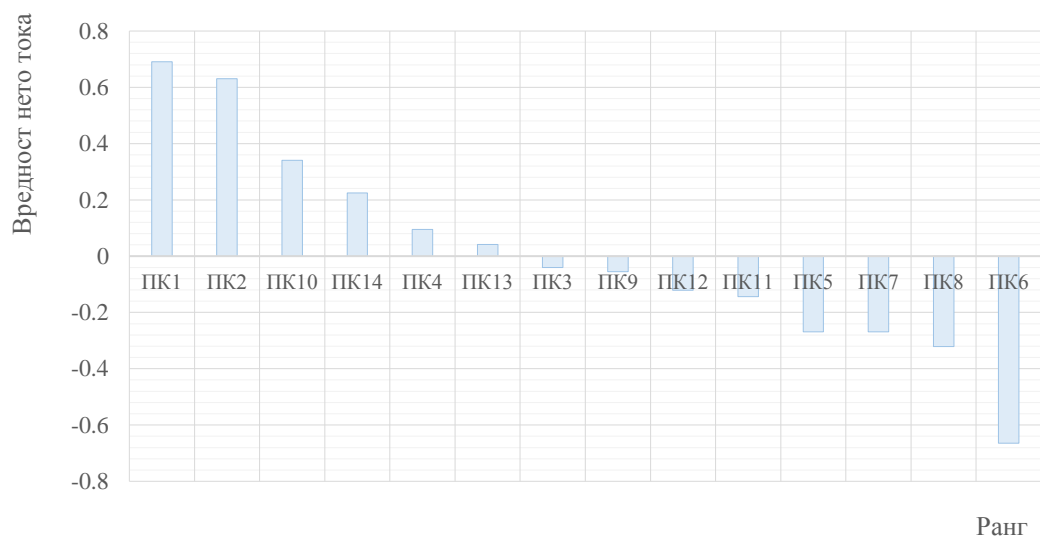
Резултат ове анализе је нето ток вишег реда чије вредности могу бити позитивне и негативне.

Варијанта А:

У табели 22 представљено је рангирање према варијанти А. На основу добијених вредности нето тока, површински копови за варијанту А су рангирани према слици 14.

Табела 22. Резултати вишекритеријумске анализе варијанта А [72]

| Површински копови  | ПК1   | ПК2   | ПК3    | ПК4   | ПК5    | ПК6    | ПК7    | ПК8    | ПК9    | ПК10  | ПК11   | ПК12   | ПК13  | ПК14  | ПК15   |
|--------------------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|
| Вредност нето тока | 0,691 | 0,631 | -0,040 | 0,095 | -0,269 | -0,665 | -0,269 | -0,321 | -0,055 | 0,341 | -0,144 | -0,121 | 0,041 | 0,225 | -0,138 |
| Позитиван ток      | 0,786 | 0,794 | 0,431  | 0,509 | 0,304  | 0,156  | 0,327  | 0,288  | 0,445  | 0,608 | 0,379  | 0,408  | 0,467 | 0,532 | 0,399  |
| Негативан ток      | 0,095 | 0,163 | 0,471  | 0,414 | 0,574  | 0,821  | 0,596  | 0,609  | 0,500  | 0,267 | 0,524  | 0,529  | 0,426 | 0,307 | 0,538  |



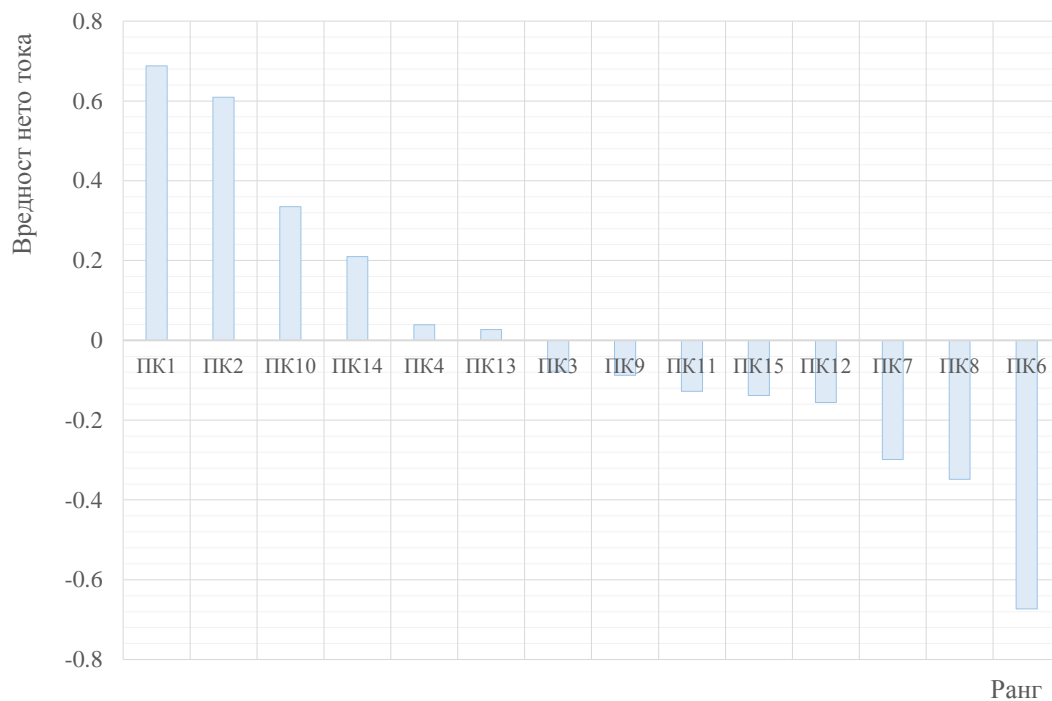
Слика 14. Ранг површинских копова - Варијанта А [72]

Варијанта Б:

У табели 23 представљено је рангирање према варијанти Б. На основу добијених вредности нето тока, површински копови за варијанту Б су рангирани према слици 15.

Табела 23. Резултати вишекритеријумске анализе варијанта Б [72]

| Површински копови  | ПК1   | ПК2   | ПК3    | ПК4   | ПК5 | ПК6    | ПК7    | ПК8    | ПК9    | ПК10  | ПК11   | ПК12   | ПК13  | ПК14  | ПК15   |
|--------------------|-------|-------|--------|-------|-----|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|
| Вредност нето тока | 0,688 | 0,609 | -0,077 | 0,039 |     | -0,673 | -0,299 | -0,348 | -0,088 | 0,335 | -0,128 | -0,156 | 0,027 | 0,21  | -0,138 |
| Позитиван ток      | 0,787 | 0,781 | 0,412  | 0,482 |     | 0,151  | 0,313  | 0,278  | 0,432  | 0,608 | 0,391  | 0,396  | 0,456 | 0,526 | 0,401  |
| Негативан ток      | 0,099 | 0,172 | 0,489  | 0,443 |     | 0,824  | 0,612  | 0,626  | 0,520  | 0,273 | 0,519  | 0,552  | 0,429 | 0,316 | 0,539  |



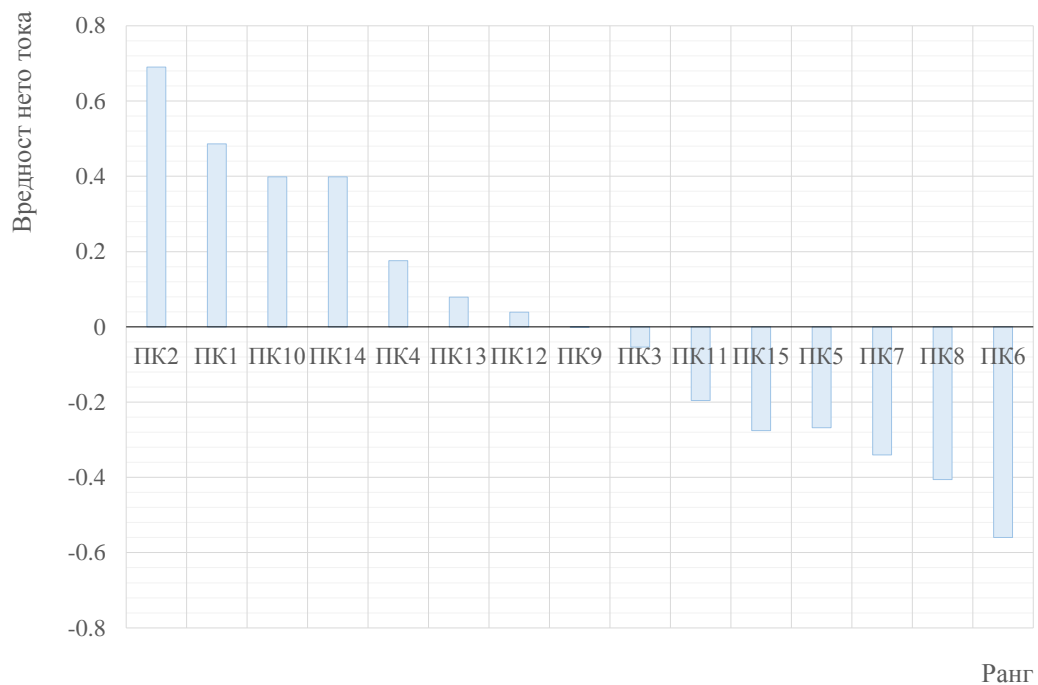
Слика 15. Ранг површинских копова - Варијанта Б [72]

Варијанта В:

У табели 24 представљено је рангирање према варијанти В. На основу добијених вредности нето тока, површински копови за варијанту В су рангирани према слици 16.

Табела 24. Резултати вишекритеријумске анализе варијанта В [72]

| Површински копови  | ПК <sub>1</sub> | ПК <sub>2</sub> | ПК <sub>3</sub> | ПК <sub>4</sub> | ПК <sub>5</sub> | ПК <sub>6</sub> | ПК <sub>7</sub> | ПК <sub>8</sub> | ПК <sub>9</sub> | ПК <sub>10</sub> | ПК <sub>11</sub> | ПК <sub>12</sub> | ПК <sub>13</sub> | ПК <sub>14</sub> | ПК <sub>15</sub> |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Вредност нето тока | 0,486           | 0,69            | -0,054          | 0,176           | -0,268          | -0,56           | -0,34           | -0,406          | -0,001          | 0,399            | -0,196           | 0,039            | 0,079            | 0,231            | -0,276           |
| Позитиван ток      | 0,693           | 0,827           | 0,432           | 0,556           | 0,315           | 0,21            | 0,298           | 0,254           | 0,465           | 0,647            | 0,362            | 0,493            | 0,484            | 0,537            | 0,336            |
| Негативан ток      | 0,207           | 0,137           | 0,486           | 0,38            | 0,5830          | 0,77            | 0,638           | 0,66            | 0,465           | 0,248            | 0,558            | 0,454            | 0,404            | 0,306            | 0,612            |



Слика 16. Ранг површинских копова - Варијанта В [72]

#### 4.3.7. ПОРЕЂЕЊЕ РЕЗУЛТАТА ЕКСПЕРИМЕНАТА

Према вишекритеријумском PROMETHEE моделу, ранг првих осам позиционираних површинских копова кречњака еквивалентан је за сценарио А (15 производних и 3 корисничка ентитета, табела 25) и сценарио Б (14 производних и 3 корисничка ентитета, табела 26). Разлика поредака после девете позиције на ранг листи, последица је изласка из система површинског копа ПК5. Листа поредка површинских копова према сценарију В (15 производних и 4 корисничка ентитета, табела 27) разликује се већ на почетку у односу на листе према сценаријима А и Б, што је последица параметарских промена насталих уласком у рад термоелектране ТЕЗ.

Рангирање површинских копова, независно од сценарија, дефинише листу приоритета снабдевања али не и децидан план снабдевања кречњаком термоенергетског комплекса.

Узмимо сценарио В, према поредку површински копови ПК2, ПК1, ПК10 и ПК14, појединачних производних капацитета 350.000, 200.000, 300.000 и 750.000 t кречњака, заједно 1.600.000 t, задовољавају годишње потребе термоенергетског комплекса од 875.000 t кречњака. Ако би се снабдевање кречњаком успоставило према овом поредку, производни капацитети површинских копова ПК2, ПК1 и ПК10 били би 100% ангажовани, а површинског копа ПК14 3,33% од производних могућности. Дакле, капацитет четврто рангираног снабдевања ангажован је до допуне производње прва три, да ли је то рационално, питање је за додатну анализу.

Према једнокритеријумском моделу за сценарија А и Б, тежиште снабдевања кречњаком термоенергетског комплекса је на површинским коповима ПК1, ПК2 и ПК15, а према вишеатрибутном моделу у тој функцији су површински копови ПК1, ПК2 и ПК10. За ове сценарије, према једнокритеријумском решењу цена кречњака је мања за 22,17%, а према вишеатрибутном кречњак је бољег квалитета за 0,47%.

За сценарио В, присутна су извесна одступања у односу на резултате за сценарија А и Б. Према једнокритеријумском решењу површински копови ПК1, ПК2, ПК10 и ПК15, учествују у снабдевању термоенергетског комплекса, према вишеатрибутном моделу у тој функцији су ПК1, ПК2, ПК10 и ПК14. Према једнокритеријумском моделу снабдевања, цена кречњака је мања за 21%, а према вишеатрибутном квалитет кречњака је бољи за 0,33%.

Осетно мање цене кречњака 22,17% и 21% једнокритеријумских у односу на вишеатрибутна решења, и незнатно бољи квалитет кречњака за 0,47% и 0,33% код вишеатрибутних решења, опредељује за једнокритеријумска решења као повољнија.



Табела 25. Упоредна анализа једнокритеријумског и вишекритеријумског решења - Варијанта А

| Површински коп                               | Капацитет пов. копа (t/год) | Експлоатациони век пов. копа (год) | СаСО <sub>3</sub> (%) | Термоелектрана  |          |                |          | Решење  |         |                |         |   |         |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
|--|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------|---|----------|----------------|----------|---|---------|----------------|---------|---|---------|---------|----------------|---|----|---------|---------|--|--|--|
|  |                             |                                    |                       | T1  | T2       |                | T4       | Једнокритеријумско  |         |                |         | Вишекритеријумско   |         |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
|  |                             |                                    |                       | Потребе (t)   |          |                |          | T1  | T2      | T3             | T4      | T1  | T2      |         | T4             |   |    |         |         |  |  |  |
|  |                             |                                    |                       | 245.000   | 270.000  |                | 285.000  | Трошкови сировине (дин/t)                                 |         |                |         | T1  | T2      | T3      | T4             | T1  | T2 |         | T4      |  |  |  |
| 1  | 350.000                     | 80,86                              | 97,04                 | 870,00  | 760,00   |                | 1.400,00 | 80.000  | 270.000 |                |         |   | 245.000 | 105.000 |                |   |    |         |         |  |  |  |
| 2  | 200.000                     | 66,50                              | 99,57                 | 1.087,35  | 1.087,35 |                | 1.882,89 | 165.000   |         |                |         |   |         | 165.000 |                | 35.000  |    |         |         |  |  |  |
| 3  | 50.000                      | 45,87                              | 98,38                 | 1.291,56  | 1.291,56 |                | 3.091,69 |   |         |                |         |   |         |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
| 4  | 800.000                     | 12,39                              | 98,50                 | 1.318,49  | 1.275,31 |                | 2.009,23 |   |         |                |         |   |         |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
| 5  | 1.000.000                   | 9,70                               | 97,54                 | 1.341,56  | 1.341,56 |                | 2.882,66 |   |         |                |         |   |         |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
| 6  | 150.000                     | 62,19                              | 94,39                 | 1.408,49  | 1.408,49 |                | 2.012,89 |   |         |                |         |   |         |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
| 7  | 162.000                     | 44,15                              | 97,97                 | 1.424,83  | 1.295,31 |                | 2.288,26 |   |         |                |         |   |         |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
| 8  | 300.000                     | 21,99                              | 97,00                 | 1.444,83  | 1.272,14 | Није у систему | 2.308,26 |   |         | Није у систему |         |   |         |         | Није у систему |   |    |         |         |  |  |  |
| 9  | 280.000                     | 62,07                              | 95,19                 | 1.242,14  | 1.112,63 |                | 2.278,26 |   |         |                |         |   |         |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
| 10   | 300.000                     | 57,51                              | 97,04                 | 1.096,66  | 1.096,66 |                | 1.361,86 |   |         |                |         |   |         |         |                |   |    |         | 250.000 |  |  |  |
| 11   | 333.000                     | 145,77                             | 97,29                 | 1.391,86  | 1.391,86 |                | 1.207,46 |   |         |                |         |   |         |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
| 12   | 300.000                     | 60,00                              | 95,34                 | 1.255,31  | 1.341,66 |                | 1.471,17 |   |         |                |         |   |         |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
| 13   | 900.000                     | 59,67                              | 94,96                 | 1.198,16  | 1.198,16 |                | 1.401,56 |   |         |                |         |   |         |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
| 14   | 750.000                     | 105,98                             | 97,02                 | 1.198,16  | 1.198,16 |                | 1.401,56 |   |         |                |         |   |         |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
| 15   | 400.000                     | 64,11                              | 96,06                 | 1.450,00  | 1.450,00 |                | 930,00   |   |         |                |         |   | 285.000 |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
| <b>Испорука термоелектрани (t/год)</b>       |                             |                                    |                       | 245.000   | 270.000  |                |          | 285.000   | 245.000 |                | 270.000 |   | 285.000 | 245.000 |                | 270.000   |    | 285.000 |         |  |  |  |
| <b>Цена испоруке кречњака</b>                |                             |                                    |                       | 719.262.750,00 дин.                                       |          |                |          | 899,07 дин/t  |         |                |         | 878.728.900,00 дин.                                       |         |         |                | 1.098,41 дин/t  |    |         |         |  |  |  |
| <b>Квалитет кречњака</b>                     |                             |                                    |                       | 97,21% СаСО <sub>3</sub> (услов ≥ 95% СаСО <sub>3</sub> ) |          |                |          | 97,67% СаСО <sub>3</sub> (услов ≥ 95% СаСО <sub>3</sub> ) |         |                |         | 97,67% СаСО <sub>3</sub> (услов ≥ 95% СаСО <sub>3</sub> ) |         |         |                | 97,67% СаСО <sub>3</sub> (услов ≥ 95% СаСО <sub>3</sub> ) |    |         |         |  |  |  |
| <b>Предност према цени испоруке кречњака</b> |                             |                                    |                       | • (-22,17%)   |          |                |          |   |         |                |         |   |         |         |                |   |    |         |         |  |  |  |
| <b>Предност према квалитету кречњака</b>     |                             |                                    |                       |   |          |                |          |   |         |                |         |   |         |         |                | • (+0,47%)  |    |         |         |  |  |  |
| <b>Повољније решење</b>                      |                             |                                    |                       |   |          |                |          |   |         |                |         |   |         |         |                | •   |    |         |         |  |  |  |

Табела 26. Упоредна анализа једнокритеријумског и вишекритеријумског решења - Варијанта Б

| Површински коп                        | Капацитет пов. копа (t/год) | Експлоатациони век пов. копа (год) | СаСО <sub>3</sub> (%) | Термоелектрана  |          |                |              | Решење  |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------|---|----------|----------------|--------------|---|---------|---------------------|---------|-------------------|----------------|----------------|---------|---------|
|                                       |                             |                                    |                       | T1  | T2       | T3             | T4           | Једнокритеријумско  |         |                     |         | Вишекритеријумско |                |                |         |         |
|                                       |                             |                                    |                       | Потребе (t)   |          |                |              | T1  | T2      | T3                  | T4      | T1                | T2             | T3             | T4      |         |
|                                       |                             |                                    |                       | 245.000   | 270.000  |                | 285.000      |   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| Трошкови сировине (дин/t)             |                             |                                    |                       | T1  | T2       | T3             | T4           | T1  | T2      | T3                  | T4      |                   |                |                |         |         |
| 1                                     | 350.000                     | 80,86                              | 97,04                 | 870,00  | 760,00   | Није у систему | 1.400,00     | 80.000  | 270.000 | Није у систему      |         | 245.000           | 105.000        | Није у систему |         |         |
| 2                                     | 200.000                     | 66,50                              | 99,57                 | 1.087,35  | 1.087,35 |                | 1.882,89     | 165.000   | ≥       |                     |         |                   | 165.000        |                |         | 35.000  |
| 3                                     | 50.000                      | 45,87                              | 98,38                 | 1.291,56  | 1.291,56 |                | 3.091,69     |   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| 4                                     | 800.000                     | 12,39                              | 98,50                 | 1.318,49  | 1.275,31 |                | 2.009,23     |   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
|                                       |                             |                                    |                       |   |          |                |              |   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| 6                                     | 150.000                     | 62,19                              | 94,39                 | 1.408,49  | 1.408,49 |                | 2.012,89     |   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| 7                                     | 162.000                     | 44,15                              | 97,97                 | 1.424,83  | 1.295,31 |                | 2.288,26     |   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| 8                                     | 300.000                     | 21,99                              | 97,00                 | 1.444,83  | 1.272,14 |                | 2.308,26     |   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| 9                                     | 280.000                     | 62,07                              | 95,19                 | 1.242,14  | 1.112,63 |                | 2.278,26     |   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| 10                                    | 300.000                     | 57,51                              | 97,04                 | 1.096,66  | 1.096,66 |                | 1.361,86     |   |         |                     |         |                   |                |                |         | 250.000 |
| 11                                    | 333.000                     | 145,77                             | 97,29                 | 1.391,86  | 1.391,86 |                | 1.207,46     |   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| 12                                    | 300.000                     | 60,00                              | 95,34                 | 1.255,31  | 1.341,66 |                | 1.471,17     |   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| 13                                    | 900.000                     | 59,67                              | 94,96                 | 1.198,16  | 1.198,16 |                | 1.401,56     |   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| 14                                    | 750.000                     | 105,98                             | 97,02                 | 1.198,16  | 1.198,16 |                | 1.401,56     |   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| 15                                    | 400.000                     | 64,11                              | 96,06                 | 1.450,00  | 1.450,00 |                | 930,00       |   |         |                     |         | 285.000           |                |                |         |         |
| Испорука термоелектрани (t/год)       |                             |                                    |                       | 245.000   | 270.000  |                | 285.000      | 245.000   | 270.000 |                     | 285.000 | 245.000           | 270.000        |                | 285.000 |         |
| Цена испоруке кречњака                |                             |                                    |                       | 719.262.750,00 дин.                                       |          |                | 899,07 дин/t |   |         | 878.728.900,00 дин. |         |                   | 1.098,41 дин/t |                |         |         |
| Квалитет кречњака                     |                             |                                    |                       | 97,21% СаСО <sub>3</sub> (услов ≥ 95% СаСО <sub>3</sub> ) |          |                |              | 97,67% СаСО <sub>3</sub> (услов ≥ 95% СаСО <sub>3</sub> ) |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| Предност према цени испоруке кречњака |                             |                                    |                       | • (-22,17%)   |          |                |              |   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| Предност према квалитету кречњака     |                             |                                    |                       |   |          |                |              | • (+0,47%)  |         |                     |         |                   |                |                |         |         |
| Повољније решење                      |                             |                                    |                       |   |          |                |              | •   |         |                     |         |                   |                |                |         |         |

Табела 27. Упоредна анализа једнокритеријумског и вишекритеријумског решења - Варијанта В

| Површински коп                               | Капацитет пов. копа (t/год) | Експлоатациони век пов. копа (год) | СаСО <sub>3</sub> (%) | Термоелектрана |          |          |          | Решење  |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
|--|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------|----------|----------|----------|---|---------|--------------|---------|---|---------|----------------|---------|--------|----|----|----|
|  |                             |                                    |                       | T1             | T2       | T3       | T4       | Једнокритеријумски  |         |              |         | Вишекритеријумски   |         |                |         |        |    |    |    |
|  |                             |                                    |                       | Потребе (t)    |          |          |          | Трошкови сировине (дин/t)                                 |         |              |         | T1  | T2      | T3             | T4      | T1     | T2 | T3 | T4 |
|  |                             |                                    |                       | 245.000        | 270.000  | 75.000   | 285.000  |   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
| 1  | 350.000                     | 80,86                              | 97,04                 | 870,00         | 760,00   | 1.490,00 | 1.400,00 | 80.000  | 270.000 |              |         | 45.000  | 270.000 | 35.000         |         |        |    |    |    |
| 2  | 200.000                     | 66,50                              | 99,57                 | 1.087,35       | 1087,35  | 833,43   | 1.882,89 | 125.000   |         | 75.000       |         | 200.000   |         |                |         |        |    |    |    |
| 3  | 50.000                      | 45,87                              | 98,38                 | 1.291,56       | 1.291,56 | 1.291,56 | 3.091,69 |   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
| 4  | 800.000                     | 12,39                              | 98,50                 | 1.318,49       | 1.275,31 | 1.145,80 | 2.009,23 |   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
| 5  | 1.000.000                   | 9,70                               | 97,54                 | 1.341,56       | 1.341,56 | 1.341,56 | 2.882,66 |   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
| 6  | 150.000                     | 62,19                              | 94,39                 | 1.408,49       | 1.408,49 | 1.235,80 | 2.012,89 |   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
| 7  | 162.000                     | 44,15                              | 97,97                 | 1.424,83       | 1.295,31 | 1.511,17 | 2.288,26 |   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
| 8  | 300.000                     | 21,99                              | 97,00                 | 1.444,83       | 1.272,14 | 1.531,17 | 2.308,26 |   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
| 9  | 280.000                     | 62,07                              | 95,19                 | 1.242,14       | 1.112,63 | 1.198,97 | 2.278,26 |   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
| 10   | 300.000                     | 57,51                              | 97,04                 | 1.096,66       | 1.096,66 | 1.096,66 | 1.361,86 | 40.000  |         |              |         |   |         | 40.000         | 260.000 |        |    |    |    |
| 11   | 333.000                     | 145,77                             | 97,29                 | 1.391,86       | 1.391,86 | 1.391,86 | 1.207,46 |   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
| 12   | 300.000                     | 60,00                              | 95,34                 | 1.255,31       | 1.341,66 | 1.039,46 | 1.471,17 |   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
| 13   | 900.000                     | 59,67                              | 94,96                 | 1.198,16       | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.401,56 |   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
| 14   | 750.000                     | 105,98                             | 97,02                 | 1.198,16       | 1.198,16 | 1.198,16 | 1.401,56 |   |         |              |         |   |         |                |         | 25.000 |    |    |    |
| 15   | 400.000                     | 64,11                              | 96,06                 | 1.450,00       | 1.450,00 | 1.892,89 | 930,00   |   |         |              | 285.000 |   |         |                |         |        |    |    |    |
| <b>Испорука термоелектране (t/год)</b>       |                             |                                    |                       |                |          |          |          | 245.000   | 270.000 | 75.000       | 285.000 | 245.000   | 270.000 | 75.000         | 285.000 |        |    |    |    |
| <b>Цена испоруке кречњака</b>                |                             |                                    |                       |                |          |          |          | 782.142.400,00 дин.                                       |         | 893,88 дин/t |         | 946.959.000,00 дин.                                       |         | 1.082,24 дин/t |         |        |    |    |    |
| <b>Квалитет кречњака</b>                     |                             |                                    |                       |                |          |          |          | 97,30% СаСО <sub>3</sub> (услов ≥ 95% СаСО <sub>3</sub> ) |         |              |         | 97,62% СаСО <sub>3</sub> (услов ≥ 95% СаСО <sub>3</sub> ) |         |                |         |        |    |    |    |
| <b>Предност према цени испоруке кречњака</b> |                             |                                    |                       |                |          |          |          | • (- 21,00 %)   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
| <b>Предност према квалитету кречњака</b>     |                             |                                    |                       |                |          |          |          | • (+ 0,33%)   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |
| <b>Повољније решење</b>                      |                             |                                    |                       |                |          |          |          | •   |         |              |         |   |         |                |         |        |    |    |    |

## 5. ЗАКЉУЧАК

План и циљеви истраживања у оквиру докторске дисертације у потпуности су остварени. Обим и ниво теоријских и тест експерименталних истраживања на случају термоенергетског комплекса Електропривреде Србије, пружа поузданост исходних резултата и даје могућност генерализације закључака.

Захваљујући софтверској и хардверској подршци задатак је брзо и лако остварљив. Због значајно веће аналитичке сигурности и боље видљивости проблема и решења, обим користи која се овим путем постиже неоспорно је већа, али квантитативни приказ може бити комплексан.

Резултати вишеатрибутног и једнокритеријумског тест експеримента планирања снабдевања кречњаком за одсумпоравање димних гасова у постројењима на угља термоенергетског комплекса Електропривреде Србије, афирмишу и потврђују препоруку да када нема експлицитне преферентности према одређеном квантитативном моделу за подршку одлучивању, због поузданости и потпунијег сагледавања алтернативности решења, сугерише се примена два или више модела.

Анализа осетљивости рангова показала је да мале до ниже средње промене ентитетских параметара не утичу на стабилност решења, што упућује на закључак да би вишеатрибутно конституисан план снабдевања био такође релативно постојан. Међутим, треба имати у виду да су додељене тежине, показале јаку повезаност, што упозорава да тежине морају бити промишљено и објективно дефинисане.

Разлике моделских резултата које су готово извесне, могуће је премостити преферирањем критеријума, најчешће економетријског, у овом случају коришћена је цена кречњака, пондерисањем или другим приступом.

Истраживања су идентификовала потенцијални хоризонт наставка истраживања на овом пољу, то се првенствено односи на упоредна истраживања примене комбинаторне оптимизације у решавању ове класе задатака.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Newman, A. M., Rubio, E., Caro, R., Weintraub, A., Eurek, K. (2010), A review of operations research in mine planning. *Interfaces*, 40(3), 222-245.
- [2] Jang, H., Topal, E. (2014), A review of soft computing technology applications in several mining problems, *Applied Soft Computing*, 22, 638-651.
- [3] Sitorus, F., Cilliers, J. J., Brito-Parada, P. R. (2019), Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: Applications and trends, *Expert systems with applications*, 121, 393-417.
- [4] Azadeh, A., Osanloo, M., Ataei, M. (2010), A new approach to mining method selection based on modifying the Nicholas technique, *Applied Soft Computing*, 10(4), 1040-1061.
- [5] Chicoisne, R., Espinoza, D., Goycoolea, M., Moreno, E., Rubio, E. (2012), A new algorithm for the open-pit mine production scheduling problem, *Operations research*, 60(3), 517-528.
- [6] Cherchenevski, P. K., Costa, J. F. C. L., Rubio, R. H. (2019), Grade uncertainty embedded in long term scheduling: stochastic mine planning, *REM-International Engineering Journal*, 72, 275-284.
- [7] Koushavand, B., Askari-Nasab, H., Deutsch, C. V. (2014), A linear programming model for long-term mine planning in the presence of grade uncertainty and a stockpile, *International Journal of Mining Science and Technology*, 24(4), 451-459.
- [8] Afum, B. O., Ben-Awuah, E., Askari-Nasab, H. (2020), A mixed integer linear programming framework for optimising the extraction strategy of open pit-underground mining options and transitions, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 34(10), 700-724.
- [9] Gholamnejad, J., Lotfian, R., Kasmaeeyazdi, S. (2020), A practical, long-term production scheduling model in open pit mines using integer linear programming, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 120(12), 665-670.
- [10] Lutsenko, S., Hryhoriev, Y., Peregudov, V., Kuttybayev, A., Shampykova, A. (2021), Improving the methods for determining the promising boundaries of iron ore open pits. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 280, p. 01005), EDP Sciences.
- [11] Espinoza, D., Goycoolea, M., Moreno, E., Newman, A. (2013), MineLib: a library of open pit mining problems, *Annals of operations research*, 206, 93-114.

- [12] Ali, A. M. A., Wasly, H. S., Abdellah, W. R., Jang, H. (2018), Optimization of blending operation for Aswan phosphate mines using linear programming, *Mining of mineral deposits*, 12(4), 1-8.
- [13] Cohen, M. W., Coelho, V. N. (2021), Open-pit mining operational planning using multi agent systems, *Procedia Computer Science*, 192, 1677-1686.
- [14] Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., Fomychova, L. (2020), Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises, In *E3S Web of Conferences* (Vol. 201, p. 01030), EDP Sciences.
- [15] Soleymani Shishvan, M., Benndorf, J. (2017), Operational decision support for material management in continuous mining systems: from simulation concept to practical full-scale implementations, *Minerals*, 7(7), 116.
- [16] Halilović, D., Gligorić, M., Gligorić, Z., Pamučar, D. (2023), An Underground Mine Ore Pass System Optimization via Fuzzy 0–1 Linear Programming with Novel Torricelli–Simpson Ranking Function. *Mathematics*, 11(13), 2914.
- [17] Dabula G., Comparison of genetic algorithm and linear programming approaches to optimally locate ore passes in the Venetia underground project, University of Witwatersrand, Johannesburg, South Africa, 2019.
- [18] Rahmanpour, M., Osanloo, M. (2017), Application of fuzzy linear programming for short-term planning and quality control in mine complexes, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 117(7), 684-694.
- [19] Santelices, G., Pascual, R., Lüer-Villagra, A., Mac Cawley, A., Galar, D. (2017), Integrating mining loading and hauling equipment selection and replacement decisions using stochastic linear programming, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 31(1), 52-65.
- [20] Erwanda, R., Ridwan, A. Y., Muttaqin, P. S. (2022), Optimization of Heavy Equipment Costs in Coal Mining Overburden Production Using Match Factor and Linear Programming, In *Conference on Broad Exposure to Science and Technology 2021 (BEST 2021)* (pp. 323-331). Atlantis Press.
- [21] Abdel Sabour, S. A., Wood, G. (2009), Modelling financial risk in open pit mine projects: implications for strategic decision-making, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 109(3), 169-175.
- [22] Martinez, L. A. (2009), Why accounting for uncertainty and risk can improve final decision-making in strategic open pit mine evaluation, In *Project Evaluation Conference* (p. 113).

- [23] Ren, H., Zhao, Y., Xiao, W., Hu, Z. (2019), A review of UAV monitoring in mining areas: Current status and future perspectives, *International Journal of Coal Science & Technology*, 6, 320-333.
- [24] Bongaerts, J. C. (2020), Mining 4.0 in the context of developing countries, *African Journal of Mining, Entrepreneurship and Natural Resource Management*, 2(1), 36-43.
- [25] Badri, A., Nadeau, S., Gbodossou, A. (2011), Integration of OHS into risk management in an open-pit mining project in Quebec (Canada), *Minerals*, 1(1), 3-29.
- [26] Sarkar, S., Vinay, S., Raj, R., Maiti, J., Mitra, P. (2019), Application of optimized machine learning techniques for prediction of occupational accidents, *Computers & Operations Research*, 106, 210-224.
- [27] Miranda, J. P. (2007), *Handbook of operations research in natural resources*, Springer Science & Business Media.
- [28] Molaie, F., Rahimi, E., Siavoshi, H., Afrouz, S. G., Tenorio, V. (2020), A comprehensive review on internet of things (IoT) and its implications in the mining industry, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(3), 499-515.
- [29] Булатовић, Д., Остојић, Б., Лутовац, М., Лутовац, М. (2019). Улога пословног одлучивања у функционисању компаније, *Војно дело* 71(2), 278-288
- [30] Olalekan, A., Olubunmi, O., Samson, O., & Oluwatoyin, F. (2021). Effective Management Decision Making and Organisational Excellence: A Theoretical Review. *The International Journal of Business & Management*. 9: 144-150
- [31] Saliu, F., & Zendeli, M. (2022). The Impact of Business Strategic Decisions of Company Management on Human Resources and Employee Motivation. *Central Asian Journal Of Literature, Philosophy And Culture*, 3(2), 52-59
- [32] Сућеска А. (2018). Пословно одлучивање, Травник: Универзитет у Травнику, Факултет за менаџмент и пословну економију
- [33] Петар Јовановић (2006) - Како постати добар менаџер, Висока школа за пројектни менаџмент - Београд
- [34] Daft, R. (2016). *Management – Twelfth edition*, Vanderbilt University, Cengage Learning
- [35] Yates, J., F., (2012) *Пословно одлучивање*, Мате д.о.о.
- [36] Ђурић, З. (2019). *Пословно одлучивање*, Београд: Београдска академија пословних и уметничких струковних студија

- [37] Худеј, М. (2014). Мултиваријабилни модели управљања у рударству, Докторска теза, Београд: Рударско – геолошки факултет Универзитета у Београду
- [38] Вујић, С. (1994). Multicriterium mathematics – modeling approach to production planning strategy of mineral resources, Proceedings of the XVI World Mining Congress, Sofia, Bulgaria
- [39] Vanderbei, R. J. (2020). Linear programming. Springer International Publishing.
- [40] Ozer, F. (2019). Comparasion of integer linear programming and dynamic programming approaches for atm cash replenishment optimization problem. Middle East Technical University.
- [41] Dantzig, G. B., & Thapa, M. N. (2003). Linear programming: Theory and extensions. Springer.
- [42] Gass, S. I. (2003). Linear programming: methods and applications. Courier Corporation.
- [43] Dorfman, R. (2022). Application of linear programming to the theory of the firm: including an analysis of monopolistic firms by non-linear programming. Univ of California Press.
- [44] Matoušek, J., & Gärtner, B. (2007). Understanding and using linear programming. Springer.
- [45] Sawik, B. (2013). Survey of multi-objective portfolio optimization by linear and mixed integer programming. In Applications of management science (pp. 55-79). Emerald Group Publishing Limited.
- [46] Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J., & Sherali, H. D. (2011). Linear programming and network flows. John Wiley & Sons.
- [47] Ficken, F. A. (2015). The simplex method of linear programming. Courier Dover Publications.
- [48] Mizuno, S. (2014). A strongly polynomial simplex method for totally unimodular LP. Technical Report 2014-3, Department of Industrial Engineering and Management, Tokyo Institute of Technology.
- [49] Ye, Y. (2011). Interior point algorithms: theory and analysis. John Wiley & Sons.
- [50] Dantzig, G. B. (2002). Linear programming. Operations research, 50(1), 42-47.
- [51] Paris, Q. (2016). An economic interpretation of linear programming. Palgrave Macmillan US.



- [52] Чупић, М., Сукновић, М. (2010). Одлучивање, Београд: Факултет организационих наука
- [53] Вулевић, Т. (2017). Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско - планинских подручја Србије, Докторска теза, Београд: Шумарски факултет Универзитета у Београду
- [54] Howard, R. A. (2007). *The Foundation of the Decision Analysis Revisited*, Cambridge University Press, p.32–57
- [55] Deakin, M., Mitchell, G., Nijkamp, P., Vreeker, R. (2007). *Sustainable urban development: Volume 2: The Environmental Assessment Methods*, Routledge, Taylor and Francis.
- [56] Вујић, С. (2023). Квантитативни модели за подршку одлучивању у планирању и пројектовању у рударству, Рударски институт Београд
- [57] Будимчевић, К. (2017). Вишекритеријумски приступ евалуацији перформанси у функцији побољшања квалитета услуга авио-компанија, Докторска теза, Крагујевац: Економски факултет Универзитета у Крагујевцу
- [58] Lootsma, F. A. (1990). The French and the American School in Multi-criteria Decision Analysis, in 9th International Conference on Multiple Criteria Decision Making – Theory and applications in business, industry, and government, Fairfax, Virginia, USA, 253–267.
- [59] Chen, S.J., Hwang, C.L. (1991). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, No. 375, SpringerVerlag, Berlin, Germany
- [60] Hwang, C. L., Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: A State of the Art Survey, in *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* 186, Springer-Verlag, Berlin.
- [61] Saaty, T.L. & Kearns, K. (1985). *Analytical Planning: The Organization of Systems*, The Analytic Hierarchy Process Series, Inderscience Publishers
- [62] Поповић, Г. (2014). Вишекритеријумска евалуација пројеката експлоатације минералних ресурса, Београд: Мегатренд Универзитет, Факултет за менаџмент
- [63] Mareschal, B., Brans, J. P., & Vincke, P. (1984). PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis (No. 2013/9305). ULB-Universite Libre de Bruxelles.
- [64] Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). Preference ranking organization method for enrichment evaluations. *Management Science*, 31(6).

- [65] Kolli, S., Parsaei, H. R. (1992). Multi-criteria analysis in the evaluation of advanced manufacturing technology using PROMETHEE, *Computers and Industrial Engineering*, ol. 23 (1-4), 455-458.
- [66] Пауновић, М. (2014). Анализа могућности примене PROMETHEE методе у одлучивању, Чачак: Факултет техничких наука
- [67] Brans, J. P., Vincke, P., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European journal of operational research*, 24(2), 228-238.
- [68] Brans, J. P. - Centrum voor Statistiek en Operationeel Onderzoek Vrije, Mareschal, B. Service de Mathématiques de la Gestion (2005) Chapter 5, PROMETHEE METHODS
- [69] Богдановић, Д., Николић, Ђ., Илић, И. (2011). Mining method selection by integrated ANP and PROMETHEE method, Бор: Технички факултет у Бору
- [70] Праштало, Ж., Симовић, И., Милошевић, М. Д. (2015) Улога рударства у заштити животне средине, 40 Научна конференција - Одржавање машина и опреме, Будва Црна Гора, 478-486.
- [71] Студија о могућности снабдевања кречњаком за потребе одсумпоравања димних гасова (ОДГ) ТЕ Костолац, ТЕ Никола Тесла и нових термо капацитета, Рударски институт и ТЕКОН системи, 2014
- [72] Vujić, S., Praštalo, Ž., Popović, M., Stjepanović, P., Nešković, J. (2023) Multi-Attribute Ranking of Entities for Limestone Supply under the Conditions of Variable Thermal Power Complex Structure, *JOURNAL OF MINING SCIENCE*, Vol. 59(5), 849-855.
- [73] Praštalo, Ž., Vujić, S., Kuzmanović, M., Stjepanović, P., Šarac, R. (2023) Single-Criterion Optimization of Limestone Supply under the Conditions of Variable Thermal Power Complex Structure and the Differences between Solutions, *JOURNAL OF MINING SCIENCE*, Vol. 59(5), 856-861.

## БИОГРАФИЈА

---

---

ПРАШТАЛО ЖЕЉКО **дипл. инж. рударства / магст.**



---

Рођен 16.01.1978. године у Загребу, Хрватска. Основну школу завршио у Загребу, средњу електротехничку школу завршио у Београду. Студије рударства на Рударско-геолошком факултету, универзитета у Београду, на смеру површинска експлоатација лежишта минералних сировина, завршио 2006. године. Након завршетка студија, запослио се у компанији Делта аутомото д.о.о. и радио до 2011. године, на пословима продајног саветника и помоћника директора продаје за путничка возила.

Од 2011. године запослен у компанији Рударски институт д.о.о Београд у групи за површинску експлоатацију, при заводу за пројектовање експлоатације лежишта минералних сировина. Након рада на позицији приправника и млађег стручног сарадника, а након полагања стручног испита новембра 2013. године, постаје стручни сарадник пројектант. Године 2021 постаје Управник завода. Учествовао у изради више пројеката и студија из области површинске експлоатације угљева, рекултивације и ремедијације површинских копова и подводне експлоатације минералних сировина.

Магистар студије уписао 2014. године, на смеру рударско инжењерство, модул површинска експлоатација лежишта минералних сировина. У септембру 2015. године, завршио магистар студије са просечном оценом 9.30, са темом завршног рада “Оптимизација површинских копова метала коришћењем софтвера – SURPAC”.

Докторске академске студије уписао 2015. године, на смеру рударско инжењерство са ужом области истраживања системско инжењерство.

Одлуком број 2951 од 15.09.2020, Научног већа рударског института, Београд, изабран у истраживачко звање ИСТРАЖИВАЧ-САРАДНИК.

Аутор и коаутор, преко 40 радова објављених у домаћим и страним часописима и на симпозијумима. Учесник у изради 5 техничких и развојних решења.

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада**

Име и презиме аутора ЖЕЉКО ПРАШТАЛО

Број индекса P 712/15

Студијски програм РУДАРСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

Наслов рада ОДЛУЧИВАЊЕ У СЛУЧАЈУ ДИФЕРЕНТНОСТИ ПРОЈЕКТНИХ РУДНИЧКИХ РЕШЕЊА УПОРЕДНИМ ЈЕДНО И ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИМ МОДЕЛОВАЊЕМ

Ментор Проф. ДР ИГОР МИЉАНОВИЋ

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, 28.12.2023.

\_\_\_\_\_

## Изјава о ауторству

Име и презиме аутора ЖЕЉКО ПРАШТАЛО

Број индекса P 712/15

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

ОДЛУЧИВАЊЕ У СЛУЧАЈУ ДИФЕРЕНТНОСТИ ПРОЈЕКТНИХ РУДНИЧКИХ РЕШЕЊА  
УПОРЕДНИМ ЈЕДНО И ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИМ МОДЕЛОВАЊЕМ

- 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, 28.12.2023.

\_\_\_\_\_

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ОДЛУЧИВАЊЕ У СЛУЧАЈУ ДИФЕРЕНТНОСТИ ПРОЈЕКТНИХ РУДНИЧКИХ РЕШЕЊА  
УПОРЕДНИМ ЈЕДНО И ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИМ МОДЕЛОВАЊЕМ

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, 28.12.2023.

\_\_\_\_\_

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.