



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

|||||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0009514>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

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

Бојан С. Димитријевић

**ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ МОДЕЛ
УПРАВЉАЊА РЕКУЛТИВАЦИЈОМ
ПОВРШИНСКИХ КОПОВА УГЉА**

Београд, 2024.

ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ МОДЕЛ УПРАВЉАЊА РЕКУЛТИВАЦИЈОМ ПОВРШИНСКИХ КОПОВА УГЉА

Проф. др Бојан С. Димитријевић, дипл. инж. рударства

Рецензенти

Проф. др Никола Лилић, дипл. инж. рударства, редовни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду,

Проф. др Јасминка Цвејић, дипл. инж. пејзажне архитектуре, редовни професор у пензији Шумарског факултета Универзитета у Београду,

Проф. др Владимир Малбашић, дипл. инж. рударства, Универзитет у Бањој Луци, Рударски факултет у Приједору, Република Српска, Босна и Херцеговина

Проф. др Томислав Шубарановић, дипл. инж. рударства, ванредни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

Издавач:

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
11000 Београд, Ђушина 7

Е-адреса: bojan.dimitrijevic@rgf.bg.ac.rs; <https://rgf.bg.ac.rs/>

За издавача

Декан проф. др Биљана Албомасов, дипл. инж. геол.

Уредник:

Проф. др Владимир Чебашек, руководилац Рударског одсека

Припрема и прелом

Дипл. инж. Славомир Брајковић

Лектура и коректура

Мср Александра Пауновић, ИКУМ, Београд

Штампа

Службени гласник, Београд

Штампано уз финансијску подршку Министарства за науку, технолошки развој и иновације републике Србије

Тираж

100

ISBN 978-86-7352-401-6

Copyright ©

Сва права задржава аутор

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

502.174:[622.271:622.332

ДИМИТРИЈЕВИЋ, Бојан, 1966-

Вишекритеријумски модел управљања рекултивацијом
површинских копова угља / Бојан С. Димитријевић. -
Београд : Универзитет, Рударско-геолошки факултет, 2024
(Београд : Горапрес). - 156 стр. : илустр. ; 30 cm

“Монографија... проистекла је из докторске дисертације
Оптимизација управљања процесима рекултивације
површинских копова угља коју сам израдио и одбранио
на Рударско-геолошком факултету Универзитета у
Београду 2014. године ...” --> предговор. - Тираж 100. -
Биографска белешка о аутору: стр. 153-156. - Напомене и
библиографске референце уз текст. - Библиографија: стр.
138-143. - Регистар. - Abstract.

ISBN 978-86-7352-401-6

а) Рудници угља -- Површински коп -- Рекултивација
COBISS.SR-ID 144631817

*Овом књигом изражавам искрену захвалност на великој подршци и
разумевању родитељима Станчету и Ружи, сину Димитрију и сестри Весни*

САДРЖАЈ

ПРЕДГОВОР	9
1.0. УВОД	12
2.0. ПОСЛОВНЕ ОДРЕДНИЦЕ РЕКУЛТИВАЦИЈЕ ПОВРШИНСКИХ КОПОВА	20
2.1. Развој површинског експлоатационог захвата	20
2.2. Рекултивација површинских копова	21
2.2.1. Дефинисање пословног процеса	21
2.2.2. Елементи пословних процеса	22
2.2.3. Карактеристике пословних процеса	22
2.3. Пословни процеси површинске експлоатације угља	23
2.3.1. Идентификација пословних процеса површинске експлоатације угља	23
2.3.2. Управљање рекултивацијом	27
2.3.3. Планирања рекултивације и површинског захвата	29
3.0. ОДЛУЧИВАЊЕ И УПРАВЉАЊЕ РЕКУЛТИВАЦИЈОМ	35
3.1. О одлучивању и управљању	35
3.2. Обележја рекултивације предела деградираних површинском експлоатацијом минералних сировина и утицај на животну средину	38
3.3. Одлучивање током рекултивације	47
3.4. Значајнији техничко-технолошких елементи рекултивационих процеса	55
3.5. Математичко-моделски приступи у одлучивању	65
3.5.1. Увод у вишекритеријумско одлучивање	65
3.5.1.1. Вишеатрибутивно одлучивање	69
3.5.1.2. Вишециљно одлучивање	70
3.5.1.2.1. Вишекритеријумско програмирање (VP)	70
3.5.1.2.2. Циљно програмирање	71
3.5.2. Поставак проблема вишекритеријумске оптимизације	72
3.5.2.1. Методе одређивања неинфериорних решења	74
3.5.2.2. Методе тежинских коефицијената	74
3.5.2.3. Метода ограничења у простору критеријумских функција	75
3.5.2.4. Вишекритеријумска симплекс метода	75
3.5.2.5. Методе са унапред израженом преференцијом	76
3.5.2.6. Метода PROMETHEE	76
4.0. АЛГОРИТАМ ДОНОШЕЊА ОДЛУКЕ ТОКОМ РЕКУЛТИВАЦИЈЕ	80
4.1. Структурни елементи алгоритма одлучивања током рекултивације	80
4.2. Алгоритам	83
4.3. Избор критеријума и решења рекултивације и критеријуми уређења деградираних предела	87
5.0. ПРИМЕРИ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ИЗБОРА РЕКУЛТИВАЦИОНИХ РЕШЕЊА	94
5.1. Површински коп Кленовник	94
5.1.1. Приказ реалног проблема	94
5.1.2. Модел реалног проблема	100

5.1.3. Приказ и анализа решења	102
5.2. Површински коп Тамнава – Западно Поље	104
5.2.1. Приказ реалног проблема.....	104
5.2.2. Модел реалног проблема	108
5.2.3. Приказ и анализа решења	110
5.3. Површински коп Богутово Село, Угљевик	112
5.3.1. Приказ реалног проблема.....	112
5.3.3. Приказ и анализа решења	119
ПОГОВОР.....	121
APPENDIX.....	124
ЛИТЕРАТУРНИ ИЗВОРИ.....	138
ИНДЕКС ИМЕНА.....	144
РЕЗИМЕ.....	147
ABSTRACT.....	149
БИОГРАФСКА БЕЛЕШКА О АУТОРУ.....	151

САДРЖАЈ СЛИКА

Слика 1.1. Методологија истраживања	19
Слика 2.1. Динамичка усклађеност периода површинске експлоатације, фаза и процеса рекултивације.....	21
Слика 2.2. Основни пословни процеси површинске експлоатације угља	24
Слика 2.3. Потпроцеси процеса рекултивације на контексном нивоу.....	25
Слика 2.4. Модел процеса техничке рекултивације	25
Слика 2.5. Модел процеса биолошке рекултивације.....	26
Слика 2.6. Модел процеса мониторинга радне средине.....	26
Слика 2.7. Модел процеса мониторинга животне средине.....	27
Слика 2.8. Процесни модел управљања рекултивацијом	28
Слика 2.9. Планирање развоја и затварања површинског копа укључујући и рекултивацију.....	30
Слика 2.10. Смањење ризика и незнања добре праксе	31
Слика 2.11. Нивои планирања кроз животни циклус површинског копа.....	33
Слика 2.12. Модел оптимизације управљања процесима рекултивације на површинским коповима.....	34
Слика 3.1. Површински коп Фортуна Гарсдорф, завршна фаза.....	41
Слика 3.2. Простор површинског копа Фортуна Гарсдорф данас.....	41
Слика 3.3. Технолошка шема рада булдозера на засецању завршних формирања берми	60
Слика 3.4. Технолошка шема рада булдозера на планирању материјала са камионским транспортом	61
Слика 3.5. Технологија рада булдозера на планирању.....	62
Слика 3.5.1. Шематски приказ процеса оптимизације.....	66
Слика 4.1. Алгоритам процесног одлучивања у поступку избора рекултивационог решења.....	84
Слика 5.1. Литостратиграфски стуб лежишта угља Кленовник.....	95
Слика 5.2. Основна технолошка шема рада на површинском копу Кленовник.....	97
Слика 5.3. Прегледна геолошка карта ширег басена угља Костолац са лежиштима Кленовник, Ћириковац и Дрмно	98
Слика 5.4. Постојеће стање експлоатационог поља површинског копа Кленовник	99
Слика 5.5. Прегледна карта површинског копа Тамнава – Западно Поље	104
Слика 5.6. Принципијелна технолошка шема откопавања и одлагања откритке на површинском копу Тамнава – Западно Поље	105
Слика 5.7. Шематски стуб угљевичке угљоносне формације.....	113
Слика 5.8. Површине обухваћене рударским радовима (1 – Северни ревир, 2 – Ревир Стара Јама, 3 – Јужни ревир, 4 – Ревир Јаблани, 5 – Западно одлагалиште, 6 – Северно одлагалиште).....	114

САДРЖАЈ ТАБЕЛА

Табела 3.1. Основна дејства и резултати утицаја површинске експлоатације на животну средину.....	33
Табела 3.2. Разлике особина вишеатрибутног и вишециљног одлучивања	68
Табела 4.1. Варијанте или алтернативе рекултивационих решења	87
Табела 4.2. Критеријуми решења	88
Табела 4.3. Категоризација критеријума решења	89
Табела 4.4. Вредновање критеријума решења	90
Табела 4.5. Конверзија описних у нумеричке вредности критеријумских оцена решења.....	91
Табела 5.1. Откопно-транспортно-одлагалишна опрема на површинском копу Кленовник	96
Табела 5.2. Површински коп Кленовник (описне вредности) решења	100
Табела 5.3. Површински коп Кленовник (нумеричке вредности) решења.....	101
Табела 5.4. Квантификована иницијална матрица одлучивања (О): (КОРАК 1) за површински коп Кленовник, решења.....	102
Табела 5.5. Одређивање индекса преференција (IP) и ранг алтернативних решења: (КОРАК 3) за површински коп Кленовник, решења.....	103
Табела 5.6. Преглед опреме површинског копа Тамнава – Западно Поље	107
Табела 5.7. Површински коп Тамнава – Западно Поље (описне вредности) решења	108
Табела 5.8. Површински коп Тамнава – Западно Поље (нумеричке вредности)	109
Табела 5.9. Квантификована иницијална матрица одлучивања (О): (КОРАК 1) за површински коп Тамнава – Западно Поље, решења.....	110
Табела 5.10. Одређивање индекса преференција (IP): (КОРАК 3) решења	111
Табела 5.11. Површине захваћене рударским радовима	116
Табела 5.12. Површински коп Богutowo село (описне вредности)	117
Табела 5.13. Површински коп Богutowo село (нумеричке вредности) решења	118
Табела 5.14. Квантификована иницијална матрица одлучивања (О): (КОРАК 1) за површински коп Богutowo Село, решења	119
Табела 5.15. Одређивање индекса преференција (IP): (КОРАК 3) решења	120

ПРЕДГОВОР

Ова књига, писана као научна монографија, дефинисана насловом *Вишекритеријумски модел управљања површинских копова угља* проистекла је из докторске дисертације *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља* коју сам израдио и одбранио на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду 2014. године под менторством академика проф. др Слободана Вујића и професора др Николе Лилића, као и касније објављених радова из предметне области. Циљ објављивања овако конципираног научно-истраживачког материјала је „практична примена и употреба“ као уџбеничког штива за потребе предмета *Управљање и оптимизација процеса рекултивације површинских копова и одлагалишта* на докторским студијама Рударског одсека Рударско-геолошког факултета у Београду. Поред тога може се делом користити на базним рекултивационим предметима Модула површинске експлоатације лежишта минералних сировина, као што је Рекултивација површинских копова и одлагалишта на основним и Техничка и биолошка рекултивација у површинској експлоатацији на мастер студијама. Овом приликом захваљујем се рецензентима на пажљиво прочитаном тексту и корисним сугестијама, нарочито др Јасминки Цвејић, професорки у пензији Шумарског факултета, др Николи Лилићу професору Рударско-геолошког факултета у Београду и посебно академику проф. др Слободану Вујићу професору у пензији Рударско-геолошког факултета у Београду и заменику директора Рударског Института у Београду на помоћи око концепције саме књиге и током писања, као и при изради Докторске дисертације. Захваљујем мср Александри Пауновић на великом труду око лектуре и коректуре текста, литературе и индекса имена, као и дипл. инж. Славомиру Брајковићу око техничке припреме и прелома текста.

Ширење површинске експлоатације минералних сировина, а нарочито енергетских ресурса фосилних горива, чине површинске копове угља просторно доминантним објектима великих рударских басена како у нас, тако и у свету. Експлоатациону активност прате негативни еколошки утицаји на животну средину шире околине, што нас обавезује на интегрално планирање, ревитализацију, рекултивацију и уређење нарушеног простора за његово поновно хумано коришћење у постексплоатационом периоду. Постексплоатациона техничка и биолошка рекултивација, опште санирање и уређење предела затворених површинских копова и одлагалишта, односно, тако нарушеног простора изазваног свим рударским радовима и пратећим објектима, захтева један општи синтетички мултидисциплинарни и интердисциплинарни приступ решавања веома комплексног вишефазног инжењерског пројектног задатка.

Постоји читав низ хронолошких прегледа и искустава успешно затворених и рекултивисаних површинских копова угља, кроз анализу примера у светској

практи презентовано у мојој докторској дисертацији. Такође, на основу теоријских аспеката проблема одлучивања и управљања у најширем смислу, отворен је проблем „глобалног“ приступа решавања примене ових феномена на процесе техничке и биолошке рекултивације предела нарушених или деградираних површинском експлоатацијом и анализу њиховог општег утицаја на еколошке факторе по животну средину, екосистем и биодиверзитет.

Технолошки процес рекултивације, посматран као пословни систем, моделован је преко својих потпроцеса: техничка рекултивација, биолошка рекултивација, мониторинга животне средине и мониторинга радне средине, а управљање се реализује кроз процес који садржи потпроцесе *планирање, организовање, праћење реализације и контрола реализације* пословних активности. Као кључни процес, процес планирања рекултивације кроз све фазе развоја површинског копа има три нивоа: прелиминарни, оперативни и финални и може се применити како за нове површинске копове, тако и за површинске копове у раду за које то претходно није детаљно вршено, као и за претходно конзервиране копове.

Анализом могућих моделских приступа за подршку одлучивању током рекултивације кроз различите примере из светске праксе изведен је синтетски приступ предметне проблематике и дат предлог најприкладнијих моделских анализа као природних, техничко-технолошких, правно-економских и друштвено-организационих фактора за подршку одлучивања током рекултивације. Поред тога, прегледно су наведене теоријске могућности примене модела нелинеарног програмирања, пре свега вишекритеријумских, вишеатрибутних и вишециљних модела, као што су *ELECTRE, PROMETHEE, ANP, VIKOR* и др. Дефинисањем нове методологије у структурирању процесима управљања и одлучивања дато је решење Алгоритма процесног одлучивања у поступку избора рекултивационог решења, односно избору најбољег, оптималног решења према задатим критеријумима и предложеним алтернативним рекултивационим варијантама.

Табеларно је диференцирано дванаест могућих одабраних критеријума који се могу представити нумеричком и/или описном вредношћу, с тим да су неки критеријуми алтернативно пожељни, нужни или без алтернативе у облику детерминистичких или описних података. Избор рекултивационих решења могућ је селекцијом одређеног броја од максимално двадесет алтернативних варијанти за сваки површински коп, посебно аналогно селекцијом критеријума. За потребе пројектних решења односно, изабраних површинских копова као истраживачких полигона изабран је модел *PROMETHEE*. Без улажења у анализу и оцену вишеатрибутних модела, при избору модела превагу је имало искуство у његовом коришћењу, постигнути резултати и уграђеност у *PROMETHEE* модел шест генерализованих критеријума за исказивање преференција доносиоца одлуке, што ублажава субјективитет пројектаната. Ово не негира остале методе и не искључује њихову применљивост у решавању овог типа проблема са акцентом на математичку методу *PROMETHEE*, која је послужила у завршном делу дисертације и ове књиге за тест истраживања на три полигона у земљи и региону: површински коп Кленовник Костолачког угљеног басена; површински коп Тамнава – Западно Поље колубарског угљеног басена у Србији, као и површински коп Богутово Село у Угљевичком угљеном басену у Републици Српској (Босна и Херцеговина). Резултати истраживања представљени су

рангирањем појединих пројектних рекултивационих решења по индексу преференција као могућих алтернативних варијанти уређења пострекултивационих предела за сваки површински коп и пратећи одлагалишни простор. Наиме, као прворангирана решења по редоследу тестирања добијене су следеће вредности: 1. Кленовник, коме се предлаже враћање деградираних (нарушених) површина експлоатационог поља шумарским и пољопривредним засадима комбиновано са воденим површинама, парковским, спортско-рекреативним и сличним садржајима; 2. Тамнава – Западно Поље, пошумљавање и 3. Богутово Село, пошумљавање.

На основу добијених резултата за експерименталне површинске копове и њихов околицу, сматрамо их најповољнијим, односно, оптималним рекултивационим варијантама које поред осталих високо позиционираних резултата, дају употпуњену слику уређења постексплоатационих предела. Досадашња рекултивациона пракса у свету, показала је да је могуће створити нове пољопривредне, шумске, ливадске, парковске, туристичке и друге обновљиване просторе као и новоформиране акваторије, чему треба тежити у нашој пракси рекултивације.

1.0. УВОД

Развој површинских копова угља као фундаменталних елемената енергетско-индустријских привредних целина, прате негативни еколошки утицаји на животну средину рударских басена и шире. То нас обавезује на интегрално планирање, ревитализацију, рекултивацију и уређење деградираног, „нарушеног“ простора за његово поновно хумано коришћење у постексплоатационом периоду.

Рекултивација, ревитализација и рестаурација нарушеног земљишта насталог развојем динамике рударских радова, нуди бројне могућности. Како би се избегле штетне последице тих активности, након техничке и биолошке рекултивације, успоставља се нови еко-систем у деградираном пределу. У том смислу предео рекултивисаних површина уклапа се у постојећу еко-заједницу или се пак у целини или делимично мења његова намена за нове потребе.

Рекултивација има мултидисциплинарни и интердисциплинарни карактер јер представља синтезу рударско-технолошких, инжењерско-геолошких (геотехничких и хидрогеолошких), хидротехничких и биоинжењерских (агротехничких-пољопривредних и шумарских мелиоративних поступака), као и других техничких мера које се предузимају у циљу трансформације техногено нарушеног земљишта у стање погодно за пољопривреду (воћарство, ратарство, виноградарство са винарством, подрумарство и винским туризмом, пчеларство, шумарство, рибарство и сточарство), затим ловни туризам, спортско-рекреативни садржаји, бањски и етно-туризам као и простор за градитељство различите намене: парковске и архитектонско-пејзажне амбијенталне целине са хортикултуром, природњачке и културне садржаје, и етно и руралну градњу, или пак у друге економске сврхе као што су ветропаркови, простор за соларне панеле или инфраструктурне објекте различите намене, ако је тако нешто предвиђено урбанистичким планом било које категорије.

Природњачки посматрано, рекултивацијом се поспешује обнављање старих и насељавање нових биљних и животињских врста, формирање стабилних еко-заједница у циљу успостављања еколошке равнотеже и одрживог развоја природних обновљивих ресурса. У том смислу, предео рекултивисаних површина уклапа се у постојећи географски амбијент са својим биодиверзитетом и „екосистемом“ или се пак у целини или делимично мења његова намена за нове будуће потребе.

Процеси експлоатације свих корисних минералних сировина до последњих десетлећа прошлог века углавном су се завршавали престанком откопавања а затварани рударски објекти, препуштани људској небризи и зубу времена. Наиме, на напуштеним површинским коповима створени су нарушени постексплоатациони предели и новоформиране техногене површине подстакнуте саморекултивацијом.

За природан начин обнављања екосистема на једном нарушеном техногеном рељефном простору потребан је дуг временски период. Временски период

самообнављања (ауторекултивације), односно насељавање пионирских врста представља вишегодишњи процес и изразито зависи од заступљености хранљивих материја за развој биљака на деградираним површинама.

Развојем екологије као научне дисциплине у свету и код нас настаје нови радни оквир заштите животне средине у целини и појединачно за сваку локацију. Брига о очувању природе започиње са истражним радовима, наставља се са отварањем лежишта, постизањем пуне експлоатације, а после затварања копа, нарушени простори се рекултивишу. У зависности од врсте нарушених површина примењује се и дефинисане мере (или врсте) рекултивације: ауторекултивација, полурекултивација и еурекултивација.

Површинска експлоатација угља је временски дугорочни пројектни задатак који изазива еколошке промене у животној средини. Уопште, ове промене се манифестују у површинским и горњим деловима земљине коре, као и у пратећем воденом и ваздушном омотачу за све време животног циклуса површинског копа.

Досадашња пракса указује да је негативан утицај површинске експлоатације на животну средину углавном посматран као секундарни проблем и да су трошкови рекултивације нереално умањивани како би они минимално утицали на укупну цену експлоатације. Релативизовање и поједностављивање рекултивације на површинским коповима угља доводи најчешће до њеног непланског спровођења, пре свега на оним деловима површинских копова у постексплоатационој фази.

Овакав оперативни приступ има за последицу низ негативних појава: повећање обима радова како на техничкој тако и на биолошкој рекултивацији, угрожавање режима површинских и подземних вода, угрожавање стабилности завршних косина копа и одлагалишта, неповољног амбијенталног и пејзажног уклапања новоформираног техногеног рељефа откопаних и одложених маса, укупно повећање трошкова итд. Да би се избегли описани проблеми, рекултивацију је неопходно третирати као један од техничко-технолошких процеса експлоатације угља и посматрати га као пројекат од почетка истраживања и отварања површинског копа, па кроз све фазе развоја експлоатације до њеног затварања.

Постексплоатационо санирање деградираног простора изазваног рударским објектима и уређење предела површинских копова у основи представљају синтетички инжењерско-технички веома комплексан, дугорочан и плански аналитичан мултидисциплинаран и професионално-тимски, стручновишефазни, пројектни задатак. Пошто је овакав пројекат базиран на одрживом развоју посматране животне средине, где поред домаћинског газдовања минерално-сировинским комплексом кроз рационалност експлоатационих радова треба испунити техничко-технолошке и економске факторе, узима се у обзир и заштита животне средине, која треба да оствари и моралне и етичке принципе у погледу предвиђања, планирања и пројектовања, техничке и биолошке рекултивације деградираних површина, па до социјалних фактора у погледу изградње нових друштвених садржаја или успостављања екосистема који ће бити на корист новим нараштајима, у природној и етичној прерасподели друштвеног богатства читавом низу генерација истог подручја, региона или на државном нивоу.

Обезбеђење услова за ефективно и ефикасно наменско санирање и оплемењивање деградираних површина као предуслов поновног коришћења ових подручја подразумева активности на избору и организацији адекватне технологије техничке и биолошке рекултивације и управљању и газдовању новоствореним ресурсима на одлагалиштима површинских копова. Поступак планирања ревитализације и мера рекултивације на површинама на којима је завршено одлагање заснива се на анализи свих полазних природних и техничко-технолошких параметара.

У природне параметре спадају:

- природне и новонастале карактеристике рељефа;
- климатске карактеристике подручја површинског копа;
- литолошка структура откривке и јаловине простора на којима ће се површински копови ширити;
- особине земљишта и депосола;
- карактеристике природне и на рекултивисаним површинама створене вегетације.

У техничко-технолошке параметре спадају:

- динамика експлоатације откривке по експлоатационим пољима;
- технологија откопавања и одлагања откривке;
- локација одлагалишта;
- врсте и карактеристике примењене опреме итд.

Површинска експлоатација угља је динамички отворен дугорочни пројекат који проузрокује значајне, пре свега визуелне промене животне средине и пејзажног околиша. Најопштије, свеукупне промене се дешавају у горњем делу литосфере, у целој хидросфери и у доњем делу атмосфере управо у непосредном контакту са активностима површинске експлоатације. Поменуте промене дешавају се у свим периодима површинске експлоатације, односно током радног века површинског копа.

Процес деловања рударских радова на једном простору у циљу откопавања корисне минералне сировине до осамдесетих година двадесетог века завршавао се са престанком експлоатације јер је примарно било производити корисну минералну сировину, док су последице настале експлоатацијом биле од секундарног значаја. Тако су површинском експлоатацијом лежишта минералних сировина стваране велике деградираних (нарушене) површине остављене спонтаном самозарашћивању. За природан начин обнављања екосистема на једном деградираним техногеном рељефном простору потребан је дуг временски период.

Рекултивација, ревитализација и просторно уређење простора обухваћеног рударским објектима у принципу представљају у техничко-технолошком смислу

веома сложен, временски дугорочан и стручно захтеван мултифазни процесни задатак. Он се састоји од предвиђања, планирања и пројектовања, преко експлоатационих радова, техничке и биолошке рекултивације деградираних површина, па до изградње нових друштвених садржаја и успостављања биљних и животињских заједница и природних станишта, екосистема, при чему је током трајања процеса рекултивације укључен читав низ природних, техничких, економских и социјалних фактора.

У основи оваквих дугорочних процеса је секвенцијалност, међусобна условљеност активности, обимност временских и просторно променљивих података и информација, те њихова узајамна повезаност, што додатно повећава потенцијалне ризике за укупну реализацију процеса рекултивације. Овакви, вишеструко сложени проблеми се превазилазе организованим и оптимизованим управљањем процеса рекултивације у свим фазама површинске експлоатације, и то посебно у процесу планирања, када је потребно кроз студијске анализе елаборирати варијанте и изабрати оптимизована рекултивациона решења.

Овакви, вишеструко сложени проблеми се превазилазе организованим и тимским аналитичким одлучивањем о избору варијанти, односно алтернативних пројектних рекултивационих решења као могућих садржаја уређења постексплоатационих простора површинских копова и одлагалишта на основу дефинисаних критеријума.

Досадашња искуства показују да се негативне последице утицаја рударске активности при површинској експлоатацији свих лежишта минералних сировина на животну средину најчешће испољавају кроз неселективно смањење трошкова рекултивације како би исти минимално утицали на укупну цену експлоатације. Тако се у пракси поред металичних и неметаличних минералних сировина, рекултивација обављала и на рударским објектима фосилних горива као површинским коповима угља, најчешће неплански, и то углавном на објектима и деловима копова који су у постексплоатационој фази.

Овакво решавање проблема рекултивације има за последицу низ негативних појава, почев од начина одлагања маса и формирања одлагалишта са аспекта стабилности, ерозивних процеса, педолошких и геоморфолошких промена, промене географске амбијенталне целине, пејзажног околиша и друго. Да би се избегли описани проблеми, рекултивацију је неопходно третирати као посебан и специфичан управљачки процес, динамички у времену и простору усклађен са фазама и процесима површинске експлоатације.

Истраживање овог типа је дефинисање методологије и алгоритма доношења кључних одлуке током рекултивације као и математичког интегралног модела за потребе добијања оптималног рекултивационог решења као најбољег на бази успостављених критеријума за уређење постексплоатационих предела.

Истраживање се може реализовати на теоријском и практичном нивоу. У предексперименталној фази дефинише се процесни приступ и изградња процесног модела као основе за параметризацију вишекритеријумске и вишеатрибутне анализе као и преглед могућих моделских приступа за подршку одлучивању током рекултивације са предлозима различитих теоријских модела вишекритеријумске и вишеатрибутне анализе. Током експерименталне анализе

у оквиру опитних истраживања примениће се најприкладније моделско испитивање са три различита површинска копа, узетих као експериментални полигони са различитим природно-геолошким, техничко-технолошким и организационим карактеристикама.

Истраживања посебно добија на значају ако се има у виду да се код нас и у свету, не само у рударству и површинској експлоатацији лежишта минералних сировина, проблему управљања процесима придаје изузетна пажња. Тиме свако истраживања добија на два основна критеријума: актуелности научно-истраживачке проблематике и специфичном карактеру истраживачког поступка.

Карактер овог истраживања огледа се у дефинисању методологије и изради модела за вишекритеријумско и вишеатрибутно одлучивање, базираних на процесном приступу, у функцији оптимизације управљања процесима рекултивације у свим фазама површинске експлоатације.

Основне полазне поставке овог истраживачког рада односе се на недовољну истраженост и потребу за целовитим сагледавањем проблема везаних за процес рекултивације. Због своје захтевности и друштвеног значаја површинска експлоатација угља дуго је била аутономан систем који је нарочито тек крајем 20. и у 21. веку почео да подлеже спољашњим утицајима, пре свега ограничењима која су везана за заштиту животне средине и екологију уопште.

Под утицајем низа унутрашњих и спољашњих детерминанти и ограничења, проблем површинске експлоатације угља посебно је апострофиран, јер је угљ еколошки најнеприхватљивије фосилно гориво. Међутим, он је истовремено и најзначајнији енергетски ресурс. Квалитет угља ограничава економски радијус транспорта од површинских копова, па је у непосредној близини неопходна и локација великих потрошача. Економска и технолошка принуда за оваквом просторном концентрацијом и структурирањем рударско-енергетског система има низ неповољних утицаја на животну средину, као што су загађење ваздуха, воде и тла, затим заузимање земљишта, негативне трансформације предела, поремећаји водног режима и транспортних комуникација, поремећаји микроклиме и екосистема.

Све поменуто, у значајној мери се мења и у свету, и код нас, тако што се власници права експлоатације законски обавезују да низом техничко-технолошких, биолошких и социо-економских мера потпуно анулирају негативне утицаје површинске експлоатације угља на животну средину. Овај скуп мера у суштини представља низ мера рекултивације на простору обухваћеном објектима површинске експлоатације угља.

У досадашњој пракси површинске експлоатације угља, нису у потпуности истражени и систематизовани динамички и временски процеси рекултивације као и друге битне детерминанте које у значајној мери могу да повећају трошкове рекултивације, а у крајњем и цену експлоатације угља. Ово се посебно односи на процес планирања рекултивације и његове детерминанте као кључне за ефикасну и ефективну реализацију рекултивације површинског копа. Из свега изнетог, јасно је да област рекултивације у површинској експлоатацији угља није довољно истражена и да свакако постоје значајне могућности да се кроз опсежна истраживања уз примену научних и практичних искустава из земље и иностранства у овој области постигну значајни резултати

у побољшању процеса рекултивације у површинској експлоатацији угља кроз избор најбољег, а уједно оптималног рекултивационог решења, узимајући у обзир процесну и организациону структуру и временску и просторну динамику површинских копова који су у фази затварања или су у пуној експлоатацији.

Полазна основа овакво диференцираног истраживачког поступка јесте да се применом метода вишекритеријумске или вишеатрибутне оптимизације може извршити избор оптималног рекултивационог решења од спектра могућих варијантни и комбинованих алтернативних пројектних решења обликовања постексплоатационог деградираног рударског терена, путем дефинисања критеријума оптималности у функцији квалитета самих процеса, организације и временске и просторне динамике техничке и биолошке рекултивације.

Истраживања се реализују у оквиру више фаза:

Прва фаза чини аналитичко прикупљање библиографских, фактографских података из домаће и стране стручне и научне литературе и периодике, и на један синтетички начин представља познавање достигнућа у предметној области у свету и код нас. На основу тога даје се критички осврт прикупљених података и информација са перманентним доистраживањима уколико расположиви подаци и примери литературних извора нису довољни и најрепрезентативнији.

Друга фаза обухвата приступ решавања проблема одлучивања и управљања на основу теоријских аспеката ових феномена у најширем смислу и њихову примену на рекултивацију. Такође, потребно је извршити анализу процеса и карактеристика техничке и биолошке рекултивације предела деградираних површинском експлоатацијом минералних сировина и њихов општи утицај на факторе животне средине.

Трећа фаза представља преглед примера из праксе могућих моделских приступа за подршку одлучивања током рекултивације, укључујући анализу природних, техничко-технолошких, правно-економских, социјалних и организационих фактора. Треба узети у обзир теоријске моделе нелинеарног програмирања са акцентом на вишекритеријумско и вишеатрибутно одлучивање у циљу избора најприкладније методе вишекритеријумске оптимизације за изабране примере површинских копова угља.

Четврта фаза обухвата анализу структурирања математичких алгоритама у функцији алгоритамског решења за доношење одлуке током рекултивације са анализом његових структурних елемената, али и у смислу решавања проблема избора најбољег и уједно оптималног рекултивационог решења на основу избора одабраних варијанти типа рекултивације и дефинисаних критеријума уређења постексплоатационих предела посматраних као управљање процесом рекултивацији на површинским коповима угља.

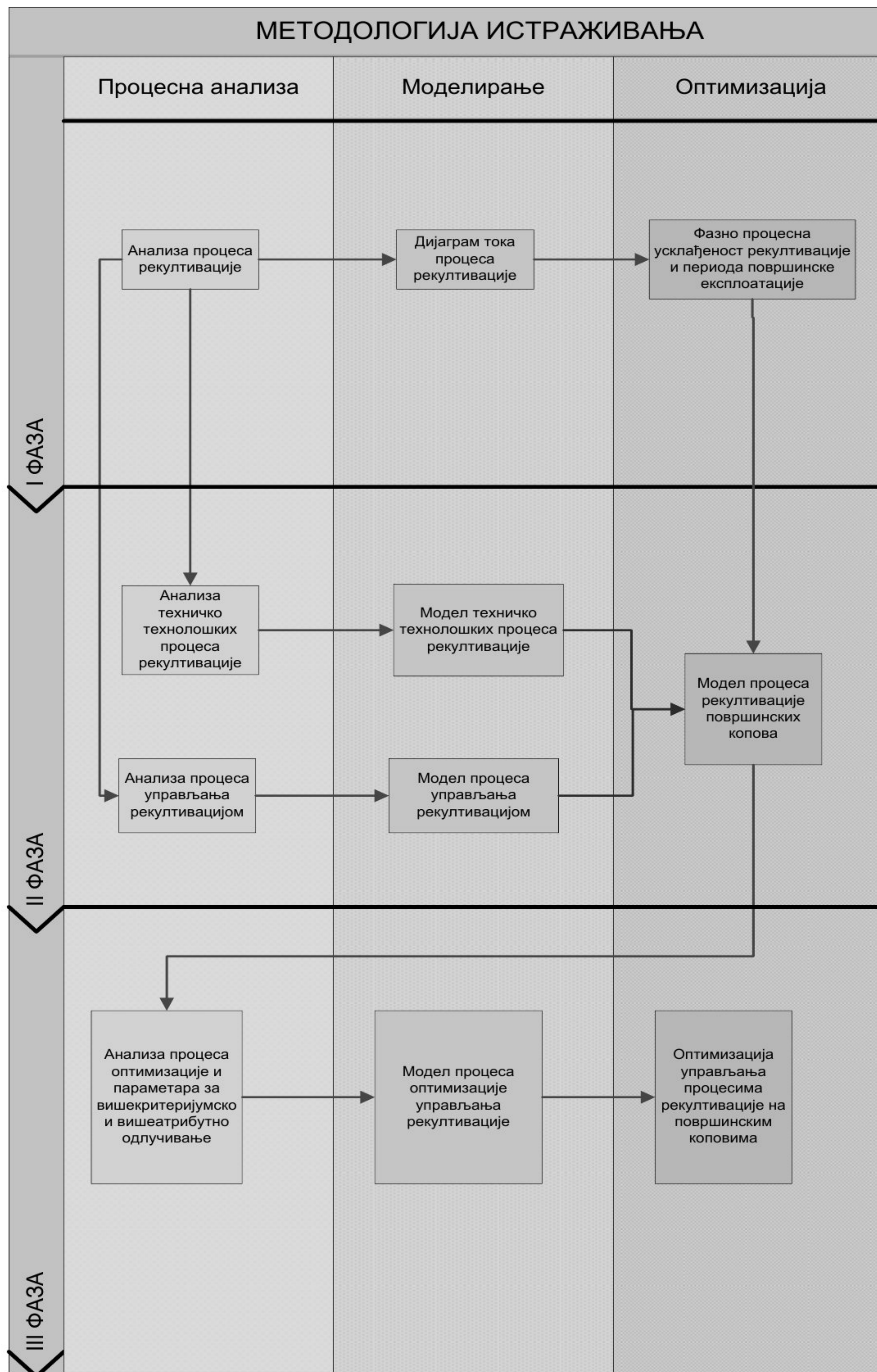
Петом завршном фазом обухватају се експериментални истраживачки процеси на којима се врше тест истраживања за сваки од изабраних површинских копова угља. Узети су следећи површински копови угља: 1. Кленовник, 2. Тамнава – Западно Поље и 3. Угљевик Богутово Село. Поред тога дат је краћи осврт на методу техничко-технолошког решења система експлоатације за сваки површински коп као полигон испитивања изабраног моделског решења и дат је

приказ и анализа оптималног рекултивационог решења као најбољег на основу изабраних критеријума.

Методологија научно-истраживачког рада базирана је на анализи постојећих теоријских метода и поступака као и развојних и иновативних пројектних решења у предметној проблематици уз коришћење синтезе досадашњих искустава и методе аналогije са сличним научним и практичним решењима. На овај начин су сагледавани и детерминисани процеси рекултивације, оптимизован процес избора одлучивања најбољег-оптималног рекултивационог решења и извршена практична провера предложеног модела одлучивања на површинским коповима угља: 1. Кленовник (Костолачког угљеног басена), 2. Тамнава – Западно Поље (Колубарског угљеног басена) и 3. Богутово Село (Угљевичког угљеног басена).

За оптимизацију процеса управљања рекултивацијом у површинској експлоатацији користе се сва доступна достигнућа и научно-стручни резултати у коплементарним научно-истраживачким областима битним за остваривање основног циља истраживања. За потребе одређивања оптималног рекултивационог решења географског предела и пејзажног околиша, изабрана је метода вишекритеријумског одлучивања *PROMETHEE*. Током свих истраживачких фаза потребно је користити све расположиве математичке алате и софтверска решења за процесно и организационо моделирање.

Примењени метод истраживања, приказан на Слици 1.1, представља сложен низ активности чији је циљ да се детерминишу процеси рекултивације, утврди њихова међузависност, њихова интерна и екстерна временска и просторна динамика у функцији свих периода површинске експлоатације. На крају, на бази утврђеног критеријума оптималности, доноси се оптимизациона одлука најбољег рекултивационог решења постексплоатационих обухваћених површинских копова угља у Србији и Републици Српској (Босна и Херцеговина).



Слика 1.1. Методологија истраживања¹

¹ Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 11. Рад је у целости доступан на е-адреси: www.rgf.bg.ac.rs/biblioteka/.

2.0. ПОСЛОВНЕ ОДРЕДНИЦЕ РЕКУЛТИВАЦИЈЕ ПОВРШИНСКИХ КОПОВА

2.1. Развој површинског експлоатационог захвата

Површински копови су по правилу отворени и веома динамички системи под утицајем великог броја техничких, економских, еколошких и безбедоносних фактора и ограничења у свим периодима животног циклуса. Животни циклус сваког површинског копа, без обзира на величину или минералну сировину која се експлоатише, чине три фазе:

- пре експлоатациона фаза,
- фаза експлоатације и
- после експлоатациона фаза.

Пре експлоатациону фазу површинског копа чине све активности везане за геолошка истраживања (резерве и квалитет минералне сировине, геомеханика, хидрогеологија итд.), техно-економске и еколошке анализе различите детаљности, израда техничке документације, експропријација и тендерске активности на набавци планиране опреме за експлоатацију. Ова фаза животног циклуса површинског копа још се зове и период анализа, истраживања и планирања.

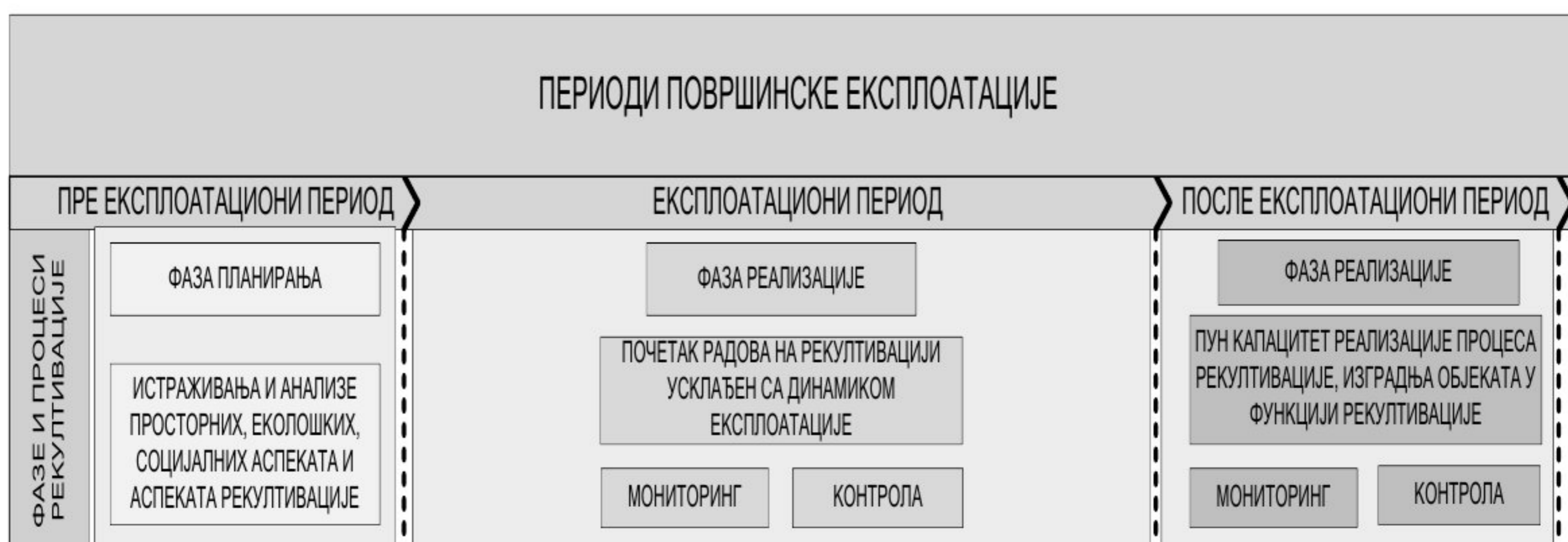
У зависности од времена реализације радова на површинском копу, **фазу експлоатације** чине период припреме и отварања, период пуне производње и период затварања. У периоду припреме и отварања врши се чишћење терена, измештање токова и комуникација и одводњавање лежишта од подземних вода. У том периоду се депонује плодни слој педолошког материјала за каснију рекултивацију, изграђују се комуникације и припрема простор за објекте површинског копа. Припрема терена, уклањање хумусног слоја и одводњавање врши се по правилу и у свим фазама периода експлоатације.

Отварање површинског копа обухвата радове на скидању откривке за обезбеђење приступа минералној сировини и омогућавање реализације планиране производње на откривци и минералној сировини. У овом периоду изводе се везни и етажни усеци на свим етажама планиране контуре отварања и формира се фронт радова потребан за период експлоатације.

У периоду пуне производње на површинском копу реализују се у потпуности радови за планирану производњу на етажама откривке и минералне сировине. Осим радова на откопавању, у овом периоду изводе се у континуитету радови на рекултивацији и радови на одводњавању површинских и подземних вода.

После експлоатациона фаза започиње периодом затварања површинског копа прекида се са откопавањем откривке, завршава се са откопавањем свих могућих резерви минералне сировине, врши се демонтажа опреме и комуникација и изводе завршни радови на рекултивацији површинског копа.

На Слици 2.1 шематски је приказана динамичка усклађеност периода површинске експлоатације и фаза и процеса рекултивације.



Слика 2.1. Динамичка усклађеност периода површинске експлоатације, фаза и процеса рекултивације²

Цео животни циклус дефинисан кроз периоде површинске експлоатације реализује се кроз низ пословних процеса у сваком од периода који омогућују ефикасну, ефективну и еколошки одрживу експлоатацију минералне сировине на површинском копу.

2.2. Рекултивација површинских копова

2.2.1. Дефинисање пословног процеса

Пословни процеси се могу описати као низ логички повезаних активности које користе ресурсе компаније. Ефикасност процеса мери се временом и укупним ресурсним и материјалним трошковима потребним да би се улазне вредности неког процеса претвориле у излазни резултат. Резултати мерења упоређују се са унапред задатим, планираним (нормативним) вредностима како би се утврдило постоје ли одступања која упућују на присуство неправилности у одвијању процеса и/или потреба мењања процесних токова и корака.

Појам пословни процес треба разликовати од појмова процедура и пословна функција. Процедуре описују шта треба учинити у одређеној ситуацији, док су пословне функције организациони делови (људски и други ресурси) којима су придружене одређене одговорности (радни задаци).

За дефинисање пословних процеса и појмова везаних за пословне процесе не постоји јединствен стандард, па се веома често за исте појмове користе различити изрази или пак и обрнуто, за различите појмове користе се исти

² Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 42.

изрази (на пример, чест је случај да се изрази „активност“ и „процес“ користе као синоними иако они означавају различите појмове).

Генерално, процес треба посматрати као серију ланчаних активности које производе додатну вредност, односно, процес представља ланац активности који у повратним токовима ствара вредност купцима. Мање-више, све дефиниције пословних процеса усмерене су ка процесној перспективи и полазе од чињенице да пословни процес не може да делује изоловано, не може да буде сам себи сврха и не може да се одвија без подршке других процеса.

2.2.2. Елементи пословних процеса

Најчешћи начин постављања концепта пословних процеса заснива се на приказу низа узастопних (ланчаних), обавезно следљивих активности (корака) потребних за постизање одређеног пословног резултата. За елементарну анализу пословног процеса неопходно је дефинисати следеће елементе:

- сврха процеса,
- добављачи и купци,
- улази и излази,
- границе процеса,
- активности (кораци) процеса,
- ресурси процеса и
- систем мера процеса (метрика процеса).

2.2.3. Карактеристике пословних процеса

При дефинисању пословног процеса потребно је имати на уму да се сваки пословни процес, па и процеси површинске експлоатације, састоји од пет елемената:

- пословни процес има своје купце;
- пословни процес представља скуп активности;
- активности процеса стварају вредност купцима;
- активности изводе људи и/или опрема;
- пословни процес често укључује неколико организационих јединица.

Како би се процес успешно дефинисао, потребно је знати и његове карактеристике. Основне карактеристике сваког пословног процеса су следеће:

- сваки процес има свој циљ;
- сваки процес има свог власника;
- сваки процес има свој почетак и завршетак;
- у процес улазе инпути, а излазе оутпути;
- процес је састављен од секвенцијално изводљивих активности;
- посматрајући улазе и излазе процеса лако се утврђује успешност процеса;
- како би процес опстао треба да има познате интерне и/или екстерне купце и добављаче и
- неизбежно континуално унапређење процеса.

Није нужно да је сваки процес који испуњава ове наведене захтеве буде и добар процес. За стицање таквог епитета потребно је да задовољи и следеће захтеве:

- процес треба да буде оријентисан на купце;
- оутпути процеса треба стално да додају додатну вредност;
- процес треба да има компетентног власника;
- процес треба да је разумљив од стране свих учесника у оутпроцесу;
- процес треба да има индикаторе за мерење ефикасности и ефикасности.

2.3. Пословни процеси површинске експлоатације угља

2.3.1. Идентификација пословних процеса површинске експлоатације угља

Са аспекта технологије производње угља на површинском копу, технолошки процес чине припрема за откопавање, откопавање, транспорт, одлагање отквивке и јаловинског материјала и депоновање корисне минералне сировине. У зависности од крајње намене угља, он може са депоније да се испоручи крајњем купцу или даље да се у процесу прераде доведе до производа за који су заинтересовани купци. Током површинске експлоатације угља све време се одвија процес рекултивације девастираних подручја. Са аспекта процеса рекултивације, овај процес почиње већ са инвестиционим активностима отварања површинског копа и траје све време вршења експлоатације, а завршава се после затварања површинског копа, привођењем намени свих девастираних површина, демонтажом и рециклажом свих објеката који су били у функцији површинског копа и, на крају, мониторингом примењених мера рекултивације.

Већ на први поглед, уочљиво је да се сви процеси површинске експлоатације одвијају у периодима фазе експлоатације, односно у периоду припреме и отварања, периоду пуне производње и периоду затварања површинског копа.

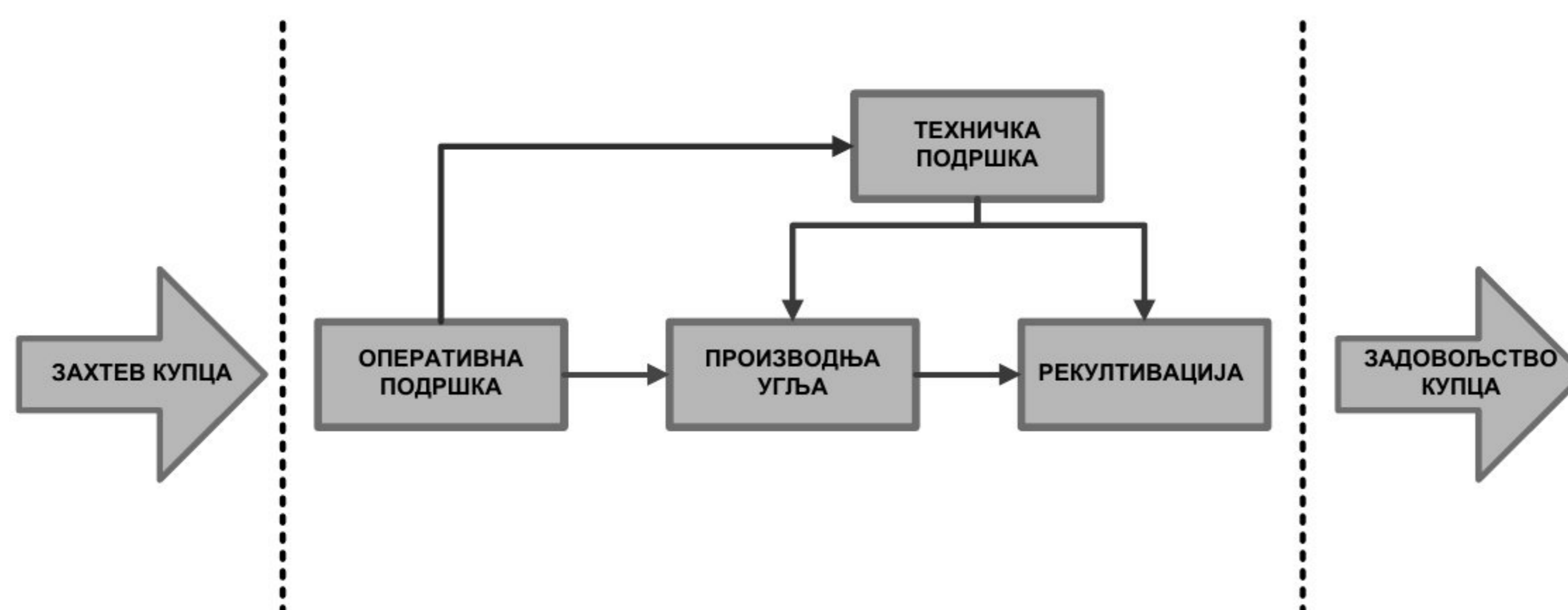
На бази детаљне анализе идентификовани су сви основни или базни процеси који су груписани у четири групе процеса: оперативна подршка; техничка подршка; производња угља и рекултивација. Ове четири групе процеса у потпуности заокружују све процесне активности површинске експлоатације угља од планирања производње са аспекта свих ресурса укључивши и само лежиште, преко откопавања, транспорта, одлагања, депоновања и испоруке купцу или постројењу за прераду на даљу финализацију полупроизвода, те крајње рекултивације девастираних површина.

Процес производње на површинском копу чини технолошка целина са процесима оперативне и техничке подршке, процес производње угља и процес рекултивације.

Са аспекта процеса рекултивације, овај процес почиње већ са инвестиционим активностима отварања површинског копа и траје све време вршења експлоатације, а завршава се после затварања површинског копа, привођењем намени свих девастираних површина, демонтажом и рециклажом свих објеката који су били у функцији површинског копа и на крају мониторингом примењених мера рекултивације.

На Сликама од 2.2 до 2.7 приказан је статички модел процеса рекултивације са припадајућим потпроцесима до нивоа детаљности који је потребан за дефинисање модела управљања рекултивацијом на површинском копу угља.³

Група пословних процеса: Производња

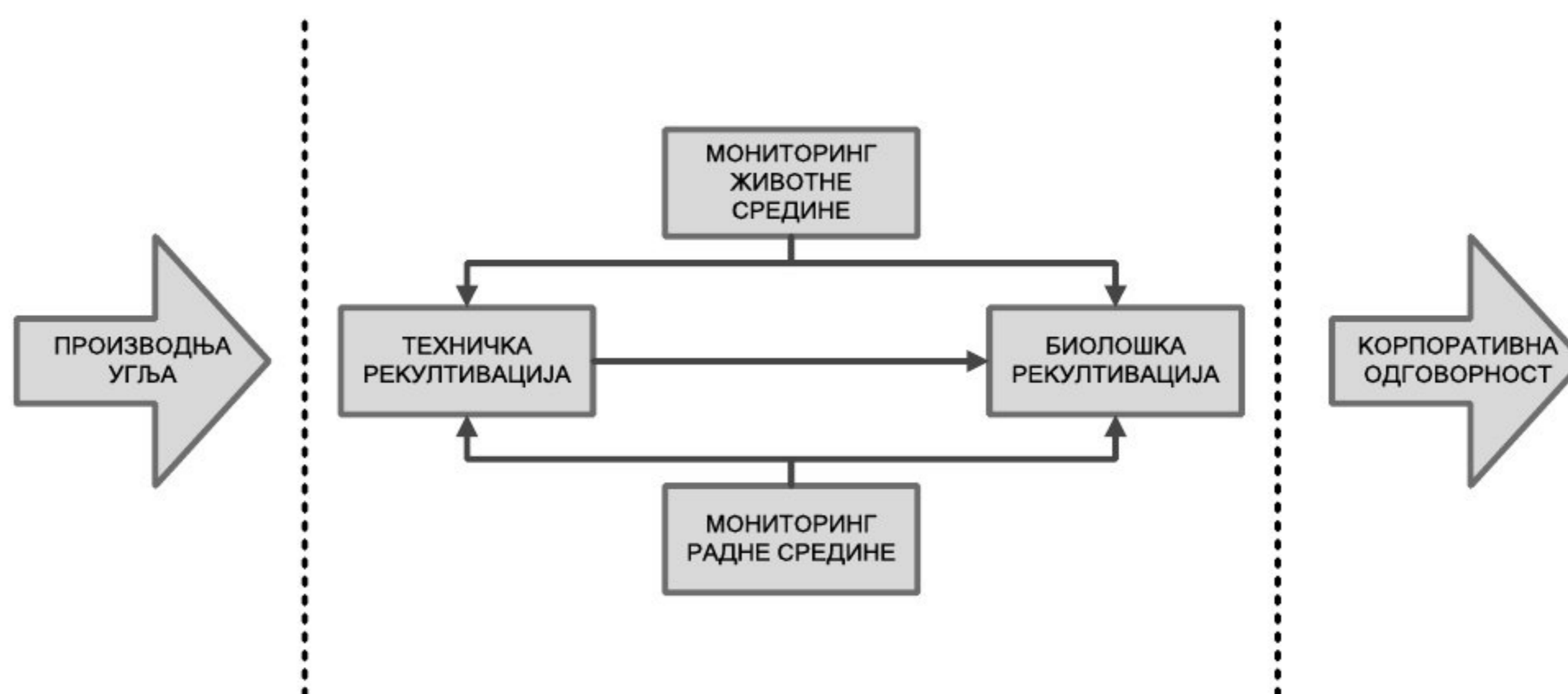


Слика 2.2. Основни пословни процеси површинске експлоатације угља⁴

³ Јовичић В., *Моделирање основних пословних процеса површинске експлоатације угља*, магистарски рад, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 2009.

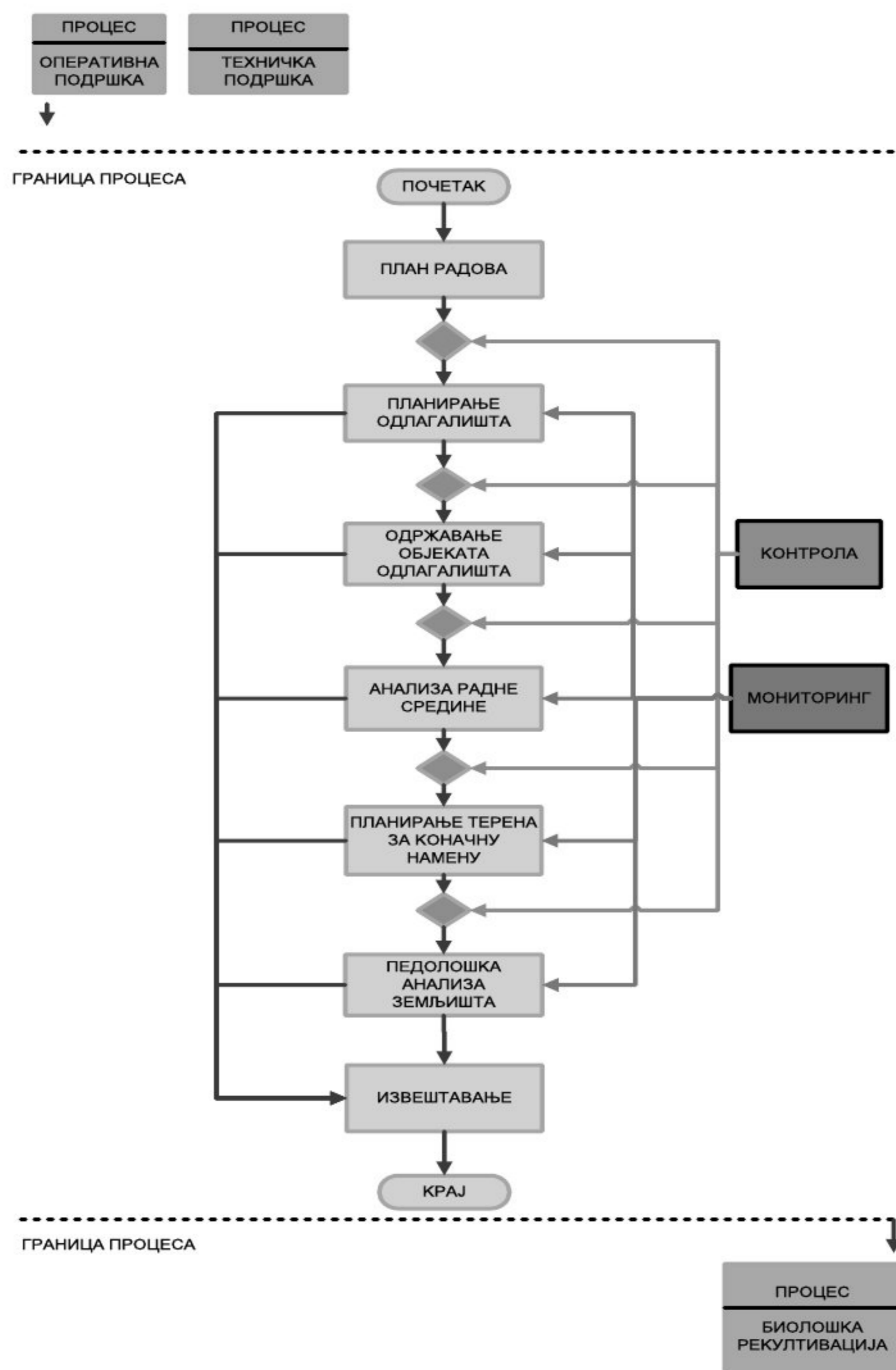
⁴ Исто.

Процес: Рекултивација



Слика 2.3. Потпроцеси процеса рекултивација на контексном нивоу⁵

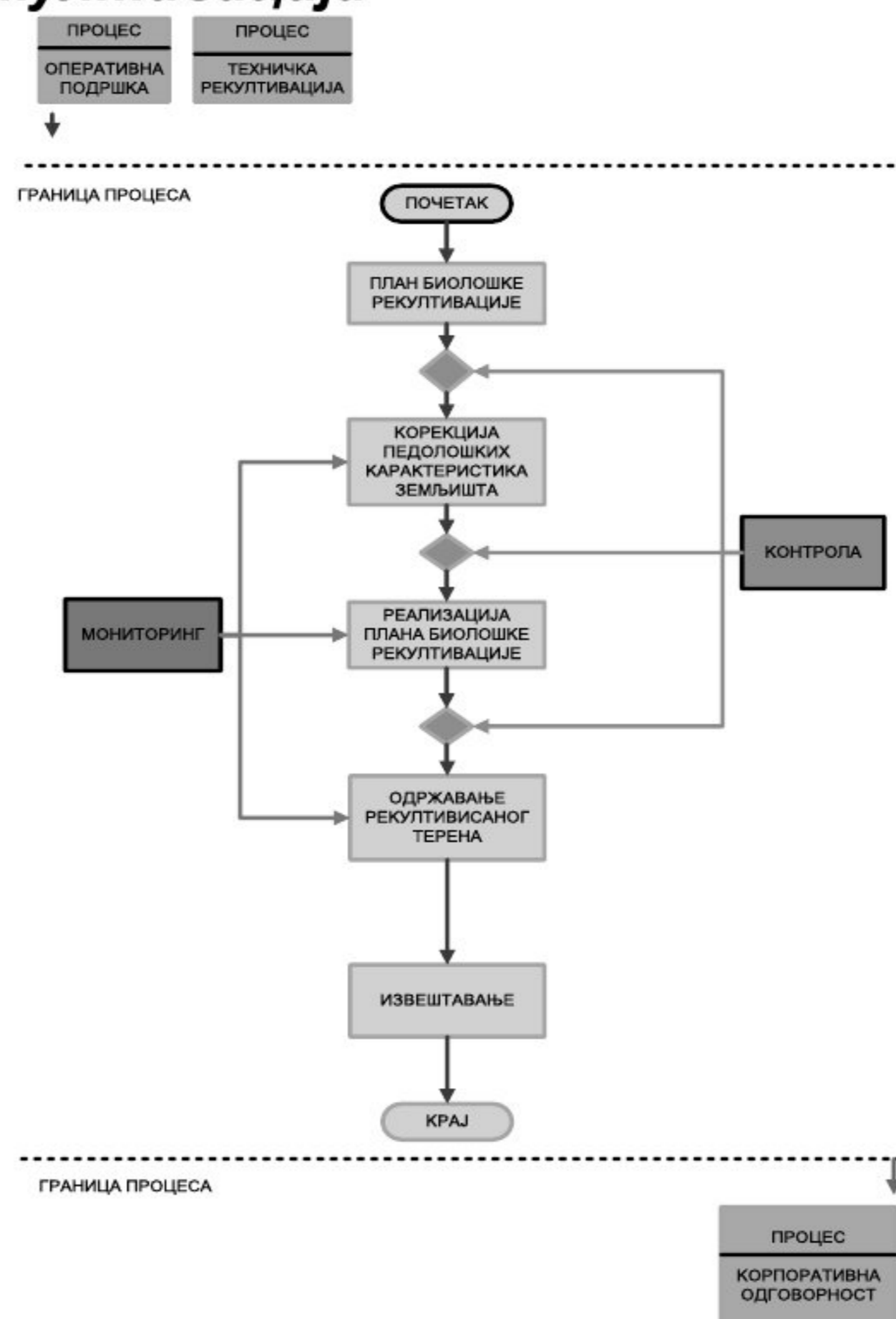
Процес: Техничка рекултивација



Слика 2.4. Модел процеса техничке рекултивације⁶

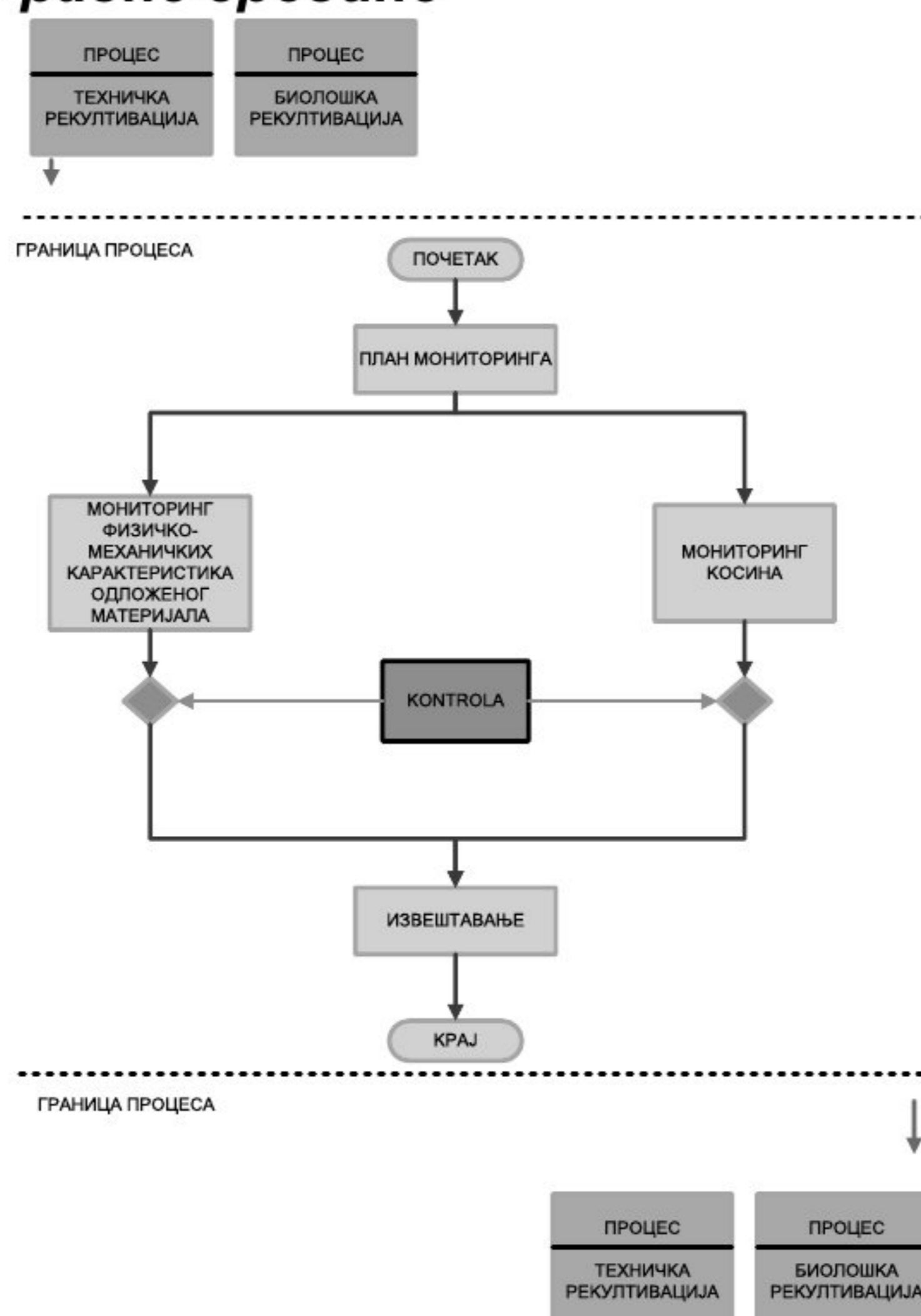
⁵ Исто.

Процес: Биолошка рекултивација



Слика 2.5. Модел процеса биолошке рекултивације⁷

Процес: Мониторинг радне средине

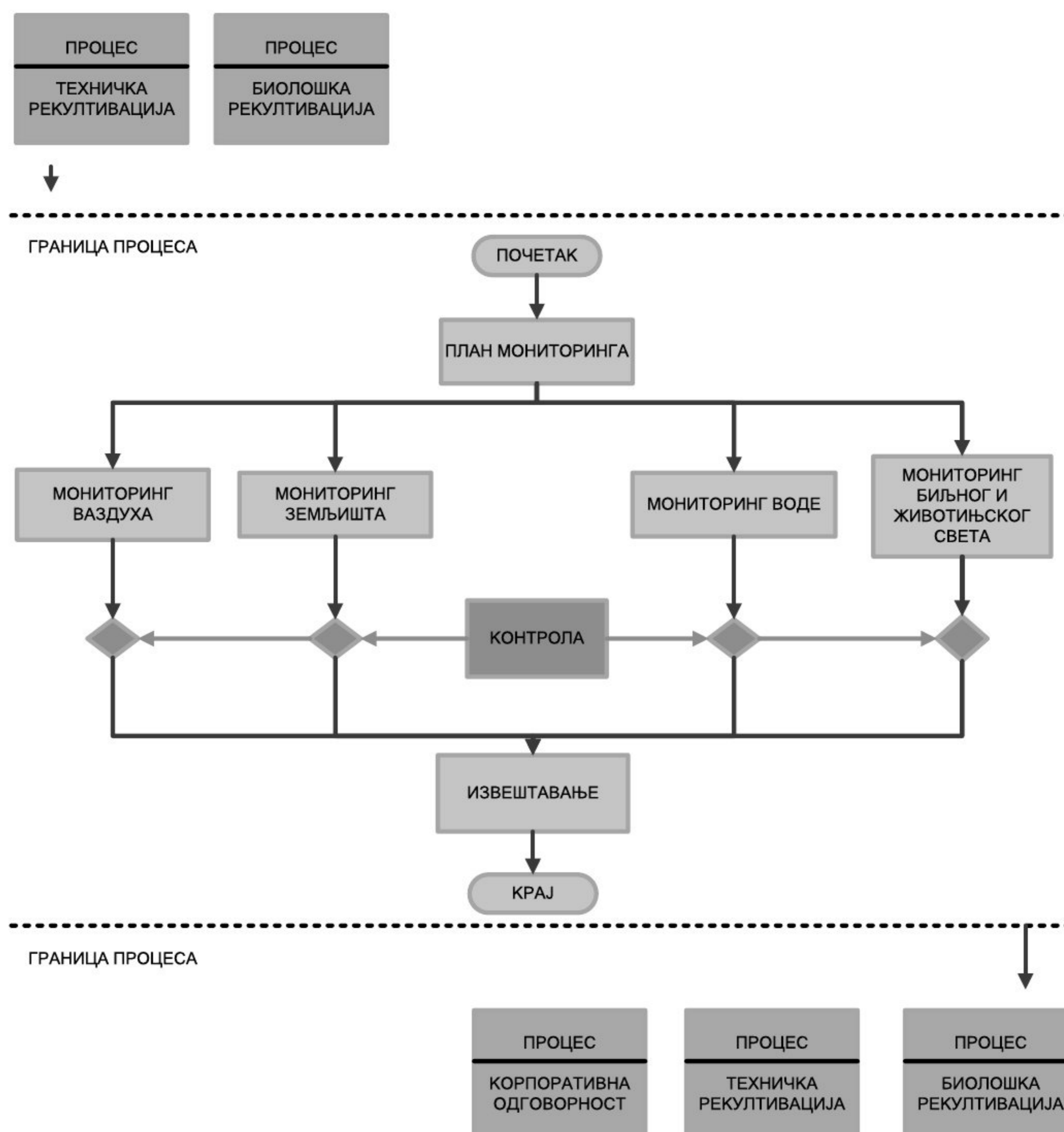


Слика 2.6. Модел процеса мониторинга радне средине⁸

⁶ Исто.

⁷ Исто.

Процес: Мониторинг животне средине



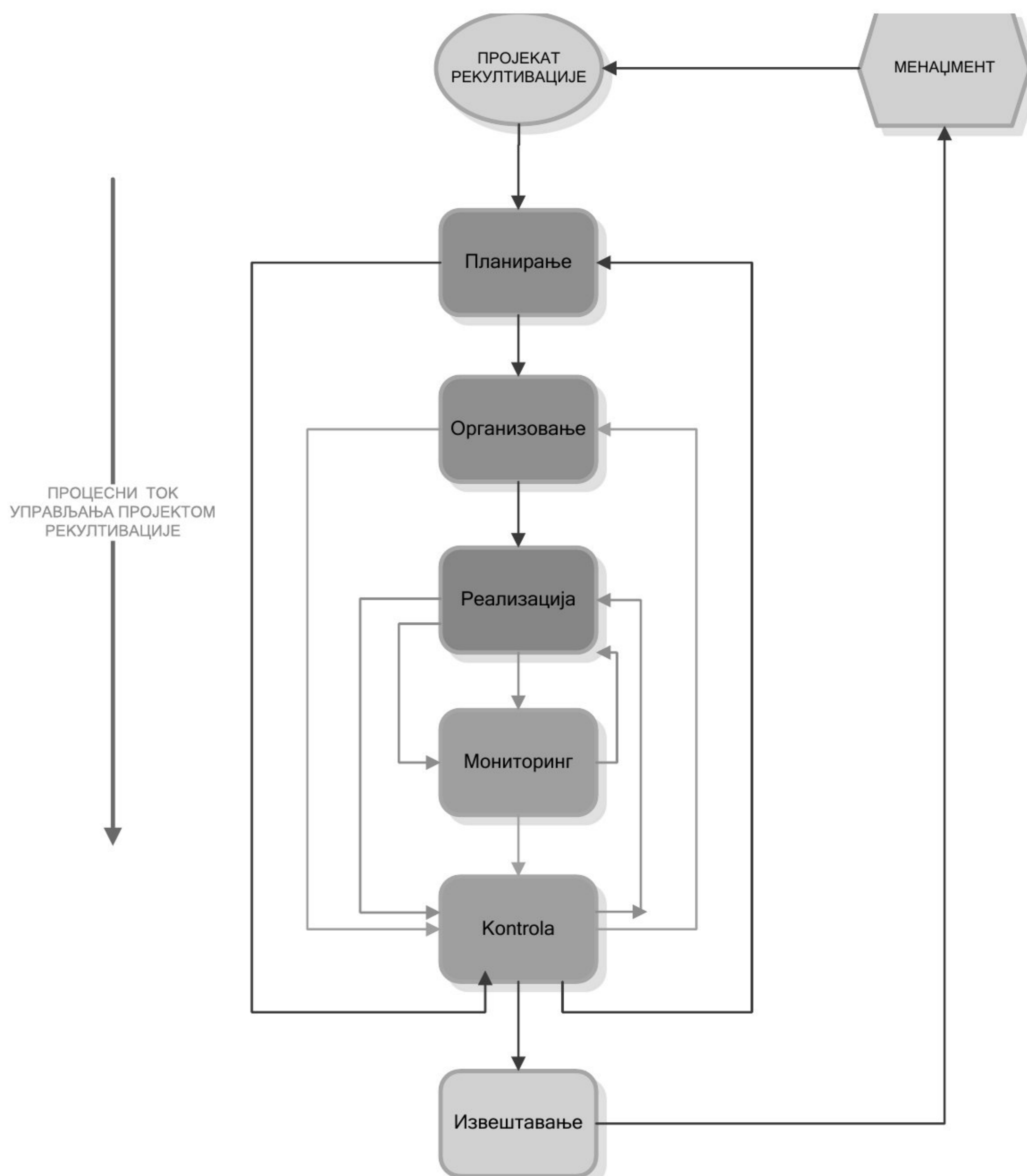
Слика 2.7. Модел процеса мониторинга животне средине⁹

2.3.2. Управљање рекултивацијом

Како је већ речено, један од најприхваћенијих савремених модела управљања пословним системима је управљање преко пословних процеса. Процес рекултивације као пословни систем моделован је преко својих потпроцеса: техничка рекултивација, биолошка рекултивација, мониторинга животне и мониторинга радне средине, а управљање се реализује кроз процес управљања који садржи потпроцесе *планирање, организовање, праћење реализације и контрола реализације* пословних активности. Модел процеса управљања рекултивацијом приказан је на Слици 2.8.

⁸ Исто.

⁹ Исто.



Слика 2.8. Процесни модел управљања рекултивацијом¹⁰

Из претходне анализе може се уочити да је кључни процес за ефикасну и ефективну реализацију рекултивације процес планирања, те да је пресудан и за управљање рекултивацијом.

¹⁰ Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 50.

2.3.3. Планирања рекултивације и површинског захвата

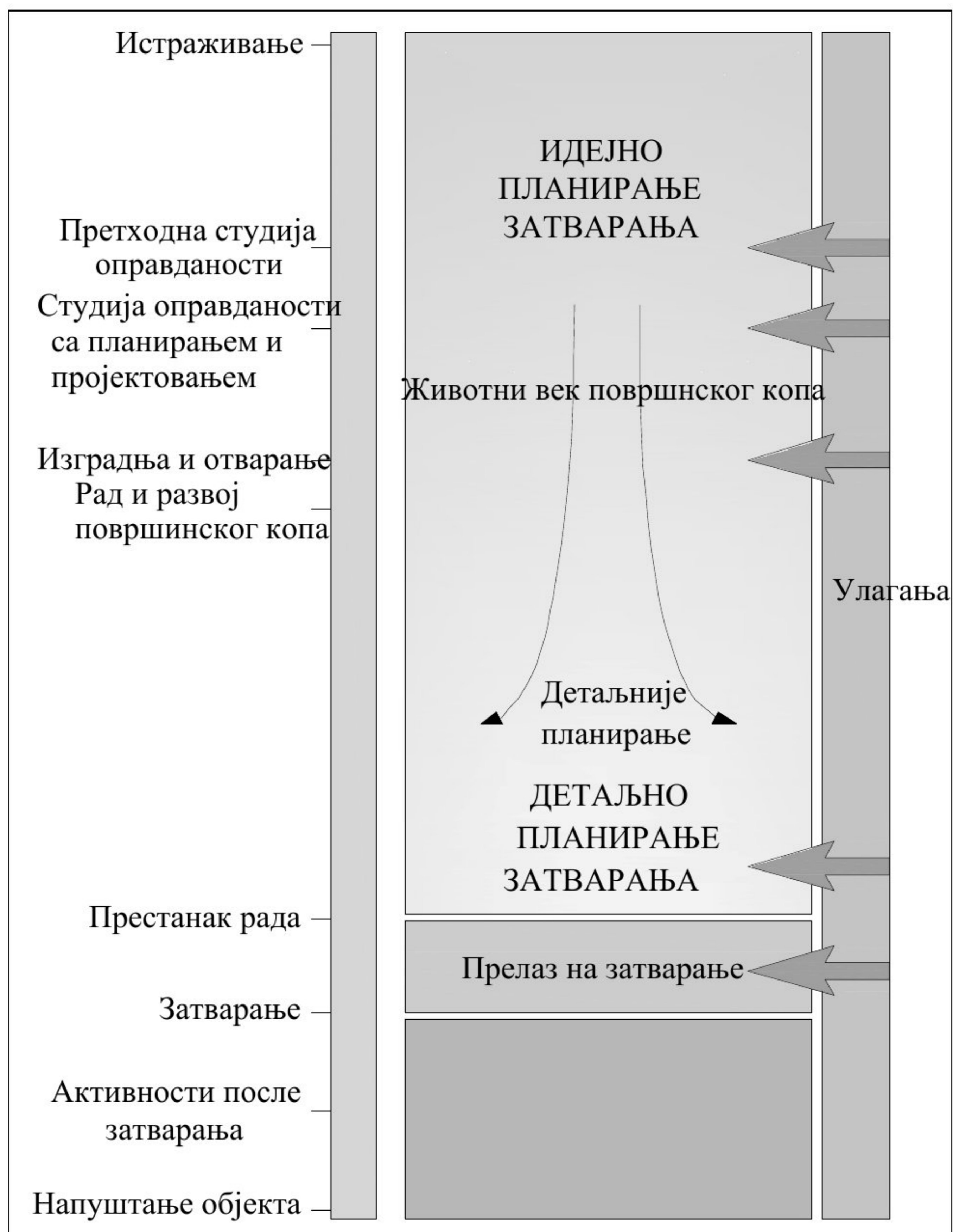
Основни стандарди и концепције за процес рекултивације и рехабилитације простора који доминирају у фази затварања површинских копова су много захтевнији и комплекснији него што су то били у ранијем периоду, одражавајући промену јавних приоритета и императива заштите животне средине.

Не само процесно већ и стратешки гледано, рекултивација и рехабилитација простора површинских копова је континуиран процес од истраживања и отварања до затварања и периода после затварања са јасним програмом, који је пројектован за обнављање физичког, хемијског и биолошког квалитета или потенцијала ваздуха, земљишта и режима вода поремећених експлоатацијом у стање прихватљиво за све заинтересоване стране укључујући и кориснике земљишта након затварања.

Реализацијом коначне рекултивације у фази рада после затварања површинских копова потребно је спречити или смањити на најмању могућу меру негативни дугорочни утицај на животну средину и рекултивацијом омогућити стварање самоодрживих природних екосистема или алтернативну употребу земљишта на основу усаглашеног скупа циљева. Питања која се односе на затварање површинских копова су од велике важности у процесу процене предлога за експлоатацију минералних сировина.

Циљ постављања стратешког оквира за развој и затварање површинских копова, којим је обухваћена и рекултивација у свим фазама, јесте да промовише национално конзистентни приступ за управљање развојем и затварањем на свим нивоима надлежности државе. Због тога се успостављају усаглашени концепти према којима је неопходно остварити следећа четири основна услова:

- заштитити здравље и сигурност људи;
- ублажити или елиминисати негативни еколошки утицај;
- омогућити успешно коришћење земљишта и
- увећавати социјалну и економску корист у току одрживог развоја и рада површинског копа.



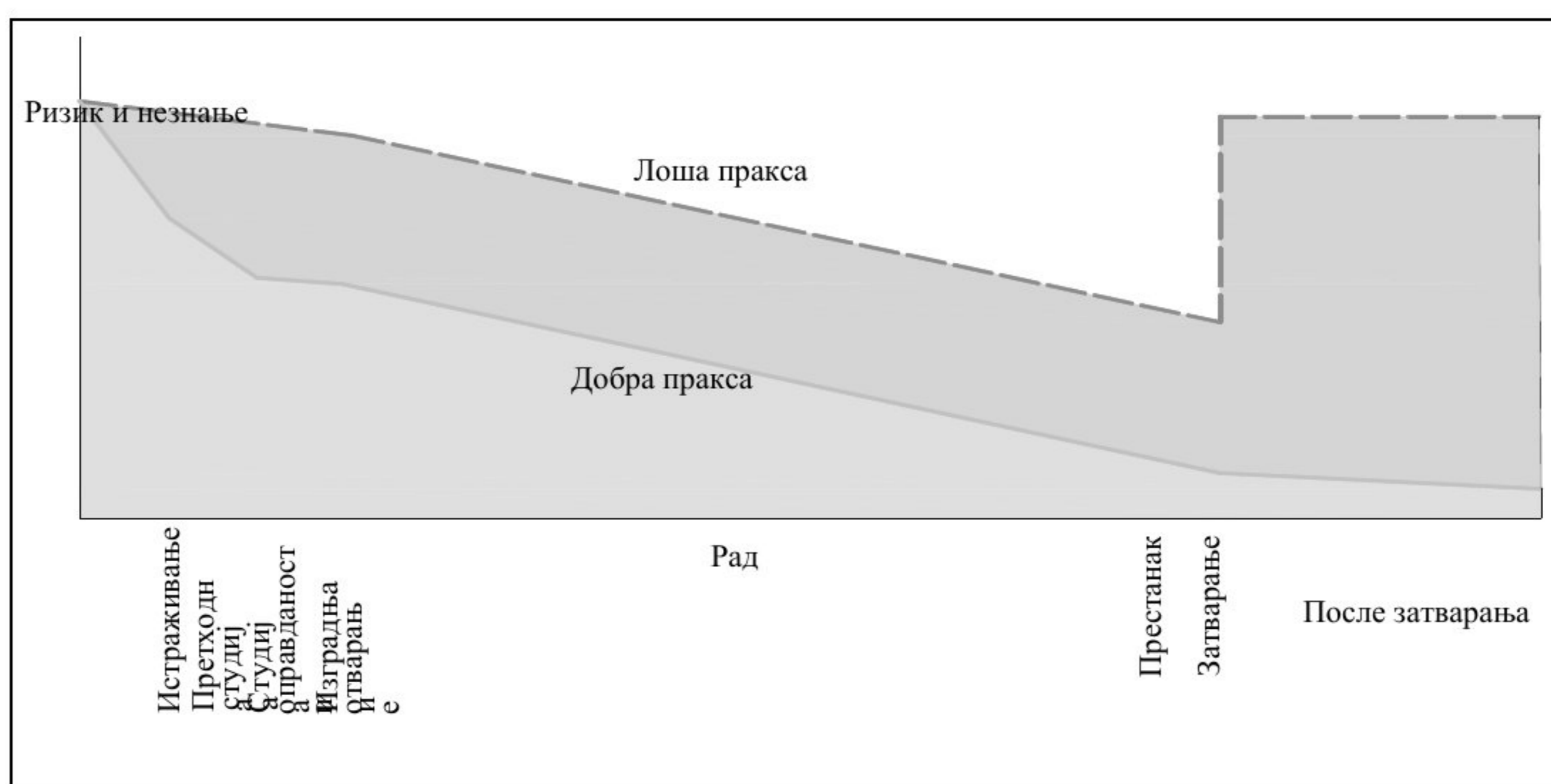
Слика 2.9. Планирање развоја и затварања површног копа укључујући и рекултивацију¹¹

Политика рекултивације и рехабилитације простора представља скуп најзначајнијих циљева и правила које компанија поставља за реализацију захтеваног процеса одрживог затварања површног копа, уз неопходно сагледавање стања и утврђивање критеријума и индикатора. За добијање правих информације за доношење најбољих техничких и социјалних одлука при планирању рекултивације и затварања, неопходно је детаљно сагледати све економске, социјалне и еколошке услове уз поштовање законске регулативе.

¹¹ У докторској дисертацији Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површних копова угља* дат је превод на 52. стр., док је оригинал могуће видети на е-адреси: <https://data.geus.dk/MICASheetsEditor/document/25a37283-051e-423a-bf7d-c2dcb0596d44>.

Правилно планирање рекултивације треба да започне током израде претходне студије изводљивости, фазе пројектовања и издавања дозвола за површински коп, уз надоградњу током животног века рудника. Недостатак ажурирања плана затварања рудника може да доведе до озбиљних еколошких и економских последица. Планирање обезбеђује да се процес рекултивације, затварања и рехабилитације одвија мирно, економично и благовремено, а сáмо затварање и рекултивација површинског копа мора да буде *саставни* део целокупног планирања развоја.

По правилу планирања, *приступ заснован на ризику* треба да смањи и трошкове и неизвесности. Постојећи трендови при планирању затварања укључују техничку ревизију и анализу ризика, као и накнаду трошкова и у погледу инжењеринга и у погледу животне средине. Реализацију рекултивације у склопу затварања прати прогресивно смањење ризика и незнања (Слика 2.10). Како раније смањење ризика и незнања омогућава ефикасније постизање планираних циљева, потребно је да планирање затварања започне што пре је могуће.



Слика 2.10. Смањење ризика и незнања добре праксе¹²

Плановима затварања са рекултивацијом обухватају се сви комплексни параметри природног окружења и система површинске експлоатације укључујући геологију, геотехнику, хидрогеологију, хидрологију, геохемију, биологију, економију, екологију и социјалне факторе. За верификацију избора варијанте планирања рекултивације и затварања обавезно се врши и анализа ризика. На бази детаљне анализе поменутих параметара потребно је израдити *планове за затварање укључујући и рекултивацију*, који се одражавају на статус пројекта или пословања. Током животног века површинског копа, потребне су најмање две врсте плана затварања: Идејни план затварања (фаза пројектовања – изводљивост) и Главни план затварања (фаза експлоатације –

¹² Павловић В. и др., *Open pit mine spoil dump reclamation design and eco-control model*, 3rd International Conference AMIREG 2009, Athens, Greece, 2009.

отварање површинског копа, рад и пословање након завршетка рада). *Планирање рекултивације, затварања и рехабилитације простора* је неопходно како би се обезбедила техничка, еколошка, економска и социјална изводљивост. Динамичка природа планирања рекултивације и затварања захтева *редовну и критичку ревизију* која одражава промену околности у току рада површинског копа. План затварања треба модификовати у случају било које оперативне промене, нових прописа или нове технологије и треба га свеобухватно редовно ревидирати.

Добро планиран програм рекултивације и затварања обухвата фазу планирања и фазу реализације. Координација ових фаза се обезбеђује добро пројектованим, систематским, безбедним и исплативим затварањем рудника као и рекултивацијом и рехабилитацијом простора. Током реализације плана затварања у обзир треба узети следеће:

- одговорност за спровођење плана;
- ресурсе потребне да се осигура усклађеност са планом и
- свакодневно управљање и надзор услова за рекултивацију који настају након затварања.

Тако је, у току фазе реализације, потребно обезбедити постојање и идентификацију *јасне одговорности* и *адекватних ресурса* за спровођење плана рекултивације, како би се осигурала усаглашеност са планом затварања, уз одговарајуће *свакодневно управљање* и надзор услова реализације затварања.

Пројекти везани за површинску експлоатацију угља су отворени динамички системи под утицајем великог броја техничких, економских, еколошких и безбедоносних фактора и ограничења. Еколошка димензија површинске експлоатације везана је за следеће фазе:

- фаза планирања и истраживања лежишта;
- фаза отварања и развоја површинског копа;
- фаза пуне производње;
- фаза затварања површинског копа и
- фаза после затварања површинског копа.

У фази планирања и истраживања лежишта успоставља се однос између локалне заједнице и рударске компаније, а у зависности како се њим управља он може резултирати дугорочним позитивним или негативним последицама.

Фаза отварања и развоја површинског копа представља период од почетка рударских активности до потпуне инсталације планиране опреме. Иако је реч о релативно кратак период у поређењу са укупним веком површинског копа, ова фаза краткорочно сигурно има највећи утицај и најдугорочније импликације по животну средину, јер се јаловина одлаже ван површинског копа а рекултивација још увек није започета.

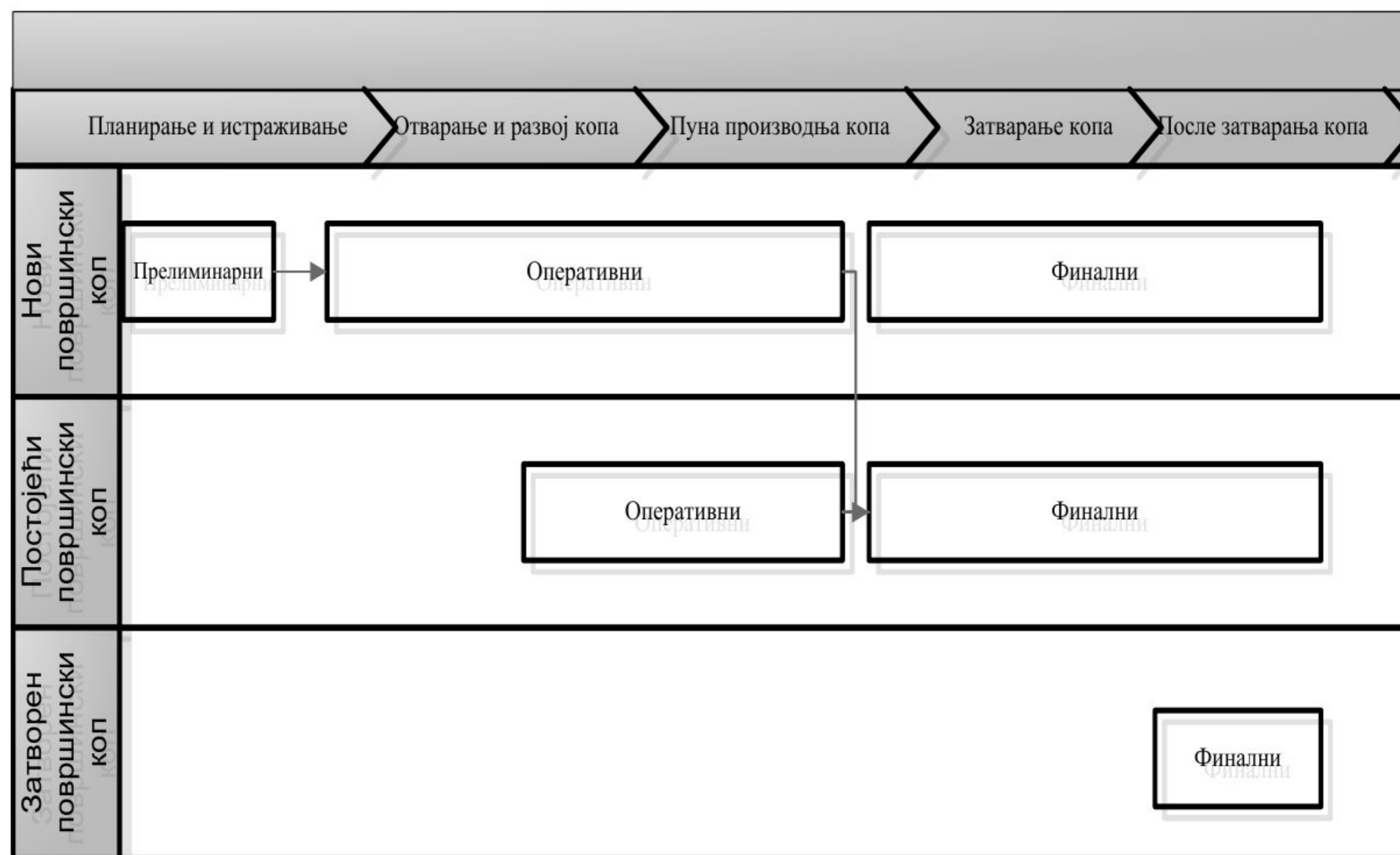
У фази пуне производње површинског копа утицаји на животну средину су временски најдужи, али се истовремено њихов интензитет смањује у односу на претходну фазу, пошто се јаловина одлаже у откопани простор, а започиње се и рекултивација спољашњег одлагалишта.

Фаза затварања је последња фаза у животном циклусу површинског копа када производња опада све до потпуног престанка, а док се активности на заштити животне средине свode на завршне радове на техничкој рекултивацији, коначну процену утицаја као и планирања рекултивације у периоду после затварања површинског копа.

Фаза после затварања површинског копа нема утицај на животну средину али се у њој прате и по потреби коригују све планиране мере заштите животне средине у постексплоатационом периоду ради остварења планираних циљева.

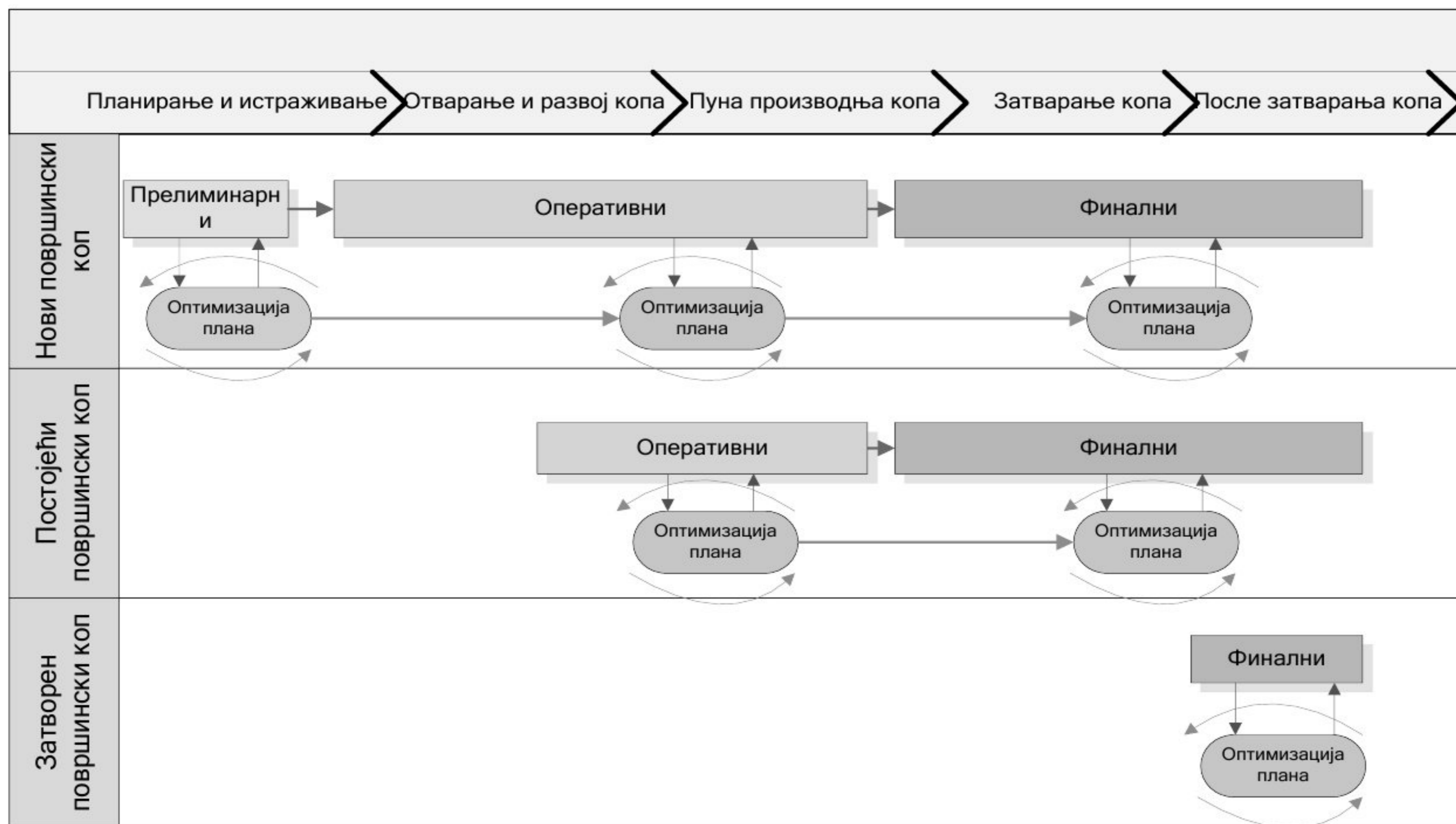
Процес планирања рекултивације површинског копа је мултидисциплинаран и дугорочан пројекат који садржи низ анализа, студија и извођачких пројеката и има за циљ да обезбеди физичко-механичку стабилност и хемијску неутралност одлагалишта и других површина које су биле захваћене радовима или другим активностима површинске експлоатације, демонтажу опреме, потребне активности на рециклажи и потребне активности на стварању услова и тежњи за успостављање биодиверзитета сличног пре рударских активности или ако је могуће чак и бољих.

Процес планирања рекултивације кроз све фазе развоја површинског копа има три нивоа: **прелиминарни, оперативни и финални** и може се применити како за нове површинске копове, тако и за површинске копове у раду, а за које претходно није вршено детаљно планирање заштите животне средине. На Слици 2.11 из Докторске дисертације Б. Димитријевића из 2014. године, приказани су нивои планирања рекултивације површинских копова кроз све фазе развоја.



Слика 2.11. Нивои планирања кроз животни циклус површинског копа

С обзиром на то да је у раду процес планирања рекултивације дефинисан као кључан за укупну ефикасност и ефикасност реализације рекултивације површинског копа, то је и акценат у моделу оптимизације управо стављен на овај процес. У процесу планирања, односно избора модела рекултивације од кога зависе све даље планске активности, као оптимизациона метода коришћена је метода вишекритеријумског одлучивања *PROMETHEE*. Важно је истаћи да је дефинисани модел могуће користити у свим планским и експлоатационим фазама површинског копа, без обзира да ли се ради о новом или површинском копу на којем се врши експлоатација. Интегративност модела и његов итеративни карактер омогућују корективне мере током реализације планова рекултивације и с тим у вези оптимално доношење одлука о коначном плану рекултивације и рехабилитације простора у фази затварања површинског копа. Модел оптимизације управљања процесима рекултивације на површинским коповима приказан је на Слици 2.12.



Слика 2.12. Модел оптимизације управљања процесима рекултивације на површинским коповима¹³

¹³ Димитријевић Б., Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља, 2014, стр. 56.

3.0. ОДЛУЧИВАЊЕ И УПРАВЉАЊЕ РЕКУЛТИВАЦИЈОМ

3.1. О одлучивању и управљању

Проблем одлучивања уопште узев данас је неодвојив од процеса управљања. Реч управљање је присутна у различитим случајевима, те данас говори о управљању пројектима, квалитетом, материјалним па све до управљање ризицима. Да подсетимо, према конвенционалном тумачењу, управљање је скуп техника и процеса ефикасног планирања, вођења и контроле пројекта (пројекат се објашњава као подухват са дефинисаним почетком и завршетком), базирано на примени знања, вештина, метода, научно-заснованих приступа и слично, уз уважавање реалних услова са могућим проблемима и ризицима током трајања пројекта.¹⁴

У строго инжењерском погледу, управљање мора имати и прецизну временску одредницу управљачких деловања: тренутно, односно у реалном времену (*on line*) или у проширеном времену (*of line*).

Ове класификације су блиске производно-пословном амбијенту рударства, са интеракцијом у којој управљање у проширеном времену у принципу више одговара научним, истраживачким, развојним, планским, организационим и пословним процесима, а управљање у реалном времену производним процесима.

Управљачкој активности претходи доношење одлуке, са циљем да се оствари најбољи исход у простору могућих решења фокусираног проблема или у простору могућих стања реалног система.¹⁵

Због природе минерално-сировинског комплекса и утицаја бројних чинилаца различитих извора, генезе, побуде и генерисања, у рударству се одлуке у принципу доносе у мултиваријабилним условима са различитим ограничењима. У оваквој ситуацији, модел одлучивања може се дефинисати као скуп вектора могућих алтернатива (варијанти решења), које доносиоцу одлуке (ДО) стоје на располагању и постављених критеријума избора за доношење одлуке. Доношење управљачке одлуке значи избор једне од могућих алтернатива као најбоље, рационалне, најефикасније, оптималне или слично дефинисане.¹⁶

¹⁴ Čupić M., Tumala Rao, V. M., *Savremeno odlučivanje: metode i primena*, Beograd: Naučna knjiga, 1991, str. 71, 421; Petrić J. i dr., *Metode planiranja u SOUR*, Beograd: Savremena Administracija, 1976.

¹⁵ Opricović S., *Optimizacija sistema*, Beograd: Građevinski fakultet u Beogradu, 1992, str. 422; Gerhard Wiegleb, Birgit Felinks, *Primary succession in the post-mining landscapes of Lower Lusatia – chance or necessity*, *Ecological Engineering* 17, 2001, pg. 199–217, rad je dostupan na e-adresi: www.elsevier.com/locate/ecoleng.

¹⁶ Nikolić I., Borović S., *Višekriterijumska optimizacija: metode, primena u logistici, softver*, Beograd: CVŠ VJ – Beograd, 1996, str. 996; Sage A., P., Armstrong J. E., *Introduction to Systems Engineering*, Wiley-Interscience, 1st edition, 2000, pg. 568; Vujošević M., *Operativni menadžment: Kvantitativne metode*, Beograd: Društvo operacionih istraživača Jugoslavije, 1997, str. 262.

У Докторској дисертацији Марјана Худеја *Мултиваријабилни модели управљања у рударству*, на слици 2.1 (страна 17), дат је принципијелни алгоритам одлучивања, где је процес одлучивања дат у фазама: први степен одлучивања је иницијално одлучивање у коме се врши идентификација проблема, затим аквизиција података и информација и дефинисање циљева и намена решења. Аналитичко одлучивање које даје квантитативно или квалитативно решење и врши нормативну проверу решења. Такође, и у овом блоку одлучивањем са „да“ или „не“ прелази се у виши ниво одлучивања, односно коначно доношење одлуке по истом принципу „целокупног тима“.

Поједностављено објашњење доношења одлуке, своди се на задатак доносиоца одлуке (ДО) да изабере најбоље (најефикасније, најрационалније итд.) од расположивих алтернативних решења. Доношење одлуке било би мање захтевно и ризично да није непредвидљивих догађаја и промена у окружењу у време извршења одлуке.¹⁷

Доносилац одлуке (ДО), може бити један или више стручњака који у том случају тимски доносе одлуке. Ради елиминисања или минимизирања субјективности доносиоца одлуке (ДО), увек када је то могуће, препоручује се њено тимско доношење.¹⁸

Алтернативе као средства за постизање једног или више циљева, представљају могућа решења проблема или која се међусобно искључују. Проблем одлучивања постоји захваљујући постојању више начина за постизање циља или циљева, када тога нема, нема ни одлучивања.¹⁹ Формирање скупа алтернативних решења је кључно важан и најкреативнији део задатка у процесу.

Осим од познавања проблема, стручности, знања, искуства, способности и домишљатости актера у доношењу одлуке, формирање скупа алтернатива зависи и од врсте проблема. Нема општег упутства за генерисање алтернатива, а непосредни акт одлуке је избор једне од алтернатива, па у том смислу јасно је да је квалитет одлуке условљен квалитетом могућих алтернативних решења.²⁰

Услови представљају скуп уплива који утичу на избор алтернативе, односно на исход одлуке.

Критеријум или критеријуми избора. Исход одлуке може зависити од једног критеријума, тада се каже да је проблем једнокритеријумски, међутим, у пракси су чешћи случајеви да исход одлуке зависи од више показатеља. када се за

¹⁷ Newman, A., Rubio, E., Caro, R., Weintraub, A., Eureka, K., *A Review of Operations Research in Mine Planning, Interfaces*; 2010, Vol. 40, No. 3, pg. 222–245.

¹⁸ Vujić S., Hudej M. i dr., *Results of the promethee method application in selecting the technological system at the Majdan III open pit mine*, Archives of Mining Sciences, Polish Academy of Sciences, Committee of Mining, Krakow, 2013, Issue 4.

¹⁹ Nikolić I., Borović S., *Višekriterijumska optimizacija: metode, primena u logistici, softver*, Beograd: CVŠ VJ – Beograd, 1996, str. 996.

²⁰ Vujić S., Hudej M. i dr., *Results of the promethee method application in selecting the technological system at the Majdan III open pit mine*, Archives of Mining Sciences, Polish Academy of Sciences, Committee of Mining, Krakow, 2013, Issue 4.

проблем каже да је мултикритеријумски.²¹ Осим од квалитета расположивих алтернатива, на квалитет одлуке утиче избор критеријума и одређивање критеријумских вредности за сваку од алтернатива. У решавању практичних проблема у рударству, и шире, индустрији, фигуришу бројни и различити критеријуми од којих су неки међусобно супротстављени, конфликтни. Формулација критеријума може бити квантитативна (бројчане вредности, нпр.: профит, трошкови, рентабилност, обим производње, потрошња итд.) или квалитативна (вербалне вредности, нпр.: добро, лоше, најбоље, слабо, високо, ниско и др.²² Избор критеријума и дефинисање критеријумских вредности алтернатива зависи од конкретног проблема, то је веома осетљив и захтеван задатак са непосредним упливом на коначан исход одлуке. Осетљивост и захтевност задатака избора критеријума и критеријумских вредности по алтернативама, присутна је због неизбежности фактора субјективности, манифестованог преко одговорности и преференције ДО или тима за доношење одлуке, према критеријумима, њиховим вредностима, према ризицима и сл.

Модели – методе за избор алтернативе (доношење одлуке) конституисане су на квалитативном или квантитативном принципу. Квалитативне методе су базиране на анимацији експерата, квантитативне користе математичко-моделске алате за избор (најбоље, најефикасније, рационалне, оптималне итд.) једне између расположивих алтернатива.²³

²¹ Vujošević M., *Operativni menadžment: Kvantitativne metode*, Beograd: Društvo operacionih istraživača Jugoslavije, 1997, str. 262.

²² Nikolić I., Borović S., *Višekriterijumska optimizacija: metode, primena u logistici, softver*, Beograd: CVŠ VJ – Beograd, 1996, str. 996; Оприцовић С., *Вишекритеријумска оптимизација система у грађевинарству*, Београд: Грађевински факултет у Београду, 1998, стр. 9–20, 302.

²³ Оприцовић С., *Вишекритеријумска оптимизација система у грађевинарству*, Београд: Грађевински факултет у Београду, 1998, стр. 19–20, 302.

3.2. Обележја рекултивације предела деградираних површинском експлоатацијом минералних сировина и утицај на животну средину

Рударство као једна од најстаријих привредних делатности, од самих почетака има у себи једну противуречност, суочавање са заштитом животне средине. Ова амбивалентност рударског заната присутна је од најстаријих дана њеног битисања као људске делатности, од првих трагова откопавања, вађења и прераде руда, па је као таква записана још у средњовековним писаним траговима код Агриколе (Georgius Agricola, 1494–1555). Он у књизи *De Re Metallica* из 1556. године пише како су се још у римско доба водиле полемике:

Противници рударских радова аргументују свој став тиме што, наводно, копање руде опустошује поља, сече шуме и гајеве [...] било за подземне објекте, рударске уређаје, било топљење руде, бескрајно захтевају дрво. Сечење гајева и шума разгони птице и звери од којих многе служе човеку за укусну храну. Испирање руде трује потоке и реке, убија или прогони рибе...

Покушавајући да нађе разумевање за овакве активности рудара он визионарски наставља:

[...] Рудари већим делом раскопавају горе које не доносе никакве плодове и које се налазе на неплодним местима. Штета од рудника не превазилази штету од других послова човека, његових насеља и градова, од војних дејстава.²⁴

Процеси површинске експлоатације проузрокују неизбежни утицај на животну средину. У општем смислу утицаји се јављају у горњем делу литосфере, у целој хидросфери и у доњем делу атмосфере управо у непосредном контакту са активностима површинске експлоатације. Набројани елементи животне средине образују у целини биосферу која непосредно прихвата утицај технолошких процеса површинске експлоатације. Основна дејства и резултати утицаја површинске експлоатације на животну средину дати су у општем смислу у Табели 3.1. Карактер и обим утицаја су у сваком конкретном случају различити и одређују се на основу природних и производно-технолошких карактеристика експлоатације лежишта.²⁵

²⁴ Цит. према Вујић С., *Пројектовање рекултивације и уређење предела површинских копова*, Београд, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду и Академија инжењерских наука Србије, 2009, стр. 61–64; детаљније видети у: Георгијус Агрикола, *О геологији, рударству и металургији*, приредили Зоран Петковић, Надежда Ћалић, Дејан Миловановић, превели Душанка Симеуновић, Бранко Глушчевић, Снежана Савковић, Београд: Југословенска инжењерска академија, 2007.

²⁵ Павловић В, *Рекултивација површинских копова и одлагалишта*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, Југословенски Комитет за површинску експлоатацију, 2000, стр. 1, Табела 1.1.

Табела 3.1. Основна дејства и резултати утицаја површинске експлоатације на животну средину²⁶

Елементи животне средине	Дејства процеса експлоатације	Резултати утицаја
Ресурси воде	Одводњавање лежишта, измештање површинских токова. Истакање дренажне воде и воде из површинског копа. Изградња објеката за пречишћавање вода.	Исцрпљивање резерви површинских и подземних вода. Нарушавање хидрогеолошких и хидролошких режима простора површинских копова. Смањење количине воде и загађење водоносног басена.
Ваздушни простор	Контролисана и неконтролисана емисија штетних материја у атмосферу.	Запрашивање и загађивање атмосфере у зони и околини површинског копа. Скраћење века објеката и опреме. Пораст обољења живих организама.
Ресурси земље	Извођење рударских радова. Формирање одлагалишта и изградња комуникација и објеката.	Деградација земљине површине и формирање техногеног рељефа. Смањење површина и приноса земљишта. Увећање ерозионих процеса. Загађивање и засољавање плодног слоја. Погоршање животних услова живих организама.
Лежишта	Откопавање лежишта минералних сировина. Откопавање откривке. Одводњавање лежишта. Самозапаљење угља. Разбацивање отпада. Истакање техничке воде.	Исцрпљивање минералних ресурса. Нарушавање геолошке структуре и геодинамичког састава простора лежишта. Снижавање нивоа и смањење резерви подземних вода. Загађивање земље. Убрзавање карстних процеса. Губици сировине при откопавању.

Проблеми нарушавања животне средине сваким даном постају све бројнији и сложенији. Размере угрожавања биосфере и екосистема, популациони притисци, смањивање необновљивих и обновљивих ресурса, изумирање врста и смањење биодиверзитета као последица људских активности, па и постављање питања планетарног опстанка човека су глобалне природе, па ни наша земља није поштеђена.

У свему томе, површинска експлоатација, а нарочито рударско-енергетски комплекси засновани на добијању електричне енергије из угља имају значајног удела. Загађивање ваздуха, воде и тла, заузимање пољопривредног и шумског

²⁶ Павловић В, *Рекултивација површинских копова и одлагалишта*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, Југословенски Комитет за површинску експлоатацију, 2000, стр. 1, Табела 1.1.

земљишта, поремећаји екосистема, негативне трансформације предела и климе, поремећаји водног режима, бука и ризици од акцидената овде су најизраженији.

Објективно површинска експлоатација минералних сировина, као најмасовнији облик експлоатације у рударству, носи највећу одговорност и ствара реалне проблеме еколошке природе, чињеница је да јој поједини зелени покрети данас желе навући стигму најодговорније привредне делатност и приписати много више негативног него што она стварно то чини. Све то настаје због визуелног утиска који остављају басени површинских копова угља као највећи проузроковачи разарања стенске масе, заузимања и деградирања пољопривредног земљишта, уништавања шумских предела итд. Извођење рударских радова можемо посматрати као део система површинске експлоатације временски ограничен са различитим техничко-технолошким процесима са мерама техничке и биолошке рекултивације као завршним у фази затварања копа у временском, просторном и техничком смислу. Примери успешно рекултивисаних деградирани простора површинских копова у свету, а мање у нас, бројни су. У историјском смислу могу нам послужити примери немачких површинских копова угља, где је оваква пракса бриге за животну средину у постексплоатационом периоду најраније заживела.

Као аргумент овом ставу наводимо пример површинског копа лигнита Фортуна (Fortuna) у Немачкој, где су експлоатациони радови завршени 1993. године (Слика 3.1). Фортуна некадашњи део насеља, данас је град Рајн-Ерфт-Крајс (Rhein-Erft-Kreis). Рудничко насеље Фортуна основано је 1899. године у близини насеља Оберојсем (Oberaussem). Крајем 19. века дошло је до наглог развоја индустрије базиране на угљу. У близини града постојала је фабрика брикета, а од 1910. године електрана Фортуна која је напајала Келн струјом. Насеље Фортуна, заједно са фабриком и електраном, затворено је након Другог светског рата. Током експлоатационог века на руднику Фортуна откопано је 240 милиона тона угља.

Припремни радови за отварање површинског копа лигнита Фортуна Гарсдорф (Fortuna Garsdorf) почели су 1953. и површински коп је отворен 1955. године. Током експлоатационог века, на површинском копу Фортуна Гарсдорф откопано је око 2.090 милиона метара кубних откривке и 1.030 милиона тона угља. Највећа дубина површинског копа је 360 m, а највећа годишња производња од 48 милиона тона угља остварена је 1979. године. Последње тоне угља на копу су произведене 13. маја 1993. године. Рударским радовима укупно је захваћено 2,220 ha. Од тога је рекултивисано 1,730 ha у пољопривредне површине (Слика 3.2), 420 ha шуме и мочваре, а око 30 ha се налази под саобраћајницама. До краја 1993. године, око 50% захваћених површина је већ било рекултивисано. Данас се на месту на коме су се изводили рударски радови налазе фарме, а у зони завршних радова површинског копа, формирано је 1997. године језеро површине 20 ha, које са околним површинама заузима око 90 ha и има највећу дубину 25 m. Површина под шумама данас је двоструко већа него пре

отпочињања рударских радова. Рекултивација на простору површинског копа Garsdorf завршена је 2005. године.²⁷



Слика 3.1. Површински коп Фортуна Гарсдорф, завршна фаза ²⁸



Слика 3.2. Простор површинског копа Фортуна Гарсдорф данас ²⁹

²⁷ Вујић С., Цвејић Ј., Миљановић И., Дражић Д., *Пројектовање рекултивације и уређење предела површинских копова*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду и Академија инжењерских наука Србије, 2009, стр. 13–15, слика 2.5, 2.6.

²⁸ Исто.

²⁹ Исто.

Подручја обухваћена рударским активностима, без обзира на степен девастације, успешно се могу рекултивисати применом савремених мера техничке и биолошке рекултивације и привести новој намени у току експлоатације и у постексплоатационом периоду површинских копова.

Проблем одлучивања могућности коришћења новостворених предела и екосистема после завршене експлоатације угља на површинским коповима и извршеној техничкој и биолошкој рекултивацији, потврђују тезу о могућем *одрживом развоју у рударству*, јер није неминовно да оно што савремени човек деградира због својих потреба, буде неповратно изгубљено, већ напротив, може уз добру, правилну и бескомпромисну законску регулативу засновану на примени резултата научних истраживања да се унапреди и свестрано користи.

Основа за доношење одлуке о рекултивационом решењу мора да буде плански приступ коришћења предела после завршетка експлоатације минералних сировина на површинским коповима. На тој бази би проистекла и одговарајућа пројектна документација којом би се јасно дефинисао план рекултивације, однос пољопривредне и шумске рекултивације и обезбеђење оптималних супстрата за њихово извођење, са препорученим селективним одлагање отквивке и уређивањем водених површина различите намене. Такође би се предвидело пресељење становништва уз размештај нових насеља и парковских пејзажних амбијената са изградњом пратеће инфраструктуре и саобраћајница. Просторно дефинисани нови спортско-рекреациони и културни садржаји као потреба нове социјалне структуре становништва планирани су у рекултивационим пределима некадашњих зона утицаја површинских копова.

Сталан процес развоја површинских копова условио је потребу за обављањем сукцесивне рекултивације на њима. Рекултивација представља низ мера којима се оштећене и деградиране површине враћају својој намени. Са становишта примењених мера обично се разликује техничка која чини претходницу и биолошка која представља завршни облик рекултивације.

У укупној експлоатацији лежишта минералних сировина у Србији, површинска експлоатација се одвија на највећем броју лежишта: лигнитских угљева на девет, бакарне руде на четири, гвоздене руде са никлом на два, олово-цинкане на једном до два објекта, неметаличних минералних сировина на шест, архитектонско-грађевинског АГ-камена на 38, глиништа на 78, шљунковито-песковитих алувијона на 23.

Према досада објављеним истражним радовима у нас с правом се процењује да ће се површинском експлоатацијом деградирати преко 100.000 ha површина, и то квалитетног пољопривредном земљишта у котлинама, алувијонима река, насељеним местима као и на просторима са развијеном инфраструктуром.

У циљу санације последица експлоатације лежишта минералних сировина и спречавања погоршавања услова живота током и након престанка рада копова, неопходно је да сваки рударски басен направи програм заштите животне средине који би дефинисао најважније активности и прецизно утврдио фазе реализације самог програма. Тиме се стичу услови да принципи одрживог развоја заживе и у нашим рударско-енергетским басенима на начин усвојених директива од стране савременог света.

Највидљивије карактеристике површинске експлоатације, са аспекта будуће рекултивације деградираних површина, представља заузимање великих површина површинским копом, спољашњим одлагалиштем, пратећим објектима, објектима припреме минералних сировина, инфраструктурних објеката, путевима и друго.

У погледу локације одлагалишта предвиђено је да постоје две основне врсте одлагалишта, и то спољашња и унутрашња. Унутрашње одлагалиште развија се у откопаном простору контуре површинског копа са могућношћу надвишења изнад површине терена. Код формирања спољашњих одлагалишта постоји више услова од којих се као значајни могу издвојити: запремина простора за прихватање потребних количина јаловине, дужина транспорта, економска вредност локације за формирање одлагалишта која подразумева стање на површини терена, затим могућност уклапања у непосредно и шире окружење.

Морфолошко уклапање одлагалишта у непосредно и шире окружење подразумева да се одлагалишта својим косинама и горњом површином уклапају у постојећи облик терена. То се обезбеђује постепеним прелазима са хоризонталних на косе површине, као и постепеним преласком на различиту оријентацију косина одлагалишта у односу на терен у окружењу. Ово питање се лакше решава када се одлагалиште са више бокова ослања на терен јер самим тим се смањује број потребних површина за уклапање, у односу на одлагалишта формирана на равном терену када су све бочне косине и горња површина отворене за касније интервенције. Ово питање се истиче већ у фази пројектовања одлагалишта, јер се на тај начин обезбеђују предуслови за техничку рекултивацију, односно основна идеја је да се већ у фази формирања одлагалишта добије такав облик који је близак завршној форми после техничке рекултивације. Ови захтеви се најједноставније изражавају преко дефинисања потребног угла нагиба косина одлагалишта и преко ограничења у погледу висине одлагалишта, тако да за радове техничке рекултивације преостане мањи обим радова на планирању косина етажа.

Код унутрашњих одлагалишта овај захтев се изражава као потреба да се унутрашњим одлагалиштем добије површина терена блиска првобитном изгледу терена. То је немогуће реализовати у потпуности, пошто формирањем спољашњег одлагалишта долази до значајног дефицита у потребним количинама откривке и јаловине, тако да се и у том случају формирају благи прелази на завршним контурама површинских копова укључујући и евентуална надвишења терена.³⁰

Систем површинске експлоатације минералних сировина уопште, а специфично површински копови угља уз термоелектране, као енергетско-индустријски комплекси, прате бројни негативни утицаји на животну средину, па захтевају интегрално планирање, ревитализацију, рекултивацију и уређење деградираних природних геоморфолошких простора и предела у циљу њиховог свеобухватног новог коришћења у постексплоатационом периоду. Техничка рекултивација и реструктуирање откопних маса откривке и међуслојне јаловине, нуде бројне могућности. Да би се избегле штетне последице развоја површинских копова,

³⁰ Лазић А., *Пројектовање површинских копова са моделирањем система експлоатације*, Београд: Рудрско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 2006, стр. 254–255.

рударске активности треба да прати планирана и техничко-технолошки дефинисана, а организационо и динамички усклађена биолошка рекултивација одлагалишта и просторно, пејзажно уређење у сврху успостављања различитих вегетацијских и других еко-система на новоформираним депосолима. Бројна истраживања су показала да је на овако нарушеним подручјима могуће створити нове пољопривредне, шумске, акваторне, ливадске и друге екосистеме.

Током осамдесетих година 20. века квантитет производње корисне минералне сировине постављен је као приоритет. На тај начин су се рударски радови са циљем експлоатације корисне минералне сировине завршавали престанком откопавања, док су последице њиховог дејства биле од секундарног значаја, деградиране површине површинских копова и њихових одлагалишта препуштене су спонтаном самозарашћивању. Природно самообнављање екосистема на једном нарушеном простору, захтева дуг временски период. Период спонтане ауторекултивације, насељавањем пионирских врста на нарушеним површинама зависио је од присуства хранљивих материја потребних за развој биљака.

Спољашња одлагалишта површинских копова угља састоје се од хоризонталних и благо нагнутих површина које чине берме сигурности и горње површине етажа и стрмих површина као косина одлагалишних етажа. Ове површине су предвиђене за техничку и касније биолошку рекултивацију ради реализације стратешког циља у области ревитализације и рекултивације простора и заштите природе. То су пре свега смањење неповољних утицаја експлоатације и прераде угља на стање пољопривредног земљишта, шума, вода, ваздуха, биљног и животињског света, те других природних и социо-економских услова живљења, као и предузимањем ефикасних мера за постепено остваривање сталног и приметног побољшавања еколошких, економских и амбијентално-пејзажних обележја подручја у зони експлоатације. Биолошка рекултивација одлагалишта јаловине врши се превасходно агробиолошком рекултивацијом и пошумљавањем, сагласно завршној концепцији просторне организације по обављеној експлоатације лигнита.

У природне параметре спадају: природне и новонастале карактеристике рељефа, климатске карактеристике подручја површинског копа, литолошка структура откривке и јаловине простора на којима ће се површински копови ширити, особине земљишта и депосола, карактеристике природне и на рекултивисаним површинама створене вегетације, итд. У техничко-технолошке параметре спадају: динамика експлоатације откривке по експлоатационим пољима, технологија откопавања и одлагања откривке, локација одлагалишта, врсте и карактеристика примењене опреме, итд.

Типичне штетне последице проузроковане деловањем површинске експлоатације на непосредну околину и опште на животну средину су следеће:

- **на воду и водене ресурсе:** пресецање водотокова рударским радовима, измена микрослива, измена режима вода на захваћеном простору, измештање водотокова, стварање вештачких акумулација, измена нивоа подземних вода, загађење подземних и површинских вода;

- **на земљиште:** нарушавање плодног слоја солума, хумуса, који је необновљив природни ресурс, као и дубљег потенцијално плодног слоја који лежи испод зиратног земљишног слоја, деградација терена експлоатацијом и одлагалиштима у геоморфолошком и економском смислу, загађење земљишта прерађивачким капацитетима, појава ерозионих облика, деградација тла таложењем прашине и отпадних материја као и појава клизишта, одрона, слегања, једном речју, измена геодиверзитета;
- **на ваздух:** дејство прашине при експлоатацији из прерађивачких капацитета, дејство гасова (СО, СО₂, NO и др.);
- **на биљни покривач:** уништавање површина под шумом и пољопривредних земљишта, и тиме трајно или за веома дуги период измена квалитета земљишта и култура које успевају као флора у виду биодиверзитета;
- **животињски свет:** нестанак појединих врста фауне и нарушавањем природних станишта еко-система на дужи временски период;
- **клима:** измене микроклиматских фактора, која директно утиче на опште климатске услове у области извођења експлоатационих радова и у широј зони;
- **објекти:** оштећење објеката, измене у инфраструктури пресецањем инфраструктурних објеката, промена режима у саобраћају, водоснабдевању итд.;
- **социолошки аспекти:** измене у структури домаћинства (посебно пољопривредних), измештање делова или целих насеља, гробаља и антропогена промена структуре, навика и културе и општег менталитета једног становништва;
- **археологија, споменици културе и природна заштићена подручја:** сужавање обима истраживања археолошких налазишта као што је римски војни логор Виминацијума и споменика културе манастир Рукумија у зони површинског копа угља Дрмно, праисторијских насебина старих 5.000 година п. н. е. на коповима Тамнава–Запад и Тамнава–Исток у Рударском Басену Колубара, Национални парк на Фрушкој гори и др.

У циљу смањења штетних утицаја експлоатације сировина неопходно је, још у току експлоатације, приступити ревитализацији деградираног простора. У оквиру ревитализације најзначајнија ставка је рекултивација земљишта. Нерекултивисана јаловишта вишеструко угрожавају непосредну околину и становништво. На првом месту јесте штетан утицај ветрова који разносе фину прашину у којој могу бити присутне токсичне материје. Мале количине угља у одложеној јаловини склоне су самооксидацији при чему се у ваздух емитује СО, СО₂, оксиди сумпора итд. Постоји и стална опасност од попуштања брана и канала, као и од обрушавања неодржаваних завршних косина јаловишта. Атмосферске падавине испирају штетне материје (продукте прераде

минералних сировина, или материјале са велике дубине које су се сад нашле на површини) и загађују систем подземних вода.

Крајњи циљ рекултивације је постизање пољопривредне, рекреационе, естетске или неке друге карактеристике обновљеног терена. Техничка рекултивација односи се на низ мера које се предвиђају у складу са пројектом рекултивације, а односе се на физичко привођење одлагалишта (спољашњег и унутрашњег) и осталих површина захваћених површинском експлоатацијом пројектованом изгледу. У то спадају: равнање површина и постизање пројектоване конфигурације терена, затим разастирање здравих слојева земљишта и, на крају, препокривање хумусног слоја.

Уопште узев, техничка рекултивација подразумева планирање површине терена, формирање рекултивационе површине, извођење и ублажавање нагиба бочних косина, изградњу путева, хидротехничких, мелиорационих и других објеката који прате радове на земљишним површинама. Извођење процеса техничке рекултивације захтева ангажовање основне и помоћне опреме, а рекултивисана површина врло је блиска по грађи недеградираном земљишту.

Техничка рекултивација практично, почиње паралелно са експлоатацијом минералне сировине. Одлике техничке рекултивације у овој раној фази су селективно откопавање и одлагање хумусног слоја јаловог покривача. Овакав третман хумусног слоја у првом моменту поскупљује експлоатацију, али се већ у следећем кораку рекултивације терена та инвестиција враћа, јер није потребно додатно оплемењивање земље и довоз плодног земљишта са других, удаљених локација.

Дебљина селективно откопаног слоја треба да задовољи следеће услове:

- услове које диктирају параметри опреме (висина и дубина копања багера);
- скинуте количине треба да обезбеде препокривање површине са које је скинут супстрат;
- економска исплативост (дебљина слоја треба да обезбеди минимум укупних трошкова за његову експлоатацију);
- дебљина слоја не сме прелазити максимално дозвољену висину етажне за дату опрему на одлагалишту и
- мора обезбедити покривање одлагалишта слојем дебљине довољним за развој биљака.

У завршној фази формирања одлагалишта хумусни слој се првенствено наноси на равне површине. Производна способност одложеног материјала за пољопривредну производњу требало би да буде приближна првобитној производној способности.

Правовремена рекултивација са што бржим искоришћавањем новоформираног простора доводи у склад, колико је то могуће, површинску експлоатацију и природну средину, као и могућност приходавања са рекултивисаних површина, било кроз продају производа, земљишта или субвенцију пореских олакшица.

Потреба за рекултивацијом терена која се мора одвијати паралелно са експлоатацијом у нас је најизраженија у површинској експлоатацији угља у Колубарском и Костолачком угљеном басену лигнита. Наиме, због последица експроприације земљишта ради експлоатације угља, Србија је од 1957. до 1993. године неповратно изгубила око 220.000 ha углавном пољопривредног земљишта.

Познато је да је плодно зиратно земљиште танак део Земљине коре створен распадањем геолошке подлоге под утицајем климе, воде, флоре и фауне хиљадугодишњим педогенетским процесима. За формирање само једног центиметра дебљине хумусног покривача, потребно је 10.000 година, те се плодно тле сматра уз водне акумулације и чврсте, течне и гасовите минералне сировине, природним, необновљивим ресурсима на коме почива геостратешка снага једног народа и државе, његова привреда и живот уопште. Етички и цивилизацијски разлози нас обавезују да овим природним ресурсима газдујемо на један рационалан и домаћински начин, да их технолошки не раубујемо и сачувамо и оставимо будућим нараштајима у што повољнијем стању.

Процес биолошке рекултивације захтева ангажовање опреме, осмишљавање намене простора који се рекултивише, пројекат садње разноврсних садница које се одабирају на основу намене простора, климатских услова, микроклиме итд.

Експлоатација угља у Колубарском и Костолачком угљеном басену оставља за собом милионе јаловинског покривача откопаног, растрешеног и одложеног на јаловиштима. При томе се непродуктивни, јалови слојеви из дубине лежишта одлажу на површини прекривајући плодне површине, а нешто квалитетнији слојеви и хумус се скидају у првој фази радова, тако да се налазе на дну одлагалишта. Један од императива у површинској експлоатацији је селективно откопавање и одлагање хумуса како би се поново плодносни слојеви развукли по завршетку одлагања по новоформираној контури одлагалишта.

За експлоатацију угља на површинским коповима Колубарског и Костолачког угљеног басена карактеристично је да се нарушава првобитни склоп земљишта, депоновање се врши без издвајања најквалитетнијег дела, а преко њега се набацују моћне насlage неактивног материјала разноврсног текстурног састава, терен који остаје по проласку опреме за одлагање је врло нераван, неуједначен и коначно, површине које остају су неуређене, незаштићене, изложене ерозији и клизиштима. У досадашњем раду одлагалишта су углавном препуштана спонтаној рекултивацији када се на оштећеним површинама и одлагалиштима јавља природна рекултивација.

3.3. Одлучивање током рекултивације

Циљ одлучивања и управљања је избор најбољег решења из скупа могућих алтернативних решења, уз уважавање једног или више критеријума.³¹ Критеријум или критеријуми су као мере за компарацију алтернатива опредељујући важни за квалитет одлучивања и управљања, односно избор најбоље алтернативе. Дефинисање критеријума је веома захтеван и одговоран

³¹ Оприцовић С., *Вишекритеријумска оптимизација система у грађевинарству*, Београд: Грађевински факултет у Београду, 1998, стр. 19–20, 302.

задатак који задире у различита подручја. Математичко-моделски приступи решавања управљачких задатака могу бити оптимизациони или нормативни.³²

У оптимизационом приступу, задатак се своди на тражење екстремне вредности функције критеријума (max-min), где критеријум(и) квантификује(у) понашање система и исходне ефекте, у задатим условима.³³ Дobar оптимизациони модел реалног проблема подразумева коректно постављену(е) критеријумску(ке) функцију(е) и система ограничења (услова).³⁴ Постоје бројне методе оптимизације, једна од најчешћих класификација ових метода у литератури је према присуству ограничења, на методе без ограничења, то јест, методе безусловне оптимизације (методе претраживања, Њутнова метода, градијентне методе...) и методе са ограничењима – методе условљене оптимизације (линеарно програмирање, мрежно програмирање, метода Лагранжових мултипликатора, динамичко програмирање, метода казнене функције, елиминација и замена променљивих и др.).³⁵ За рударство и геологију посебно је интересантна стохастичка оптимизација, особеност је постојање неизвесности. Два су основна стохастичка оптимизациона модела, експлицитни и имплицитни. Рударско инжењерство у решавању конкретних оптимизационих проблема најчешће користи дискретне моделе, где се уместо свеобухватног математичког модела, пројектују алтернативна решења.³⁶ У нормалном приступу проучава се и анализира проблем у задатим условима са задатком проналажења најбољег (рационалног, ефикасног итд.) решења. У литератури се по аутоматизму мултиатрибутне, мултикритеријумске и мултициљне анализе, категоришу као нормативни прилази у одлучивању и управљању.

У процесу кључну улогу има доносилац одлуке (ДО), али иза понуђеног решења (предложене алтернативе) у принципу не стоји доносилац одлуке већ стручњак или стручни тим за подршку одлучивању, оно решење за доношење најбоље одлуке. У интерактивној анализи између доносиоца одлуке (ДО) и стручњака и или стручног тима за подршку одлучивања може доћи до модификације предложених решења. Оваквим приступом повећава се сигурност и поузданост мултикритеријумског одлучивања, а непосредна одговорност доносиоца одлуке (ДО) садржана је у дефинисању критеријума, структурисању преференција према алтернативама и у доношењу одлуке о избору коначног решења.³⁷

³² Вујић С. и др., „A location-allocation model of mining facilities planning at strategic level“, *Proceedings of the VII International Symposium on Application of Mathematical Methods and Computers in Geology, Mining and Metallurgy*, Sophia, Bulgaria, 1998, pg. 5–12.

³³ Крчевинац, С., Чангаловић, М., Ковачевић-Вујичић, В., Мартић, М., Вујошевић, М., *Операциона истраживања*, Београд: Факултет организационих наука Универзитета у Београду, 2004, стр. 586.

³⁴ Ehrgott M., *Multicriteria Optimization*, Springer Berlin–Heidelberg, 2nd edition, 2005, pg. 336.

³⁵ Isto.

³⁶ Вујић С. и др., „Вишекритеријумски оптимизациони модел просторног планирања система површинских копова техничког камена – увод у проблем“, *XXV Symopis*, Херцег Нови, 1998, стр. 581–585.

³⁷ Ehrgott M., *Multicriteria Optimization*, Springer Berlin–Heidelberg, 2nd edition, 2005, pg. 336.

У литератури постоји више мултикритеријумских модела, у зависности према начину укључивања доносиоца одлуке (ДО) у поступак, постоје:³⁸

1. модели за одређивање неинфериорних решења,
2. модели са унапред израженим преференцијалом,
3. интерактивни модели,
4. стохастички модели и
5. модели компромисног програмирања.

Према другој подели мултикритеријумски модели се групишу према класама проблема и поступку решавања.³⁹

Модели са поступком:

1. Модели са поступком анализе и рангирања.

Са аспекта математичко-моделског описа реалног система, две су врсте проблема у вишекритеријумском одлучивању:

1. мултициљно одлучивање (МЦО);
2. мултиатрибутно одлучивање (МАО), или мултикритеријумска анализа (МКА). Атрибут представља средство оцене нивоа неког од критеријума (циљева). Синоними за атрибуте су параметри, карактеристике, особине, перформансе, компоненте, фактори и сл. Модели МАО, одговарају слабо структурираним проблемима. У зависности од природе проблема код ових модела, могућа су три приступа у поступку решавања:
 - А) рангирање: потребно је рангирати скуп свих алтернатива, од најбоље до најлошије;
 - Б) избор једне алтернативе: потребно је изабрати најбољу алтернативу и
 - Ц) избор више алтернатива: бира се више алтернатива, на један од два начина, и то полазећи од највишег ранга усваја се унапред дефинисан број алтернатива или се пак врши избор алтернатива са условима који нису уграђени у почетни модел.

Изглед и стање постексплоатационог предела разликују се код површинског копа брдског типа и копа равничарског типа, затим од дужине времена трајања, обима и интензитета експлоатационих радова, од карактеристика радне

³⁸ Belegundu A. D., Chandrupatla T. R., *Optimization Concepts and Applications in Engineering*, Cambridge University Press, 2nd edition, 2011, pg. 478; Opricović S., *Optimizacija sistema*, Beograd: Građevinski fakultet u Beogradu, 1992, str. 422.

³⁹ Doumpos M., Zopounidis C., *Multicriteria Decision Aid Classification Methods (Applied Optimization)*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2010, pg. 268; Belegundu A. D., Chandrupatla T. R., *Optimization Concepts and Applications in Engineering*, Cambridge University Press, 2nd edition, 2011, pg. 478.

средине, од примењених техничко-технолошких метода, третмана према заштити животне средине током извођења рударских и експлоатационих радова, од природног и геоморфолошког окружења као и других утицајних фактора. Постексплоатационо уређење сваког предела треба да је предмет посебних стручних анализа и процена.

Ако занемаримо законску прерогативу као обавезу, побуда уређења постексплоатационих предела и заштита природе је мултифазна и крајње озбиљна. Чине га пре свега етичке и цивилизацијске обавезе према еколошким аспектима природе и њеном очувању, према нашем нараштају и будућем потомству у моралној обавези да плодно зиратно земљиште као природни необновљиви ресурс не сме бити препуштено девастацији и трајном нарушавању, већ остављени будућим генерацијама као залог њиховог сигурног и стабилног богатог извора живота и битисања на овим наслеђеним просторима. Ова мотивација води основним циљевима, дефинисању пројектних решења рекултивације и уређења постексплоатационих предела на један целовит и комплексан начин, са циљем правилног доношења одлука и избора најбољих решења.

Током уређења постексплоатационих предела, генерална је тежња планера и општа препорука да се од целокупне површине намењене рекултивацији, 25% искористи за водене садржаје, 55–75% резервише за шуме, 15–30% за пољопривредну производњу и 15% предвиди за очување природних ресурса.

У нашим условима, површински копови угља као типични рударски објекти који заузимају велике површине, најчешће су лоцирани на просторима или у близини где се налазе стамбена насеља, индустријски и инфраструктурни објекти, саобраћајне комуникације и речни водотокови. Често се, током експлоатационих радова јављају проблеми измештања привремених или трајно затечених објеката, делова или целокупних насеља (пример измештања насеља и сеоског гробља у Вреоцима, заштита археолошког насеља Виминацијум и манастира Рукумија у Костолцу).

Технолошким решењем техничке и биолошке рекултивације и уређења постексплоатационих површина, потребно је створити услове дугорочном процесу планирања, пројектовања и извођења радова, на простору постексплоатационих предела, након рекултивације и обезбедити услови за оснивање нових насеља, враћање измештених водотокова у природне токове, изградњу нових комуникација кроз новостворене пољопривредне, шумске и парковске пределе, подизање индустријских и инфраструктурних објеката, сточарских фарми, спортско-рекреативних и туристичко-излетничких комплекса или чак бањско-рехабилитационих и здравствених центара, ако за то постоје услови.

Приликом конципирања уређења предела, треба имати у виду да рекултивисани површински копови са одлагалиштима могу бити важне *еколошке ћелије*, које поред економских вредности треба да имају и вредност као *рефугијум* за животиње и биљке, које су са других места култивисаног предела истеране, истребљене или угрожене. Еколошке ћелије могу имати секундарне *биотопе* великог значаја, развијајући се временом у вредне регенерационе ћелије потенцијала врста. На основу истраживања може се констатовати да у многим случајевима настајање *накнадних биотопа* води

разноврснијој фауни и флори. Овакви резервати пружају нарочито специјализираним врстама уточишта и могућност преживљавања, којима структура култура на другим местима не омогућава задржавање станишта (птице, рептили, инсекти).⁴⁰

У неким случајевима погодности намена влажних депресија копова може бити искоришћена у следеће сврхе:

1. НАУЧНЕ, и то у сврху:

1.1. заштита природе, науке и образовање према следећим критеријумима погодности:

- заступљеност ретких или вредних за заштиту врста и биоценоза;
- ванпросечни диверзитет (разноврсност врста и биоценоза);
- добра документација о научним истраживањима (нпр. сукцесија, места за презимљавање и одмор птица селица и др.) и
- не постоје последице од суседних намена (нпр. бука, еутрофизација вода као последица пољопривредног коришћења).

2. ОДМОР И РЕКРЕАЦИЈА:

- 2.1. интензивно купање (најмања површина под водом 3 до 5 ha);
- 2.2. једрење и веслање (минимална површина воде 20 ha);
- 2.3. мото и ски спортови на води (минимална површина воде 20 ha);
- 2.4. веслачке регате (укупна површина међусобно повезаних водених површина најмање 2.200 m дужине и 130 ширине);
- 2.5. клизање (константни ниво воде за време зимских месеци);
- 2.6. спортски риболов (минимална водена површина 2 ha, на више од половине водене површине дубина воде преко 2 m);
- 2.7. трајни кампови (минимална водена површина 3–5 ha), и
- 2.8. подручје викендица.

3. РИБАРСТВО

4. ВОДОПРИВРЕДА:

- 4.1. ретензија за високе воде (положај у непосредној близини река, брана);

⁴⁰ Вујић С., Цвејић Ј., Миљановић И., Дражић Д., *Пројектовање рекултивације и уређење предела површинских копова*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду и Академија инжењерских наука Србије, 2009.

- 4.2. снабдевање пијаћом водом (вода средње тврдоће и најбољег квалитета);
- 4.3. пречишћавање текућих вода (дубина најмање 3 m) и
- 4.4. лука или марина за бродарење по рекама (положај непосредно уз реку/е; дубина најмање 3 m).

5. ДЕПОНИЈЕ:

- 5.1. Рудничке, комуналне и др.

У неким случајевима намена сувих депресија копова може бити искоришћена у следеће сврхе:

1. НАУЧНЕ, исто као и код копова са влажном депресијом;
2. ШУМАРСТВО (величина површине и повољна својства земљишта);
3. ПОЉОПРИВРЕДА (величина површине, добра приступачност, повољно станиште и својства земљишта);
4. НАСЕЉА (величина и положај површине, добра приступачност, геотехничка погодност терена, клима, и визуелни параметри);
5. ИНДУСТРИЈА (потенцијални положај у подручју планираних индустријских објеката; добра приступачност инфраструктури, остало као код насеља);
6. ОДМОР РЕКРЕАЦИЈА И ПАРК (величина површине, положај уз путању излетничког кретања, добра приступачност; заштићеност од ветра и погледа);
7. ДЕЧЈА ИГРАЛИШТА (величина површине, положај у видокругу подручја становања или непосредно на ивици насеља, без косина и стрмина где постоји опасност од клизања и обрушавања, песковита подлога, без буке);
8. ВЕЖБАЛИШТА ЗА АЛПИНИСТЕ (довољна висина стеновитих падина, најмање 50 m), пешчари – стене које се не круне, мрве, живописна слика предела);
9. МОТО СПОРТ (величина површине, положај на периферном подручју од градских центара, добра приступачност, без буке);
10. СТРЕЛИШТА (величина површине – минимална величина траке 80x40 m за објекат са 50 m растојања и 130x70 m за објекат 100 m растојања, равне деонице, без каменитих и стеновитих косина, дубоки положај у околном терену, без буке);
11. ДЕПОНИЈЕ (капацитет, по могућству што веће растојање од становања, положај изван зоне заштите вода, подручје са вредном заступљеношћу подземних вода и подручја плављења, положај ван подручја притицања површинских вода, положај у подручју мале брзине отицања подземних вода, 0–10 m/дневно, дно копа најмање 2 m изнад средњих нивоа

подземних вода, у подлози без грубог камена или пукотина у стенама, без оштећивања суседних коришћења, нпр. мирис, папир, бубе, гамад).

У процесу одлучивања избора најбољих, у циљу очувања животне средине и природног околиша и амбијенталности, морају се отклонити извесне дилеме и донети одговарајуће одлуке. Прва одлука везана је за дилему да ли приступити интегративном рекултивационом решењу, такозваној интеграцији или сегрегативном типу рекултивационог решења, односно сегрегацији. У досадашњој инжењерској пракси, постексплоатационим подручјима се приступало на један класичан начин где је обично фаворизован сегрегационо-конзервациони приступ, који за приоритет има очување врста и станишта каква су до тада постојала.

У постексплоатационим пределима у којима се приоритет даје очувању природе и амбијенталних вредности, следећа одлука избора варијанте рекултивационог решења везана је за дилему која је начелне природе, да ли је глобални и приоритетни циљ заштита природности (природни процеси) или заштита врста (биодиверзитет).

Уколико је одлука на *очувању природних процеса*, други специфични циљеви се сматрају непостојећим, нити се могу предузимати посебне и друге специфичне акције.

Уколико је одлука супротна и даје предност *очување врста*, потребно је дефинисати које врсте имају приоритет у заштити ако је немогуће заједничком мером заштитити све врсте. Одлука о оваквој издиференцираности мора се дефинисати кроз листу циљних врста на основу потреба циљне врсте у односу на станиште.

Изван подручја приоритета, потребно је дефинисати облик коегзистенције између коришћења земљишта и његовог очувања. Тако се могу применити мреже станишта засноване на малим структурним елементима као што су живе ограде, мале водене акумулације и хортикултурни засади и друго, или дефинисати градијент интензитета искоришћења земљишта.

Поред Немачке која има богато искуство и велику традицију у мултифазном одлучивању током рекултивације и решавању деградираних површина у постексплоатационој фази у рударској индустрији о којој смо говорили на почетку поглавља, одличне резултате постижу и друге државе захваљујући строгој законској регулативи и свеобухватним мерама контроле.

Такав пример су САД, које на основу савезног Закона о контроли површинске експлоатације и обнављања из 1977. године имају одличне резултате у ревитализацији и рекултивацији површинских копова свих минералних сировина. Раније су осниване фарме као вид агромилиоративних поступака за довођење пострекултивационих предела у нове зелене оазе, да би у новије време преовладао избор рестаурације напуштених простора у мочварне пределе као природних станишта за одмор птица у време њихових масовних пресељења. Овако очувани екосистеми имају функцију природних пречишћивачи и филтери воде, а показали си и финансијску оправданост.

Ако су пак површински копови и одлагалишта лоцирани у шумовитим подручјима, у поступку одлучивања током рекултивације постексплоатационих предела подржава се пошумљавање или засађивање воћњака. Рекултивациони избор рударске компаније или нових власника може се огледати у опредељују за примарну вегетацију и ливаде, дозвољавајући природну сукцесију таквих биљних врста до нивоа климатогене шумске заједнице. У неким геоморфолошким условима депресије површинских копова су идеалне за формирање језера, па се тада нарочито подстиче стабилизација косина одлагалишта, а околно земљиште пројектује за коришћење туристичких насеља, голф терене и спортско-рекреативних садржаја.

У Великој Британији су последњих деценија учињени значајни резултати у ревитализацији и рекултивацији старих рударских радова из прошлости уз сагласност и дозволу за уређењем земљишта која се доноси на локалном нивоу.

На одлуку о избору постексплоатационог коришћења земљишта, стандарди рекултивације могу бити опредељујући фактор у земљама са чврстом законском регулативом у овој области. Најсигурнији начин примене законске регулативне контроле је да се пре отпочињања експлоатације тражи одобрење за пројекат експлоатације од локалне, регионалне и националне, односно владине агенције (Аустралија, Канада, ЕЗ, Јужноафричка Република и САД). Регулатива већине земаља налази се између две крајности. Канада је на позицији једне крајности, у којој је локалним властима дато дискреционо право избора облика рекултивације. На другој позицији крајности су САД, са веома крутим националним стандардима. Заједничко обележје већине закона је захтев за селективним откопавањем и одлагањем плодног земљишта и финансијско обезбеђење (депозит), као облик гаранције да ће после обуставе рударских радова бити рекултивисано деградирано земљиште.

Поред законске регулативе, облик власништва је често значајан чинилац. Земљиште које је преузето од фармера претежно се рекултивише за пољопривредну намену; земљиште које је преузето од државе најчешће се рекултивише за паркове, рекреацију, станишта дивљих животиња и биљака. Земљиште у близини предграђа рекултивише се за градњу индустријских објеката, стамбених зграда, голф терена и сл. Земљиште које се граничи са парковима природе, рекултивише се за исту намену.

Битна је величина површине и рељеф деградираног земљишта. Мале површине до 20 ha најпогодније је рекултивисати у облик сличан окружењу или у парк. Површине од више квадратних километра могу бити рекултивисане у облике различите од доминантног окружујућег облика.

У обзир се морају узети и обележја популације становништва. Земљишта у подручјима рапидног популационог раста препоручљиво је урбанизовати или рекултивисати у парк како би се обезбедили пријатнији услови за живот. Старост, финансијско стање и културолошке карактеристике популације могу бити опредељујуће пресудни. Млада, ситуирана урбана популација може високо вредновати отворено, неразвијено земљиште за планинарење и лов, док ће старија популација можда преферирати пецање, голф, шетњу. Осиромашена популација ће у борби за преживљавање имати мало времена за рекреацију и желеће пре да узгаја поврће и друге намирнице.

Рељеф предела утиче на финално обликовање терена, што повратно утиче на тип биљних заједница које могу бити погодне за насељавање, као и на технологију њихове садње. Машинска садња је немогућа на великим нагибима, користи се само ручна садња.

Климатски фактори, као што је вегетациони период, температура, годишња количина падавина, ветар, просечна влажност ваздуха, број сунчаних дана и слично, лимитирају избор биљних врста.

Успостављање доброг вегетацијског покривача је условљено хемијским особинама земљишта, текстуром, структуром и компактношћу, средином за клијање и раст садница, приступачношћу воде и дренажом. Обезбеђење добре средине за коренов систем је кључ успеха биолошке рекултивације. Обезбеђење плодног хумусног слоја на површини пружа шире могућности за рекултивационе опције и успешнију рекултивацију депосола. Најнеповољнија варијанта површинске експлоатације минералних сировина је немогућност да се сачува слој првобитног плодног земљишта. На овај начин се лимитира успех рекултивације.

Без обзира на облик коришћења земљишта, успешна рекултивација постексплоатационих предела подразумева стабилне косине копова и одлагалишта, лимитираност ерозије, чисту површинску и подземну воду, ваздух без прашине, продуктивни биљни покривач и евентуалну насељеност дивљим врстама животиња и биљака.⁴¹

3.4. Значајнији техничко-технолошких елементи рекултивационих процеса

Анализом технолошких производних потпроцеса површинске експлоатације у оквиру периода система, разматра се могућност протока маса при откопавања откривке и експлоатацији угља, варијанте развоја фронта експлоатационих радова на површинском копу, техничко-технолошких решења отварања, експлоатације и затварања површинског копа, могућност управљања квалитетом производње угља, организација и планирање динамике површинске експлоатације.

Систем површинске експлоатације поред технолошких производних потпроцеса обухвата следеће периоде:

1. припремни радови:
 - припрема терена у зони отварања површинског копа;
 - изградња пратећих објеката и
 - одводњавање лежишта са одвођењем површинских вода.
2. отварање;
3. развој експлоатације;

⁴¹ Вујић С., Цвејић Ј., Миљановић И., Дражић Д., *Пројектовање рекултивације и уређење предела површинских копова*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду и Академија инжењерских наука Србије, 2009.

4. затварање и
5. рекултивација у току и након завршетка експлоатације.⁴²

Рекултивацију као период система површинске експлоатације треба у процесном смислу посматрати као технолошки процес технологије површинске експлоатације. Процес рекултивације може поделити на следеће основне процесе:

1. техничка рекултивација,
2. биолошка рекултивација,
3. мониторинг радне средине и
4. мониторинг животне средине.

1. Техничка рекултивација обухвата следеће потпроцесе:

1.1. планирање одлагалишних површина и косина:

- 1.1.1. нивелисање и обликовање површина на етажама одлагалишта;
- 1.1.2. обликовање косина одлагалишта;
- 1.1.3. фино равнање (планирање) површина одлагалишта;
- 1.1.4. израда канала за одводњавање, система за наводњавање и акваторијалних површина и
- 1.1.5. израда приступних саобраћајница.

1.2. одржавање одлагалишних површина – косина, завршних косина и дна копа:

- 1.2.1. израда нових комуникација или равнање и утабавање постојећих приступних путева;
- 1.2.2. планирање – нивелисање неравнина на хоризонталним површинама;
- 1.2.3. мелиоративно обогаћивање и стабилизација терена;
- 1.2.4. засецање и планирање берми сигурности под нагибом ка унутрашњости одлагалишта и
- 1.2.5. одржавање система одводњавања и система за наводњавање.

⁴² Павловић В., *Системи површинске експлоатације*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, Југословенски Комитет за површинску експлоатацију, 1998, стр. 3–4.

- 1.3. припремање терена у и ван зоне површинског копа:
 - 1.3.1. планирање и измештање инфраструктурних, технолошких, логистичких, управних и помоћних објеката у границама површинског копа и
 - 1.3.2. нивелисање и обликовање нарушених површина предметним објектима.
- 1.4. анализирање радне средине:
 - 1.4.1. геомеханичка испитивања стабилности косина одлагалишта;
 - 1.4.2. геомеханичка испитивања стабилности косина површинског копа;
 - 1.4.3. праћење слегања и консолидације одлагалишта и
 - 1.4.3. праћење појава клизишта и мере геотехничке стабилизације терена.
- 1.5. планирање терена за коначну намену:
 - 1.5.1. грубо булдозерско равнање терена;
 - 1.5.2. фино грејдерско равнање терена и
 - 1.5.3. обарање берми сигурности тилтдозером.
- 1.6. педолошка анализа терена:
 - 1.6.1. узимање *in situ* узорака примарног земљишта и лабораторијска обрада;
 - 1.6.2. узимање *in situ* узорака депосола и лабораторијска обрада;
 - 1.6.3. узимање *in situ* узорака у зони површинског копа и непосредне околине деградираног околног земљишта.
- 1.7. одлагање хумуса:
 - 1.7.1. дефинисање количине, квалитета и порекла хумуса за разастирање;
 - 1.7.2. избор локације позајмишта хумуса;
 - 1.7.3. планирање хумуса хоризонталних површина избором технике и технологије;
 - 1.7.4. планирање хумуса косих површина са избором технике и технологије.

Техничка рекултивација као припрема биолошке рекултивације предвиђа низ технолошких процеса као мера и поступака које даље можемо дефинисати:

- 1.8. нивелисање и обликовање површина на етажама одлагалишта;
- 1.9. обликовање косина одлагалишта;
- 1.10. планирање као фино равнање површина одлагалишта;
- 1.11. израда канала за одводњавање и наводњавање и
- 1.12. израда приступних саобраћајница.

Радови на формирању површинској слоја етажа на спољашњим одлагалиштима површинских копова угља одвијају се у три фазе. Редослед радова у оквиру једне фазе техничке рекултивације је следећи:

- ❖ израда нових или равнање постојећих приступних путева булдозером на одлагалишту;
- ❖ планирање – нивелисање неравнина на хоризонталним површинама и
- ❖ засецање берми.⁴³

2. Биолошка рекултивација обухвата следеће потпроцесе:

- педолошка испитивања јаловинског супстрата на површинама предвиђеним за биолошку рекултивацију и
- педолошка анализа и учешће хумусног слоја испред фронта радова у функцији откопавања и разастирања на површинама предвиђеним за биолошку рекултивацију.

2.1. Анализа фактора од утицаја на избор методе и карактер биолошке рекултивације:

- 2.1.1. агрохемијска анализа јаловине и природног земљишта;
- 2.1.2. климатски фактори;
- 2.1.3. избор мелиоративних метода јаловине са аспекта гајења биљака за биолошку рекултивацију, шумске мелиорације, пољопривредне агротехничке мелиорације, геотехничке мелиорације;
- 2.1.4. конфигурација терена одлагалишта, косина копа и околине;
- 2.1.5. опредељеност намене коришћења земљишта;
- 2.1.6. анализа и квалитативна оцена одлагалишних и других површина које су раније рекултивисане (ауторекултивацијом, полурекултивације и друго).

⁴³ Димитријевић Б., Степановић С., „Приказ пројектног решења технолошких процеса рекултивације спољашњег одлагалишта површинског копа Дрмно Костолачког угљеног басена“, *Зборник IV Међународна конференција УГАЉ 2008*, Београд, 2008, стр. 40–46.

- 2.2. Избор најпогодније методе и културе за биолошку рекултивацију:
 - 2.2.1. анализа структуре површина по начину коришћења:
 - равне површине,
 - косе површине,
 - посебне површине,
 - површине ветрозаштитног појаса и
 - површине визуелно-естетског заштитног појаса.
- 2.3. Динамика извођења сетве, жетве и скупљање приноса:
 - 2.3.1. припрема хумуса, садница, семенског материјала и ђубрива за садњу и
 - 2.3.2. техника и технологија пошумљавања и затрављивања.
3. Мониторинг радне средине обухвата планско праћење и контролу:
 - 3.1. мониторинг физичко-механичких карактеристика одложеног материјала;
 - 3.2. мониторинг радних косина на отквивци и угљу;
 - 3.3. мониторинг завршних генералних косина површинског копа и одлагалишта;
 - 3.4. мониторинг емисије прашине и штетних гасова на радилишту и одлагалишту, и
 - 3.5. мониторинг буке.
4. Мониторинг животне средине обухвата планско праћење и контролу:
 - 4.1. ваздуха,
 - 4.2. земљишта,
 - 4.3. воде и
 - 4.4. биљног и животињског света.

Током техничке рекултивације планирање одложених маса најчешће се обавља булдозерима по деоницама максималне дужине транспорта материјала од 50 m. У организацији радова треба водити рачуна о фактору слегања и консолидацији формираног одлагалишта. За консолидацију површина на спољашњим одлагалиштима довољан је период од једне године по завршетку одлагања и формирању завршне фигуре на одлагалишту или деловима одлагалишта.

Организационо, радови на техничкој рекултивацији могу се изводити током целе календарске године, али је због временских услова најповољније да се изводе током пролећних, летњих и јесењих месеци.

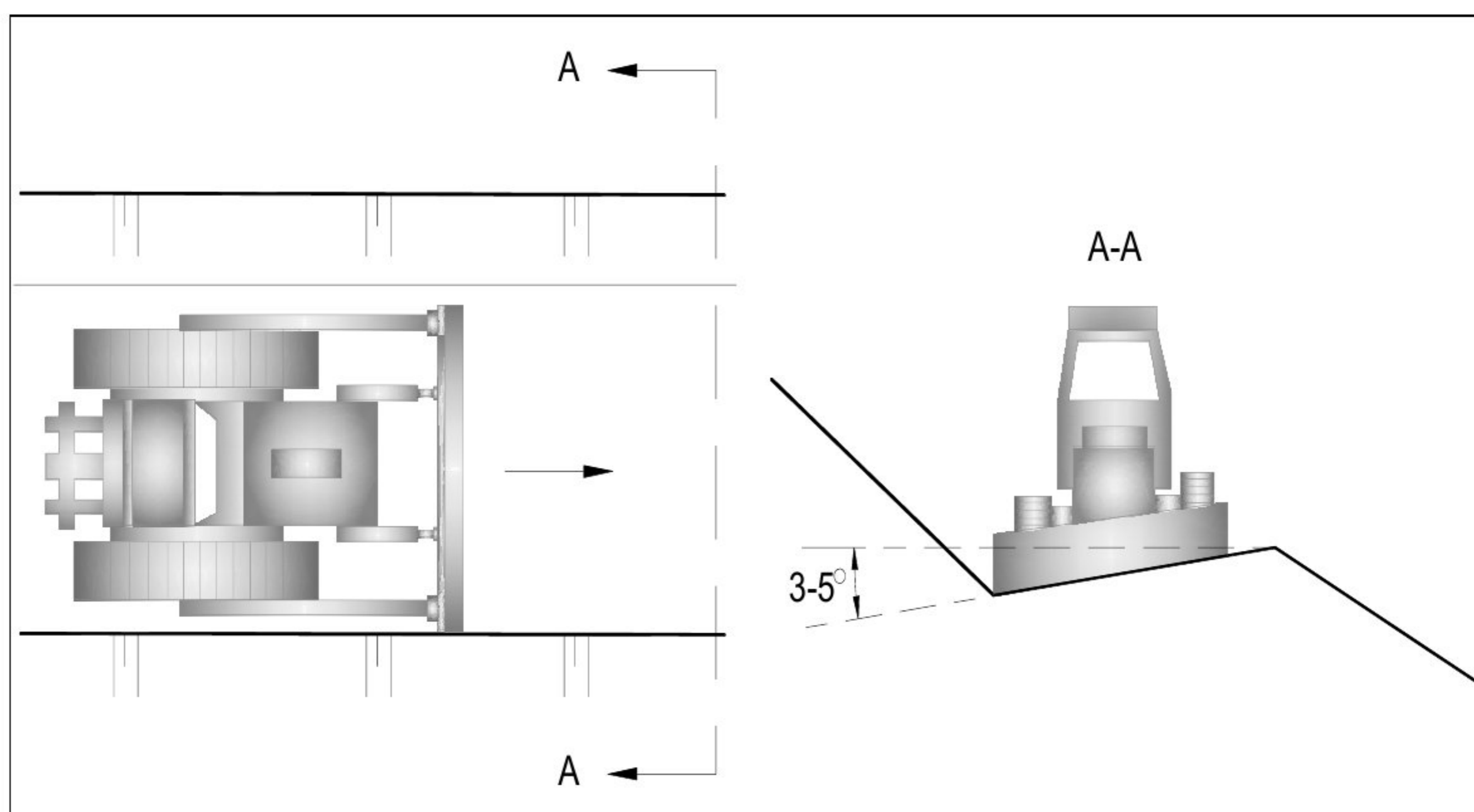
Унутрашње саобраћајнице, на површинама одлагалишта које се биолошки рекултивишу имају основни задатак да обезбеде излазак пољопривредне механизације на формиране парцеле. За ову врсту механизације биће довољно обезбедити земљане путеве, који ће се израдити од материјала на одлагалишту.

Саобраћајнице су условљене геометријом одлагалишта и основним правцима биолошке рекултивације. Пошто је предвиђено равнање свих етажних равни булдозером, путеви се само трасирају током извођења биолошке рекултивације, осим главних приступних путева који се могу израдити са макадамском коловозном конструкцијом.

Како се ради о растреситим и песковитим материјалима потребно је извршити одређене радове у функцији везивања песка и онемогућавања његовог развејавања.

Приступни путеви на одлагалишту користе се за допрему земљишта, довоз садница и касније при коришћењу простора.

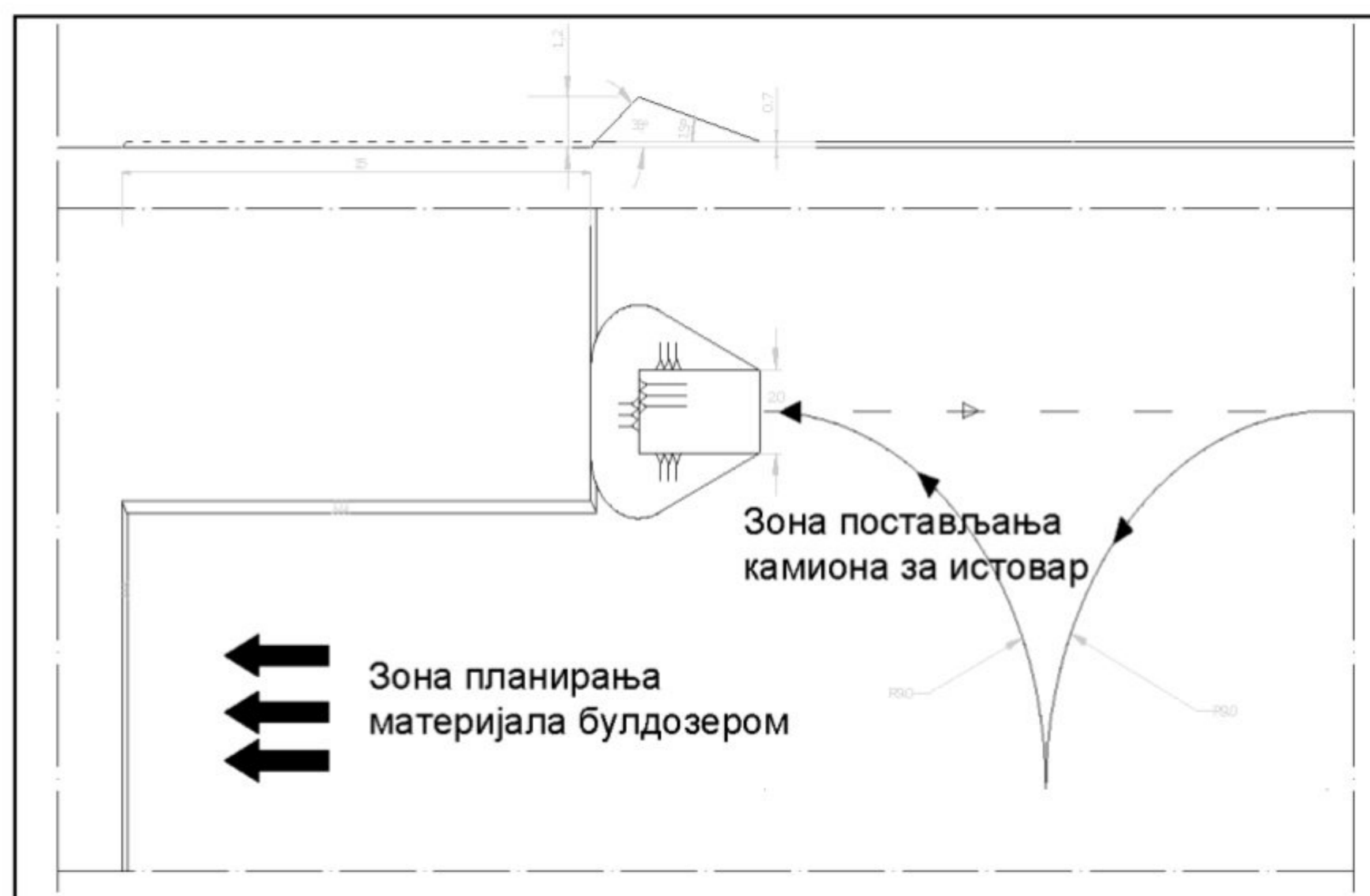
На одлагалиштима се булдозером најпре раде нови или равнају постојећи приступни путеви, затим планирају (нивелишу) неравнине на хоризонталним површинама и на крају када се заврше ови радови приступа се засецању берми етажа. Берме се засецају са падом ка ножици косине етаже у циљу смањења ерозионог утицаја површинских вода (Слика 3.3).



Слика 3.3. Технолошка шема рада булдозера на засецању завршних формирања берми⁴⁴

⁴⁴ Допунски рударски пројекат експлоатације дела Поља Ц површинског копа Грачаница – Гацко, Књига 6, Технички пројекат рекултивације и заштите животне средине, Београд: ЦПЕ, 2010; Димитријевић Б., Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља, докторска дисертација, 2014, стр. 87.

На Слици 3.4 приказана је технолошка шема рада булдозера на планирању материјала на хоризонталним површинама са камионским транспортом материјала.

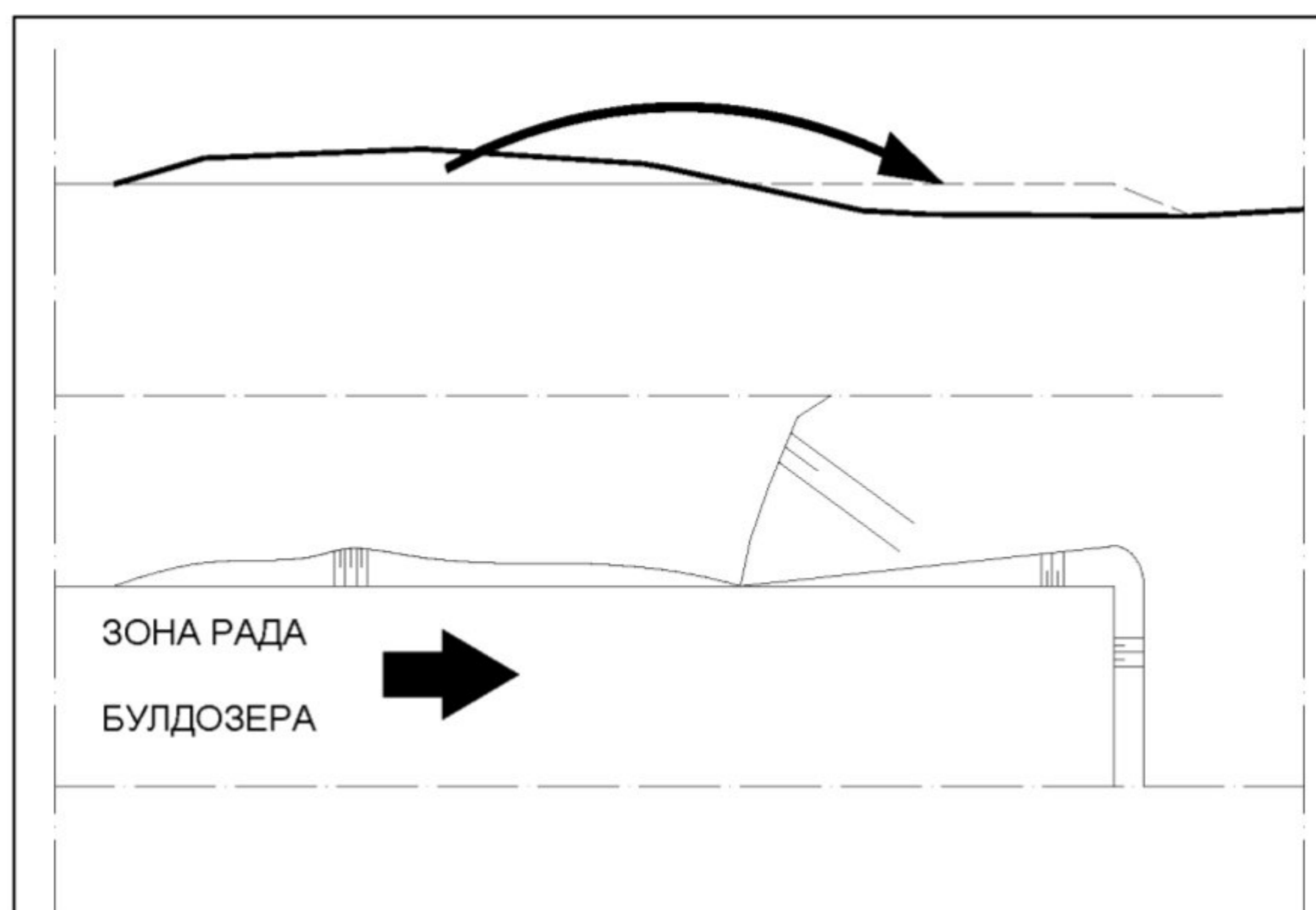


Слика 3.4. Технолошка шема рада булдозера на планирању материјала са камионским транспортом⁴⁵

Ова технолошка шема користи се и у случајевима када је неопходно планирање депресија већих размера које би захтевале транспорт материјала дужег од 50 m и када транспорт материјала булдозером није технолошки и економски рационалан.

Како су постојећи плануми равних површина у претходном периоду већ планирани и формирану у свом коначном облику, највећи део материјала за планирање површина равна се само радом булдозера. Технолошка шема рада булдозера на планирању материјала приказана је на Слици 3.5.

⁴⁵ Допунски рударски пројекат површинског копа Грачаница – Гацко до краја експлоатације, пројекат затварања копа, Књига 6, Технички пројекат рекултивације и заштите животне средине, Београд: ЦПЕ, 2005; Димитријевић Б., Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља, докторска дисертација, 2014, стр. 88.



Слика 3.5. Технологија рада булдозера на планирању⁴⁶

У оквиру спољашњих одлагалишта површинских копова угља можемо издвојити:

- хоризонталне и благо нагнуте површине (берме и горње етажне површине) и
- стрме површине косина одлагалишних етажа.

Како на нашим басенима угља у ранијем периоду пројектовања није била пракса намене одлагалишних простора у друге сврхе осим за рекултивацију, концепција коришћења одлагалишних површина је у реализацији основног стратешког циља у области ревитализације и рекултивације простора и заштите природе смањењем неповољних утицаја експлоатације и прераде угља у погледу:

1. пољопривредног земљишта,
2. шума,
3. вода,
4. ваздуха,
5. флоре и фауне као биодиверзитета и
6. природних и социо-економских услова живљења.

Упоредо са наведеним, треба вршити предузимање ефикасних мера за постепено остваривање перманентног и видљивог побољшавања еколошких, економских и амбијентално-пејзажних карактеристика ширег подручја.

⁴⁶ Исто; Исто.

Рекултивација одлагалишта јаловине врши се, у првом реду, агробиолошком рекултивацијом и пошумљавањем у складу са завршном визијом организације простора у постексплоатационом периоду.

Основни предуслови за успешно спровођење програма биолошке рекултивације, обухватају техничку рекултивацију којом се обезбеђује планско распоређивање земљишних маса и регулација хидролошких услова, као и равнање и стабилност терена за биолошку рекултивацију.

Избор култура за рекултивацију зависи од мноштва фактора од којих су најважнији природни услови:

- климатски,
- орографски,
- погодности антропосола за рекултивацију,
- будућа намена новоформираних површина и величина локалитета.

Значајни фактори су и економски услови, који не смеју бити одлучујући али ни занемарљиви.

Укључујући све наведене чињенице за избор култура, предности на косим површинама и на самом подножју косина у начелу се даје шумама, односно рекултивацији пошумљавањем.

Шумске дрвенасте врсте доприносе стабилности косих површина одлагалишних етажа, а самим тим доприносе и реинтеграцији деградираних простора, чиме се постиже бржа иницијација педолошких процеса у супстрату. Шумске заједнице се одликују великом количином зелене масе која фотосинтезише и ослобађа кисеоник у атмосферу, што је веома важно за животну средину.

Пошумљене површине се ревитализују и спонтаним насељавањем аутохтоне приземне шумске вегетације. Насељавање ове вегетације има за последицу повећан прилив органских материја у подлогу и доводе до интензивирања процеса оживљавања супстрата иницирањем процеса педогенезе и његовог поновног увођења у процес биолошког кружења.

У зависности од степена променљивости материјала откривке, земљишних и природно-климатских услова као и одабране намене терена, користе се следеће могућности биолошке рекултивације на површинским коповима:

- наношење на технички рекултивисани терен потенцијално плодног слоја лесно-глиновитог састава дебљине 30–120 см уз коришћење минералних ђубрива;
- обрада технички рекултивисаног терена спровођењем мелиорационих радова (наношење кречњачких и минералних ђубрива, мелиоративно сађење);
- обрада рекултивисаног терена коришћењем биоактивних препарата на бази угља за обогаћивање угљеником и активних произвођача земљишних микроорганизама.

Док су прва два начина биолошке рекултивације широко примењена у површинској експлоатацији, трећи начин се још увек налази у фази истраживања и провере. У последње време се све више директно повезују технолошки начини површинске експлоатације са рекултивацијом. Ту је, у ствари, изражен принцип обједињавања експлоатационих радова и рекултивације у један комплекс површинске експлоатације, где етапе техничке и биолошке рекултивације треба да доведу до обнављања плодности земље.

Шеме техничке рекултивације се у зависности од система површинске експлоатације као и касније намене могу поделити на:

- обједињене,
- раздвојене и
- комбиноване.

Код обједињених шема техничке рекултивације, реализација свих радова на рекултивацији, укључујући и транспорт и одлагање на технички рекултивисан терен потенцијално плодног материјала, планирање површина, формирање косина одлагалишта и др., врши се основном откопном и транспортном опремом без увођења специјалне технике.

Група раздвојених шема техничке рекултивације у односу на основни процес представља самостални технолошки процес рекултивације у оквиру система површинске рекултивације. Основна особина тих шема је извођење радова на рекултивацији посебном опремом која није у вези са експлоатацијом.

Група комбинованих шема техничке рекултивације односи се на технолошке шеме код којих се део радова изводи обједињеним, а део посебним технологијама. Предност ових шема је широки дијапазон примене и могућност оптимизације варијанти извођења експлоатације у односу на рекултивацију, постизање добрих економских показатеља и остварење годишњих потребних површина обновљеног терена.

При биолошкој рекултивацији остварују се корисне површине на рачун површинског копа. Максимални еколошко-економски ефекти постижу се обogaћивањем плодног слоја минералним ђубривима, солима, органским састојцима и сађењем вишегодишњих биљака. Спровођењем мера за обнављање земљишних површина остварује се квалитетно превођење нарушеног терена површинском експлоатацијом у простране корисне комплексе који се не разликују значајно од претходних природних терена.

Савремена методологија планирања и пројектовање рекултивације спољашњег одлагалишта површинских копова заснива се на следећим критеријумима.⁴⁷

- планирање (одлука о пост начину коришћења подручја захваћеног спољашњим одлагалиштем површинског копа);
- положај у односу на насеље;

⁴⁷ Павловић В. и др., *Open pit mine spoil dump reclamation design and eco-control model*, 3rd International Conference AMIREG 2009, Athens, Greece.

- величина површине спољашњег одлагалишта површинског копа;
- заштита матичног супстрата;
- режими вода;
- заштита вода;
- формирање водених површина;
- обликовање рељефа и контура спољашњег одлагалишта површинског копа;
- повољно растојање од суседне намене;
- озелењавање;
- пољопривредна рекултивација;
- заштита у току експлоатације;
- рекреационе површине;
- мултифункције предела.

3.5. Математичко-моделски приступи у одлучивању

3.5.1. Увод у вишекритеријумско одлучивање

Критеријум за оптимизацију је најчешће економске природе, углавном зато што се сматра да повећани доходак или профит води проширеној репродукцији, а да ово даље води општем благостању. Да ово задње није тачно, може да потврди свако ко живи у средини са убрзаним развојем индустријализације. Досадашњи развој није много бринуо о људској и уопште природној околини. Годишњи модел немачког астронома Х. Ф. Зидентопф (Heinrich Friedrich Siedentopf, 1906–1963) то лепо илуструје. Тим моделом се 170 милиона година земљине историје кондензује у једну годину од 365 дана. Према моделу човек је почео да хода по земљи и користи оруђа 30. децембра и за 6 минута искоренио је око 200 животињских врста, док је 31. децембра, 30 минута до поноћи, човек почео да обрађује земљиште, што представља први његов напор да мења површину Земље. Сва технолошка еволуција траје 20 минута. Индустријска револуција почиње 36 секунди пре поноћи и у задњих 30 секунди човек сагорева сва текућа и гасна горива, која су раније формирана, доводећи у опасност и основни услов за живот, биланс кисеоника.

Погоршани квалитет ваздуха и воде и остали лоши утицаји на природну околину указују да су досадашњи критеријуми оптималног развоја довели до неповољне ситуације, иако су поједина решења била оптимална. То је изазвало потребу да се измени концепт оптималног развоја и да се са оптимизације по једном критеријуму, обично економском, пређе на оптимизацију по више критеријума којима се обухватају све (или бар главне) компоненте и последице развоја.

Задњих тридесет година јавља се тежња да се оптимизација врши по више критеријума.

Критеријуми у оптимизационом моделу служе да се олакша вредновање понашања система и ефеката у односу на системе из околине. У том смислу критеријуми морају бити специфични, очигледни, фокусирани на „примајуће“

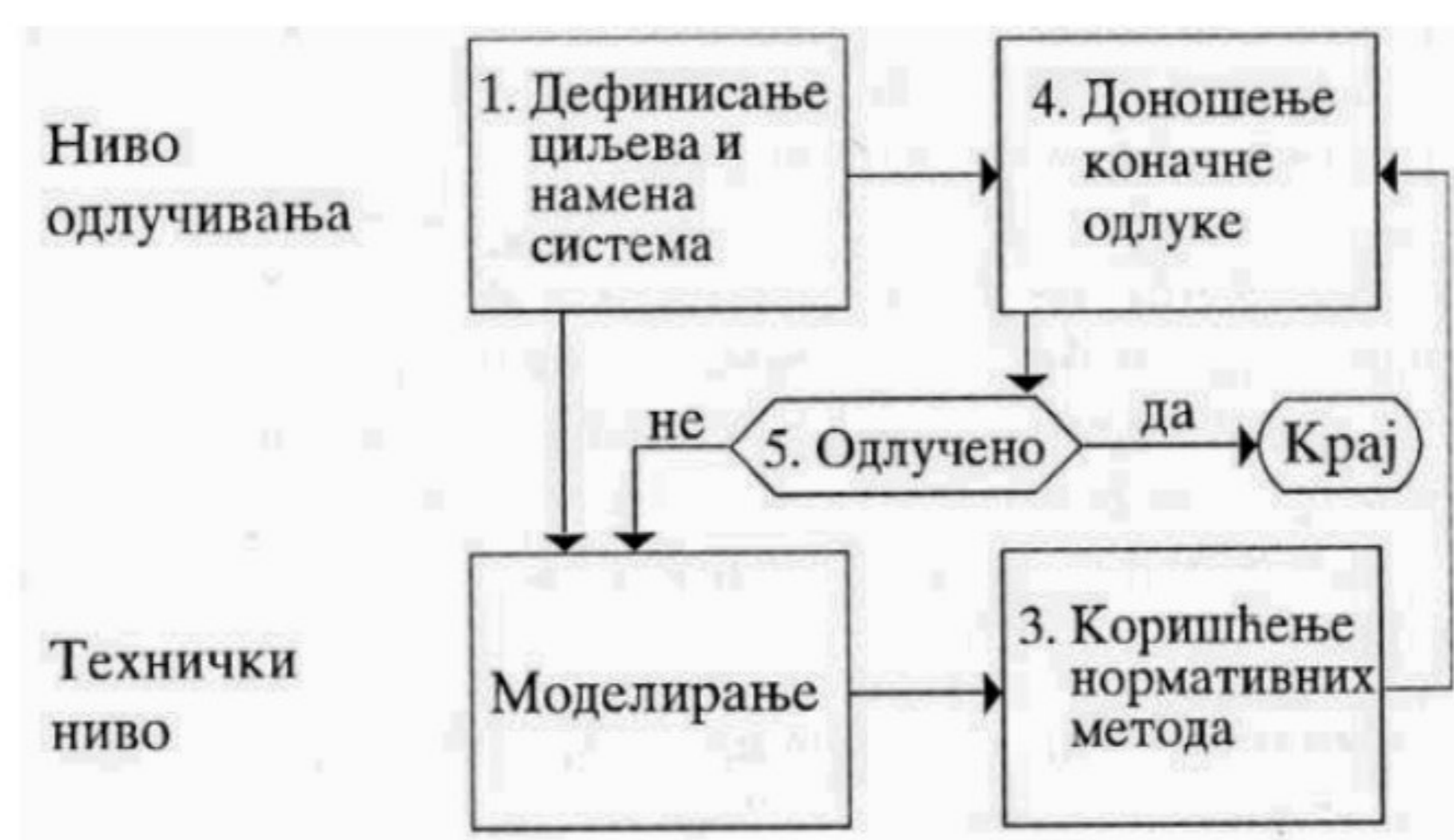
системе и да укључују временску димензију. Коректна поставка проблема оптимизације подразумева избор коректних критеријумских функција. Приликом дефинисања критеријумских функција треба обухватити све (или што је могуће више) релевантне последице активности система који се оптимизира.

Теорија нормативног одлучивања проучава поступке како да се анализира и реши проблем и постигне оптимално решење за дату конкретну ситуацију и са постојећим информацијама. Дескриптивна теорија одлучивања проучава како се одлуке доносе у пракси и какве структуре одлучивања постоје у различитим друштвено-политичким системима. У литератури се често прави разлика између оптимизације, вишекритеријумске (вишециљне) оптимизације и одлучивања. Овде се сматра да је вишекритеријумска оптимизација нормативни прилаз у одлучивању.

Оптимизација (посебно вишекритеријумска) је сложени процес долажења до решења и одвија се у више фаза и на више нивоа. Основни кораци или фазе у оптимизацији су:

1. дефинисање циљева и намена система и идентификација начина постизања жељених циљева;
2. формални (математички) опис система и дефинисање начина вредновања и критеријумских функција;
3. коришћење постојећих нормативних метода; оптимизација у ужем смислу;
4. усвајање коначног решења или доношење коначне одлуке;
5. ако коначно решење није усвојено, средити нове информације и поновити поступак од прва два корака, поновним дефинисањем задатка.

У класичној (једнокритеријумској) оптимизацији се такође јављају наведени кораци, али се не наглашавају и под оптимизацијом се обично подразумева одређивање оптималног решења (или екстремума критеријумске функције), што донекле овде одговара кораку 3. У вишекритеријумској оптимизацији посебно долази до изражаја 4. фаза, која одговара постојитим оптималној анализи у класичној оптимизацији.



Слика 3.5.1. Шематски приказ процеса оптимизације⁴⁸

⁴⁸ Петрић Ј. *Нелинеарно програмирање*, уџбеник, Београд: Научна књига, 1979.

На нивоу одлучивања кључну улогу има доносилац одлуке (ДО). У сложеним системима често доносилац одлуке није једна особа, већ је то скуп особа са специфичним структурама скупа. У таквим случајевима технички ниво треба да предложи доносиоцу одлуке скуп добрих одлука (алтернативних решења), водећи рачуна о томе да олакша доношење коначне одлуке, што значи да предложена решења треба да су јасно, кратко и прецизно образложена и да њихов број буде релативно мали. У интерактивном процесу између наведена два нивоа долази до модификације предложених решења и обично процес конвергира на коначном решењу (осим када одлучиоци не желе коначно решење).

Примена метода оптимизације је деликатна због неопходне интеракције између нивоа одлучивања и техничког нивоа, а доносилац одлуке често и не познаје методе оптимизације. Технички ниво обично не познаје снагу одлучиоца, чак и када доносилац одлуке има хијерархијску структуру, што отежава укључивање преференције доносиоца одлуке у моделе оптимизације. Међутим, оптимизација није узалудна, чак и када се политичким одлучивањем не усвоји *оптимално* решење, јер таква одлука може бити *опасна* за доносиоца одлуке ако се зна да је оптимално решење нешто друго него оно што је усвојено, што је јак разлог да такви случајеви не буду чести.

Проширивањем концепта вишекритеријумске оптимизације покрива се велики део теорије одлучивања. Основни задатак теорије одлучивања је да развија општу теорију за решавање проблема вишекритеријумског одлучивања са више доносиоца одлуке. Специјални случајеви теоријских резултата су: децентрализовано управљање, минимакс управљање, стохастичко управљање, теорија тима.⁴⁹

Прву формулацију проблема вишекритеријумског одлучивања дао је В. Парето (Vilfredo Pareto, 1848–1923) још 1896, а уводи се у операциона истраживања 1951. године у раду *Nonlinear Programming*, аутора Харолда В. Куна (Harold William Kuhn, 1925–2014) и А. Б. Такера (Albert William Tucker, 1905–1995). Од тада до данас следи развој и примена низа метода за вишекритеријумску оптимизацију у решавања проблема из веома различитих области.

Вишекритеријумско одлучивање се среће у случају када постоји већи број, конфликтних критеријума. Класичне оптимизационе методе користе један критеријум при одлучивању, односно решавању, чиме се драстично умањује и реалност проблема који се могу решавати. Само постојање више критеријума одлучивања чини методу и добијено решење блиско реалном начину доношења одлука и добијања решења проблема.

Сви проблеми вишекритеријумског одлучивања имају неке заједничке карактеристике:

1. већи број критеријума, односно, атрибута, које мора поставити доносилац одлуке;

⁴⁹ Петрић Ј., *Нелинеарно програмирање*, уџбеник, Београд: Научна књига, 1979.

2. конфликт међу критеријумима, као најчешћи случај код реалних проблема;
3. несамерљиве (неупоредиве) јединице мере, сваки критеријум, односно, атрибут може имати различите (несамерљиве) јединице мере;
4. пројектовање или избор. Решење ове врсте проблема су или пројектовање најбоље акције (алтернативе) или избор најбоље акције из скупа претходно дефинисаних акција.

Сагласно овој последњој карактеристици, проблеми вишекритеријумског одлучивања се класификују у две основне групе:

1. **вишеатрибутивно одлучивање и**
2. **вишециљно одлучивање.**

Разлике особина две наведене групе су приказане у Табели 3.2. *Табела 3.2.*

Разлике особина вишеатрибутивног и вишециљног одлучивања⁵⁰

	VAO	VCO
КРИТЕРИЈУМ (дефинисан)	атрибутима	циљевима
ЦИЉ	имплицитан	експлицитан
АТРИБУТ	експлицитан	имплицитан
ОГРАНИЧЕЊА	неактивна	активна
АКЦИЈЕ (алтернативе)	коначан број дискретне	бесконачан број континуалне
ИНТЕРАКЦИЈА са доносиоцем одлуке	није изразита	изразита
ПРИМЕНА	избор / евалуација	пројектовање

⁵⁰ Исто.

3.5.1.1. Вишеатрибутивно одлучивање

Појам у области вишеатрибутивног одлучивања је атрибут. Сваки атрибут треба да обезбеди средство оцене нивоа једног критеријума (циља). По правилу већи број атрибута треба да карактерише сваку акцију и они се бирају на основу изабраних критеријума од стране доносиоца одлуке.

Типичан начин приказивања проблема вишеатрибутивног одлучивања је матрична форма. Тако је матрица одлучивања O матрица ($m \times n$) чији елементи x_{ij} означавају вредности i -те акције, a_i , $i = 1, 2, \dots, m$ у односу на j -ти, атрибут, A_j , $j = 1, 2, \dots, n$.

$$O = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdot & \cdot & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdot & \cdot & x_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdot & \cdot & x_{mn} \end{bmatrix}$$

(3.1)

Акције се описују са две врсте атрибута: квантитативним и квалитативним. Квантитативним атрибутима се може дати одређена вредност (број), док се код квалитативних атрибута ради о описној оцени (на пример: одличан, врло добар, добар, довољан, недовољан).

Трансформације квалитативних атрибута

За претварање квалитативних атрибута у интервал скале често се користи тзв. биполарна скала. Изабере се рецимо, скала од десет тачака, па се онда нула додели најнижем нивоу, а десет највишем који се може физички реализовати. Средина интервала, пет је важна јер представља границу између пожељног и непожељног. Ако се десет резервише за екстремно висок квалитет атрибута, тада би врло висок ниво могао да носи девет поена, а висок између тачака пет, један и осам, девет, рецимо, седам поена. На сличан начин ниском нивоу би се могло доделити три поена, а врло ниском један поен.

Други, такође често коришћен начин трансформације, је нормализација атрибута, која може бити двојака:

1. векторска нормализација: сваки вектор – врста одлучивања се подели са својом нормом, при чему се нормализована вредност p_{ij} нормализоване матрице одлучивања N , добија из израза:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^m x_{ij}^2\right)^{1/2}}, \quad i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n \quad (3.2)$$

2. линеарна скала: израз (результат) неког критеријума се подели његовом максималном вредношћу. Трансформисани израз x_{ij} се значи рачуна на основу израза:

$$l_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}}, \quad i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n \quad (3.3)$$

Очигледно да се вредности l_{ij} крећу у интервалу 1- m , J - n , а да је повољнији резултат онај који се ближи јединици.

У циљу трансформације квалитативних или такозваних. фази (нејасних) атрибута, при решавању проблема вишеатрибутивног одлучивања, у последње време се све више користе резултати из теорије фази скупова (фази логика).

У случају када проблеми вишеатрибутивног одлучивања захтевају информације о релативном значају појединих атрибута, најчешће коришћени начин дефинисања тих значаја је додељивање одговарајућег скупа тежина. За n критеријума скуп тежина је:

$$t^T = (t_1, t_2, \dots, t_n) \\ gde \text{ је:} \quad (3.4) \\ \sum_{i=1}^n t_i = 1$$

3.5.1.2. Вишециљно одлучивање

За вишециљно одлучивање, као другу велику групу метода вишекритеријумског одлучивања, карактеристично је да све до сада развијене методе, имају следеће заједничке особине:

- скуп циљева који могу бити квантификовани,
- скуп дефинисаних ограничења и
- процес добијања информација (експлицитних или имплицитних) о идентификованим циљевима (који не морају бити квантификовани).

Последње побројана карактеристика је од посебног значаја, обзиром да већину реалних циљева је врло тешко квантификовати. Стога је за коришћење методе из ове групе потребно располагати процесом који би био у стању да обезбеди одређени ниво квантификације свих циљева.

Два основна модела из вишециљног одлучивања су вишекритеријумско програмирање и циљно програмирање.

3.5.1.2.1. Вишекритеријумско програмирање (VP)

Општи математички модел има облик:

$$\max[f_1(x), \dots, f_p(x)], p \geq 2 \quad (3.5)$$

са ограничењима:

$$g_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, m \quad (3.6)$$

где је x n - димензионални вектор.

Ако су између променљивих везе линеарне, модел постаје:

$$\max \sum_{j=1}^n c_{kj} \cdot x_j, k = 1, 2, \dots, p \quad (3.7)$$

са ограничењима:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j &\leq b_i, & i = 1, 2, \dots, m \\ x_j &\geq 0, & j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (3.8)$$

где су:

p – број критеријума,

m – број ограничења,

n – број непознатих,

c_{kj} – коефицијенти k - те функције критеријума уз j -ту променљиву,

a_{ij} – елементи матрице ограничења, b_i – елементи у вектору слободних чланова.

Овако дефинисан проблем може се решити на више начина:

1. вишекритеријумском симплекс методом,
2. метода *Zionts – Walleniusa* итд.

3.5.1.2.2. Циљно програмирање

Општи математички модел задатка циљног програмирања има облик:

$$\begin{aligned} \min \sum_{k=1}^p (d_k^- + d_k^+) \\ \sum_{j=1}^n c_{kj} x_j + d_k^- - d_k^+ = f_k, k = 1, 2, \dots, p \end{aligned} \quad (3.9)$$

са ограничењима:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i, i = 1, 2, \dots, m \\ x_1, \dots, x_n, d_1^-, \dots, d_p^-, d_1^+, \dots, d_p^+ &\geq 0 \end{aligned} \quad (3.10)$$

где су:

φ_k – жељени ниво k -тог циља, $k = 1, 2, \dots, p$,

d_k^- – ненегативно одступање од жељеног нивоа k -тог циља, $k = 1, 2, \dots, p$ и

d_k^+ – позитивно одступање од жељеног нивоа k -тог циља, $k = 1, 2, \dots, p$.

За разлику од приступа вишекритеријумског програмирања идеја циљног програмирања се заснива на минимизацији одступања, достигнутих у односу на жељене циљеве, а дефинисане од стране доносиоца одлуке, при чему увек мора важити услов да је $(d_k^-)(d_k^+) = 0$

Решавање модела циљног програмирања се врши модификованом **симплекс методом**.

Постоје различите класификације метода за вишекритеријумско одлучивање и овде ће поред основне класификације на две велике групе (методе вишеатрибутивног одлучивања и вишециљног одлучивања) бити приказана и класификација ових метода на следећих пет група:

1. методе за одређивање неинфериорних решења: одређује се скуп неинфериорних решења, а оставља се доносиоцу одлуке да на основу своје преференције усвоји коначно решење;
2. методе са унапред израженом преференцијом; формира се синтезна (резултантна) критеријумска функција па се задатак даље решава као једнокритеријумски;
3. интерактивне методе: доносилац одлуке постепено изражава своју преференцију интерактивним коришћењем одговарајуће методе;
4. стохастичке методе: у оптимизациони модел се укључују и показатељи неизвесности;
5. методе за истицање подскупа неинфериорних решења: сужавање скупа неинфериорних решења се постиже увођењем додатних елемената одлучивања.

3.5.2. Поставка проблема вишекритеријумске оптимизације

Проблем вишекритеријумске оптимизације за нединамичке системе формулише се у следећем облику:

$$\max_{x \in X} F(x) \quad (3.11)$$

где је: $F(x)$ – векторска критеријумска функција чије су компоненте појединачне критеријумске функције

$$f_i(x), i = 1, 2, \dots, n;$$

x је векторска променљива (вектор одлучивања).

Другим речима, треба максимизирати све критеријумске функције $f_i(x)$, $i = 1, 2, \dots, n$, при чему је n број критеријума или критеријумских функција, а X допустив скуп.

Ако постоји решење које истовремено максимизира све критеријумске функције $f_i(x)$ онда је оно оптимално решење постављеног задатка. Међутим, такво решење не мора постојати, што је и најчешћи случај, па се због тог уводи појам неинфериорног решења.

Решење $x^+ \in X$ је неинфериорно решење задатка вишекритеријумског одлучивања ако не постоји друго $x' \in X$, тако да је $F(x') \geq F(x^+)$ и $f_i(x') > f_i(x^+)$ бар за једно i .

У литератури се поред назива неинфериорна решења срећу и називи Парето-оптимална, ефикасна, доминантна.

Тачка у простору допустивих решења је инфериорна ако је за неку другу тачку (решење) бар једна критеријумска функција побољшања, а остале нису погоршане. За неинфериорна решења побољшање једне може се постићи само уз погоршање неке друге критеријумске функције (бар једне).

Одређивањем скупа неинфериорних решења решен је задатак одређивања векторског максимума. Међутим, у реалним проблемима за вишекритеријумске оптимизације мора се усвојити једно решење као најбоље и које ће се реализовати.

Оптимизациони поступак се може формално дефинисати следећим пресликавањем:

$$O: (S, Q, G) \rightarrow x^* \quad (3.12)$$

O пресликава тројку (S, Q, G) у оптималну тачку у простору одлучивања, где су: S – опис система, Q – критеријум за оптимизацију, G – ограничења и x^* – најбоље решење или одлука.

Оптимизациони критеријум Q омогућава вредновање и упоређивање могућих решења, из допустивог скупа X ; формално:

$$Q: X \rightarrow R^N \quad (3.13)$$

где је: R^N – коначан, n -димензионални простор чији елемент r је n -торка (r_1, \dots, r_n) , реалних бројева, а r_i означава вредност i -те критеријумске функције. У случају једнокритеријумске оптимизације имамо пресликавање $O: X \rightarrow R$, што своди оптимизациони задатак на избор максималног елемента у датом скупу реалних бројева. У задацима вишекритеријумског одлучивања, где је $n > 1$, пресликавање $Q: X \rightarrow R^N$ даје резултат n -торку и оптимизациони поступак није завршен. То условљава развој посебних метода које помажу у решавању задатка вишекритеријумске оптимизације.

У вишекритеријумској оптимизацији критеријум Q укључује више критеријумских функција и структуру преференције R .

$$Q = (F(x), R) \quad (3.14)$$

Структура преференције R треба да садржи информације, или дефинисане релације за упоређивање и уређење неинфериорних решења у простору одлучивања, или у простору критеријумских функција. То значи да је глобални оптимизациони критеријум Q двојка чији су елементи векторска критеријумска функција са дефинисаним релацијама преференције, критеријумски простор је уређени скуп. Скуп R^n је комплетно уређен релацијом преференције (боље од

или једнако са) ако за сваки пар r и r' је $r r'$ или $r' r$ и ако је релација рефлексивна, транзитивна и антисиметрична.

Дефинисање структуре преференције представља посебан проблем у вишекритеријумској оптимизацији који је нарочито изражен у фази усвајања коначне одлуке. Поред овога јавља се и проблем мере квалитета и ефикасности које је понекад тешко рангирати. Због свега овога доносилац одлуке, односно лице које доноси коначну одлуку о избору оптималног решења има нарочито важну улогу. Његова основна улога је да дефинише критеријуме и структуру преференције. Доносилац одлуке осим у фази одлучивања има централну улогу и у фази дефинисања циљева и намена система и идентификацији начина постизања постављених циљева. Остале фазе вишекритеријумског одлучивања одвијају се на техничком нивоу. Начин учешћа доносиоца одлуке зависи од начина укључивања структуре преференције у оптимизациони поступак и према овоме издваја се три прилаза у вишекритеријумској оптимизацији:

1. функција вишекритеријумског утилитета (користи), која садржи поједине критеријуме и структуру преференције, дата је у виду математичке функције и представља критеријумску функцију за оптимизацију (у овом случају не постоји проблем у избору оптималне одлуке);
2. двоетапни прилаз, који подразумева у првом степену одређивање скупа неинфериорних решења, а у другом степену сужавање скупа и избор коначног решења;
3. итеративни оптимизациони поступак код кога се структура преференције укључује у оптимизациони процес постепено и итеративно.

3.5.2.1. Методе одређивања неинфериорних решења

Овим методама се решава проблем максимизације векторске критеријумске функције

$$\max_{x \in X} (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)) \quad (3.15)$$

где је: x – векторска променљива, X – допустив простор одлучивања, $\omega_i(x)$ – i -та критеријумска функција, n – број критеријума.

Основна карактеристика ових метода је одређивање читавог скупа неинфериорних решења без укључивања преференције. Основна претпоставка је да преференција није дефинисана, па из тог разлога није могуће формирати једну критеријумску функцију према којој би се одредило оптимално решење. Међутим, и без потпуног познавања преференције нека допустива решења се могу елиминисати на основу вредности критеријумских функција. Таквом елиминацијом долази се до скупа неинфериорних решења.

3.5.2.2. Методе тежинских коефицијената

Метода тежинских коефицијената је најстарија метода за вишекритеријумску оптимизацију. По њој се уводе тежински коефицијенти ω_i за сваку критеријумску функцију $\omega_i(x)$, па се проблем вишекритеријумске оптимизације своди на проналажење скаларне функције:

$$\max_{x \in X} \sum_{i=1}^n \omega_i f_i(x) \quad (3.16)$$

Скуп неинфериорних решења може се добити под условом да су критеријумске функције $\omega_i(x)$ конвексне, као и да је допустив скуп X , конвексан скуп. При томе треба имати у виду да је:

$$\omega_i \geq 0 \text{ и} \quad (3.17)$$

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1 \quad (3.18)$$

Недостатак ове методе је то што су рачунања потребна за одређивање неинфериорних решења обимна и доносилац одлуке након установљавања скупа неинфериорних решења тешко може донети коначну одлуку. Осим овога применљива је само на конвексним допустивим скуповима.

3.5.2.3. Метода ограничења у простору критеријумских функција

Овом методом се решава задатак облика

$$\max_{x \in X} f_i(x) \quad (3.19)$$

уз ограничење: $\omega_j(x) \geq z_j$, $j \neq i$, $j = 1, 2, \dots, n$, где се за z_j задаје доња гранична вредност j -те критеријумске функције. Задатак вишекритеријумске оптимизације, код ове методе се дефинише тако што се само за један критеријум дефинише критеријумска функција $\omega_i(x)$, а остали критеријуми се укључују преко ограничења простора критеријумских функција.

Варирањем вредности z_j , $j \neq i$, $j = 1, 2, \dots, n$, одређује се скуп неинфериорних решења.

Варирање вредности z_j почиње од доње граничне вредности ω_j^{\min} , које се добију на следећи начин:

Реши се n скаларних проблема

$$\max_{x \in X} f_k(x), k = 1, \dots, n \quad (3.20)$$

и добије се n оптималних решења x^*_k , $k = 1, \dots, n$. Затим се израчунају вредности свих критеријумских функција за сва та оптимална решења па се минималне вредности критеријумских функција усвајају за ω_j^{\min} .

Недостатак ове методе је тај што је обим рачунања јако велики и решења се могу тешко пратити ако је број критеријумских функција већи од три.

3.5.2.4. Вишекритеријумска симплекс метода

Вишекритеријумска симплекс метода је развијена за одређивање неинфериорних решења линеарних задатака вишекритеријумске оптимизације. Математичка формулација линеарног векторског задатка дат је у облику:

$$\min C_x \quad (3.21)$$

уз ограничење:

$$b \geq Ax, x \geq 0 \quad (3.22)$$

где је C матрица коефицијента критеријумских функција. Овде је i -та критеријумска функција $C_i x$, где је C_i i -та врста матрице C .

Алгоритам одређивања скупа неинфериорних решења је нешто сложенији него у претходним случајевима, па неће бити посебно описиван.

Генерално, ова метода се карактерише тиме да не даје никакав путоказ о избору оптималног решења из скупа неинфериорних решења, тако да у првој фази она може дати корисне резултате, али је неопходно да се у другој фази обрађују сужења скупа неинфериорних решења.

3.5.2.5. Методе са унапред израженом преференцијом

Ове методе се базирају на претпоставци да постоји потпуно или делимично уређење простора критеријумских функција, и то пре процеса вишекритеријумске оптимизације. Уређење простора критеријумских функција је могуће ко је позната преференција доносиоца одлуке тако да се могу дефинисати релације уређења. Познавање релација уређења омогућава да се процес елиминације спроведе и у скупу неинфериорних решења. Ако је дефинисана релација потпуног уређења критеријумског простора, тада неинфериорност и оптималност остају еквивалентни. Познавање преференције на почетку процеса вишекритеријумске оптимизације омогућава формулацију задатка вишекритеријумске оптимизације у виду задатка једнокритеријумске оптимизације. Тешкоће у примени ових метода настају када доносилац одлука не може или неће да изрази своју преференцију без сагледавања бар прелиминарних резултата вишекритеријумске оптимизације.

Од метода које припадају овој групи треба поменути:

- методу вишеатрибутивног утилитета,
- циљно програмирање,
- методу сурогат вредности размене,
- методу PROMETHEE,
- методу ELECTRE.

Метода *ELECTRE* (Elimination and Choice Translating Reality) развијена је за парцијално уређење скупа решења на основу преференција доносиоца одлуке. Ова метода је погодна за дискретне проблеме и за случајеве разнородних критеријума (атрибута). Иначе, метода има више својих варијанти, а овде ћемо објаснити математички модел оригиналне методе *ELECTRE*.

3.5.2.6. Метода PROMETHEE

Метода *PROMETHEE* развијена је за вишекритеријумску анализу скупа елемената и примењивана је за рангирање алтернатива.⁵¹ Постоје четири варијанте метода *PROMETHEE* (Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluation). *PROMETHEE I* даје парцијални, *II* потпуни, а *III* интервални поредак алтернатива,

⁵¹ Opricović S., *Optimizacija sistema*, Beograd: Građevinski fakultet Beograd, 1992, str. 422.

док тип IV представља проширење *PROMETHEE III* за непрекидне скупове. Овде се приказује метода *PROMETHEE II*.

Метода *PROMETHEE* уводи функцију преференције $P(a,b)$ за алтернативе a и b које су вредноване критеријумским функцијама (означимо једну од њих са f). Алтернатива a је боља од b према критеријуму f ако је $f(a) > f(b)$. Функција преференције се дефинише на следећи начин:

$$P(a,b) = \begin{cases} 0, & \text{ако је } f(a) \leq f(b) \\ P(f(a) - f(b)), & \text{ако је } f(a) > f(b) \end{cases} \quad (3.23)$$

Ради краћег писања уводи се ознака d , $d = f(a) - f(b)$.

Аутори методе *PROMETHEE*¹³ предлажу шест типова функције преференције

I Једноставан критеријум

$$P(a,b) = \begin{cases} 0, & \text{ако је } d \leq 0 \\ 1, & \text{ако је } d > 0 \end{cases} \quad (3.24)$$

II Квази-критеријум

$$P(a,b) = \begin{cases} 0, & \text{ако је } d \leq q \\ 1, & \text{ако је } d > q \end{cases} \quad (3.25)$$

III Критеријум са линеарном преференцијом

$$P(a,b) = \begin{cases} 0, & \text{ако је } d \leq 0 \\ d / p, & \text{ако је } 0 < d \leq p \\ 1 & \text{ако је } d > p \end{cases} \quad (3.26)$$

IV Нивојски критеријум

$$P(a,b) = \begin{cases} 0, & \text{ако је } d \leq q \\ 1/2, & \text{ако је } q < d \leq p \\ 1 & \text{ако је } d > p \end{cases} \quad (3.27)$$

V Критеријум са линеарном преференцијом и облашћу индиферентности

$$P(a,b) = \begin{cases} 0, & \text{ако је } d \leq q \\ (d - q)/(p - q), & \text{ако је } q < d \leq p \\ 1 & \text{ако је } d > p \end{cases} \quad (3.28)$$

VI Гаусов критеријум

$$P(a,b) = \begin{cases} 0, & \text{ако је } d \leq 0 \\ 1 - \exp(-d^2 / 2\sigma^2), & \text{ако је } d > 0 \end{cases} \quad (3.29)$$

Вредности параметара q , p и σ треба одредити или задати за сваку критеријумску функцију према усвојеном типу преференције. Функција преференције $P(a,b)$ се односи на једнокритеријумско упоређивање алтернатива a и b .

Вишекритеријумски индекс преференције алтернативе a над b дефинисан је изразом

$$\Pi(a, b) = \sum_{i=1}^n w_i P_i(a, b) \quad (3.30)$$

где је n – број критеријума; w_i – тежина i -тог критеријума.

Овде је уведен услов да је сума тежина w једнака јединици, који се лако постиже нормализацијом оригиналних тежина.

За вишекритеријумску анализу метода *PROMETHEE* уводи токове преференције

$$\phi_j^+(a_j) = \sum_{m=1}^J \Pi(a_j, a_m) \quad (\text{позитивни ток}) \quad (3.31)$$

$$\phi_j^-(a_j) = \sum_{m=1}^J \Pi(a_m, a_j) \quad (\text{негативни ток}) \quad (3.32)$$

Као меру за вишекритеријумско рангирање метода *PROMETHEE II* уводи нето ток

$$\phi_j(a_j) = \phi_j^+(a_j) - \phi_j^-(a_j); \quad j = 1, \dots, J \quad (3.33)$$

где је J – број алтернатива.

Алтернатива a_j је вишекритеријумски боља од a_k ако је $\phi_j > \phi_k$.

Метода *PROMETHEE* посебан је случај опште методе утилитета, јер се предлажу конкретне (шест) форме функције (функције преференције) преко којих се дефинише и утилитет.⁵²

Модели вишекритеријумске оптимизације нашли су своју примену у различитим и специфичним рударским проблемима. Тако, на пример, проблем одређивања оптималног века експлоатације континуалне рударске механизације у БТО систему (багер, транспортер, одлагач) на површинским коповима угља у Србији, на примеру роторног багера дата је примена динамичког модела са неограниченим интервалом приказаним у раду „Optimal dynamic management of exploitation life of the mining machinery: Models with undefined interval“.⁵³

На сличан начин, представљен је теоријски концепт и илустрован практични пример динамичког модела са ограниченим интервалом, намењен за примену у оптимизацији експлоатационог века дисконтинуалне рударске механизације краћег животног века, као што су булдозери, скрепери, и багери са једним радним елементом мањег капацитета итд., датог у раду „Optimal dynamic management of exploitation life of the mining machinery: Models with limited duration“.⁵⁴

⁵² Исто.

⁵³ Vujić S., Miljanović I., Maksimović S., Milutinović A., Benović T., Hudej M., Dimitrijević B., Čebašek V., Gajić G., „Optimal dynamic management of exploitation life of the mining machinery: Models with undefined interval“, *Journal of Mining Science*, Vol. 46, No. 4, July–August 2010, pg. 425–430.

⁵⁴ Vujić S., Miljanović I., Boševski S., Kasaš K., Milutinović A., Gojković N., Josipović Pejović M., Dimitrijević B., Gajić G., Čebašek V., „Optimal dynamic management of exploitation life of the mining

Такође, из области примене математичких модела у механизацији у рударству, у раду „Model Approaches to Life Cycle Assessment of Auxiliary Machines Based on an Example of a Coal Mine in Serbia“, приказали смо два моделска приступа процене животног циклуса помоћних рударских машина. Први је заснован на теорији поузданости, а други на трошковном принципу. Током површинске експлоатације лмс, код ангажоване опреме при дисконтинуалном раду опада ниво њихове поузданости, а трошкови рада расту, те је изведена упоредна анализа примене оба моделска приступа. Ови показатељи супротних трендова детектују радну способност машина и пружају основу за одлучивање о оправданости даљег ангажовања, одржавања или замене машина.⁵⁵ Употреба различитих врста дозера, као најчешће ангажоване дисконтинуалне механизације на извођењу помоћних радова у рударској пракси, примењује се и као основна механизација у техничко-технолошким процесима експлоатационих и рекултивационих радова на површинским коповима угља у Србији, а и шире у рударству.

Планирање производње у рударству, може се третирати као вишециљни проблем које мора узети у обзир радну снагу рударске компаније са захтевом од власника или менаџмента да постави прихватљиве и оствариве инвестиционе циљеве. У раду „Model of room and pillar production planning in small underground mines with metal price and operating cost uncertainty“ предлажемо модел планирања производње који минимизира одступање од прихватљиве стопе повраћаја средстава (Acceptable Rate Of Return AROR), а успех оперативних циљева се мора реализовати уз минимално одступање од циљних вредности. У складу с тим, планирање производње се може третирати као вишециљни проблем. Сви ови циљеви су интегрисани у мултиваријабилну пондерисану Фробениус функцију удаљености која мери одступање од утврђених циљева. Рудно тело се посматра као скуп мини-блокова, а као начин експлоатације изабран је просторни и стубни начин подземне експлоатације.⁵⁵

У одводњавању површинских копова угља, као што је Дрмно, данас једини активни коп у Костолачком угљеном басену са годишњим капацитетом од девет милиона тона угља, због непосредне близине река Млаве и Дунава, водоснабдевање у радном окружењу је велико и проблем заштите површинског копа од инфилтрације подземних вода је релевантан за извођење експлоатационих радова. У раду „Multi-Attribute Scenario Analysis of Protection of Drmno Open Pit Mine against Groundwater“ извршили смо мултиатрибутску проверу преференције једне од две пројектоване варијанте модификације система заштите површинског копа Дрмно од инфилтрације подземних вода.

machinery: Models with limited duration“, *Journal of Mining Science*, Vol. 46, No.5, September–October 2010, pg. 554–560.

⁵⁴ Krunić J., Vujic S., Tanasijević M., Dimitrijević B., Subaranović T., Ilić S., Maksimović S.: „Model Approaches to Life Cycle Assessment of Auxiliary Machines Based on an Example of a Coal Mine in Serbia“, *Journal of Mining Science*, 54(3), pg. 404–413. Rad je dostupan na e-adresi: <http://link.springer.com/article/10.1134/S1062739118033809>.

⁵⁴ Gligorić Z., Milos Gligorić M., Dimitrijević B., Gvozdenović I., Milutinović A., Ganić A., Gojković Z., „Model of room and pillar production planning in small scale underground mines with metal price and operating cost uncertainty“, *Resources Policy*, 2020, 65, 101235. Rad je dostupan na e-adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420718302022>.

Исход анализе потврдио је значај и оправданост примене вишеатрибутске или вишекритеријумске анализе за испитивање оваквих проблема.⁵⁶

У експлоатацији чврстих минералних сировина кроз бушотине, каква је била експериментална хидроексплоатација подинских кварцних пескова на „Пољу Д“ у колубарском угљеном басену, у раду „Selection of technological parameters in borehole mining production by technical deep drilling and hydroehploitation“ смо поставили модел оптимизације просторних и техничко-технолошких параметара стабилности коморе и рециркулационог процеса протока воде под великим притиском уз употребу хидромонитора и хидроелеватора функцији хидродобијања и хидротранспорта кварцног песка.⁵⁷

У функцији рекултивације површинских копова угља, као на пример у раду „Геолошки проучвања и влияние на дейностите в откритите рудници при рекултивационото проектиране във вглицните мини 'Колубара'“, представљена је могућност коришћења геотермалне енергије као обновљивог извора од лигнита Колубарског басена. Са најмање 10% угљеног енергетског потенцијала, еколошки бенефити били би изузетни. Предложили смо рекултивацију постојећихпострекултивационих предела пошумљавањем садница медоносног багрема и тако двоструко профитирало.⁵⁸

4.0. АЛГОРИТАМ ДОНОШЕЊА ОДЛУКЕ ТОКОМ РЕКУЛТИВАЦИЈЕ

4.1. Структурни елементи алгоритма одлучивања током рекултивације

Задатак оптимизације јесте да се изврши избор најбоље варијанте из низа могућих варијанти, или из низа повољних варијанти, у смислу усвојеног критеријума. Критеријум дефинише квалитет управљања и представља меру за поређење приликом одабирања најбоље варијанте. Критеријум се изражава критеријумском (циљном) функцијом која за најбољу варијанту (решење) треба да достигне глобални екстремум, с обзиром на ограничења која представљају могућност постизања циља. Постављање критеријума за оптимизацију одређеног система тежак је и одговоран задатак. Оптимизација на основу техничког или економског критеријума обухвата само један део проблема пројектовања и коришћења система. Оптимизација у математичком смислу се увек своди на тражење екстремума критеријумске функције под датим условима и ограничењима. За оптимизацију система користе се различите

⁵⁶ Šubaranović T., Vujić S., Radosavljević M., Dimitrijević B., Ilić S., Jagodić-Krunić D., „Multi-Attribute Scenario Analysis of Protection of Drmno Open Pit Mine against Groundwater“, *Journal of Mining Science / Mining & Mineral Processing*, Volume 55, pg. 280–286. Rad je dostupan na e-adresi: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1062739119025564>.

⁵⁷ Dimitrijević B., Pinka J., Mitrović V., „Selection of technological parameters in borehole mining production by technical deep drilling and hydroehploitation“, *Acta Montanistica Slovacia, Košice*, 2004, vol. 3, pg. 160–168.

⁵⁸ Dimitrijević B., Vučković B., Gaćina R., ОТВЪД 2020 г. – ГЕОЛОЖКИ ПРОУЧВАНИЯ И ВЛИЯНИЕ НА ДЕЙНОСТИТЕ В ОТКРИТИТЕ РУДНИЦИ ПРИ РЕКУЛТИВАЦИОННОТО ПРОЕКТИРАНЕ ВЪВ ВЪГЛИЦНИТЕ МИНИ „КОЛУБАРА“, СЪРБИЯ. НОВИ НАСОКИ, МИННО ДЕЛО И ГЕОЛОГИЯ, 2023, 10, pg. 48–55.

методе, зависно од типа релација у математичком моделу, критеријумске функције и ограничења.

Практично је немогуће формирати математички модел и оптимизациони алгоритам који би детаљно обухватили цео комплексни систем. Радије се посебно анализирају делови система (подсистеми), а затим на основу добијених резултата и интеракција међу подсистемима разматра се и цео систем.

На овај начин, сложени оптимизациони задатак се решава са два нивоа рачунања. На пројектантском нивоу одређују се параметри система, а на *управљачком* нивоу одређује се оптимално управљање за дате параметре. Због интеракције ова два нивоа, овим прилазом се одређују оптимални параметри система за оптимално управљање системом.

Поступак решавања оптимизационог проблема има пет фаза:

1. формулација проблема;
2. израда математичког модела који репрезентује реални систем;
3. избор и примена методе, избор алгоритма и програма за рачунар (евентуалне модификације или развој нове методе, разрада алгоритма и израда програма за рачунар);
4. тестирање модела и добијеног решења;
5. имплементација.

Да би се применила нека оптимизациона метода, у већини случајева потребна је математичка формализација проблема, односно математички модел. Ако математички модел добро репрезентује проблем, тада ће и решење добијено помоћу модела бити добро решење датог проблема.

У инжењерској пракси планирања система користи се прилаз *дискретних модела* када се, уместо израде свеобухватног математичког модела, пројектују варијантна решења. За овакав прилаз поступак решавања оптимизационог проблема има следеће фазе:

1. формулисање проблема;
2. прикупљање података о систему;
3. дефинисање критеријума за вредновање алтернативних решења (варијанти);
4. формулисање (и израда) алтернативних решења;
5. вредновање алтернатива;
6. оптимизација – избор најбоље алтернативе;
7. коначни пројекат (завршно пројектовање);
8. имплементација.

Оптимизациони модели помажу процесу одлучивања, омогућавајући аналитичару да повеже све податке и релације у датој ситуацији, а резултат

тога треба да омогући избор добре (оптималне) алтернативе, савладавши све комплексности задатка. Циљ примене оптимизационе методе треба да је: снабдевање доносиоца одлуке добрим (бољим у односу на постојеће стање) информацијама које указују на последице и утицаје изабране одлуке (плана или стратегије).

Избор оптимизационе методе зависи од природе проблема (линеарност, континуалност, извесност, време), броја критеријума, могућношћу учешћа доносиоца одлуке, захтеване детаљности анализе итд.⁵⁹

Структурни елементи алгоритамског решења за одлучивање у процесима рекултивацији, представљају низ алгоритамских блокова логички међусобно повезаних и усклађених у једну континуалну и диференцирану аналитичку целину.

Почетна фаза у структури везана је за добро инжењерско дефинисање проблема који представља осмишљавање и решавање постексплоатационих предела насталих рударском активношћу на површинским коповима угља.

Пројектни задатак који се поставља пред рударску компанију представља на неки начин иницијацију покретања процеса за доношење одлуке о избору облика рекултивације на деградираним просторима. У другом кораку прикупљања података о систему врши се ажурирање расположивих података и подлога за објективну анализу могућих рекултивационих решења.

Логичким блоком типа (да/не) поставља се питање пред пројектантски тим да ли су подаци и расположива пројектна документација до којих се дошло у припремној фази довољни или је потребно извршити додатна доистраживања, прикупљање нових података, извршити нова ажурирања истих или аналитички предложити наставак истраживања на бази постојећих подлога сматрајући их довољним.

На бази формулисања и израде алтернативних решења врши се детерминација примењених расположивих решења и дефинишу критеријуми за вредновање ових алтернативних решења или варијанти.

Вредновање алтернатива и новим логичким блоком и алгоритамском петљом IF/THEN долази се до излазне листе могућих применљивих алтернативних решења (варијанти).

Избор математичког модела утемељен је на подробној анализи могућих моделских приступа заснованих на аналогним решењима из инжењерске праксе у свету као и теоријских метода вишекритеријумске анализе. На основу још једног логичког блока и алгоритамске петље IF/THEN долази се до оптималног или најбољег решења рангираног у листи приоритета рекултивационих решења.

Ранг листу применљивих могућих решења као излазни резултат изабраног математичког модела, у нашем случају је избор оптималног захвата, односно

⁵⁹ Петрић Ј., *Нелинеарно програмирање*, уџбеник, Београд: Научна књига, 1979.

оптималног рекултивационог решења предела изведен је вишекритеријумском анализом помоћу случаја *PROMETHEE* методе.

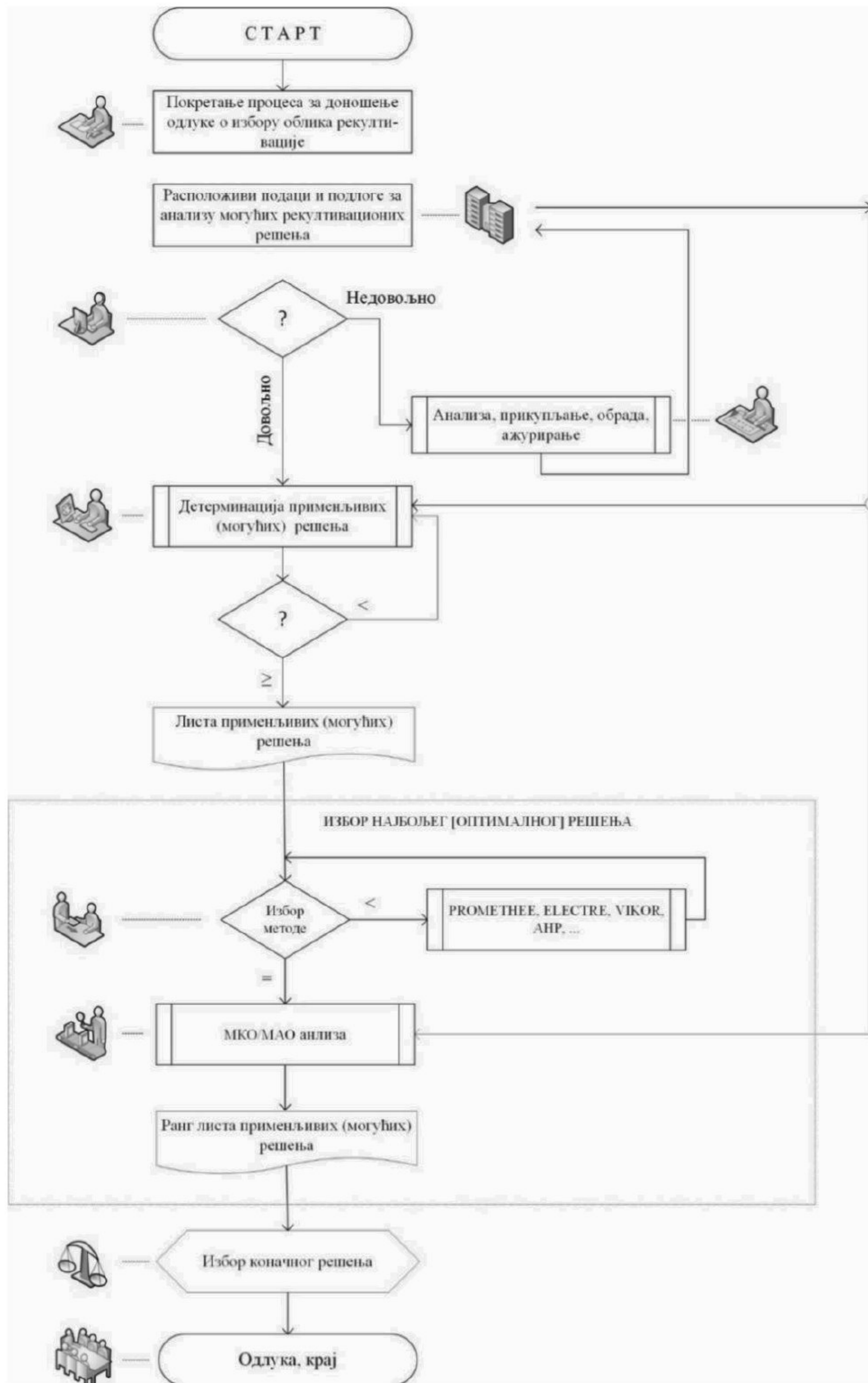
Избор коначног решења оставља се целокупном тимском одлучивању, јер садржи одређене дозе субјективног, па планери у једном мултидисциплинарном одлучивању могу да донесу најуравнотеженију одлуку.

4.2. Алгоритам

На Слици 4.1 представљен је Алгоритам процесног одлучивања у поступку избора рекултивационог решења за постексплоатационе пределе у површинској експлоатацији корисних минералних сировина.

Ова методологија је универзалног карактера, те је применљива и за рекултивацију површинских копова и одлагалишта металних, неметалних и енергетских минералних сировина. Како су предмет у докторској дисертацији⁶⁰ рекултивациони процеси, односно решења површинских копова угља, као полигони анализе узета су три велика површинска копа угља (угљенокопа) у нас. Прво ће се тестирати површински коп Кленовник, неактивни коп у затварању који се налази у склопу Костолачког угљеног басена. Затим ће се тестирати активан површински коп и одлагалишни простор копа Тамнава – Западно Поље у склопу колубарског угљеног басена, а као трећи биће тестиран активан површински коп са одлагалиштима Богутово Село у склопу Угљевичког угљеног басена у Републици Српској (Босна и Херцеговина).

⁶⁰ Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 136.



Слика 4.1. Алгоритам процесног одлучивања у поступку избора рекултивационог решења⁶¹

Први корак у отпочињању активности у једној рударској компанији у погледу рекултивационих радова представља покретање процеса за доношење одлуке о избору облика рекултивације на једном постојећем постексплоатационом терену или ако је могуће још у фази пројектовања отварања површинских

⁶¹ Исто.

копова. Затим се приступа прикупљању расположивих података и подлога за анализу могућих рекултивационих решења.

На основу расположивости потребних података одлучује се да ли је документација довољна или је потребно доистраживање, додатно прикупљање, и њихова обрада и ажурирање. На овај или онај начин, ако поседујемо довољну количину улазних података и потребну документације и подлоге, вршимо детерминацију применљивих и техничко-технолошки могућих рекултивационих решења.

У овој фази модела предвиђен је табеларни приказ могућих, претпостављених варијанти или алтернатива рекултивационих решења, као листа променљивих могућих решења уређења постексплоатационих предела датог у следећем поглављу (Табела 4.1). Оваквим процесним моделирањем обједињеног система рекултивације предвиђено је укупно двадесет алтернативних, променљивих, могућих пројектованих рекултивационих садржаја и уређивања постексплоатациони предела површинских копова и одлагалишта.

Такође, поред систематизованих могућих решења – варијанти, у табели 4.2 истог поглавља дати су и критеријуми по којима ће се вршити избор различитих типова рекултивационих решења која у себи обједињују како техничку и биолошку рекултивацију, тако и пројектно решење уређења датог предела, па представља одговарајуће потпроцесе система површинске експлоатације. Избором дванаест критеријума покривен је техничко-технолошки, организациони, економски, социјални и естетски аспект вредновања изабраних рекултивационих решења, односно обједињених процесних активности.

Неки од табеларно датих критеријума у Табели 4.3, „Категоризација критеријума“, могу се представити нумеричком вредношћу и/или описном вредношћу, док су, у исто време, неки критеријуми алтернативно пожељни, алтернативно нужни или без алтернативе било као детерминистички или као описни подаци.

Вредновањем критеријума кроз Табелу 4.4 прво су дефинисане граничне вредности којима теже поједини критеријуми, и то, као минимум (min) и максимум (max), а затим је вреднован сваки критеријум понаособ описним скраћеницама, да би их Табелом 4.5. нумерички детерминисали бодовањем по вредносној категоризацији од 0.5 до 10 и обрнуто, у зависности да ли теже максимуму или минимуму.

Избор модела нелинеарног програмирања своди се на вишекритеријумско одлучивање и вишеатрибутивно одлучивање. Трансформацијом квалитативних атрибута могуће је извршити вишециљно одлучивање, вишекритеријумско програмирање и циљно програмирање. Методе вишекритеријумске оптимизације могу бити: методе одређивања неинфериорних решења, методе тежинских коефицијената, метода ограничења у простору критеријумских функција, вишекритеријумска симлекс метода, методе са унапред израженом преференцијом и методе *ELECTRE*, *VIKOR*, *ANP* и друге.

У циљу добијања најбољег рекултивационог решења извођењем вишекритеријумског одлучивања и општим поступком оптимизације изабрана је као најефикаснија метода *PROMETHEE* са математичким моделом израђеним

на Факултету Организационих наука Универзитета у Београду и презентованим кроз табеларне приказе у кораку 1, 2, 3, и 4 сваког проблемског задатка.

Без улажења у анализу и оцену вишеатрибутних модела, при избору модела превагу је имало искуство у његовом коришћењу, постигнути резултати и уграђеност у *PROMETHEE* модел шест генерализованих критеријума за исказивање преференција доносиоца одлуке, што ублажава субјективност доносиоца одлуке. Ово не негира остале методе и не искључује њихову применљивост у решавању овог типа проблема.

За сва три примера површинских копова дат је приказ проблема који подразумева краћи опис техничко-технолошког поступка рада са откопно-утоварног, транспортног и одлагалишног аспекта, примењене методе експлоатације, расположиве опреме и механизације као предуслов избора методе рекултивације.

Модел проблема изведен је по описаном поступку из поглавља 4.3, „Избор критеријума и решења рекултивације и критеријуми уређења деградираних предела“ за сваки коп посебно и дат детаљан табеларни приказ резултата у виду анализе проблема и излазних резултата. Заједничко за све примере је слична ранг листа примењивих рекултивационих решења, тако да је пошумљавање у сва три случају најбоље решење. Затим следе различите комбинације пољопривредних делатности (ратарство и повртарство) и мешовитог пошумљавања са пољопривредом са проширењем природних резервата (биодиверзитета), што доприноси одрживом развоју ових некад пољопривредних крајева, изградње индивидуалних газдинстава и реституције сеоска насеља као одличан вид регенерације руралног становништва. У сваком случају за један пољопривредан крај каква је тамнавска и косточачка равница ови резултати се уклапају у постојећи екосистем и представљају правилан избор у погледу биодиверзитетског, пејзажног, антропогеног и друштвеног наслеђа и традиције.

Што се тиче угљевичког краја, после пошумљавања следе проширење природних резервата (биодиверзитета), сточарско-фармерски комплекс и различити видови пољопривредне (и воћарства) и шумарске делатности, водене површине и друго као одличан вид регенерације овог брдско-планинског краја.

Изведени резултати су логични с обзиром на највећи удео заступљености понуђених пострекултивационих решења са постојећим околишем, с једне стране и њихове ниже цене као инвестиционих захвата у погледу експлоатације према конкурентним једнократним и скупљим решењима, с друге стране.

Избор коначних рекултивационих решења посматраних као процес доносе тимови стручњака различитих инжењерских профила и експерти других области, с обзиром на то да је проблем рекултивације деградираних површина у рударству један интердисциплинарни мултифункционални проблем који задире у све друштвене поре.

На Слици 4.1 дат је алгоритам процесног одлучивања у поступку избора рекултивационог решења који може послужити у поступном решавању проблема оптимизације управљања процесима рекултивације на површинским

коповима лежишта минералних сировина јер је универзалног карактера, а применљив је и на конкретне случајеве предметних копова угља Кленовник, Тамнава Западно Поље и Богутово Село као у оквиру ауторове докторске дисертације.⁶²

4.3. Избор критеријума и решења рекултивације и критеријуми уређења деградираних предела

У овом поглављу представљен је табеларни приказ могућих, претпостављених варијанти или алтернатива рекултивационих решења, као и њихове комбинације која могу послужити у анализи избора уређења постексплоатационих предела (Табела 4.1). Предмет наших истраживања представљају три примера површинских копова угља посматраних као полигони експерименталне анализе избора типа рекултивације и одговарајућег уређења предела. Оваквим процесним моделирањем обједињеног система рекултивације предвиђено је укупно **двадесет алтернативних могућности** пројектовања рекултивационих садржаја и уређивања постексплоатациони предела површинских копова и одлагалишта.

Табела 4.1. Варијанте или алтернативе рекултивационих решења⁶³

Ред. број	Варијанте или алтернативе рекултивационих решења
A ₁	Шумарство
A ₂	Пољопривреда – ратарство и повртарство
A ₃	Пољопривреда – воћарство
A ₄	Пољопривреда – виноградарство, винарство и подрумарство
A ₅	Шумарство и пољопривреда (комбинације A ₁ /A ₂ , A ₃ , A ₄)
A ₆	Акваторијални комплекс (водене површине) + рибарство A ₆ /A ₁ -A ₅ , A ₇
A ₇	Спортско рекреативни комплекс и у комбинацији A ₇ /A ₁ -A ₆
A ₈	Парковско и хортикултурно уређење (пејзажна архитектура) A ₈ /A ₆ , A ₇
A ₉	Простор за стамбену градњу и у комбинацији A ₉ /A ₈
A ₁₀	Зона за индустријску градњу
A ₁₁	Пољопривредна насеља и реституција за сеоска насеља + A ₁₁ /A ₁ -A ₆
A ₁₂	Музејско-археолошки и културно-историјски простор + A ₁₂ /A ₁ , A ₄ , A ₈
A ₁₃	Туристички комплекс + A ₁₃ / A ₁ , A ₄ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₂
A ₁₄	Школско-едукативни комплекс + A ₁₄ / A ₁ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₂
A ₁₅	Опитно-истраживачки центри (војни и цивилни) + A ₁₅ /A ₅ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₄
A ₁₆	Привремена одлагалишта (пепела, шљаке, јаловине, комуналног отпада) + A ₁₆ /A ₁ , A ₁₀
A ₁₇	Бањско-здравствени комплекс + A ₁₇ / A ₁ , A ₄ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₂ , A ₁₃
A ₁₈	Сточарско-фармерски комплекс + A ₁₈ / A ₅ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₁ , A ₁₃
A ₁₉	Проширење природних резервата (биодиверзитета) + A ₁₉ / A ₁ , A ₄ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₂ , A ₁₃ , A ₁₇ , A ₁₈
A ₂₀	Препуштање спонтаној сукцесији и ауторекултивацији

⁶² Исто.

⁶³ Исто.

Поред систематизованих варијанти, у Табели 4.2 дати су и критеријуми по којима ће се вршити избор различитих типова рекултивационих решења која у себи обједињују како техничку и биолошку рекултивацију, тако и пројектно решење уређења датог предела па представља одговарајуће потпроцесе система површинске експлоатације. Избором **дванаест критеријума** покривен је техничко-технолошки, организациони, економски, социјални и естетски аспект вредновања изабраних рекултивационих решења односно обједињених процесних активности.

Табела 4.2. Критеријуми решења⁶⁴

Ред. број	Критеријуми
К ₁	Висина инвестиционих улагања по јединици површине
К ₂	Инвестициони период – време инвестирања
К ₃	Време повраћаја уложених средстава
К ₄	Годишњи трошкови континуираног одржавања по јединици површине
К ₅	Уклопљивост рекултивационог решења у амбијенталну целину
К ₆	Локалне потребе (интерес локалне заједнице)
К ₇	Технолошка сложеност извођења рекултивационих радова
К ₈	Организациона захтевност (сложеност) извођења радова
К ₉	Време пост рекултивационог континуираног одржавања
К ₁₀	Процентуални удео рекултивационе форме (варијанте) у укупном рекултивационом захвату
К ₁₁	Социјални и економски значај рекултивације за локалну заједницу
К ₁₂	Корелациони однос просторне и временске динамике рекултивационих радова

Неки од табеларно датих критеријума могу се представити нумеричком вредношћу, као на пример критеријум К₁ – висина инвестиционих улагања по јединици површине или пак К₂ – време инвестирања посматрано као инвестициони период, што их уједно не ослобађа алтернативног, али у исто време и нужног описног категорисања, представљено у Табели 4.3 „Категоризација критеријума“. У исто време неки критеријуми су алтернативни пожељни само као описно вредновани од К₅ до К₈ и од К₁₁ до К₁₂, док су неки као на пример К₁₀ без алтернативе дати нумерички пошто представљају процентуални удео рекултивационе форме (Варијанте) у укупном рекултивационом захвату.⁶⁵

⁶⁴ Исто, стр.142.

⁶⁵ В. Dimitrijević, „Procesna analiza i definisanje modela optimizacije rekultivacije površinskih kopova“, *Tehnika: aktuelni tehnički problemi*, 2015, god. 70, br. 6, str. 947–951. Rad je dostupan na e-adresi: www.sits.org.rs.

Табела 4.3. Категоризација критеријума решења⁶⁶

Ред. број	Критеријуми	Категорија	
		Д	О
К ₁	Висина инвестиционих улагања по јединици површине	х	Х
К ₂	Инвестициони период – време инвестирања	х	Х
К ₃	Време повраћаја уложених средстава	х	Х
К ₄	Годишњи трошкови континуираног одржавања по јединици површине	х	Х
К ₅	Уклопљивост рекултивационог решења у амбијенталну целину		Х
К ₆	Локалне потребе (интерес локалне заједнице)		Х
К ₇	Технолошка сложеност извођења рекултивационих радова		Х
К ₈	Организациона захтевност (сложеност) извођења радова		Х
К ₉	Време пост рекултивационог континуираног одржавања	х	Х
К ₁₀	Процентуални удео рекултивационе форме (варијанте) у укупном рекултивационом захвату	х	
К ₁₁	Социјални и економски значај рекултивације за локалну заједницу		Х
К ₁₂	Корелациони однос просторне и временске динамике рекултивационих радова		Х

Тумач: Д – детерминистичка; О – описна; х – без алтернативе;
 х – алтернативно (пожељно); х – алтернативно (нужно).

Пошто смо дефинисали категоризацију критеријума, односно начин и могућности на који ће категорије бити представљена у моделу, извршили смо вредновање критеријума кроз Табелу 4.4. У овој табели смо прво дефинисали граничне вредности којима теже поједини критеријуми, и то математичком дефинисаношћу минимума (min) и максимума (max). Затим смо назначили симболом тачно \checkmark оне критеријуме који се могу нумерички детерминисати и алтернативно описним скраћеницама извршили бодовање по вредносној категоризацији. Тако, на пример, критеријум **К₁**, висина инвестиционих улагања по јединици површине има шест вредносних категорија која када се преведу из бројчаних на описне могу бити веома високе (ВВ), затим високе (В), средње високе (СВ), средње (С), средњениске (СН) и на крају ниске (Н). Овај тип означавања урађен је за свих дванаест критеријума, са изузетком критеријума **К₁₀** за који смо нагласили да је без алтернативан и да се може дати само нумерички пошто представљају процентуални удео рекултивационе форме (варијанте) у укупном рекултивационом захвату.

⁶⁶ Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 143.

Табела 4.4. Вредновање критеријума решења⁶⁷

Ред. број	Критеријуми	Вредновање							
		min/max	Д	О					
К ₁	Висина инвестиционих улагања по јединици површине	min	√	ВВ	В	СВ	С	СН	Н
				веома висока	висока	средње висока	средња	средње ниска	ниска
К ₂	Инвестициони период – време инвестирања	max	√	ВД	Д	СД	К		
				веома дуг	дугачак	средње дуг	кратак		
К ₃	Време повраћаја уложених средстава	min	√	ДР	СР		КР		
				дугорочно	средњерочно		краткорочно		
К ₄	Годишњи трошкови континуираног одржавања по јединици површине	min	√	В	С		М		
				велики	средњи		мали		
К ₅	Уклопљивост рекултивационог решења у амбијенталну целину	max		ВД	ДО	СД	МД		
				веома добра	добра	средње добра	мање добра		
К ₆	Локалне потребе (интерес локалне заједнице)	max		ВЗ	З		МЗ		
				високо значајне	значајне		мање значајне		
К ₇	Технолошка сложеност извођења рекултивационих радова	min		ВС	СЛ		МС		
				веома сложена	сложена		мање сложена		
К ₈	Организациона захтевност (сложеност) извођења радова	min		ВЗ	З		МЗ		
				веома захтевно	захтевно		мање захтевно		
К ₉	Време пост рекултивационог континуираног одржавања	min	√	ВД	СД		К		
				веома дуго	средње дуго		кратко		
К ₁₀	Процентуални удео рекултивационе форме (варијанте) у укупном рекултивационом захвату	max	√						
К ₁₁	Социјални и економски значај рекултивације за локалну заједницу	max		ВЗ	З		МЗ		
				високо значајан	значајан		мање значајан		
К ₁₂	Корелациони однос просторне и временске динамике рекултивационих радова	max		ВД	Д	СД	МД		
				веома добар	добар	средње добар	мање добар		

⁶⁷ Исто.

У Табели 4.5. представљена је конверзија описних у нумеричке вредности критеријумских оцена, где су вредносне оцене за критеријуме К2, К5, К6, К11 и К12 који теже максимуму дате кроз вредносне оцене од 10 до 0.5 са кораком, односно распон вредновања од 0.5, а вредносне оцене за критеријуме К1, К3, К4, К7, К8 и К9 који теже минимуму дате кроз вредносне оцене од 0.5 до 10 са кораком односно распоном вредновања од 0.5.⁶⁸

Табела 4.5. Конверзија описних у нумеричке вредности критеријумских оцена решења⁶⁹

Мах						Min						
Вред.оцене	Критеријум					Вред.оцене	Критеријум					
	К2	К5	К6	К11	К12		К1	К3	К4	К7	К8	К9
10.0	ВД	ВД	ВЗ	ВЗ	ВД	0.5	ВВ	ДР	М	МС	МЗ	К
9.5						1.0						
9.0						1.5						
8.5						2.0						
8.0						2.5						
7.5	Д	ДО	З	З	Д	3.0	СВ	СР	С	СЛ	З	СД
7.0						3.5						
6.5						4.0						
6.0						4.5						
5.5						5.0						
5.0	С	СД	З	З	СД	5.5	СН	КР	В	ВС	ВЗ	ВД
4.5						6.0						
4.0						6.5						
3.5						7.0						
3.0						7.5						
2.5	К	МД	МЗ	МЗ	МД	8.0	Н	КР	В	ВС	ВЗ	ВД
2.0						8.5						
1.5						9.0						
1.0						9.5						
0.5						10.0						

⁶⁸ Вујић С., *Квантитативни модели за подршку одлучивању у планирању и пројектовању у рударству*, Београд: Рударски институт, 2023, стр. 273; Dimitrijevic, B., Vujic, S., Matic, I., Marijanac, S., Nikolic, J., Colakovic, V.: МНОГОАТРИБУТНАЯ МОДАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИ ВЫБОРЕ РЕКУЛТИВАЦИИ УГОЛЬНОГО КАРЬЕРА «КЛЕНОВНИК» В УГОЛЬНОМ БАССЕЙНЕ КОСТОЛАЦ, *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, Институт горного дела Сибирского отделения Российской Академии Наук, Новосибирск, Россия, 2013, вол 2, номер: 136–143, е-адреса: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21949121>; Bojan Dimitrijević, Slobodan Vujic, Ivan Matic, Simeon Marijanac, Željko Praštalo, Jovica Nikolic, Violeta Colakovic, MULTIATTRIBUTE MODEL SUPPORT IN SELECTING THE LAND RECLAMATION AT THE OPEN PIT MINE «KLENOVNIK» OF THE COAL BASIN «KOSTOLAC», *Journal of Mining Science*, Springer, Springer International Publishing AG, Germany/USA, 2014, pages: 319–325, e-adresa: <http://link.springer.com/article/10.1134/S106273911402015X>.

⁶⁹ Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 145.

Избором алтернатива рекултивационих решења за деградиране постексплоатационе пределе уклапамо се у претходно дефинисане циљеве просторног планирања предела рударских лигнитских басена какви су Колубарски и Костолачки у Републици Србији и Угљевички у Републици Српској који су предмет ових истраживања.

Зато је целисходно бити у сарадњи са субјектима развоја и релевантним органима локалне самоуправе у процедурама детаљног планирања и пројектовања активности изградње, уређења простора и коришћења природних богатстава. Треба ангажовати референтне институције за идентификују површина терена и земљишта, објекте и појаве од посебног значаја у погледу вредности био и геодиверзитета и естетике предела, и то за:

- добро развијене и репрезентативне делове шумских заједница у фитоценолошком погледу у циљу очувања екосистемске разноврсности подручја фитоценоза и субасоцијација храстових и других шума;
- места, односно делове шумских и ливадско-пашњачких површина са ретким, ендемичним, лековитим, јестивим и другим значајним дрвенастим и зељастим биљкама;
- делове станишта ретких животињских врста, посебно водених и мочварних биотопа (места гнезђења, исхране и одмора птица, боравка слепих мишева, фауне водоземаца и гмизаваца и др.);
- значајна геолошка места (палеонтолошки, стратиграфски, петролошки, структурни објекти геонаслеђа), геоморфолошки и хидролошки феномени (видиковци, меандарски делови активних и напуштених речних корита, извори, природни водотоци и баре);
- репрезентативна, стара, ретка и у културно-историјском погледу значајна стабла дрвећа;
- природне амбијенте висококвалитетних естетско-амбијенталних обележја;
- објеката геонаслеђа представљених атрактивним и за науку и образовање занимљивим геолошким, геоморфолошким или хидрографским феноменима;
- локалитета са очуваним шумским састојинама;
- станишта ретких биљних и животињских врста и њихових заједница;
- природних амбијентата висококвалитетних естетских обележја, уколико се наведене природне вредности утврде при планирању или извођењу радова на коришћењу природних ресурса, изградњи објеката и уређењу простора.
- локалитета евентуалних палеонтолошких и археолошких налазишта током експлоатације лигнита или извођења других земљаних радова.

Планирањем и пројектовањем се као локалитети са ограниченим коришћењем природних богатстава и простора утврђују амбијенти културно-историјских вредности који могу добити статус заштићених околина непокретних културних добара, као што су споменици културе, објекти народног градитељства, археолошког налазишта, и друго.

При утврђивању планских намена простора примењује се принцип: водити рачуна о евентуалном конфликту између привредног и другог коришћења простора и ресурса са потребама и циљевима очувања природе. У случају да се конфликт не може разрешити на нивоу постојећих стручних и научних информација и политичких механизма кроз које се конституише јавни интерес у вези прече, приоритетне намене, прибегава се додатним истраживањима и изради стратешке оцене утицаја на животну средину и других комплексних анализа, које укључују и економске и социјалне аспекте.

Просторним планом се потврђује законска обавеза рекултивације простора на којима се врши експлоатација минералних сировина, јаловишта и депонија комуналног и индустријског отпада као и примене мера техничке и биолошке заштите околине од непожељних утицаја ових радова и објеката на околину. Такође, идентификује се потреба и утврђује просторни оквир за пошумљавање и објекте и мере антиерозивне заштите (од водне и еолске ерозије), првенствено на површинским коповима, јаловиштима и пепелиштима.⁷⁰

Као примери вишекритеријумске анализе алтернативних избора рекултивационих решења узети су површински копови угља различитих типова, облика лежишта, техничко-технолошких решења и периода система површинске експлоатације:

- Тамнава – Западно Поље као активан пространи равничарски површински коп са хоризонталним и благо нагнутим слојевима и прослојцима корисне минералне сировине и међуслојне јаловине који захтева континуалну технологију откопавања и одлагања са применом селективног рада;
- Богутово Село са дисконтинуалном технологијом откопавања угља и јаловине са селективним радом на једном активном и издељеном површинском копу угља на ревиру са комплексним техничко-технолошким решењима стрмог и раслојеног лежишта брдског типа;
- такође, анализиран је и неактиван површински коп Костолачког угљеног басена Кленовник који се налази у периоду затварања.

⁷⁰ Институт за архитектуру и урбанизам, *Просторни план подручја експлоатације колубарског лигнитског басена*, Београд, 2013.

5.0. ПРИМЕРИ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ИЗБОРА РЕКУЛТИВАЦИОНИХ РЕШЕЊА

5.1. Површински коп Кленовник

5.1.1. Приказ реалног проблема

Лежиште Кленовник и припадајући површински коп Кленовник налазе се у средишњем делу Костолачког угљеног басена. Једини активан површински коп на коме се тренутно врши експлоатација угља у оквиру Костолачког басена угља је површински коп Дрмно, док су копови Ћириковац и Кленовник у фази затварања (конзервирања). Лежиште Кленовник прво је експлоатисано јамски и периоду од 1883. до 1959. и површински од 1973. године, где се откопавао први угљени слој. Други и трећи угљени слој, испод овог лежишта и шире, третирају се као лежиште Ћириковац.

Површина терена пре изградње површинског копа, била је равничарска, типична за овај крај са виноградима и шумарцима. Као последица експлоатације угља видљиво је удубљење површинског копа, делимично запуњено унутрашњим одлагалиштем откривке и узвишење спољног одлагалишта откривке, које је делимично рекултивисано.

У оквиру реконструкције угљеног басена Костолац (1965–1970) отворено је ново Поље Кленовник на коме је почела производња угља 1973. године. Поље Кленовник континуирано је радило на допуњавању производњу угља са површинског копа Ћириковац за потребе рада термоелектрана и снабдевање тржишта комадним угљем са годишњим капацитетом од 350.000 до 550.000 тона. Од 1975. године уведена је континуална технологија на откривци са БТО системом, чиме су знатно побољшани услови рада и повећава сигурност производње угља.

Геолошке карактеристике лежишта: Лежиште Кленовник обухвата терен, површине око 1.2 km², западно од реке Млаве. Границу му чине линија исклињења и угљеног слоја (са запада, југа и истока), а за северну границу узета је вештачка граница са површинским копом Стари Костолац.

Од свих лежишта и површинских копова угља у Костолачком басену, лежиште Кленовник је најближе Костолцу на удаљености од 1 до 2 km од њега.



Слика 5.1. Литостратиграфски стуб лежишта угља Кленовник⁷¹

Лежиште Кленовник сачињава меки мрки угаљ (лигнит) који је изграђен од седимената понта, који су на графичкој документацији означени као доњи

⁷¹ Павловић В. и сарадници (... Димитријевић Б.), *Студија и идејни пројекат затварања површинског копа Кленовник*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 2013, Табела 5.1; Сlike 1.2–1.12, 1.18. а, б и 1.19 а, б, 1.23–1.26, 5.3; Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 149.

плиоцен (Пл₁), (по старој подели), затим од квартарних наслага – плеистоцена и холоцена (Слика 5.1 и 5.3).

У оквиру експлоатационог поља Кленовник, транспорт угља се обављао парном вучом по колосеку од 900 mm и вагонима 10, 16, 25 и 50 m³, где се највећи део угља допремао у ТЕ Костолац А, а мањи део се издвајао као комадни, за индустријску и широку потрошњу. Укупна количина откопаног угља, у периоду од 1973. до 2008. године, износила је 8.997.413 t.

На површинском копу Кленовник током рада од 1982. до 2009. године, у карактеристичној експлоатацији је била континуална и дисконтинуална откопно-транспортно-одлагалишна опрема дата у Табели 5.1.⁷²

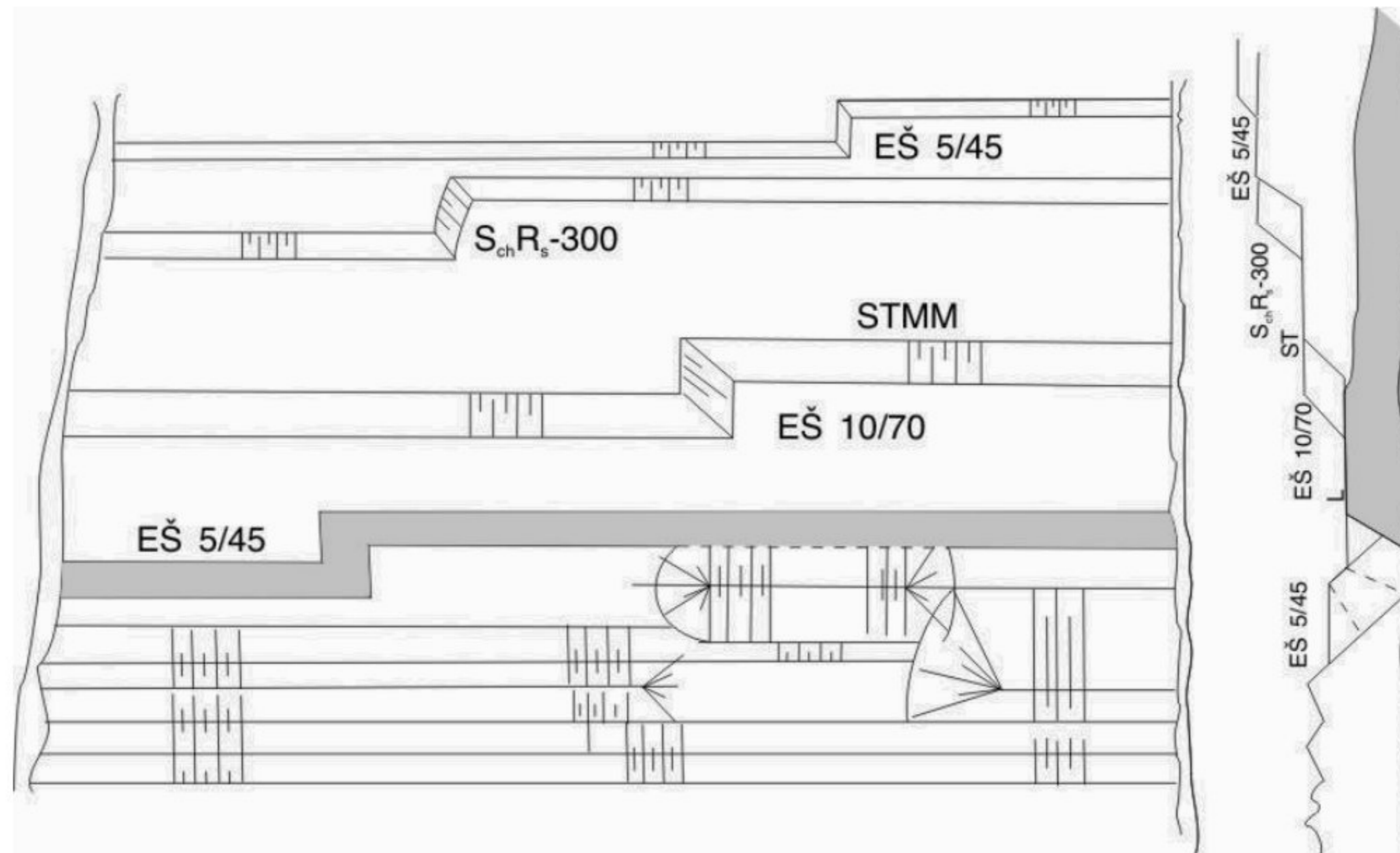
Табела 5.1. Откопно-транспортно-одлагалишна опрема на површинском копу Кленовник

Година	Капацитет на јаловини	Опрема на јаловини	Капацитет на угљу	Опрема на угљу
1982 – 1990	3.500.000	SchRs 300 SRs 250 SRs 470 ЕЅ 5/45, 3 ком ЕЅ 10/10 Траке В 1400 Одлагач Ars 3000	650.000	ЕЅ 5/45 Парне локомотиве вагони 25 m ³
1990 – 2004	2.000.000	SchRs 300 ЕЅ 5/45 – 3 ком ЕЅ 10/10 – 2 ком Траке В 1200 Одлагач BRs 2400	450.000	ЕЅ 5/45 Парне локомотиве вагони 25 m ³
2004 – 2009	1.000.000	ЕЅ 5/45 – 1 ком ЕЅ 10/10 – 2 ком Директно пребацивање	200.000	ЕЅ 5/45 Парне локомотиве вагони 25 m ³

Технологија експлоатације: Принципијелна технолошка шема рада приказана је на Слици 5.2. „На откривци“ су две етаже. На вишој етажи откопава багер SchRs 300. Надвишења изнад његове откопне висине откопава багер ЕЅ 5/45 и откривку пребацује поред косине етаже, коју багер SchRs 300 при повратку купи. Багер SchRs 300 откривку додаје самоходном транспортеру који је пребацује поред косине етаже багера ЕЅ 10/70, који је затим пребацује у унутрашње одлагалиште. На нижој етажи

⁷² Исто; Исто, стр. 151.

ради багер ЕЅ 10/70. Висински откопава око 12 м, а дубински 7–8 м. Укупна висина етаже је око 20 м. Откривку са етаже и пребачену откривку са више етаже пребацује ЕЅ 10/70 у откопани простор. На унутрашњем одлагалишту ради багер ЕЅ 5/45, багер део откривке пребацује ради ослобађања ножице угљене етаже и формира етажу висине око 10 м.



Слика 5.2. Основна технолошка шема рада на површинском копу Кленовник⁷³

На откопавању угља ради ЕЅ 5/45 у дубинском раду под веома тешким условима, изнад старих јамских и делимично зарушених радова. У првој и другој смени ради на утовару угља у вагоне, а у трећој смени на чишћењу угља од јаловине која се зарушила у старим јамским радовима.⁷⁴

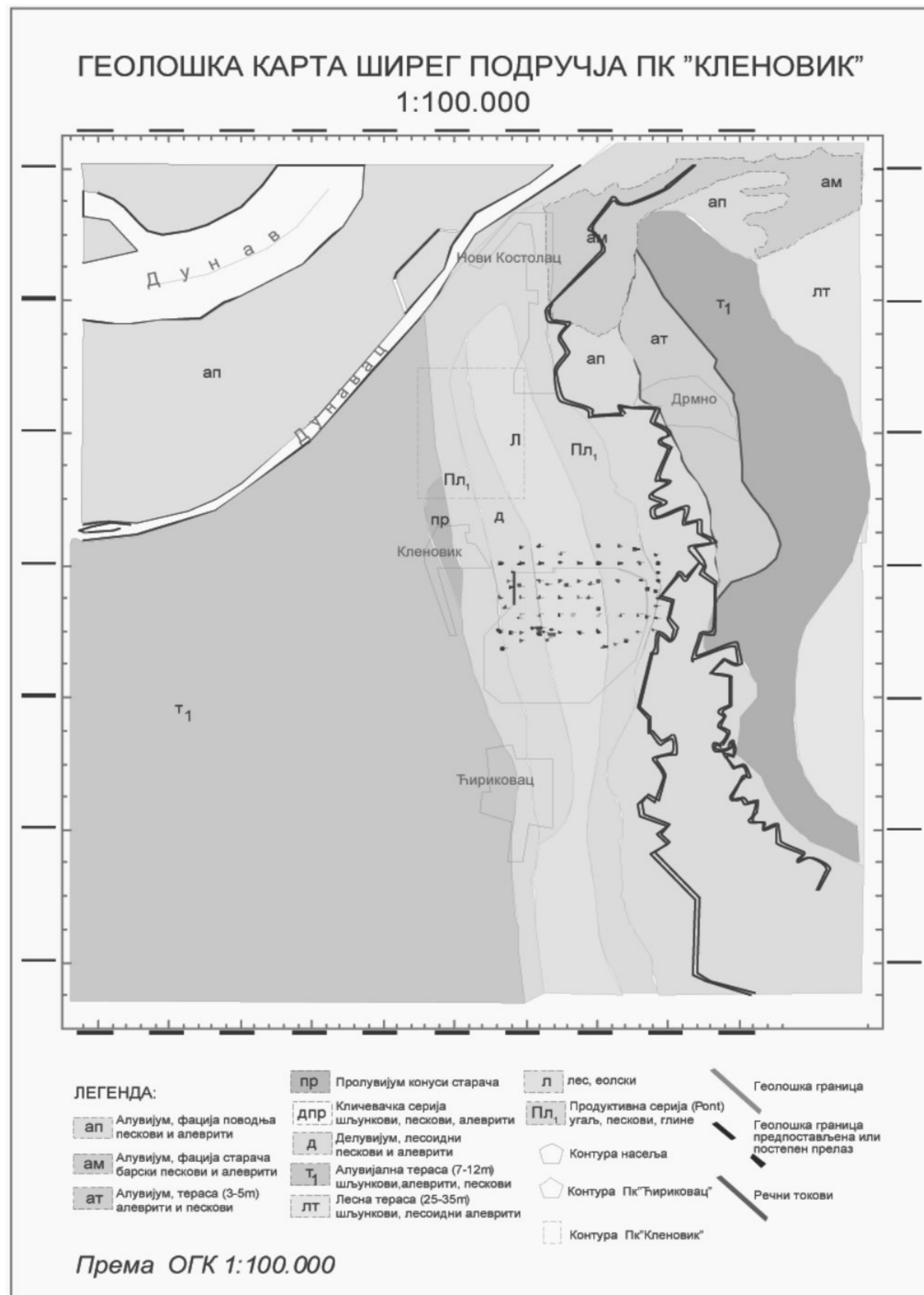
Досадашња рударска делатност знатно је утицала на изглед терена у пределу лежишта Кленовник. Услед јамске експлоатације дошло је до слегања површине терена изнад откопаних делова лежишта, али се то сада мање примећује. Знатно је видљивији утицај површинске експлоатације. Откопана контура површинског копа Кленовник представља техногену депресију. Одлагалишта откривке на терену се манифестују као техногена узвишења. Све то битно мења морфологију терена и амбијент у визуелном смислу.

Спољашње одлагалиште површинског копа Кленовник налази се у непосредној близини града Костолца и села Стари Костолац, на око 500 м северно од границе површинског копа Кленовник. Геометријска фигура одлагалишта условљена је примењеном технологијом одлагања откривке. У случају предметног одлагалишта примењен је континуални систем рада, тј. транспорт транспортерима са гуменом траком и одлагање одлагачем у дубинском раду,

⁷³ Vujić S. i dr., *Selectivno otkopavanje i odlaganje otkrivke u funkciji rekultivacije površinskih kopova uglja. Selective Mining and Dumping of Overburden as Mean for Land Reclamation at Coal Open Pit Mines*, prir. S. Vujić, Beograd: Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta – Elektroprivreda Srbije – Akademija inženjerskih nauka Srbije, 2006, str. 36; Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 151.

⁶² Исто.

који за последицу дају специфичну геометријску фигуру одлагалишта. Одлагалишни транспортер померан је радијално у смеру ка истоку и сукцесивно продужаван у правцу севера. Значај рекултивисаног простора посебно се огледа са аспекта близине насеља, асфалтних путева, као и то да се налази на само педесетак метара изнад града Костолца.

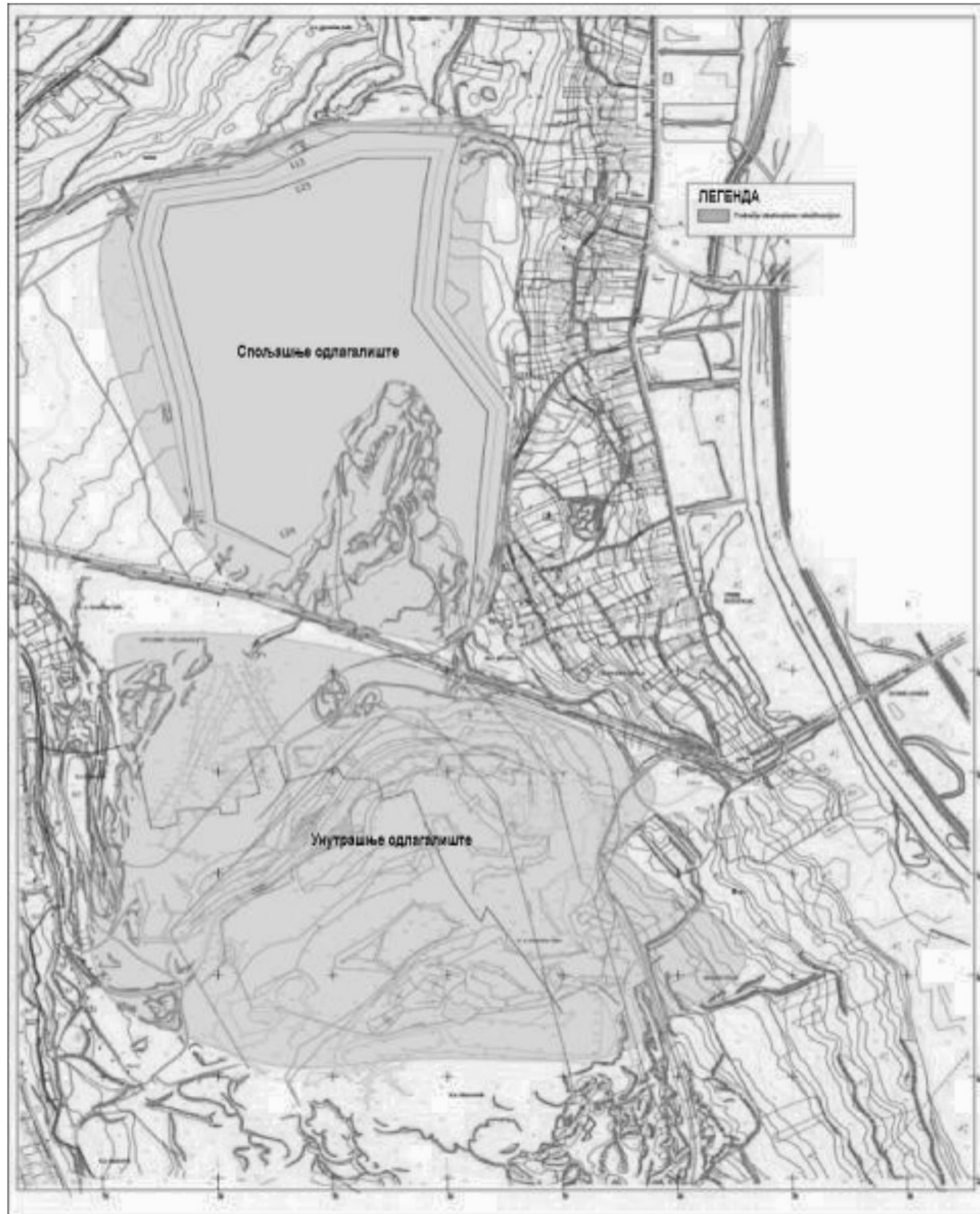


Слика 5.3. Прегледна геолошка карта ширег басена угља Костолац са лежиштима Кленовик, Ђуриковац и Дрмно⁷⁵

⁷⁵ Димитријевић Б., Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 152.

Анализом и концепцијским решењем рекултивације и просторног уређење експлоатационог поља површинског копа Кленовник, обухваћена је површина од 1,815,250 m² (П_{унутраш. одлаг.} = 1.030.000 m² + П_{спољаш. одлаг.} = 785.250 m²).

Техничком рекултивацијом, односно нивелационим радовима на простору унутрашњег одлагалишта обухваћена је површина од 324.000 m². На простору спољашњег одлагалишта нивелационим радовима и рекултивацијом захваћена је површина од 593.250 m². Спонтаном процесу природне сукцесије препуштена је површина од 192.000 m². На Слици 5.4 приказано је постојеће стање експлоатационог поља површинског копа Кленовник, са маркираним површинама унутрашњег и спољашњег одлагалишта.⁷⁶



Слика 5.4. Постојеће стање експлоатационог поља површинског копа Кленовник⁷⁷

⁷⁶ Исто, Вујић С., Димитријевић Б., Николић Ј., Милошевић Д., Макар Н., Марјанац С., *Избор рекултивационог решења површинског копа Кленовник вишеатрибутном анализом: Моделски приступ код избора*, XL SYM-OP-IS 2013, Златибор, 8–12. септембра 2013.

⁷⁷ Павловић В. и сарадници (... Димитријевић Б.), *Студија и идејни пројекат затварања површинског копа Кленовник*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду,

5.1.2. Модел реалног проблема

Увидом у Студију и Идејни пројекат затварања површинског копа Кленовник, који је урадио Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 2013. године, узете су алтернативе пројектованих рекултивационих техничких решења за валидацију овог модела. Она су подразумевале површине рекултивационих варијанти, јединична инвестициона улагања и могући максимални процентуални удео за оне случајеве који су идентични са атрибутима као у Табели 5.2 и Табели 5.3, као и улазном матрицом датом кроз Табелу 5.4. Остали подаци су претпостављени на основу аналогних случајева површинских копова угља у фази затварања.

Табела 5.2. Површински коп Кленовник (описне вредности) решења⁷⁸

Ред. број	Варијанте или алтернативе	К р и т е р и ј у м и										
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
		Оцена	min	max	min	min	max	max	min	min	min	max
	Преференција	0,7	0,6	0,6	0,8	0,5	0,9	0,3	0,3	0,6	0,1	0,85
1.	A ₁ – Шумарство	10000	ВД	ДР	М	ВД	З	СЛ	З	ВД	90	ВЗ
2.	A ₂ – Пољопривреда (ратарство и повртарство)	15000	К	КР	С	ВД	ВЗ	СЛ	З	ВД	75	ВЗ
3.	A ₃ – Пољопривреда (воћарство и виноградарство)	17000	С	СР	С	ВД	ВЗ	СЛ	З	ВД	85	ВЗ
4.	A ₄ – Пољопривреда (у комбинацији са A ₁ –A ₃ , A ₆ –A ₈)	25000	Д	КР	В	ДО	З	СЛ	З	ВД	97	ВЗ
5.	A ₅ – Шумарство и пољопривреда	14000	С	СР	В	ДО	З	СЛ	З	СД	87	ВЗ
6.	A ₆ – Акваторијални комплекс (водене површине за спорт и рекреацију) + рибарство у комбинацији A ₁ –A ₅ , A ₇	27000	К	ДР	М	СД	З	МС	МЗ	ВД	85	З
7.	A ₇ – Спортско рекреативни комплекс и у комбинацији A ₁ –A ₆	32000	С	ДР	В	ВД	ВЗ	СЛ	З	ВД	94	З
8.	A ₈ – Парковско и хортикултурно уређење (пејзажна архитектура) у комбинацији са A ₆ , A ₇	25000	К	ДР	В	ДО	ВЗ	СЛ	З	ВД	100	ВЗ
9.	A ₁₂ – Музејски и културно-историјски простор у комбинацији са A ₁ , A ₆ , A ₈	37000	К	ДР	В	ДО	ВЗ	ВС	З	ВД	100	ВЗ
10.	A ₂₀ – Препуштање спонтаној сукцесији и ауторекултивацији	2000	К	СР	М	СД	МЗ	МС	МЗ	К	100	МЗ

Напомена: Вредности за K₁ дате су у (€/ha), а за K₁₀ у процентима

Рекултивациони модел добија на својој аутентичности кроз наведене Табеле 5.2, 5.3 и 5.4, које представљају комбинацију алтернатива кроз редове и критеријуме кроз колоне чинећи у математичком смислу матричну структуру.

2013, Табела 5.1; Слике 1.2–1.12, 1.18. а, б и 1.19 а, б, 1.23–1.26, 5.3; Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 153.

⁷⁸ Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 155.

Наиме, прво је формирана Табела 5.2 са описним вредностима за све варијанте изузев критеријума K1 и K10 у којима су вредности изражене нумерички по претходно објашњеним могућностима. Вредности критеријума K1 дате су нумерички у новчаним јединицама еврима по јединичној површини рекултивисаног простора у хектарима, док су вредности критеријума K10 изражене такође нумерички у процентима. За све критеријуме задате су вредности преференције у опсегу од 0 до 1 и оне нису мењане кроз све примере полигоних модела анализираних површинских копова. Након тога, формирана је Табела 5.3, са свим нумеричким вредностима добијених конверзијом описних у нумеричке вредности критеријумских оцена са редуцијом коефицијента за $1 \cdot 10^3$.

Табела 5.3. Површински коп Кленовник (нумеричке вредности) решења (Димитријевић Б., д. д.)

ред. број	Варијанте или алтернативе	К р и т е р и ј у м и										
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
		Оцена	min	max	min	min	max	max	min	min	min	max
	Преференција	0.7	0.6	0.6	0.8	0.5	0.9	0.3	0.3	0.6	0.1	0.85
1.	A ₁ – Шумарство	10	7	14	2	9	6	4	4	8	90	8.5
2.	A ₂ – Пољопривреда (ратарство и повртарство)	15	4	8.5	4	9	8.5	6	6	8	75	10
3.	A ₃ – Пољопривреда (воћарство и виноградарство)	17	5	12	5.5	9	8.5	7	5	8	85	10
4.	A ₄ – Пољопривреда (у комбинацији са A ₁ -A ₃ , A ₆ -A ₈)	25	4	11	8	9	6	8.5	7	8	97	8
5.	A ₅ – Шумарство и пољопривреда	14	7	12	3	10	9	7.5	5.5	8	87	9
6.	A ₆ – Акваторијални комплекс (водене површине за спорт и рекреацију) + рибарство у комбинацији A ₁ -A ₅ , A ₇	27	7	14	7	8	4	9	6.5	15	85	5
7.	A ₇ – Спортско рекреативни комплекс и у комбинацији A ₁ -A ₆	32	4	12	8	9.5	9.5	10	7	15	94	7
8.	A ₈ – Парковско и хортикултурно уређење (пејзажна архитектура) у комбинацији са A ₆ , A ₇	25	4	12	8.5	9	8.5	9.5	6	12	100	8
9.	A ₁₂ – Музејски и културно-историјски простор у комбинацији са A ₁ , A ₆ , A ₈	37	4	12	8.5	9	10	10	8	12	100	9
10.	A ₂₀ – Препуштање спонтаној сукцесији и ауторекултивацији	2	1.5	20	0.01	2	2	0.5	0.5	1.5	100	0.5

Напомена: Вредности за K₁ редуковане су за 10^3

5.1.3. Приказ и анализа решења

Приказ решења модела рекултивационих процеса на примеру полигона површинског копа Кленовник поставља се формирањем квантификационе иницијалне матрице одлучивања представљеног у Табели 5.4. Унос података из претходне Табеле 5.3 као подлоге чини први корак у вушекритеријумској анализи по методи *PROMETHEE* са преференцијалима у последњем реду који не сачињава овако штампану матричну структуру улазних података, већ се кроз корак 2 у низу табеларних форми врши одређивање преференције k_1 – тип 1 (max). У овој Монографији као и у дисертацији је дата само прва квантификована иницијална матрица у виду табеларне форме кроз корак 1 (види табелу 5.4) и Табела 5.5, док све остале сачињавају део прилога исте.

Прелиминарном анализом установљено је да су за услове површинског копа Кленовник могућа следећа рекултивациона решења: a_1 – A_1 : шумарство, a_2 – A_2 : пољопривреда (ратарство и повртарство), a_3 – A_3 : пољопривреда (воћарство и виноградарство), a_4 – A_4 : пољопривреда (у комбинацији са a_1 – A_3 , a_6 – A_8), a_5 – A_5 : шумарство и пољопривреда (у комбинацији са A_2 , A_3 , A_4), a_6 – A_6 : акваторијални комплекс (водене површине за спорт и рекреацију) + рибарство у комбинацији A_1 – A_5 , A_7 , a_7 – A_7 : спортско рекреативни комплекс и у комбинацији A_1 – A_6 , a_8 – A_8 : парковско и хортикултурно уређење (пејзажна архитектура) у комбинацији са A_6 , A_7 , a_9 – A_{12} : музејски и културно-историјски простор у комбинацији са A_1 , A_6 , A_8 , a_{10} – A_{20} : препуштање спонтаној сукцесији и ауторекултивацији

Табела 5.4. Квантификована иницијална матрица одлучивања (O): (КОРАК 1) за површински коп Кленовник, решења (Димитријевић Б., докторска дисертација, стр. 156)

Алтернативе	Критеријуми										
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
a_1	10	7	14	2	9	6	4	4	8	90	8.5
a_2	15	4	8.5	4	9	8.5	6	6	8	75	10
a_3	17	5	12	5.5	9	8.5	7	5	8	85	10
a_4	25	4	11	8	9	6	8.5	7	8	97	8
a_5	14	7	12	3	10	9	7.5	5.5	8	87	9
a_6	27	7	14	7	8	4	9	6.5	15	85	5
a_7	32	4	12	8	9.5	9.5	10	7	15	94	7
a_8	25	4	12	8.5	9	8.5	9.5	6	12	100	8
a_9	37	4	12	8.5	9	10	10	8	12	100	9
a_{10}	2	1.5	20	0.01	2	2	0.5	0.5	1.5	100	0.5
Типкритериј.	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Тежина	0.7	0.6	0.6	0.8	0.5	0.9	0.3	0.3	0.6	0.1	0.85
Екстрем	min	max	min	min	max	max	min	min	min	max	max

Оцењено је да десет критеријума покрива еколошке, техничко-технолошке, економске, пејзажне, локалне социјалне и друге аспекте вредновања важне за

избор решење рекултивације: K_1 – висина инвестиционих улагања по јединици површине, K_2 – инвестициони период, тј. време инвестирања, K_3 – време повраћаја уложених средстава, K_4 – годишњи трошкови континуираног одржавања по јединици површине, K_5 – уклопљивост рекултивационог решења у амбијенталну целину, K_6 – локалне потребе (интерес локалне заједнице), K_7 – технолошка сложеност извођења рекултивационих радова, K_8 – организациона захтевност (сложеност) извођења радова, K_9 – време пострекултивационог континуираног одржавања, K_{10} – процентуални удео рекултивационе форме (варијанте) у укупном рекултивационом захвату.

На основу вишекритеријумске анализе Методом *PROMETHEE* добијена је Табела 5.5, која даје вредности индекса преференција појединих пројектних рекултивационих решења као могућих алтернативних варијанти уређења пострекултивационих предела бившег површинског копа Кленовник Костолачког угљеног басена. Рангирањем је добијено оптимално решење као најбоље за дате пределе и оно представља алтернативу рангирану под бројем 1. a_5 , којом се предлаже враћање деградираних површина експлоатационог поља Кленовник шумарским и пољопривредним засадама комбиновано воденим површинама, парковским, спортско рекреативним и сличним садржајима. У даљем поретку следе: 2. $a_2(A_2)$ – пољопривреда (ратарство и повртарство); 3. $a_3(A_3)$ – пољопривреда (воћарство); 4. $a_1(A_1)$ – пошумљавање; 5. $a_4(A_7)$ – спортско-рекреативни комплекс; 6. $a_{10}(A_{20})$ – препуштање спонтаној сукцесији и ауторекултивацији; 7. $a_9(A_{12})$ музејски и културно-историјски простор у комбинацији са A_1, A_6, A_8 ; 8. $a_7(A_7)$ – спортско рекреативни комплекс и у комбинацији $a_1(A_6)$; 9. $a_8(A_8)$ – парковско и хортикултурно уређење (пејзажна архитектура) у комбинацији са $a_6(A_7)$; и на крају, 10. $a_6(A_6)$ – акваторијални комплекс (водене површине за спорт и рекреацију) и рибарство у комбинацији $a_1(A_5)$.

Табела 5.5. Одређивање индекса преференција (IP) и ранг алтернативних решења: (КОРАК 3) за површински коп Кленовник, решења (Димитријевић Б., д. д, стр. 158)

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	T^+	T	Rang
a_1	0.0000	0.4085	0.4085	0.5282	0.3239	0.8310	0.6408	0.6408	0.5070	0.5634	0.5391	0.2387	4
a_2	0.3592	0.0000	0.3521	0.6690	0.2606	0.9014	0.6408	0.5986	0.6408	0.5634	0.5540	0.3130	2
a_3	0.3592	0.1408	0.0000	0.6690	0.2183	0.9014	0.6408	0.6408	0.6408	0.5634	0.5305	0.2629	3
a_4	0.0986	0.0141	0.0986	0.0000	0.0986	0.7606	0.5000	0.3521	0.5070	0.5634	0.3326	-0.1205	5
a_5	0.4789	0.6268	0.5845	0.7887	0.0000	0.9155	0.7606	0.9014	0.6268	0.5634	0.6941	0.5094	1
a_6	0.0000	0.0986	0.0845	0.2394	0.0000	0.0000	0.3944	0.2394	0.3944	0.5634	0.2238	-0.5102	10
a_7	0.3592	0.2746	0.2746	0.2606	0.1549	0.4930	0.0000	0.3732	0.3873	0.5634	0.3490	-0.1925	8
a_8	0.2394	0.0141	0.0141	0.1972	0.0141	0.7606	0.4577	0.0000	0.1972	0.5634	0.2731	-0.2207	9
a_9	0.3732	0.1549	0.1549	0.2887	0.1549	0.6056	0.4014	0.2746	0.0000	0.5634	0.3302	-0.1502	7
a_{10}	0.4366	0.4366	0.4366	0.4366	0.4366	0.4366	0.4366	0.4225	0.4225	0.0000	0.4335	-0.1299	6
T	0.3005	0.2410	0.2676	0.4531	0.1847	0.7340	0.5415	0.4937	0.4804	0.5634			

Пољопривредне рекултивационе форме у виду ратарско-повртарских и воћарско-виноградских засада у комбинацији са шумским засадама и

воденим површинама, чији је однос цена, површина и друго значајно добар односно оптимално висок у корелацији са другим алтернативама, у сваком случају за један пољопривредан крај каква је Стишка равница и Подунавље, ови резултати се уклапају у постојећи екосистем и представљају правилан избор у погледу биодиверзитетског и пејзажног наслеђа.⁷⁹

5.2. Површински коп Тамнава – Западно Поље

5.2.1. Приказ реалног проблема

Површински коп Тамнава – Западно Поље грађен је за потребе снабдевања угљем ТЕ-ТО Колубара Б. Како је у међувремену изградња ове термоелектране прекинута, а наставак неизвештан, са једне стране, док са друге, скорашњи престанак рада површинског копа Тамнава – Источно Поље, условили су да се заврши изградња I фазе (6×10^6 t угља годишње) површинског копа. Експлоатационо поље је у атарима села Каленић, Мали Борак, Скобаљ и Јабучје, обухвата површину од око 45 km^2 (дужине у правцу север–југ 15 km и ширине у правцу исток–запад 3 km).



Слика 5.5. Прегледна карта површинског копа Тамнава – Западно Поље⁸⁰

⁷⁹ Dimitrijevic, B., Vujić, S., Matic, I., Marijanac, S., Nikolic, J., Colakovic, V.: МНОГОАТРИБУТНАЯ МОДАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИ ВЫБОРЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ УГОЛЬНОГО КАРЬЕРА «КЛЕНОВНИК» В УГОЛЬНОМ БАСЕЙНЕ КОСТОЛАЦ, Физико – техничке проблеме развојке пољезних ископаемих, *Институт горног дела Сибирског одељенија Росијској Академији Наук*, Новосибирск, Росија, 2013, вол 2, номер: 136–143, е: адреса: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21949121>; Bojan Dimitrijević, Slobodan Vujić, Ivan Matic, Simeon Marijanac, Željko Praštalo, Jovica Nikolic, Violeta Colakovic, MULTIATTRIBUTE MODEL SUPPORT IN SELECTING THE LAND RECLAMATION AT THE OPEN PIT MINE «KLENOVNIK» OF THE COAL BASIN «KOSTOLAC», *Journal of Mining Science*, Springer, Springer International Publishing AG, Germany/USA, 2014, Vol-50, pages: 319–325, e-adresa: <http://link.springer.com/article/10.1134/S106273911402015X>; Вујић С., Димитријевић Б., Николић Ј., Милошевић Д., Макар Н., Марјанац С., *Избор рекултационог решења површинског копа Кленовник вишеатрибутног анализом: Моделски приступ код избора*, XL SYM-OP-IS 2013, Златибор, 8–12. септембра 2013.

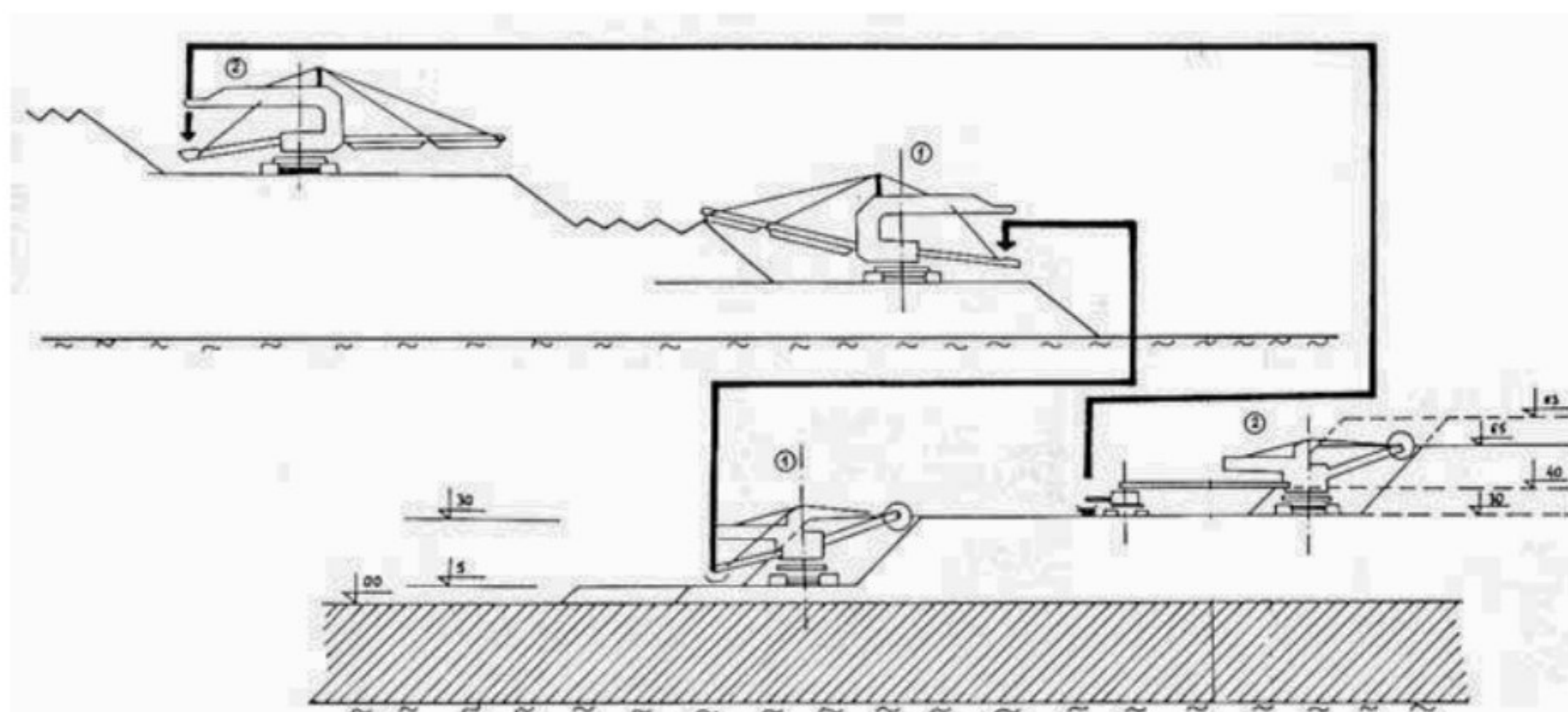
⁸⁰ Vujić S. i dr., *Selectivno otkopavanje i odlaganje otkrivke u funkciji rekultivacije površinskih kopova uglja. Selective Mining and Dumping of Overburden as Mean for Land Reclamation at Coal Open Pit Mines*, priredio S. Vujić, Beograd: Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta – Elektroprivreda Srbije – Akademija inženjerskih nauka Srbije, 2006, str. 22–23; Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 159.

Геолошка и хидрогеолошка обележја: Терен је благо брежуљкаст, испресећан низом јаруга и долином реке Кладнице. Генерални пад терена је од запада према истоку. Брежуљкасти део терена је у геоморфолошком смислу језерска тераса. Подину продуктивне серије представљају горње понтски седименти: пескови, дебљине 100–150 m.

Угљена серија је хетерогеног састава, поред слојева угља, граде је слојеви и прослојци угљевитих и сивозелених глина и пескова различитих дебљина и простирања. Први угљени слој (горњи) који захвата цело експлоатационо поље, карактерише већа раслојеност у односу на други угљени слој, посебно у јужном и југозападном делу лежишта. У делу поља где јалови прослојци не заузимају више од 20% укупне дебљине слоја, дебљина првог угљеног слоја је 10–20 m, са повећањем јалових прослојака дебљина слоја се повећава до 60 m. Први угљени слој раздвојен је од другог угљеног слоја међуслојним песком. Дебљина пескова је 2–20 m.

Други угљени слој лежи непосредно испод међуслојних пескова, дебљине је 2–10 m, у јужном делу поља где се раслојава, дебљина са јаловим прослојцима је до 20 m. Кровину угљене серије чине горњопонтски седименти (алеврити, глиновити пескови и средњезрни до ситнозрни пескови), квартарни седименти са језерским терасним наслагама и алувијалним наслагама река Кладнице и Враничине. У оквиру литолошких чланова лежишта, постоје хидрогеолошки колектори и у њима формиране издани слободних подземних вода: алувијална, терасна, повлатна, међуслојна и подинска.

Технологија експлоатације: Површински коп Тамнава - Западно Поље је отворен у северном делу дуж профилске линије 170, са два усека отварања, северним дужине 1.460 m паралелним са профилском линијом 170 и североисточни, дужине 1.998 m. Други усек омогућио је директну везу угљеног и јаловинског фронта са сабирним транспортерима за угаљ из површинског копа Тамнава - Источно Поље, а преко ових са дробиличним постројењем и са спољним одлагалиштем (унутрашње одлагалиште копа Тамнава - Источно Поље) за време отварања копа. Откопане масе откривке из усека одложене су у зони северне и североисточне границе копа на спољном одлагалишту. Усек је изведен багером дреглајном ЕШ 10/70. Укупно је одложено око 1.838 чm^3 .



Слика 5.6. Принципијелна технолошка шема откопавања и одлагања откривке на површинском копу Тамнава – Западно Поље⁸¹

⁸¹ Исто: стр. 22–23; Исто: стр. 160.

Спољно одлагалиште површинског копа Тамнава – Западно Поље налази се у саставу унутрашњег одлагалишта копа Тамнава – Источно Поље. Маса јаловине које се депонују на овом одлагалишту одлажу се на две етаже (дубинска и висинска) преко раније одложених маса. Фронтови етажа копа напредују према југу. Етаже се пружају по правцу исток–запад, почетне дужине око 1.000 m, коначне дужине 3.000 m. На откривци се развијају две основне етаже (са подетажама) на којима масу откопавају роторни багери. На првој етажи ради роторни багер SRs 2000. Откривка I БТО система се транспортује транспортерима класе 1.600 mm до унутрашњег одлагалишта Источног поља, на коме откривку одлаже одлагач A₂RsB 8500x60. Откривку до повлате угљеног слоја откопава роторни багер SchRs 630. Откривка се транспортује транспортерима са тракама класе 1.600 mm, а одлагање обавља самоходни транспортер BRs 1600 на унутрашњем одлагалишту.⁸²

Од 2007. године откопавање откривке врши се са два система.

- I БТО систем чине: Роторни багер SRs 2000 32/5 + VR, транспортери са траком B = 2000 mm (4 ком.), и одлагач A₂Rs-B 8500x60.
- II БТО систем чини: Роторни багер SchRs 630 25/6 и самоходни транспортер BRs 1400 (37+50)x16, транспортери са траком B = 1600 mm (4 ком.), и одлагач ARs (BRs) 1600 (28+50)x17.

По Главном рударском пројекту, напредовање фронта радова на откривци је требало да буде паралелно, по правцу запад–исток, ка југу. Међутим, због проблема са решавањем експропријације и неблаговремене изградње објеката заштите копа од површинских вода, напредовање фронта радова, током протеклих година, било је интензивно на западној граници копа док је на источној знатно у заостатку. Због тога се напредовање фронта радова одвија радијално.

Откопавање угља врши се, такође, са два система:

- I БТД систем чине: Роторни багер SchRs 630 25/6 и самоходни транспортер BRs 1600 (17.5+32.5)x15, који раде поред транспортера са гуменом траком B = 1600 mm (2 ком.) и
- II БТД систем чине: Ведричар ERs 1000/20, који ради поред транспортера са гуменом траком B = 1600 mm (2 ком.).

Утовар угља, са етажних транспортера I и II БТД система, врши се на сабирни транспортер B = 2000 mm који транспортује угаљ, преко стационарних транспортера са гуменом траком B = 2000 mm (2 ком.) до дробилане.

Утовар међуслојне јаловине, из угља, се преко, расподелних уређаја (2 ком.), врши у транспортер са траком за међуслојну јаловину, који је постављен паралелно са сабирним транспортером за угаљ, и који је транспортује на унутрашње одлагалиште. На транспорту међуслојне јаловине, на унутрашње одлагалиште, ангажовани су транспортери са траком B = 2000 mm (2 ком.).

⁸² Vujić S. i dr., *Selektivno otkopavanje i odlaganje otkrivke u funkciji rekultivacije površinskih kopova uglja. Selective Mining and Dumping of Overburden as Mean for Land Reclamation at Coal Open Pit Mines*, прир. S. Vujić, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета – Електропривреда Србије – Академија инжењерских наука Србије, 2006, стр. 23–27, Сликe 2.9, 2.10 и Табела 2.8.

Одлагање међуслојне јаловине врши се одлагачем ARs (BRs) 1600 (28+50)x17.

На простору унутрашњег одлагалишта површинског копа Тамнава – Западно Поље предвиђено је одлагање пепела, шљаке и карбонатног муља, као и гипса, који се јављају као нуспроизвод приликом рада Термоелектране Колубара Б. Према *Стратегији развоја енергетике Републике Србије до 2015. године* предвиђена је градња Термоелектране Колубара Б снаге 2x350 MW. Сагоревањем угља, као нуспроизвод, издвајаће се око 200 t/h пепела, шљаке и карбонатног муља, као и гипса око 16 t/h. Радови на формирању завршне етаже на површинском копу, а самим тим и касета, извођени су у сагласности са уредном техничком документацијом. Формирана је касета за одлагање гипса и у завршној фази је формирање прве касете за одлагање пепела, шљаке и карбонатног муља. Предвиђена је изградња укупно пет касета, свака запремине сса $8 \times 10^6 \text{ m}^3$. Касете се формирају остављањем простора у висинском блоку, приликом рада одлагача на одлагању маса, а коначан облик касете (нагиб и висина) биће формиран радом багером дреглајном ЕШ 6/45 и грађевинском механизацијом.

У последњих година појављују се проблеми који су имали за последицу одступање од првобитног правца развоја копа, односно правца напредовања фронта рударских радова на откопавању јаловине и угља, као и на развоју унутрашњег одлагалишта. Ти проблеми су директно условили немогућност одлагања јаловине у целом фронту одлагања по правцу запад–исток. Одлагање јаловине само на западној страни копа је, у одређеном тренутку, довело до проблема недостатка смештајног простора, па се дошло у ситуацију да су се одлагалишни блокови I и II БТО система превише приближили. Током 2010. године због недостатка смештајног простора, било је неопходно са међуслојном јаловином изаћи на спољашње одлагалиште.

Један од начина за превазилажење новонастале ситуације је издизање завршне етаже на унутрашњем одлагалишту, за један ниво од 15 m. Ово подразумева да би постојећа касета за гипс и пепео, шљаку и карбонатни муљ била закипана, а у висинском блоку завршне етаже, на истом простору, биле би формиране нове касете. Простор за касете формираће се радом одлагача I БТО система на одлагању маса на завршној етажи унутрашњег одлагалишта.

Табела 5.6. Преглед опреме површинског копа Тамнава – Западно Поље⁸³

Редни број	Машина	Q_t (m ³ rm/h)	Q_{teh} (чм ³ /h)	Q_{god} (чм ³ /god)
1.	SRs 2000	6,000	3,000	12,000,000
2.	SchRs 630	4,100	2,000	8,000,000
3.	SchRs 630	4,100	2,000	8,000,000
4.	A ₂ RsB 8500*60	8,500	4,000	/
5.	BRs 1600	4,800	2,000	8,000,000
6.	SchRs 1600 25/3	6,600	3,500	14,000,000
7.	BRs 2000	8,800	8,000	/
8.	A ₂ RsB 12000	12,000	11,000	/

⁸³ Павловић В. и сарадници, *Актуелизовани инвестициони програм изградње површинског копа Тамнава – Западно поље*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 2007, Табела 4.3.

Угаљ се откопава багером SRs 630, и транспортује до везног транспортера површинског копа Тамнава – Источно Поље, а овим до дробиличног постројења. Јаловину из угљеног слоја откопава багер SchRs 630 (откопава и угаљ) и помоћу самоходног транспортера пребацује у откопани простор. У Табели 5.6 дат је преглед опреме са капацитетима.⁸⁴ Роторни багер SchRs 1600 25/3, одлагач A₂Rs-B 8500*60 и транспортери са траком BRs 2000 раде на II БТО систему од средине 2009. године, од када су укључене и расподелне станице намењене за рад на угљу. У Актуелизованом инвестиционом програму изградње површинског копа Тамнава – Западно Поље (2007. година) предвиђена је набавка још једног роторног багера SchRs 630 25/6 (за откопавање угља) и одлагача за међуслојну јаловину A₂Rs-B 12000.⁸⁵

5.2.2. Модел реалног проблема

На примеру површинског копа Тамнава – Западно Поље за разлику од копа Кленовник увршћен је још критеријум K₁₂, корелациони однос просторне и временске динамике рекултивационих радова, који може бити категорисан алтернативно и пожељно описном квантификацијом, с обзиром на то да је применљив за копове који су у раду односно на којима се врши активна експлоатација.

Табела 5.7. Површински коп Тамнава – Западно Поље (описне вредности) решења⁸⁶

Ред. број	Варијанте или алтернативе	К р и т е р и ј у м и											
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂
	Оцена	min	max	min	min	max	max	min	min	min	max	max	max
	Преференција	0.7	0.6	0.6	0.8	0.5	0.9	0.3	0.3	0.6	0.1	0.85	0.25
1.	A ₁ – Шумарство	1500	ВД	ДР	М	ВД	З	СЛ	З	ВД	25%	ВЗ	Д
2.	A ₂ – Пољопривреда (ратарство и повртар.)	11000	К	КР	С	ВД	ВЗ	СЛ	З	ВД	40%	ВЗ	СД
3.	A ₅ – Шумарство и пољопривреда (комбинације A ₁ /A ₂ .)	12500	Д	СР	С	ВД	З	СЛ	З	ВД	15%	ВЗ	СД
4.	A ₆ – Акваторијални комплекс (водене површине) + рибарство A ₆ /A ₁ -A ₅ , A ₇	2500	К	ДР	М	ДО	З	МС	МЗ	ВД	10%	З	МД
5.	A ₇ – Спортско рекреативни комплекс и у комбинацији A ₇ /A ₁ -A ₆	15000	С	ДР	В	ДО	ВЗ	СЛ	З	ВД	15%	З	МД
6.	A ₁₀ – Зона за индустријску градњу	30000	К	ДР	В	ДО	ВЗ	СЛ	МЗ	К	5%	ВЗ	Д
7.	A ₁₁ – Пољопривредна насеља и реституција за сеоска насеља + A ₁₁ /A ₁ -A ₆	25000	ВД	СР	В	ВД	ВЗ	СЛ	З	ВД	20%	ВЗ	МД
8.	A ₁₆ – Привремена одлагалишта (пепела, шљаке, јаловине и др.) + A ₁₆ /A ₁ , A ₁₀	10000	К	КР	М	ДО	З	МС	МЗ	К	3%	З	ВД
9.	A ₁₈ – Сточарско- фармерски комплекс + A ₁₈ / A ₅ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₁ , A ₁₃	20000	ВД	ДР	В	ВД	ВЗ	СЛ	З	ВД	10%	ВЗ	МД
10.	A ₁₉ – Проширење природних резервата (биодиверзитета) + A ₁₉ / A ₁ , A ₄ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₂ , A ₁₃ , A ₁₇ , A ₁₈ ,	1000	ВД	СР	С	ВД	З	СЛ	МЗ	СД	20%	З	СД
11.	A ₂₀ – Препуштање спонтаној сукцесији /ауторекултивацији	0.01	К	СР	М	СД	МЗ	МС	МЗ	К	5%	МЗ	Д

Напомена: Вредности за K₁ дате су у (€/ha), а за K₁₀ у процентима

⁸⁴ Исто.

⁸⁵ Vujić S. i dr., *Selectivno otkopavanje i odlaganje otkrivke u funkciji rekultivacije površinskih kopova uglja. Selective Mining and Dumping of Overburden as Mean for Land Reclamation at Coal Open Pit Mines*, prir. S. Vujić, Beograd: Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta – Elektroprivreda Srbije – Akademija inženjerskih nauka Srbije, 2006.

⁸⁶ Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 164.

Табела 5.8. Површински коп Тамнава – Западно Поље (нумеричке вредности) решења
(Димитријевић Б., докторска дисертација, стр. 165)

Ред. број	Варијанте или алтернативе	К р и т е р и ј у м и											
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂
		Оцена	min	max	min	min	max	max	min	min	min	max	max
Преференција	0,7	0,6	0,6	0,8	0,5	0,9	0,3	0,3	0,6	0,1	0,85	0,25	
1.	A ₁ – шумарство	1,5	9,0	2,0	2,0	9,0	6,0	4,0	4,0	8,0	80	8,5	6,5
2.	A ₂ – пољопривреда (ратарство и повр.)	11	1,5	8,5	6,0	9,0	8,5	6,0	6,0	8,0	75	8,75	4,0
3.	A ₅ – шумарство и пољопривреда (комбинације A ₁ /A ₂ ,)	12,5	6,0	5,0	4,0	9,0	7,25	5,0	5,0	8,0	90	8,75	5,25
4.	A ₆ – акваторијални комплекс (водене површине) + рибарство A ₆ /A ₁ -A ₅ , A ₇	2,5	1,5	2,0	2,0	6,5	4,0	2,0	2,0	8,0	10	5,25	2,0
5.	A ₇ – спортско рекреативни комплекс и у комбинацији A ₇ /A ₁ -A ₆	15	5,0	2,5	8,0	6,5	9,0	6,5	6,5	9,5	15	7,0	2,0
6.	A ₁₀ – зона за индустријску градњу	30	2,0	2,5	8,0	6,5	9,0	5,0	3,0	2,0	40	8,5	6,5
7.	A ₁₁ – пољопривредна насеља и реституција за сеоска насеља + A ₁₁ /A ₁ -A ₆	25	9,0	5,0	8,0	9,5	9,5	5,0	6,5	8,0	20	9,0	2,0
8.	A ₁₆ – привремена одлагалишта (пепела, шљаке, јаловине и др.) + A ₁₆ /A ₁ , A ₁₀	10	1,5	8,5	2,0	6,5	5,5	2,0	2,0	2,0	3	5,5	9,0
9.	A ₁₈ – сточарско-фармерски комплекс + A ₁₈ / A ₅ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₁ , A ₁₃	20	9,0	2,5	8,0	9,0	9,5	6,5	5,0	9,5	10	8,0	2,0
10.	A ₁₉ – проширење природних резервата (биодиверзитетa) + A ₁₉ / A ₁ , A ₄ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₂ , A ₁₃ , A ₁₇ , A ₁₈ ,	1	8,0	5,0	5,0	9,5	6,0	5,0	3,0	5,0	20	5,0	4,0
11.	A ₂₀ – препуштање спонтаној сукцесији и ауторекултивацији	0,01	1,5	5,25	2,0	4,0	2,0	2,0	2,0	2,0	30	1,75	6,5

Напомена: Вредности за K₁ редуковане су за 10³

Поред тога, овде су као варијантна решења у односу на пример Кленовника дати: A_{16} – привремена одлагалишта (пепела, шљаке, јаловине и др.), што се током експлоатацији по пројекту и остварује и A_7 – сточарско-фармерски комплекс као могуће решење у постексплоатационом периоду, као и A_{19} – проширење природних резервата (биодиверзитета), A_{11} – пољопривредна насеља и реституција за сеоска насеља, A_{10} – зона за индустријску градњу и A_{19} – проширење природних резервата (биодиверзитета).

5.2.3. Приказ и анализа решења

Приказ решења модела рекултивационих процеса на примеру полигона површинског копа Тамнава – Западно поље поставља се формирањем квантификационе матрице одлучивања представљеног у Табели 5.9 унос података из претходне Табеле 5.8 као подлоге чини први корак у вишекритеријумској анализи по Методи **PROMETHEE** са преференцијалима истим као у претходном случају за првих K_{11} критеријума + додати за критеријум K_{12} .

Наиме, у овом примеру матричну структуру чини 12 критеријума представљених у колонама и једанаест атрибута рекултивационих варијанти датих у редовима.

Табела 5.9. Квантификована иницијална матрица одлучивања (O): (КОРАК 1) за површински коп Тамнава – Западно Поље, решења (Димитријевић Б., докторска теза, стр. 166)

Алтернативе	Критеријуми											
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12
a_1	1.5	9	2	2	9	6	4	4	8	80	8.5	6.5
a_2	11	1.5	8.5	6	9	8.5	6	6	8	75	8.75	4
a_3	12.5	6	5	4	9	7.25	5	5	8	90	8.75	5.25
a_4	2.5	1.5	2	2	6.5	4	2	2	8	10	5.25	2
a_5	15	5	2.5	8	6.5	9	6.5	6.5	9.5	15	7	2
a_6	30	2	2.5	8	6.5	9	5	3	2	40	8.5	6.5
a_7	25	9	5	8	9.5	9.5	5	6.5	8	20	9	2
a_8	10	1.5	8.5	2	6.5	5.5	2	2	2	3	5.5	9
a_9	20	9	2.5	8	9	9.5	6.5	5	9.5	10	8	2
a_{10}	1	8	5	5	9.5	6	5	3	5	20	5	4
a_{11}	0.01	1.5	5.25	2	4	2	2	2	2	30	1.75	6.5
Типкритериј.	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Тежина	0.7	0.6	0.6	0.8	0.5	0.9	0.3	0.3	0.6	0.1	0.85	0.25
Екстрем	min	max	min	min	max	max	min	min	min	max	max	max

Прелиминарном анализом установљено је да су за услове површинског копа Тамнава – Западно поље могућа следећа рекултивациона решења: за a_1 – A_1 шумарство, a_2 – A_2 пољопривреда (ратарство и повртарство), a_3 – A_5 шумарство и пољопривреда у комбинацији a_1 и a_2 , за a_4 – A_6 акваторијални комплекс (водене површине за спорт и рекреацију) + рибарство у комбинацији a_1 – A_5 , за a_5 – A_7 спортско-рекреативни комплекс и у комбинацији са a_1 – A_4 , за a_6 – A_{10} предвиђена језона за индустријску градњу, а за a_7 – A_{11} пољопривредна насеља и реституција за сеоска насеља у комбинацији a_1 – A_4 , за a_8 – A_{16} привремена одлагалишта (пепела, шљаке, јаловине и др.) у комбинацији a_1 – A_6 , за a_9 – A_{18} сточарско-фармерски комплекс у комбинацији са туристичким и парковским уређењем и у комбинацији са a_3 , a_4 , a_5 , и a_{11} , за a_{10} – A_{19} проширење природних резервата и (биорезервата) у комбинацији са већим бројем решењем и, на послетку, за a_{11} – A_{20} препуштање спонтаној сукцесији (ауторекултивацији). На основу вишекритеријумске анализе Методом *PROMETHEE* добијена је Табела 5.10, која даје вредности индекса преференција појединих пројектних рекултивационих решења као могућих алтернативних варијанти уређења пострекултивационих предела на површинском копу и одлагалишном простору копа Тамнава – Западно Поље колубарског басена угља. Рангирањем је добијено оптимално решење за дате пределе и оно представља: 1. a_1 – A_1 : пошумљавање; 2. a_7 – A_{11} : пољопривредна насеља и реституција за сеоска насеља; 3. a_3 – A_5 : шумарство и пољопривреда у међусобној комбинацији; 4. a_{10} – A_{19} : проширење природних резервата (биодиверзитета); 5. a_6 – A_{10} : зона за индустријску градњу; 6. a_8 – A_{16} : привремена одлагалишта (пепела, шљаке, јаловине и комуналног отпада); 7. a_4 – A_6 : акваторијални комплекс (водене површине) + рибарство; 8. a_9 – A_{18} : сточарско-фармерски комплекс; 9. a_2 – A_2 : пољопривреда (ратарство и повртарство); 10. a_{11} – A_{20} : препуштање спонтаној сукцесији и ауторекултивацији и 11. a_5 – A_7 : спортско рекреативни комплекс.

Табела 5.10. Одређивање индекса преференција (IP): (КОРАК 3) решења⁸⁷

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	T^+	T^-	Ранг
a_1	0.0000	0.5615	0.5462	0.6000	0.8615	0.5538	0.4692	0.6538	0.6923	0.5385	0.5462	0.6023	0.3638	1
a_2	0.2692	0.0000	0.2462	0.4000	0.6769	0.4538	0.3308	0.3615	0.5538	0.2846	0.3615	0.3938	-0.0985	9
a_3	0.2846	0.4538	0.0000	0.4923	0.7692	0.5462	0.3308	0.5462	0.5538	0.4462	0.5462	0.4969	0.1038	3
a_4	0.0923	0.4154	0.4154	0.0000	0.5077	0.4154	0.4154	0.2154	0.5077	0.4385	0.4385	0.3862	-0.0623	7
a_5	0.1385	0.3231	0.2308	0.3769	0.0000	0.2000	0.2000	0.4692	0.1231	0.3615	0.5308	0.2954	-0.2869	11
a_6	0.2769	0.5462	0.4077	0.5077	0.3692	0.0000	0.2846	0.4692	0.3692	0.5077	0.5462	0.4285	0.0069	5
a_7	0.3462	0.5769	0.4385	0.4538	0.5923	0.5462	0.0000	0.5462	0.3615	0.3615	0.5308	0.4754	0.1146	2
a_8	0.2231	0.4538	0.4538	0.4000	0.4538	0.3615	0.4538	0.0000	0.4538	0.4769	0.3846	0.4115	-0.0431	6
a_9	0.1385	0.3692	0.3231	0.4385	0.4846	0.4154	0.2462	0.5462	0.0000	0.4538	0.5308	0.3946	-0.0685	8
a_{10}	0.3231	0.6769	0.4154	0.5615	0.6385	0.4000	0.4077	0.5231	0.5462	0.0000	0.5308	0.5023	0.0685	4
a_{11}	0.2923	0.5462	0.4538	0.2538	0.4692	0.3231	0.4692	0.2154	0.4692	0.4692	0.0000	0.3962	-0.0985	10
T^-	0.2385	0.4923	0.3931	0.4485	0.5823	0.4215	0.3608	0.4546	0.4631	0.4338	0.4946			

⁸⁷ Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 167.

Очигледно је и на овом примеру, пресудан утицај на избор пошумљавања имала апсолутно најнижа цена од 1.500 €/ha и релативно висока могућа површина заузимања шумом, поред осталих повољних критеријуми који су утицали на доношење овакве одлуке. Затим следе изградња пољопривредних насеља и реституција за сеоска насеља као одличан вид регенерације сеоских домаћинстава која су морала бити уклоњена на путу освајања тамнавског лигнита на левој обали Колубаре. Потом долазе пољопривредне и шумарске рекултивационе форме у виду комбинованог пошумљавања и пољопривреде и проширење природних резервата (биодиверзитета), што доприноси одрживом развоју овог равничарског и некад пољопривредног краја. У сваком случају, за један пољопривредан крај каква је тамнавска равница и колубарски крај уопште ови резултати се уклапају у постојећи екосистем и представљају правилан избор у погледу биодиверзитетског, пејзажног, антропогеног и друштвеног наслеђа и традиције.

На крају ове анализе добија се у завршној табеларној форми у оквиру ПРИЛОГА II-4: одређивање свих парова потпуних поредака $[P^+, I^+]$ и $[P^-, I^-]$ као излазни резултат која представља завршни 4. корак у наведеној вишекритеријумској анализи.⁸⁸

5.3. Површински коп Богутово Село, Угљевик

5.3.1. Приказ реалног проблема

Први подаци о геологији простора Угљевика датирају још из 1880. године, а први радови на експлоатацији угља започели су 1899. јужно и југоисточно од старог насеља Угљевик у изданацким зонама. До 1967. угаљ је добијан са површинских копова Стара Јама, Мићићи I, Мићићи II и Богутовац, као и из Старе Јаме.

Интензивна геолошка истраживања обављена су у периоду од 1958. до 1962. године, када су на подручју Богутово Село – Северни ревер и Богутово Село – Јужни ревер избушене потребне истражне бушотине. Детаљна геолошка истраживања сировинске базе ревера Богутово Село – Север изведена су 1975. када је избушено 55 истражних бушотина.

Од 1997. године до данас на простору површинског копа Богутово Село – Север углавном су реализована инжењерско – геолошка и геомеханичка истраживања југозападне, западне, северне и источне косине.

Геолошка грађа: Лежиште угља Богутово Село представља приближно средишњи део генетски и депозиционо јединственог угљевичког угљоносног простора (подељен на два дела палеогеним седиментима), који се налази

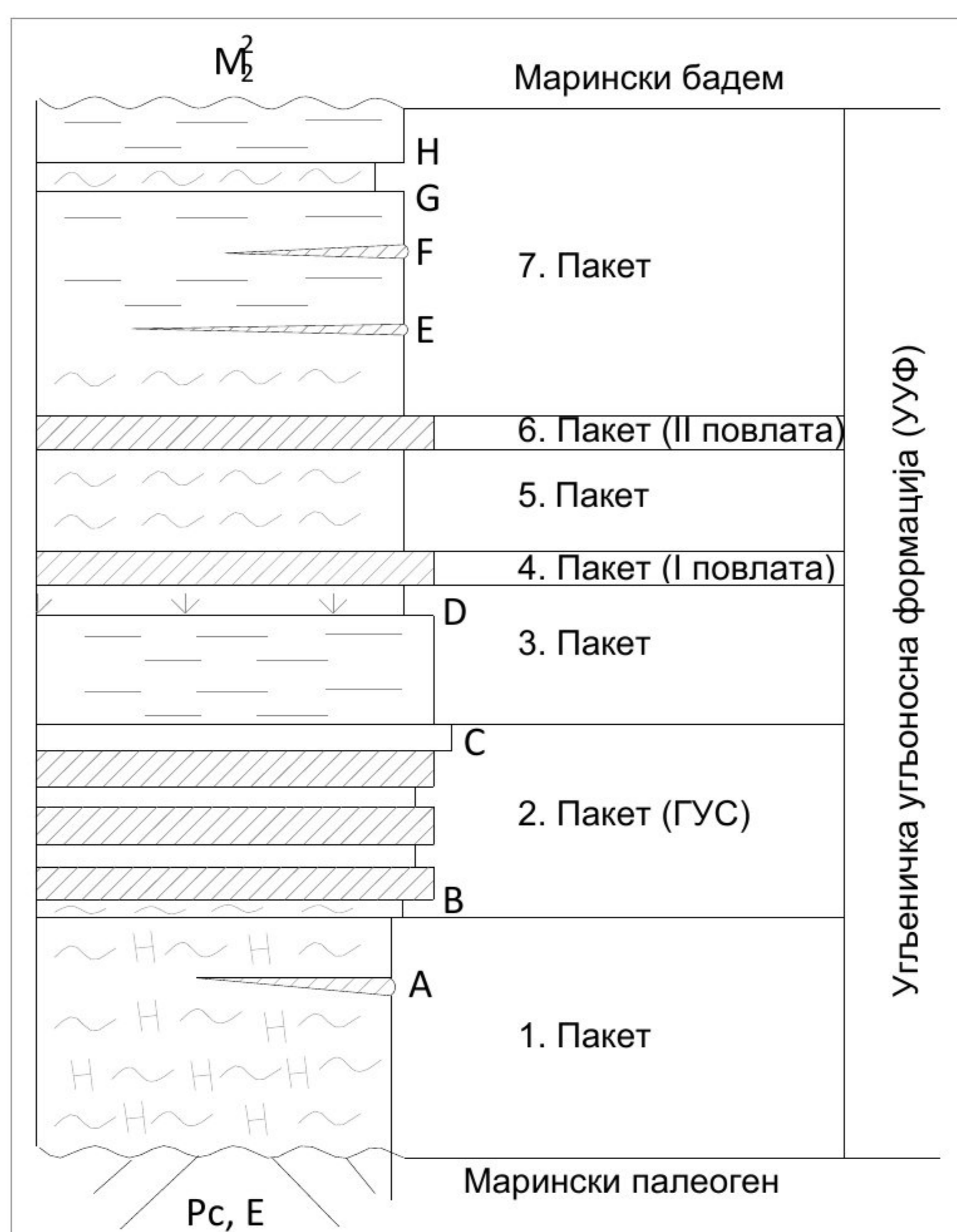
⁸⁸ Димитријевић Б., „Избор рекултивационог решења површинског копа “Тамнава – Западно поље“ вишеатрибутом анализом“, SELECTION OF THE LAND RECLAMATION OPTION FOR THE TAMNAVA – ZAPADNO POLJE OPEN PIT MINE BY MULTI-ATTRIBUTE ANALYSIS, Међународна конференција УГАЉ, Издавач Југословенски Комитет за површинску експлоатацију Савеза инжењера рударства и геологије Србије, 2–5. октобра, Златибор, Хотел Палисад, 2013, стр. 37–42.

између Тобута на западу и Глиња на истоку, затим Забрђа на северу и Прибоја на југу.

Генерално посматрано, моноклинална угљоносна јединица са два маркантна гравитациона раседа подељена је у блокове при чему дисконтинуитет угљених слојева (вертикална компонента кретања дуж раседа) износи и преко 170 m. Такви блокови у локалним условима првог реда имају ознаку ревира, као што је случај и са северним ревиром лежишта угља Богутово Село.

Слатководне угљоносне творевине, у стубу смештене између палеогене маринске подине и, такође, маринске баденске повлате, представљају угљевичку угљоносну формацију. Она је издељена на јединице нижег реда–пакете као што је приказано на Слици 5.7.

Стратиграфску грађу простора лежишта Богутово Село карактерише присуство палеогених маринских седимената у подини, слатководних угљоносних творевина (угљевичка угљоносна формација) и маринске баденске повлате.



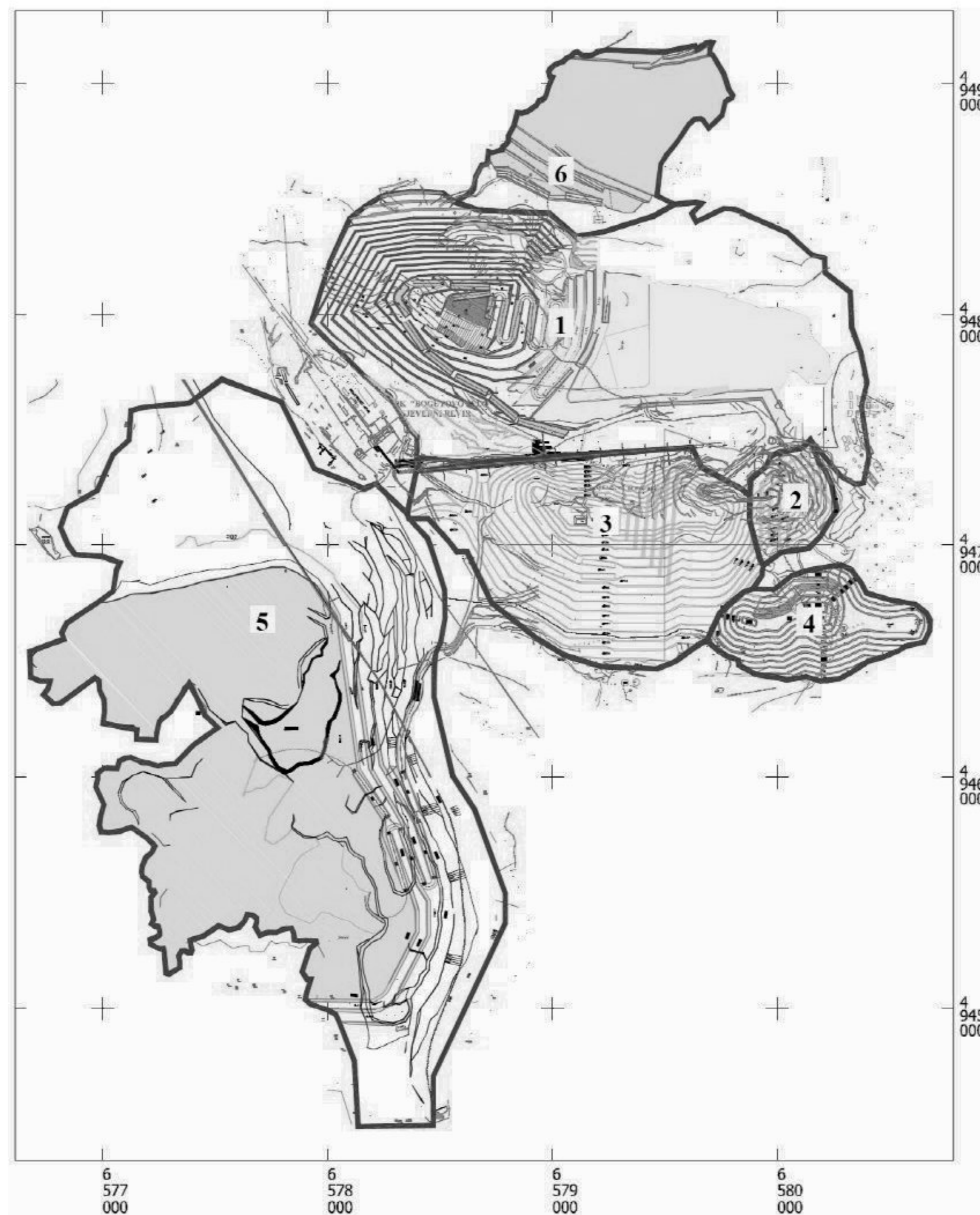
Слика 5.7. Шематски стуб угљевичке угљоносне формације⁸⁹

Површински коп Богутово село у својој завршној косини се простире на површини од око 3,5 km², при чему површина простора Северног ревира износи око 2,3 km², а површина Јужног ревира око 1,2 km².

⁸⁹ Павловић В. и сарадници (... Димитријевић Б.), *Технички пројекат откривке и угља на површинском копу Богутово село Угљевик за период од 2004. до 2008*, Београд: Центар за површинску експлоатацију, 2004.

Максимална дужина површинског копа је у правцу исток–запад и износи 2,4 km и односи се на Северни ревир док максимална дужина Јужног ревира у истом правцу је 1,7 km. Максимална ширина Површинског копа у правцу север–југ износи око 2 km, при чему је ширина северног ревира 1,05 km, а јужног ревира 0,95 km.

Површински коп Богутово Село – Рудник Угљевик је подељен на Северни и Јужни ревир. На основу досадашњих геолошких и геофизичких истраживања која су дала податке о структурним, квантитативним и квалитативним карактеристикама лежишта угља, затим на основу геомеханичких карактеристика лежишта, рељефа, водотокова и објеката на површини терена извршено је ограничење копа у плану и по дубини.



Слика 5.8. Површине обухваћене рударским радовима (1 – Северни ревир, 2 – Ревир Стара Јама, 3 – Јужни ревир, 4 – Ревир Јаблани, 5 – Западно одлагалиште, 6 – Северно одлагалиште)⁹⁰

Динамика извођења рударских радова по годинама рада дефинисана је на основу прорачунатих количина откривке и угља по реворима и заданог годишњег капацитета на производњи угља у циљу поузданог снабдевања термоелектране угљем. Производња угља која је обезбеђивана из Северног ревира површинског копа, по пројекту је требало да буде завршена 2009. године, када је отпочела експлоатација угља у Јужном ревиру. Радови на

⁹⁰ Исто.

откопавању откритке у Јужном ревиру отпочели су 2004, са капацитетом од 1.100.000 $\text{чm}^3/\text{god}$. Да би у петој години експлоатације тај капацитет постигао 5.950.000 $\text{чm}^3/\text{god}$. Рударским радовима обезбеђивана је сигурна производња потребних количина угља, прво се обезбеђивала само из Северног, затим истовремено из Северног и Јужног ревира и на крају само из Јужног ревира површинског копа Богутово Село – Рудник Угљевик.

Избор експлоатације: На површинском копу Богутово Село – Рудник Угљевик, усвојен је дисконтинуални систем експлоатације што подразумева:

- откопавање и утовар откритке и угља хидрауличним и откритке ужетним багерима кашикарима, запремине кашике $E = 4.6 \text{ m}^3$ до 14 m^3 ;
- транспорт откритке до одлагалишта и угља до бункера дробиличног постројења камионима носивости 75 t до 120 t;
- одлагање откритке камионима и булдозерима на спољашња и унутрашње одлагалиште;
- селективно откопавање угља хидрауличним багерима запремине кашике $E = 4,6 \text{ m}^3$ до 9 m^3 ;
- откопавање и утовар чврстих стена (силификовани и кредни кречњак) хидрауличним багером са повећаном силом копања запремине кашике $E = 5,2 \text{ m}^3$.

Припрема и отпрема угља за термоелектрану Угљевик, изводи се кроз примарно и секундарно дробљење, а затим транспорт угља транспортерима са гуменом траком до депоније термоелектране Угљевик. Угаљ из I и II кровинског слоја се прерађује и пласира за широку потрошњу. Такође, део угља се из главног слоја прерађује на сувој класирници и отпрема за широку потрошњу.

Усвојени систем експлоатације угља и откритке, био је и до сада у примени, с том разликом што је за стенске масе откритке са повећаним карактеристикама чврстоће примењиван технолошки процес бушења и минирања за њихову претходну фрагментацију. Набавком нове опреме и то хидрауличног багера Liebherr 984C запремине кашике $5,2 \text{ m}^3$ опремљеног уређајем за фрагментацију чврстих делова јаловинског материјала, нестала је потреба за применом бушачко-минерских радова. Тиме се постиже и потпуно уклањање негативних ефеката минерских радова на стабилност косина површинског копа и сигурност извођења радова, а која је у условима изражене тектонике и присутности инжењерско-геолошких процеса који доводе до појава нестабилности косина површинског копа, веома значајна. Систем и параметри експлоатације откритке и угља на површинском копу су у потпуности прилагођени карактеристикама постојеће основне откопне и транспортне механизације. У погледу капацитета дати су одговарајући предлози за набавку нове опреме.

На површинском копу Богутово Село, откопавање и утовар откритке изводи се са хидрауличним и ужетним багерима кашикарима, и то: DEMAG HM 241, RH 120, RH 75, RH 40, LIEBHERR 984C, ЕКГ 8и и ЕШ 6/45. Откопавање и утовар угља изводи се хидрауличним багерима запремине кашике од $4,6$ до $8,1 \text{ m}^3$, а повремено и багерима већег капацитета.

Селективно откопавање угља: У циљу обезбеђења квалитета угља предвиђено је селективно откопавање угља I и II кровинског угљеног слоја, као и одстрањивање јалових прослојака дебљине веће од 0,5 m из главног угљеног слоја. Откопавање се изводи са хидрауличним багерима запремине кашике $E =$

4,6 до 9 m³, на етажама висине 10 m и поделом етаже на подетаже од 5 m у циљу ефикаснијег и сигурнијег рада багера на откопавању и утовару угља.

Избор технологије селективног откопавања условљен је геолошким, технолошким, сигурносним и економским факторима, као и развојем рударских радова на откривци. У геолошке факторе спадају: просторни распоред угља и јаловине, карактер и број контаката између њих и физичко-механичка својства угља и јаловине. Технолошки фактори су висина и нагиб етаже, врста и тип опреме за откопавање и утовар, као и вид примењеног транспорта. Економски фактори се односе на захтеве потрошача за квалитетом угља и цену откопавања. При избору технолошке шеме откопавања предност се даје оној, која у датим условима обезбеђује највећу сигурност у раду, максимално искоришћење лежишта и минимално разблажење уз максимално искоришћење опреме и економске ефекте.

Изводе се две варијанте добијања угља, и то рад у попречним блоковима и рад у уздужним блоковима са откопавањем од кровине према подини. Технолошки, прво се откопава угаљ у горњем делу блока до контакта са јаловинским прослојком и утовара у камионе. Затим, откопава се јаловински прослојак који се одлаже у откопани простор или утовара у камионе за транспорт јаловине, да би се на крају откопавао угаљ у доњем делу блока. Поступак је идентичан и када се откопава прослојак угља на етажи где је основна маса материјала јаловина. Површине деградиране (нарушене) експлоатацијом угља на простору површинског копа Богутово Село обухватају површине ревира у којима је вршено откопавање откривке, угља и слојне и међуслојне јаловине, као и површине спољашњих одлагалишта и индустријском круга. Укупна површина земљишта захваћена утицајима рударских радова по пројектном решењу износи 815,7 ha, а од тога по реверима и одлагалиштима (Табела 5.11, Слика 5.8).

Табела 5.11. Површине захваћене рударским радовима⁹¹

Ред. број	Рударски објекат	Површина m ²	Површина ha
1.	Северни ревир	2.311.000	231,10
2.	Ревир Стара Јама	140.000	14,00
3.	Јужни ревир	1.059.000	105,90
4.	Ревир Јаблани	322.000	32,20
5.	Западно одлагалиште	3.737.000	373,70
6.	Северно одлагалиште	588.000	58,80
7.	Укупно	8.157.000	815,70

Како до сад није дефинисана будућа намена овог простора, део поменутих површина које су представљене спољашњим одлагалиштима су намењене за рекултивацију. Простор површинског копа у целини, односно појединих ревира и у будућности ће бити у функцији експлоатације угља Угљевичког

⁹¹ Исто.

угљеног басена, као простор резервисан за смештај откривке и јаловине са будућих површинских копова, као и пепела и шљаке из Термоелектране Угљевик. На овај начин може се реализовати основни стратешки циљ у области ревитализације и рекултивације простора и заштите животне средине: смањење неповољних утицаја експлоатације и прераде лигнита на стање пољопривредног земљишта, шума, вода, ваздуха, живог света и других природних и социо-економских услова живљења, упоредо са предузимањем ефикасних мера за постепено остваривање сталног и приметног побољшавања еколошких, економских и амбијентално-пејзажних обележја целог подручја.⁹²

5.3.2. Модел реалног проблема решења

Табела 5.12. Површински коп Богutowo село (описне вредности)⁹³

Ред. Број	Варијанте или алтернативе	К р и т е р и ј у м и											
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂
	Оцена	min	max	min	min	max	max	min	min	min	max	max	max
	Преференција	0,7	0,6	0,6	0,8	0,5	0,9	0,3	0,3	0,6	0,1	0,85	0,25
1.	A ₁ – шумарство	СН	ВД	ДР	М	ВД	3	СЛ	3	ВД	33	Б3	Д
2.	A ₂ – пољопривреда (ратарство и повртарство)	3000	К	СР	С	ВД	В3	СЛ	3	ВД	20	Б3	Д
3.	A ₃ – пољопривреда (воћарство)	10000	Д	КР	С	ВД	В3	СЛ	3	ВД	20	Б3	Д
4.	A ₅ – шумарство и пољопривреда (комбинације A ₁ /A ₂ , A ₃ , A ₃)	25000	Д	СР	С	ВД	В3	СЛ	3	ВД	24,3	Б3	Д
5.	A ₆ – акваторијални комплекс (водене површине) + рибарство A ₆ /A ₁ -A ₅ , A ₇	12670	К	ДР	М	СД	3	МС	М3	СД	5	3	МД
6.	A ₁₀ – зона за индустријску градњу	2500	С	ДР	В	ДО	В3	СЛ	3	СД	7	Б3	Д
7.	A ₁₆ – привремена одлагалишта (пепела, шљаке, јаловине и др.) + A ₁₆ /A ₁ , A ₁₀	30000	К	КР	С	ДО	3	СЛ	М3	К	10	3	Д
8.	A ₁₈ – сточарско-фармерски комплекс + A ₁₈ /A ₅ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₁ , A ₁₃	10000	ВД	ДР	В	ВД	В3	ВС	В3	БД	10	Б3	СД
9.	A ₁₉ – проширење природних резервата (биодиверзитета) + A ₁₉ /A ₁ , A ₄ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₂ , A ₁₃ , A ₁₇ , A ₁₈ ,	20000	Д	ДР	С	ВД	3	СЛ	3	СД	5	3	СД

Напомена: Вредности за K₁ дате су у (€/ha), а за K₁₀ у процентима.

⁹² Исто.

⁹³ Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 174.

Табела 5.13. Површински коп Богutowo село (нумеричке вредности) решења⁹⁴

Ред. Број	Варијанте или алтернативе	К р и т е р и ј у м и											
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂
	Оцена	min	max	min	min	max	max	min	min	min	max	max	max
	Преференција	0,7	0,6	0,6	0,8	0,5	0,9	0,3	0,3	0,6	0,1	0,85	0,25
1.	A ₁ – шумарство	3	9,5	3,0	3,0	8,0	7,0	5,0	4,5	8,5	80	8,5	6,5
2.	A ₂ – пољопривреда (ратарство и повртарство)	10	2,5	6,5	6,0	8,5	8,5	6,5	6,0	8,0	20	8,75	7,0
3.	A ₃ – пољопривреда (воћарство)	25	6,0	7,5	5,25	9,0	9,0	6,0	5,5	8,5	70	9,0	6,0
4.	A ₅ – шумарство и пољопривреда (комбинације A ₁ /A ₂ ,A ₃ ,)	12,67	6,0	5,6	4,75	8,5	8,25	6,5	5,3	8,25	80	8,75	6,5
5.	A ₆ – акваторијални комплекс (водене површине) + рибарство A ₆ /A ₁ -A ₅ ,	2,5	2,5	1,5	3,0	4,0	4,0	3,0	3,0	5,0	10	4,0	2,0
6.	A ₁₀ – зона за индустријску градњу	30	4,0	3,5	8,5	6,5	9,0	6,0	5,0	5,0	7	8,5	6,0
7.	A ₁₆ – привремена одлагалишта (пепела, шљаке, јаловине и др.) + A ₁₆ /A ₁ , A ₉	10	2,5	7,5	4,0	6,5	5,0	4,0	3,5	3,0	30	5,0	7,0
8.	A ₁₈ – сточарско - фармерски комплекс + A ₁₈ / A ₅ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₁ , A ₁₃	20	9,0	2,0	9,0	9,5	9,5	7,5	7,0	9,0	30	9,5	3,0
9.	A ₁₉ – проширење природних резервата (биодиверзитета) + A ₁₉ / A ₁ , A ₄ , A ₆ ,A ₇ , A ₈ , A ₁₂ , A ₁₃ , A ₁₇ , A ₁₈ ,	1	6,0	3,5	4,0	8,0	7,0	5,0	4,0	5,0	25	5,0	4,0

Напомена: Вредности за K₁ редуковане су за 10³.

На примеру површинског копа Богutowo Село, такође као и за површински коп Тамнава – Западно Поље, увршћен је још критеријум K₁₂ корелациони однос просторне и временске динамике рекултивационих радова, који може бити

⁹⁴ Исто, стр. 175.

категорисан алтернативно и пожељно описном квантификацијом, с обзиром на то да је применљив за копове на којима се врши активна експлоатација угља (дато у Табели 5.12). Наиме, као и у претходна два случаја конверзијом описних у нумеричке вредности критеријумских оцена добијена је Табела 5.12, која је математички искористива за испуњавање квантификоване матрице одлучивања у програму за вишекритеријумску оптимизацију методом Прометеј израђене на Факултету Организационих наука Универзитета у Београду приказане Табелом 5.13. Овај манипулативни и оперативни унос улазних података представља уједно и први корак овог модела. Све остале табеларне приказе које представљају део решења добијене копјутерском обрадом, представљају излазне резултате (корази: 2, 3, и 4).

5.3.3. Приказ и анализа решења

Табела 5.14. Квантификована иницијална матрица одлучивања (О): (КОРАК 1) за површински коп Богutowo Село, решења⁹⁵

Алтернативе	Критеријуми											
	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8	К9	К10	К11	К12
a ₁	3	9.5	3	3	8	7	5	4.5	8.5	80	8.5	6.5
a ₂	10	2.5	6.5	6	8.5	8.5	6.5	6	8	20	8.75	7
a ₃	25	6	7.5	5.25	9	9	6	5.5	8.5	70	9	6
a ₄	12.67	6	5.6	4.75	8.5	8.25	6.5	5.3	8.25	80	8.75	6.5
a ₅	2.5	2.5	1.5	3	4	4	3	3	5	10	4	2
a ₆	30	4	3.5	8.5	6.5	9	6	5	5	7	8.5	6
a ₇	10	2.5	7.5	4	6.5	5	4	3.5	3	30	5	7
a ₈	20	9	2	9	9.5	9.5	7.5	7	9	30	9.5	3
a ₉	1	6	3.5	4.0	8	7	5	4	5	25	5	4
Типкритериј.	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Тежина	0.7	0.6	0.6	0.8	0.5	0.9	0.3	0.3	0.6	0.1	0.85	0.25
Екстрем	min	max	min	min	max	max	min	min	min	max	max	max

⁹⁵ Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 176.

Табела 5.15. Одређивање индекса преференција (IP): (КОРАК 3) решења⁹⁶

	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	a ₉	T ⁺	T ⁻	Ранг
a ₁	0.0000	0.5231	0.5615	0.5077	0.4923	0.6385	0.7769	0.5615	0.4923	0.5692	0.2212	1
a ₂	0.4769	0.0000	0.3308	0.3769	0.4000	0.4923	0.4385	0.4538	0.3846	0.4192	0.0885	7
a ₃	0.3462	0.6692	0.0000	0.3923	0.4923	0.5462	0.4538	0.3615	0.4000	0.4577	0.0106	5
a ₄	0.4385	0.3692	0.5154	0.0000	0.4923	0.5846	0.5462	0.4692	0.4000	0.4769	0.0154	4
a ₅	0.3846	0.5077	0.5077	0.5077	0.0000	0.4308	0.4154	0.5077	0.3077	0.4462	0.0462	6
a ₆	0.2308	0.5077	0.2308	0.4154	0.4769	0.0000	0.4538	0.3462	0.3077	0.3712	0.1692	9
a ₇	0.2231	0.3231	0.4538	0.4538	0.4923	0.4692	0.0000	0.4538	0.2385	0.3885	0.1269	8
a ₈	0.4385	0.5462	0.6385	0.5308	0.4923	0.6538	0.5308	0.0000	0.5462	0.5471	0.0962	3
a ₉	0.2462	0.6154	0.5077	0.5077	0.6000	0.5077	0.5077	0.4538	0.0000	0.4933	0.1087	2
T ⁻	0.3481	0.5077	0.4683	0.4615	0.4923	0.5404	0.5154	0.4510	0.3846			

На основу вишекритеријумске анализе методом *PROMETHEE* добијена је Табела 5.15, која даје вредности индекса преференција појединих пројектних рекултивационих решења као могућих алтернативних варијанти уређења пострекултивационих предела на површинском копу и одлагалишним просторима на примеру Богутово Село Угљевичког угљеног басена. Рангирањем је добијено оптимално решење, најбоље за дате пределе и оно представља:

1. a₁–A₁: пошумљавање, 2. a₉–A₁₉: проширење природних резервата (биодиверзитета), 3. a₈–A₁₈: сточарско-фармерски комплекс, 4. a₄–A₅: шумарство и пољопривреда у комбинацији, 5. a₃–A₃: пољопривреда (воћарство) 6. a₅–A₆: акваторијални комплекс (водене површине) + рибарство, 7. a₂–A₂: пољопривреда (ратарство и повртарство), 8. a₇–A₁₆: привремена одлагалишта (пепела, шљаке, јаловине и комуналног отпада), 9. a₆–A₁₀: зона за индустријску градњу;

Очигледно је на овом примеру Богутовог села, као и у случају Тамнаве – Западног поља, пресудан утицај на избор пошумљавања имала апсолутно најнижа цена од 1.500 €/ha, и релативно висока могућа површина заузимања шумом, поред осталих повољних критеријуми који су утицали на доношење овакве одлуке. Затим следе Проширење природних резервата (биодиверзитета), сточарско-фармерски комплекс и различити видови пољопривредне и шумарске делатности као одличан вид регенерације овог брдско-планинског краја.

И на крају ове анализе добија се табеларни приказ одређивање свих парова потпуних поредака [P⁺, I⁺] и [P⁻, I⁻] као излазни резултат која представља завршни 4. корак у наведеној вишекритеријумској анализи.⁹⁷

⁹⁶ Исто.

⁹⁷ Dimitrijević B., Miljanović I., A SELECTION OF LAND RECLAMATION SOLUTION AT THE 'BOGUTOVO SELO' – UGLJEVIK OPEN PIT MINE BY MULTI-ATTRIBUTE ANALYSIS, *Bulletin of Mines*, Mining Institute, Belgrade, Serbia, 2014, broj 1–2, god. CXI, str. 47–54, e-adresa:

ПОГОВОР

Књига, научна монографија *Вишекритеријумски модел управљања рекултивацијом површинских копова угља* произашла је на темељима моје докторске дисертације *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*. Са својих пет поглавља обухватила је на један аналитичко-синтетички начин проблем рударства и површинске експлоатације лежишта минералних сировина у функцији заштите животне средине кроз рекултивацију, регенерацију и уређења деградираних површина насталих рударском производњом.

У првом поглављу извршена је процесна анализа рекултивације површинских копова уз дефинисање периода развоја са потребом динамичке усклађености периода површинске експлоатације и фаза и процеса рекултивације. Кроз анализу процеса рекултивације површинских копова извршено је дефинисање пословног процеса и утврђени његови елементи и карактеристике. Процес рекултивације као пословни систем моделован је преко својих потпроцеса: техничка рекултивација, биолошка рекултивација, мониторинга животне и мониторинга радне средине, а управљање се реализује кроз процес управљања који садржи потпроцесе *планирање, организовање, праћење реализације и контрола реализације* пословних активности. Дефинисано је да је кључни процес за ефикасно и ефективно управљање реализацијом рекултивације процес планирања. Процес планирања рекултивације кроз све фазе развоја површинског копа има три нивоа: прелиминарни, оперативни и финални и може се применити како за нове површинске копове тако и за површинске копове у раду за које то претходно није детаљно вршено.

У другом поглављу акценат је стављен на теоријске проблемске аспекте одлучивања и управљања, као и њихову применљивост на процес рекултивације. Представљене су опште карактеристике и специфичности обележја рекултивационих предела насталих деградацијом терена у површинској експлоатацији минералних сировина. Поред анализе најзначајнијих техничко-технолошких рекултивационих активности и општих карактеристика техничке и биолошке рекултивације размотрен је и значај утицаја рударских експлоатационих техника и технологија на заштиту животне средине.

Трећим поглављем о моделима за подршку одлучивања током рекултивације представљене су теоријске могућности примене модела нелинеарног програмирања, пре свега вишекритеријумских, односно вишеатрибутних и вишециљних модела, са акцентом на математичку Методу *PROMETHEE*, којим су у експерименталном делу извршена тест опитна истраживања на три полигона у земљи и региону.

<http://www.ribeograd.ac.rs/lat/izdavacka-delatnost/casopis-rudarski-glasnik>; B. Dimitrijević, N. Lilić, „Izbor rekultivacionog rešenja na primerima površinskih kopova uglja višekriterijumskom analizom“, *Zbornik radova 10. Međunarodna naučna konferencija o površinskoj eksploataciji Opencast Mining Conference – OMC 2014*, Jugoslovenski Komitet za površinsku eksploataciju Saveza inženjera rudarstva i geologije Srbije, 2014, str. 43–53, e-adresa: <http://www.jukom.org.rs/OMC-2014.pdf>.

Кроз дефинисање нове методологије и модела управљања процесима представљеног алгоритмом процесног одлучивања у поступку избора рекултивационог решења датом у четвртом поглављу, односно одлучивању у избору најбољег оптималног решења, најбољег према задатим критеријумима и предложеним алтернативним рекултивационим варијантама. Извршено је диференцирано дванаест могућих одабраних критеријума као граничних подручја у избору оптималног рекултивационог решења од могућих двадесет алтернативних варијанти.

Неки од табеларно датих критеријума у Табели 4.3, „Категоризација критеријума“, могу се представити нумеричком вредношћу и/или описном вредношћу, док су у исто време неки критеријуми алтернативно пожељни, алтернативно нужни или без алтернативе било као детерминистички или као описни подаци.

У циљу добијања најбољег рекултивационог решења извођењем вишекритеријумског одлучивања и општим поступком оптимизације изабрана је као најефикаснија метода *PROMETHEE* са математичким моделом израђеним на Факултету Организационих наука Универзитета у Београду и презентованим кроз табеларне приказе у кораку 1, 2, 3 и 4 сваког проблемског задатка.

Без улажења у анализу и оцену вишеатрибутних модела, при избору модела превагу је имало искуство у његовом коришћењу, постигнути резултати и уграђеност у *PROMETHEE* модел шест генерализованих критеријума за исказивање преференција доносиоца одлуке, што ублажава субјективност доносиоца одлуке. Ово не негира остале методе и не искључује њихову применљивост у решавању овог типа проблема.

Ова методологија је универзалног карактера, те је применљива и за рекултивацију површинских копова и одлагалишта металних, неметалних и енергетских минералних сировина. Како су предмет ове књиге управљање рекултивационим процесима, и доношење најбољих моделских решења за површинске копове угља, као полигони анализе обрађена су три велика површинска копа у оквиру петог поглавља. Прво је тестиран Кленовник неактивни површински коп у затварању који се налази у склопу Костолачког угљеног басена. Други је тестиран активан површински коп и одлагалишни простор Тамнава – Западно Поље у склопу колубарског угљеног басена, пример равничарског типа копа са континуалном технологијом селективног рада и као трећи је тестиран активан површински коп са одлагалиштима Богутово Село у склопу Угљевичког басена угља у Републици Српској, који је брдског типа и има дисконтинуални и континуални (комбиновани) начин експлоатације, технолошки селективног карактера у сложеним раслојеним условима нетипичног угљеног лежишта. На овај начин су покривени примери различитих површинских копова угља по типовима лежишта, методама откопавања и одлагања минералне сировине и откривке и временске динамике у такозваном систему површинске експлоатације.

На основу аутентичног алгоритамског решења процесног одлучивања у поступку избора рекултивационог решења применом изабране методе *PROMETHEE* добијене су табеларне вредности индекса преференција појединих пројектних рекултивационих решења као могућих алтернативних варијанти уређења пострекултивационих предела за сваки површински коп и

пратећи одлагалишни простор. Наиме, као прворангирана решења по редоследу тестирања добијена су следеће вредности: 1 Кленовник, на коме се предлаже враћање деградираних површина експлоатационог поља шумарским и пољопривредним засадима комбинованим са воденим површинама, парковским и спортско рекреативним садржајима; 2. Тамнава – Западно Поље, пошумљавање и 3. Богутово Село пошумљавање. На основу резултата за предметне копове и њихов околиш, понуђена решења сматрамо најповољнијим, тј. оптималним рекултивационим варијантама које поред осталих високопозиционираних дају употпуњену слику. Тиме су испуњена два основна критеријума: актуелност научно-истраживачке проблематике и специфичност карактера истраживачког поступка.

Даља научно-истраживачка пажња могла би бити усмерена на смањење субјективног фактора у избору рекултивационих варијанти и критеријума за одлучивање рекултивационог решења, као и при избору математичког модела који је препуштен једном мултидисциплинарном тимском одлучивању. Такође, могуће је опитна истраживања површинских копова вршити на више различитих математичких модела, анализирати их и поредити, па вршити корелацију добијених различитих оптималних решења на појединим примерима полигона сличних карактеристика као наведених у овој књизи, научној монографији.

APPENDIX

У додатку ове књиге као научне монографије, желим да истакнем историјски и хронолошки преглед примене рекултивације на значајнијим површинским коповима угља од најстаријих примера све до данас. Прве појаве техничке и биолошке рекултивације земљишта и амбијентално уређења деградираних простора насталих као резултат рударских активности и експлоатације лежишта минералних сировина реализовани су у Немачкој средином 19. века. Почетком 20. века појава рекултивисања старих и напуштених рударских радова забележена је у САД и Великој Британији.

У односу на пионирске покушаје и прве примере какав је био површински коп лигнита Фортуна у Немачкој, озбиљан научноистраживчки и оперативнотехнички приступ предметној проблематици јавља се средином прошлог века, тачније после Другог светског рата такође у Немачкој где су до данас постигнути најзапаженији резултати. У томе свакако предњачи компанија Ватенфал (Wattenfall).

У данашњој Немачкој, рекултивисано је и преуређено преко 40.000 хектара девастираног земљишта насталог радом рударске привреде. Оваквим импозантним резултатима допринела је строга законска регулатива у области рекултивације чиме се пре отпочињања технологије експлоатационих радова, сва техничка решења стављају се у службу заштите животне средине, допуштених количина штетних материја у ваздуху, води и земљишту, решавању андрогених социјалних проблема појединца и заједнице, једном речју, води се строго рачуна о друштвеном одрживом развоју. Предмет посебног интересовања је зиратни слој земљишта као пример необновљивог плодног хумуса, који као педолошки супстрат неки називају солум, селективно скидају, привремено депонују, чувају и касније користе приликом биолошке рекултивације. Суштина процеса селективног одлагања откритке је да се, на почетку отварања површинског копа, продуктивни хумусни слој земљишта привремено одложи, а у каснијим периодима развоја копа, и током експлоатације угља, а нарочито одлагања откритке и јаловине, селективно откопана откритка наноси у границама са постојећим геолошким литолошким стубом.

У неким од наредних примера биће представљена искуства Немачке у области рекултивације и уређења простора сличних могућности.

Лужички рударски угљени басен лигнита геолошки је дефинисан са два различита лигнитска басена: горњи и доњи Лужички лигнитски регион, од којих је доњи важнији. Ова област се налази у југоисточном делу Бранденбурга, северно-источном делу Саксоније. Историја геолошког региона лужичког лигнита почела је пре око 40 милиона година, у доба терцијара, када је у Европе био веома активан геодинамичан период.⁹⁸

⁹⁸ *The Lusatian Lignite Mining Region, Research network minesite recultivation, Newsletter No. 2 July 1997, Germany.*

Историјат експлоатације лигнитског угља у области Доња Лужица је вишевековни. Угаљ се експлоатише од краја 18. века, стим да је јамска експлоатација угља започета с краја 19, а да је већ почетком прошлог века постала преобладајућа површинска експлоатација угља. Након уједињења Савезне и Демократске Немачке дошло је до масовног затварања површинских копова. Наиме, данас је на само пет површинских копова активна рударска производња док их је седамнаест затворено. Површина девастирана експлоатацијом угља око 800 km² у овој области предмет је постексплоатационе рекултивације и реамидације. Стратешки посматрано, дугорочни програми развоја површинских копова басена Лужица (Lusatia), укључујући и њихова затварања, обухватају период до 50 година, што је гарант снабдевања угља постојећих термоелектрана за њихов четрдесетогодишњи век трајања.

Плански дугорочни развој по приоритетности предвиђа обједињавање простора површинских копова Welzow-Sud (део поља II Welzow Sud) и Нохтен који ће својом резервама обезбедити експлоатацију до краја 2020. године. Басен Рајхвалде (Reichwalde) који се налази на крајњем западу, својим високо квалитетног лигнитским резервама од преко 500 милиона тона обезбедиће сигурно снабдевање купаца дуже од 2040. године. Лужички басен угља, располаже укупним резервама лигнита од 12 милијарди тона, што представља огроман потенцијал за успешан и стабилан енергетски одрживи развој производње електричне енергије у модеран и строгим конкурентним еколошким условима.

Једно од истраживања које се бави постексплоатационим оживљавањем са биолошког рекултивационог аспекта у области Доње Лужице приказано је у раду: „Primary succession in post-mining landscapes of Lower Lusatia – chance or necessity“.⁹⁹ Сличним проблемом бавио је се и Рене Кравцзински (René Krawczynski) у докторској дисертацији *Succession of Collembola in the postmining landscape of Lower Lusatia*.¹⁰⁰ У својој тези колега је анализирао проблем ревитализације и рекултивације одлагалишних простора у пет постексплоатационих рударских области, и то: *Cottbus–Nord UT, Schlabendorfer Felder, Domsdorf, Plessa, Koynе*. У магистарској тези *Mine reclamation financial bonding end regulation*, аутора Филиза Торпака (Filiz Torpak),¹⁰¹ аутор се бавио анализом планирања процеса рекултивације површинских копова и одлагалишта као рударских објеката са аспекта управљања и регулације финансијских инвестиционих токова у турским условима у оквиру приступања пројектним и законодавним програмима Европске уније.

Рекултивацијом површинских копова у басену лигнитског угља Лужица формира се заправо једно ново земљиште, које је атрактивно и велике вредности, иако се резултати не виде одмах имајући у виду да рекултивација захтева стрпљење и време.

⁹⁹Gerhard Wiegler, Birgit Felinks, „Primary succession in the post-mining landscapes of Lower Lusatia – chance or necessity“, *Ecological Engineering* 17, 2001, pg. 199–217. Рад је доступан на е-адреси: www.elsevier.com/locate/ecoleng.

¹⁰⁰ René Krawczynski, *Succession of Collembola in the the post-mining landscapes of Lower Lusatia*, Doctoral disertation, Technical University of Cottbus, 2006.

¹⁰¹ Filiz Torpak, *Mine reclamation financial bonding and regulation*, Master Thesis, Department of Mining of The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle east Technical University.

Одрживост, такође, обухвата и чињеницу да је у овом случају реч о обновљивом откопаном материјалу. Заједно са партнерима, компанија *Vattenfall Europe Mining* посебну пажњу посвећује алтернативним формама искоришћења земљишта новоформираног простора. Обновљиви откопани материјал пружа потенцијалне перспективе за истовремено економично и еколошко коришћење. Због тога су формирана тест поља за биолошку рекултивацију и мелиоризацију, која су дала изванредне и обећавајуће резултате.

Реализација ових принципа преставља основу за потписане уговоре између пресељаваног села и рударске компаније на обострану корист. У раду је пет површинских копова: Reichwalde, који је прошао фазу привременог затварања из економских разлога, Janschwalde, Cottbus-Nord, Cottbus-Sud и Welzow-Sud.

Након привременог затварања површинског копа Рајхвалде (Reichwalde) 1999. године, на унутрашњем одлагалишту је засађена мешовита шума. Поред јужне завршне контуре одлагалишта, према насељу Рајхвалде, изграђен је видиковац. Спољашње одлагалиште копа је једно од највећих брда у околини. То је постао прави пример задовољавајуће комбинације рударства и атрактивне рекултивације. Одлагалиште надвисује околину за 40 m и формирано је између 1985. и 1987. године, од откривке површинског копа Рајхвалде.

У зони откопаног простора површинског копа Јаншвалд (Janschwalde) је, у односу на рударско-техничке и геолошке услове, обликован простор за различиту агрикултурну намену прилагођену околини. Јужни део бившег површинског копа је пољопривредна зона, док се на северној страни предвиђа садња шумских културе. Предвиђено је измештање реке Махе преко унутрашњег одлагалишта од југоистока ка северозападу. На крају експлоатације формираће се језеро Таубендорфер (Taubendorfer). Површински коп Јаншвалд карактерише систем експлоатације са директним пребацивањем откривке у откопани простор транспортним мостом који омогућава реализацију брзог процеса рекултивације.

Обликовани простор површинског копа Cottbus-Nord карактерише будуће језеро Котбус. Водена површина језера од 1.900 хектара пружа велике могућности становништву града Котбус. Источно од језера на унутрашњем одлагалишту формира се мешовита шумска култура. Рекреативни објекти ће бити интегрисани у пољопривредни и шумски простор.

Површински коп Welzow-Sud припада моренској граничној зони басена угља Лужица. Равничарски терен, састав материјала откривке и хидрологија условили су начин коришћења простора после затварања копа и пре почетка експлоатације. Обликовање терена после експлоатације омогућује оптимално коришћење са аспекта пољопривреде, шумарства и рекреације. Због тога се врши селективно одлагање плодног слоја одлагачима.

Будући изглед терена након процеса затварања површинског копа Нохтен (Nochten) треба да обезбеди исте могућности коришћења као и пре почетка експлоатације. У близини истоименог места формиран је комплекс за одмор и

рекреацију. На јужном делу комплекса као улаз у рекултивисани простор направљен је парк од моренских самаца.¹⁰²

Рајнски угљени басен простире се на површини од око сса 2.500 km² између градова Келна, Ахена и Диселдорфа и експлоатација лигнита датира више од једног века. Експлоатација угља се обавља на три површинска копа Инден (Inden), Гарцвајлер (Grauweiler) и Хамбах (Hambach) на дубини од 300 до 500 m.

После Другог светског рата па све до данашњих дана са ових предела исељено је око 30.000 становника. Након отварања новог површинског копа Грацвајлер II, предвиђено је исељавање још 4.000. Пошто су лежишта смештена у великим урбаним и високонасељеним срединама, рударска експлоатациона политика у великој мери зависи од придобијања јавног мњења за промену карактера ових подручја на темељима одрживог развоја новог окружења кога би карактерисала мудра и научно постављена техничка и биолошка рекултивација терена и правилан избор уређења будућих предела.

До сада је у Немачкој, од укупно рекултивисаних површина, 40% враћено пољопривреди. На пољопривредним површинама су изграђене најсавременије фарме. У условима интензивних агротехничких и агроелиоративних мера приноси усева на рекултивисаном земљишту су слични онима на непоремећеним земљиштима, а у неким случајевима и виши. Нешто већи проценат рекултивисаних површина је под шумама. По правилу се тежи враћању шума на површине на којима је она била заступљена пре експлоатације угља. У неким случајевима су шуме подигнуте на некадашњим пољопривредним површинама. На одлагалиштима, која због конфигурације терена, нису погодна за интензивну пољопривредну производњу, као и на просторима око вештачких језера, најчешће се подижу шуме.

Као пример може се навести регион Либлар (Liblar), где је након завршетка експлоатације угља формирано низ језера са пошумљавањем околних одлагалишта. Данас је цео овај простор од око 1.200 хектара изванредна рекреациона зона са излетиштима, веома добрим условима за риболов, спортове на води и другим забавним и рекреативним садржајима.

Прве количине откривке на површинском копу Хамбах откопане су у јесен 1978. године. Откопана је 1,1 милијарда кубних метара песка, шљунка и глине. Данас спољно одлагалиште представља брдо Сопинхое (Sophienhöhe), које се висином од 200 m уздиже изнад околног предела.¹⁰³

Преглед копова лигнита у фази експлоатације и рекултивисаним пределима басена угља у непосредној близини великог града Келна дата је у раду „Optimization of coal output by increasing the steepness of the lignite slope in the rim slopesystem of the

¹⁰² Павловић В. и сарадници (...Димитријевић Б.), *Студија и идејни пројекат затварања површинског копа Кленовник*, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, Београд, 2013.

¹⁰³ Vujić S. i dr., *Selectivno otkopavanje i odlaganje otkrivke u funkciji rekultivacije površinskih kopova uglja. Selective Mining and Dumping of Overburden as Mean for Land Reclamation at Coal Open Pit Mines*, прир. S. Vujić, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета – Електропривреда Србије – Академија инжењерских наука Србије, 2006, стр. 82-85, 92-93, 96-98, 101.

Hambach opencast mine“.¹⁰⁴ Површински коп Хамбах налази се на око 20 km западно од Келна. Рудник тренутно има површину преко 35 km², а укупно одобрено рударско поље 85 km². Максимална дубина копа сада износи преко 350 m са тенденцијом ископавања до 400 m. Годишња производња лигнита износи око 40 милиона тона, што је једнако 40% од укупне производње у Рајнској рударској области. Прве количине откривке на површинском копу Хамбах откопане су 1979. године. Данас, спољашње одлагалиште представља споменуто брдо Сопинхое, које се висином од 200 m уздиже изнад околног предела. Са шумском рекултивацијом одлагалишта почело се 1978. године, само неколико недеља после почетка одлагања откривке. Од тада до данас бројне биљке и животиње настаниле су Сопинхое, што је допринело да већ дуги низ година буде омиљено излетиште.

Као најинтересантнији пример новог приступа рекултивацији затворених површинских копова може се издвојити коп Бергхајм (Bergheim) који је отворен 1984. године и затворен 2002. За то време откопано је 238 милиона тона угља са повољним коефицијентом откривке 2.3:1. Површина површинског копа је 6,7 km², дубина 280 m, а годишња производња је износила 16 милиона тона. Дебљина слоја лигнита је била између 70 и 90 m, а расељено је 1.700 становника. Запуњавање копа врши се откривком са површинског копа Хамбах. Површина је оплемењена селективно откопаним плодним слојем са површинског копа Гарцвајлер. Укупна површина рекултивисаног простора износи 674 ha, од чега је 461 ha пољопривредно земљиште, а око 213 ha шумско растиње.

Транспорт откривке са површинског копа Хамбах вршен је са два паралелна транспортера дужине 12 km, годишњег капацитета 2*50 милиона m³. Плодни слој са површинског копа Гарцвајлер довози се железничким транспортом. Реализацијом целокупног пројекта формираће се зелена траса пешачког и бициклистичког пута као веза између насеља уместо трасе транспортера, индустријски парк за производњу енергије из обновљивих извора и простор за изградњу истраживачког и развојног центра за угаљ.¹⁰⁵

У јужном Брандербургу (Branderburg) традиција рударства дуга је 150 година, што је изазвало потпуну измену предела. Села су измештена и створио се уједначени предео. Након ископавања угља почела је рекултивација. Већина копова је рекултивисана задњих година 20. века, преостали копови су у експлоатацији и шире се. Постепено се мења Нидерлојцик (Niederlausitz), од индустријског подручја у подручје рекреације. После недирнуте природе посетиоцима одмах пада у очи површински коп угља са одлагалиштима и рекултивисаним површинама. Многи видиковци омогућавају посетиоцима да добију увид о димензијама копа. Тако, на пример, на одлагалишту Велзов (Welzow) настао је предео, који се користи за пољопривреду и шумарство. Истовремено природи се враћају разноврсне могућности развоја. Формирани су влажни биотопи који нуде животни простор за птице, инсекте, мале сисаре. О

¹⁰⁴ Dahmen D., Karcher C., K.-Heinz Richartz, „Optimization of coal output by increasing the steepness of the lignite slope in the rim slope system of the Hambach opencast mine“, *World of Mining – Surface & Underground* 59, No. 1, page 27, 8th International Symposium Continuous Surface Mining, September 24 to 27, 2006 at RWTH Aachen, Germany, 2007.

¹⁰⁵ Павловић В. и сарадници (...Димитријевић Б.), *Студија и идејни пројекат затварања површинског копа Кленовник*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду.

богатству дивљачи брину ловци. Интересантна је била идеја да подручје Лужица у Немачкој у периоду од 2000. до 2010. буде подручје интернационалне изложбе грађевинарства. То подручје обухвата 5000 km². У средишту интернационалне изложбе грађевинарства (IBA – International Exhibition of Architecture and Construction) Fürst-Pückler-Land налази се тема *Предео*. На подручју где се некада налазио центар енергије ДДР-а (Источне Немачке), данас се сусреће брдовит предео са језерима. У непосредној околини налази се геолошки интересантан терен, јединствен рељеф *набора* Фалтенбоден (Faltenboden) као и рекултивисани предео активног површинског копа Нохтен.

Техничка рекултивација и заштита површинског копа Михелн (Mücheln) до сада је коштала преко 210 милиона евра. То је обухватило, између осталог, санирање преко 40 километара косина, делимично висине 200 m, али и крчење, чишћење депоније. Плављењем копа Михелн настаће језеро површине 1,842 ha, запремине воде од 427*10⁶ m³ и са обалом дужине 40 km. То ће бити највеће језеро Саксоније Анхалт (Sachsen-Anhalt) и највеће вештачко језеро у Немачкој.¹⁰⁶

Ова историјска индустријска рударска област у Немачкој, спомиње се у раду из 1996. године о рекултивацији рударских одлагалишта у часопису о загађењу воде, ваздуха, и земљишта „Recultivation of mining waste dumps in the Ruhr area“.¹⁰⁷

У раду „Present state and prospects of lignite extraction in Poland“,¹⁰⁸ говори се о лигниту који је одмах после каменог угља, друго основно енергетско сировинско фосилно гориво у Пољској. Међутим, важнији економски значај започео је у другој половини 20. века и био је повезан шездесетих са рударском-енергетском активношћу у басену лигнита Туров и Конин, а затим седамдесетих година у басену Белхатов. Сада се лигнит у Пољској откопава са четири површинска копа Адамов (Adamow), (Belchatow), Конин (Konin) и Типов (Turów).

У току површинске експлоатације угља у Пољској, од 1945. године откопано је 2.25 милијарди тона угља, око 8.8 милијарди m³ откривке и при томе је заузет простор од око 33.000 ha, што у просеку износи 15 ha за милион тона угља. Рекултивисан је простор од 10.500 ha. Активне су четири рударске компаније са поменутиим површинским коповима угља. Најбоље резултате имају копови компаније Конин са 50% рекултивисаног простора. Површински копови компаније Адамов у Пољској раде преко 50 година. Од почетка експлоатације 1959. године рекултивисан је и приведен корисној намени простор од преко 3.401 ha.

Рекултивација терена одвија се на два поља Белхатов (Belchatow) и Шчерцов (Szczercow). Експлоатационо поље Белхатов заузима око 3,887 ha, а крај рада

¹⁰⁶ Vujić S. i dr., *Selektivno otkopavanje i odlaganje otkrivke u funkciji rekultivacije površinskih kopova uglja. Selective Mining and Dumping of Overburden as Mean for Land Reclamation at Coal Open Pit Mines*, прир. S. Vujić, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета – Електропривреда Србије – Академија инжењерских наука Србије, 2006, стр. 82-85, 92-93, 96-98, 101.

¹⁰⁷ Schulz D., „Recultivation of mining waste dumps in the Ruhr area, Germany“, *Water, Air, Soil Pollution*, 1996, pg. 91, (1/2)+89-98.

¹⁰⁸ Tajdus A., Koziol W., Kawalec P., „Present state and prospects of lignite extraction in Poland“, *World of Mining – Surface & Underground*, 59 (2007) No. 1, pages 36, *The 8th International Symposium Continuous Surface Mining*, RWTH Aachen, Germany, September 24 to 27, 2006.

рудника предвиђен је око 2018. године. На око 1.480 ha терен је надвишен 195 m. Отварање површинског копа Шчерцов започело је 2002. године. Заузеће простор од око 2,360 ha до 2038. године, када је предвиђено његово затварање са завршном дубином од око 300 m. По завршетку експлоатације предвиђено је формирање језера са површином око 32,5 km² за смештање око 2,5 милијарди m³ воде, у трајању око 18 година.

Током рада у трајању од 65 година површински копови заузимају простор од око 15.000 ha од чега је око 8.000 ha рекултивисано. Врши се и селективно откопавање и одлагање плодног слоја откривке. Рударска компанија је затворила пет површинских копова на којима се врши рекултивација: Можуслав (Morzyslaw), Њеслуш (Nieslusz), Гославице (Goslawice), Патнов (Patnow) и Казимјеж Полудње (Kazimierz Poludnie).

Рекултивација експлоатисаног простора површинског копа Типов започела је пре 70 година формирањем пољопривредних и шумских терена површине око 1,700 ha. У завршним контурама остао је простор од око 1,700 ha где је предвиђено формирање језера запремине 1,2 милијарде m³ воде.¹⁰⁹

Угаљ се у Чешкој Републици користи за производњу 75% електричне енергије. У овој земљи, рестаурација земљишта је обавеза од 1956. године, када је она прописана законом о заштити пољопривредног земљишта. Рекултивација, која је техничка и економска обавеза свих рударских организација, даје базу за продукцију хране и важна је компонента еколошког система подручја копа. Већина великих рекултивисаних површина налази се у басену угља северне Бохемије, басену угља Соколв и у региону Острава–Карвина.

Тако је од раних шездесетих година, на свим коповима угља на којима је била завршена експлоатација, реализован стратешки програм генералне рестаурације ових подручја како би се обновило пољопривредно земљиште, шуме и водни режим. Чешка Република има око 14.000 ha рекултивисаних површина. Већина ових површина је реализована у басену угља северне Бохемије.¹¹⁰ Примери рекултивисаних одлагалишта у Чешкој су: Меркур, Хорни, Жиретин, Ветрак, Радовесице, Бранани, Фучок, Кринец и Пророк.

Поред Немачке која је свакако један од најбољих примера успешне ревитализације простора деградираних површинском експлоатацијом угља и њиховог каснијег мултифункционалног коришћења, постоји у свету и низ других позитивних примера. Захваљујући посебним, веома ригорозним законима којима су прописани поступци, услови, надлежности и одговорности у многим земљама су успешно уређене велике рударским радовима деградираних површина. У САД постоји савезни Закон о контроли површинске експлоатације и мелиорације (Surface Mining Control and Reclamation Act of 1977 SMCRA), чије је спровођење у надлежности посебног савезног одбора. Захваљујући овом закону, постоје веома добри примери успешно ревитализованих простора,

¹⁰⁹ Павловић В. и сарадници (...Димитријевић Б.), *Студија и идејни пројекат затварања површинског копа Кленовник*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду.

¹¹⁰ Vujić S. i dr., *Selectivno otkopavanje i odlaganje otkrivke u funkciji rekultivacije površinskih kopova uglja. Selective Mining and Dumping of Overburden as Mean for Land Reclamation at Coal Open Pit Mines*, прир. S. Vujić, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета – Електропривреда Србије – Академија инжењерских наука Србије, 2006, стр. 82-85, 92-93, 96-98, 101.

након или сукцесивно у току површинске експлоатације минералних сировина: Западна Пенсилванија (Aharrah E. C., Hartman R. T., 1973), Јужна Индијана (Byrnes W. R., Miller J. H., 1973, Medvick Ch., 1973, Miles V. C., Ruble R. W., Bond R. L., 1973), Пенсилванија (Davis G., 1973), Охајо (Funk D. T., 1973), Kansas (Geyer A. W., 1973.), Западна Вирџинија – рудник Елкинс (Hodgson D. R., Townsend W. N., 1973., Thurman N. C., Sencendiver J. C., 1986). На подручју средњег запада САД, практиковано је оснивање фарми, које су агромелиоративним мерама довођене у стање продуктивности као пре експлоатације угља. У новије време, често је опредељење за рестаурацију природних *дивљих* станишта. Нарочито популарна постаје техника рекултивације којом се постексплоатациони предели претварају у мочваре. Овакви предели постају драгоцен станишта за одмор птица приликом миграције. У САД, се сматра да је овај вид рекултивације и финансијски оправдан, јер ови екосистеми делују као природни пречишћивачи воде до оног нивоа који одговара прописаним стандардима. У подручјима шума, подржава се подизање шума или воћњака. Неке компаније се опредељују за примарну вегетацију и ливаде, дозвољавајући природну сукцесију биљних врста до нивоа климатогене шумске заједнице. На западу САД, биљне врсте се бирају у циљу повећања спонтане природности – дивљине. Подстиче се стабилизација косина одлагалишта и формирање језера. Околно земљиште се користи за насеља, голф терене и рекреацију. У планинским пределима источног дела САД, заравни које настају после експлоатације угља су скоро једино равно земљиште, погодно за развој насеља. За разлику од некадашњег неселективног одлагања отквивке које је резултирало уништавањем плодног земљишта и вегетације, стварањем киселих, алкалних или токсичних депосола, нестабилних, ерозији изложених косина (преостало је око 200.000 хектара нерекултивисаних, трајно запуштених и напуштених површина), данас се у САД предели оштећени површинском експлоатацијом обавезно рекултивишу и оплемењују.

У Великој Британији посебним законима је регулисана област планирања и уређења предела, посебно за Енглеску и Велс, а посебно за Шкотску. Последњих деценија су постигнути веома значајни резултати у обнављању подручја која су у прошлости оштећена рударским радовима. Планови уређења, па и планови обнављања земљишта у зони рударских активности, доносе се на локалном нивоу. Дозволу за отварање новог површинског копа издаје Национална управа за угаљ (National Coal Board – NCB), при чему се склапа уговор са рударским предузећем. Од 65 уобичајених клаузула уговора, 28 се односи на заштиту средине, очување пејзажа и рекултивацију оштећеног земљишта. На тај начин су у Северној Енглеској (Chadwick M. J., 1973), регионима Јоркшира, Северног Дербишајра и Донкастера (Lindley, G. F., Mansfield B. H., 1979.) уређене значајне површине.¹¹¹

На међународној конференцији о одрживом управљању земљиштем у постексплоатационим рударским условима из 2005. године у Пољској представљена су истраживања кроз рад типа студије из Кронвела, Велика Британија, о радикалном приступу регенерацији (рестаурацији) у

¹¹¹ Исто.

постексплоатационом периоду након обављених рударских радова под називом *A Radical approach to post-mining regeneration – case studies from cornwall*.¹¹²

У истраживањима приказаним у раду *Application of project management principles for the reclamation of old mine sites. The case of Thorikos bay in Lavrion, Greece*,¹¹³ дата је примена принципа управљања пројектима за рекултивацију на локацијама старих рударских радова, као што је случај залива Торикос у Лавриону у Грчкој, где је представљен пример рехабилитације индустријске зоне и рекултивације напуштене и затворене области рударске експлоатације, додуше металичне руде на једном врло неприступачном и у уском делу уз морску обалу. Рад је интересантан са управљачко-организационог аспекта структурирања свих активности рекултивационих процеса. Исти локалитет и рударски објекат био је и предмет рада анализиран са аспекта примене принципа управљања ризиком у раду „*Application of risk management techniques for the remediation of an old mining site in Greece*“,¹¹⁴ за реамидацију једног старог рудника у Грчкој.

Експлоатација рударских копова праћена је негативним еколошким утицајем на животну средину, чиме се ствара обавеза за константним интегралним планирањем, ревитализацијом, рекултивацијом и уређењем нарушеног простора са циљем поновног хуманог искоришћења у постексплоатационом периоду. Постексплоатационо санирање, уређење предела површинских копова и одлагалишта, односно нарушеног простора изазваног рударским радовима, представља веома комплексан вишефазни инжењерски проблем. На основу примене теорије одлучивања и управљања могуће је ефикасно решавати проблеме примене ових феномена на процесе техничке и биолошке рекултивације предела и анализе њиховог општег утицаја на факторе животне средине.

Процес планирања рекултивације кроз све фазе развоја површинског копа има три нивоа: прелиминарни, оперативни и финални и може се примењивати како за нове тако и за површинске копове у раду за које то претходно није вршено. Бројни примери сценске, природне и културолошке атрактивности рударског постексплоатационог земљишта опредељују рударство да ствара нове еколошке вредности и потенцијале, као и нове услове за заштиту животне средине. Овако рекултивисано и новоуређено земљиште са својим пејзажом углавном постаје природни део регионалног околиша и више није место претходног експлоатационог простора.¹¹⁵ Многи затворени рудници прерасли су у шуме, пољопривредна земљишта и резервате природе. Техничка рекултивација је

¹¹² Whitbread-Abrutat P., *A Radical approach to post-mining regeneration – case studies from cornwall*, UK, International Conference Sustainable Post-mining Land Management, Poland, 2005.

¹¹³ Adam K., Dretas C., Panagopoulos I., Voudouris N., Kourtis A., *Application of Project management principles for the reclamation of old mine sites, the case of Thorikos bay in Lavrion, Greece*, 2005.

¹¹⁴ Panagopoulos I., Karayannis A., Adam K., Aravossis K. „PROJECT and RISK MANAGEMENT FOR THE RECLAMATION OF OLD MINE SITES“, *Proceedings of the International Conference of Environmental Management, Engineering, Planning and Economics*, 2007, p.p. 667–673, Skiathos Island, Greece, June 24-28.

¹¹⁵ Kasztelewicz, Z. „Approaches to Post-Mining Land Reclamation in Polish Open-Cast Lignite Mining“, *Civil and Environmental Engineering Reports*, 2014, 12(1), pg. 55-67. Rad je dostupan na e-adresi: <https://doi.org/10.2478/ceer-2014-0006>.

уобичајен приступ који се користи на локацијама након рударских активности, а чак је и обавезна пракса у неким регионима, због законодавства многих земаља.¹¹⁶

Рекултивација постексплоатационог земљишта има мултидисциплинарни и интердисциплинарни карактер, јер представља синтезу инжењерских рударско-геолошких (геотехничких и хидрогеолошких), хидротехничких, хидролошких и биоинжењерских (агрономски и шумски мелиорациони поступци), као и других техничко-технолошких мера које се предузимају у циљу трансформације техногеног деградираног земљишта у стање погодно за пољопривреду, шумарство, риболов, спортско-рекреативне активности, здравствено-бањски и етно туризам и простор за изградњу грађевинских објеката различите намене, као и парковских и пејзажних амбијенталних целина за културно-историјске и сакралне архитектонско-споменичке комплексе у екстеријеру. Са натуралистичког и природњачког становишта, геотехничке, шумске и агротехничке мелиорације, представљају подршку обнављању старих и оживљавању нових биљних и животињских врста, стварању стабилних еко-заједница у циљу еколошке равнотеже животне средине и одрживог развоја природно обновљивих и необновљивих извора. У том циљу, подручје мелиорираних површина уклапају се у постојећи екосистем или се можда у потпуности или делимично мења намена за нове захтеве.

Захваљујући посебним, веома ригорозним законима којима су прописани поступци, услови, надлежности и одговорности у многим земљама су успешно уређене велике деградиране површине настале као последица рударских експлоатационих радова. На подручју средњег запада САД, практиковано је оснивање компанија, које су агромелиоративним мерама довођене у стање продуктивности као пре експлоатације угља. У новије време, често је опеделењење за рестаурацију природних дивљих станишта. Нарочито популарна постаје техника рекултивације којом се постексплоатациони предели претварају у мочваре.¹¹⁷ У Великој Британији посебним законима је регулисана област планирања и уређења предела, посебно за Енглеску и Велс, а посебно за Шкотску. Дозволу за отварање новог површонског копа издаје Национална управа за угаљ (National Coal Board – NCB).¹¹⁸ Примена рударских технологија, која подразумева уклањање јаловине и методе њеног одлагања на одлагалишта (јаловишта), као и формирање отворених копова, има утицај на услове станишта у подручјима која су подвргнута мелиорацији.¹¹⁹ Рудари на пољским површинским коповима врше рекултивацију и

¹¹⁶ Spasić M., Borůvka L., Vacek O., Drábek O., Tejnecký V., „Pedogenesis problems on reclaimed coal mining sites“, *Soil & Water Res*, 2021, 16(3), pg. 137–150.

¹¹⁷ Harley A., G. & Wexner H., „The Struggle for Sustainable Development in Appalachia’s Mineral Rich Mountains“, *M-RCBG Associate Working Paper Series*, No. 184, 2022. Rad je dostupan na e-adresi: https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/37371772/184_AWP_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

¹¹⁸ *Guidance on how to provide evidence in support of a request for the Welsh Ministers’ approval of a Coal Authority mining operation licence*, Requesting approval for Coal Authority mining operation licences, Welsh Government services and information, 2022.

¹¹⁹ Krzaklewski W. & Pietrzykowski M., „Site classification in post-mining areas reclaimed for forest use with special focus on phytosociological-soil method“, *Sylvan*, 2007, 151, pg. 51–57; Pietrzykowski M. & Krzaklewski W., „Reclamation – interaction of technology and ecology“. In *Sierpień D*, editor: *Monograph: lignite – the chances and the treaths*, Krakow, Academy of Mining and Metallurgy AGH, 2014, pg. 333–343; Spasić M., Drábek O., Borůvka L., Tejnecký V., „Trends of Global Scientific Research on Reclaimed Coal Mine Sites between 2015 and 2020“, *Applied Sciences*, 2023, 13(14): 8412; rad je dostupan na e-adresi: <https://doi.org/10.3390/app13148412>.

уређење земљишта применом рударских техника након експлоатационог периода. Радови се обављају по високим европским стандардима, тако да се земљиште може користити за пољопривреду или шумарство, укључујући и рекреативне делатности.¹²⁰ Анализом постојећих 5.000 контаминираних локација у Немачкој, уочено је 159 затворених површинских копова, 122 јаловишта (са пепелом и лигнитом), 120 постројења за седиментацију као и девет постројења за термичку надоградњу. Овом студијом је показано да је до 2008. године потрошено више од 8,2 милијарде евра за санацију лигнита.¹²¹ Бровнфилдс (brownfields) у Француској представљају контаминиране локације на којима је изграђено (пољопривредно, лучко, индустријско, услужно и др.) земљиште које је привремено или трајно напуштено након престанка рударских активности и које је поново враћено у употребу. Око 200.000 бивших индустријских локација и око 200 бивших рудника су сада постали бровнфилдс.¹²² На основу истраживања спроведеног на пет различитих копова рудника угља Занђи (Кина) у периоду од једанаест година, спроведен је концепт динамичког слегања (Dynamic subsidence reclamation – DSR) да би се проценило да ли би DSR могао побољшати и животну средину и социо-економске услове за коришћење земљишта након рударских активности са коришћењем традиционалне мелиорације (TR) или TR-модификоване (TR(MOD)) мелиорације.¹²³

На основу истраживања спроведеног у басенима високог подземног угља (HGCB) у источној кинеској равници на седам подручја у округу Пеи, студија је предложила интегрисани модел (модел граничних услова, модел логистичке регресије, модел линеарног програмирања и CLUE-S модел) за симулацију и оптимизацију структуре коришћења земљишта након експлоатационих рударских активности. Развијени су различити сценарији структуре коришћења земљишта у односу на дубину слегања, ради утврђивања оптималне дубине урушавања. Резултати истраживања су показали да интегрисани модел може ефикасно симулирати рекултивисану структуру коришћења земљишта. Обновљено урбано земљиште је углавном распоређено око града Пеи, а обновљено пољопривредно земљиште је углавном распоређено у области између овог града и језера Вејшан. Оптимално добијена дубина урушавања за раздвајање оштећеног подручја на подручје пуњења и подручје неиспуњавања била је 2,6 m.¹²⁴

¹²⁰ Kasztelewicz Z., „Approaches to Post-Mining Land Reclamation in Polish Open-Cast Lignite Mining“. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 2013, 12(1), pg. 55–67. Rad je dostupan na e-adresi: <https://doi.org/10.2478/ceer-2014-0006>.

¹²¹ Frauenstein J., *Lignite mining and rehabilitation*. Paper presented at: Common Forum, Meeting. Helsinki, Finland, 2009.

¹²² Sloss L., *Coal mine site reclamation CCC/216*, International Energy Association Clean Coal Centre, 2013. Rad je dostupan na e-adresi:

www.usea.org/sites/default/files/022013_Coal%20mine%20site%20reclamation_ccc216.pdf.

¹²³ Zhang R. & Chugh Y. P., „Sustainable Development of Underground Coal, Resources in Shallow Groundwater Areas for Environment and Socio-Economic Considerations: A Case Study of Zhangji Coal Mine in China“, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20, 5213, 2023. Rad je dostupan na e-adresi: <https://doi.org/10.3390/ijerph20065213>.

¹²⁴ Li Z., Wu S., Zhang S., Nie C., Li, Y. & Huang Y., „Optimization of Land Reuse Structure in Coal Mining Subsided Areas Considering Regional Economic Development: A Case Study in Pei County, China“, *Sustainability*, 2020, 12(8), 3335.

Очување рударске баштине са циљем атрактивности региона подразумева ревитализацију објеката након експлоатације рудника. Истраживања у Шпанији, Пољској и Великој Британији показују да ревитализацију и атрактивност локација уређују кроз законске регулативе. Ово истраживање показује да би уговори о закупу земљишта могли садржати обавезу поновне стабилизације или враћања експлоатисаног земљишта у првобитно стање заштићене животне средине. Без обзира на важеће регулативе, мере ревитализације се спроводе са позитивним ефектима у пољском руднику злата у Злоти Стоку (Złoty Stok), руднику Ла Тортиља (La Tortilla) у Линаресу и руднику Краља Едварда, старог рударског налазишта у Корнвалу.¹²⁵

Многи копови угља укључени су у програме одрживог развоја, економске подршке регијама и локалним заједницама, обнови животне средине и слично. Рударство се не односи само на истраживање и експлоатацију већ узима у обзир еколошку одговорност како би се заштитила еколошка одрживост.¹²⁶ Правни, друштвени и еколошки захтеви за сложене рударске технолошке процесе у потпуности су интегрисани у план рударства и рекултивације, док третирање одрживог развоја и инжењерских анализа ће резултирати оптимизацијом рударских технолошких процеса. Овај системски приступ даје економску и еколошку одрживост, заштиту и обнову животне средине, ефикасну и ефективну оправданост рударске експлоатације и рекултивације.¹²⁷

Истраживање спроведено у Индонезији да би се анализирао идеална имплементација рекултивисаног рудника угља, показало је да након експлоатационих радова, земљиште често остаје суво, са великим празнинама које су подложне поплавама и ерозији тла. Утврђено је да 70,59% програма мелиорације у Индонезији има за циљ пошумљавање рударских подручја у секундарне шуме. Спроведене врсте рекултивације су аквакултура, урбане шуме, парковска игралишта, спортски парк, фарме стоке и екотуризам очувања фауне. Развијен је и нови приступ рекултивације назван *ecohabitat*.¹²⁸

Услед интензивног развоја експлоатације угља и погоршања еколошког окружења у провинцији Шанкси у Кини, дошло је до смањења обрадивог

¹²⁵ Kaźmierczak U., Strzałkowski P., Lorenc M. W., Szumska E., Sánchez A. A. P. & Baker K. A. C., „Post-mining Remnants and Revitalization“, *Geoheritage*, 2019, 11(4), pg. 2025–2044.

¹²⁶ Pietrzykowski M. & Krzaklewski W., „Reclamation – interaction of technology and ecology“. In Sierpień D, editor: *Monograph: lignite – the chances and the treaths*, Krakow, Academy of Mining and Metallurgy AGH, 2014, pp 333–343; Zhang R. & Chugh Y. P., „Sustainable Development of Underground Coal Resources in Shallow Groundwater Areas for Environment and Socio-Economic Considerations: A Case Study of Zhangji Coal Mine in China“. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2013, 20, 5213; Więckol-Ryk A., Pierzchała Ł., Bauerek A. & Krzemień A., „Minimising Coal Mining’s Impact on Biodiversity: Artificial Soils for Post-Mining Land Reclamation“, *Sustainability*, 2023, 15, 9707, rad je dostupan na e-adresi: <https://doi.org/10.3390/su15129707>; Baidowi N., Rosyidi C. N. & Aisyati A., „A Cut-Off Grade Optimization Model in Open Pit Mining Considering Reclamation Cost and Revenue“, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, 1096(1).

¹²⁷ Craynon J. & Karmis M., „Integrating sustainability in coal mining operations“, *3rd International Conference on Sustainable Development Indicators in the Minerals Industry*, June 2007, Milos island, Greece, 2007

¹²⁸ Pambudi P. A., Utomo S. W., Soelarno S. W. and Takarina N. D., „Coal mining reclamation as an environmental recovery effort: a review“, *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 2023, 10(4), pg. 4811–4821.

земљишта. Концептом „зелене рударске индустрије“ развијен је основни метод мелиорације у рударским подручјима, инжењерска студија рудничке мелиорације, као и модел еколошке пољопривредне рекултивације у рударским слегањима.¹²⁹ Такође, истраживање иновативних технологија и теорије мелиорације у последњих десет година укључило је и анализу експлоатације, рекултивације, затрпавање земљишта (Жуте реке), саморекултивацију и алтернативна решења површинског слоја на површинским коповима. У овом истраживању, које је обухватило источну, западну и јужну зону, показано је да на петогодишњем нивоу донето неколико важних закона и прописа.^{130]}

Мелиорирана рудничка тла развијена на локацијама након ископавања угља чине веома разноврсне литолошке насlage које показују значајну варијабилност у зависности од текстуре земљишта. Ипак, истраживање¹³¹ је показало да је станиште биљака засновано на литологији и генези седимената од матичних стена, тако да предвиђени потенцијал плодности јаловине стена које су отпорне на временске утицаје може бити и погрешно протумачен и дат прецењени коначни резултат класификације станишта. Такође, спровођење плана оптимизације мелиорације је од значаја за изградњу одговарајућих пројеката заштите животне средине и уређење животних и производних активности у рударском подручју приликом завршетка грађевинских радова.¹³²

На основу истраживања у Кини¹³³ анализирана је технологија Concurrent Mining and Reclamation (CMR), а примењени принципи и технологије су дати за подземну експлоатацију угља. Ова студија је показала да су предности високог процента мелиорације земљишних ресурса прилагођени новој технологији. Према овом истраживању CMR би могао повећати проценат мелиорације пољопривредног земљишта на 37,59%, у поређењу са процентом мелиорације пољопривредног земљишта после рударских активности.

Студија спроведена у Лесу у Кини, која је истраживала регулацију нутритијената у тлу анализирала је степен хранљивих материја код различитих типова коришћеног земљишта. Студија је показала да су за првих пет година након рекултивације нивои нутритијената у тлу значајно порасли. У овој студији су анализирана четири типа нутритијената (калијум, фосфор, азот и органске материје) у земљишту.¹³⁴ На основу датих нивоа хранљивих материја у земљишту, дате су смернице за прецизно управљање рекултивисаним

¹²⁹ Bing-yuan H. & Li-xun Kang., „Mine Land Reclamation and Eco-Reconstruction in Shanxi Province I: Mine Land Reclamation Model“, *The Scientific World Journal*, 2014, 1-9.

¹³⁰ Xiao W., Hu Z., & Fu Y., „Zoning of land reclamation in coal mining area and new progresses for the past 10 years“, *International Journal of Coal Science & Technology*, 2014, 1(2), 177–183.

¹³¹ Pietrzykowski, M. & Krzaklewski, W., „Reclamation of Mine Lands in Poland“, *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*, 2018, 493–513.

¹³² Xu L., Song H., & Jin W., „Optimizing the Structures of Reclaimed Land Use in Coal Mining Area“, *3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 2009. Rad je dostupan na e-adresi: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5163160>.

¹³³ Hu Z., Xiao W., Fu Y., „Introduction to Concurrent Mining and Reclamation for Coal Mines in China“. In: Drebenstedt, C., Singhal, R. (eds) *Mine Planning and Equipment Selection*. Springer, Cham. Rad je dostupan na e-adresi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-02678-7_76.

¹³⁴ Fan X., Guan Y., Bai Z., Zhou W. & Zhu C., „Optimization of Reclamation Measures in a Mining Area by Analysis of Variations in Soil Nutrient Grades under Different Types of Land Usage—A Case Study of Pingshuo Coal Mine“, *China. Land*, 2022, 11, 321. Rad je dostupan na e-adresi: <https://doi.org/10.3390/land11030321>.

рудничким земљиштем са оптимизационим мерама мелиорације. Такође, одређена лабораторијска истраживања о физичко-хемијским параметрима супститута земљишта, показала су могућност њихове примене за рекултивацију одлагалишта површинских копова угља високе киселости. Резултати наношења земљишног покривача на затворене копове, дали су спонтане сукцесије мезичких и сувих ливадских врста после друге године раста вегетације. Садржај тешких метала после друге године вегетације показао је концентрацију токсичних метала (чији удео није прелазио дозвољени ниво према пољском стандарду), али је могуће применити ове рекултивисане делове за зелене површине, шумовита и жбунаста земљишта.¹³⁵

Истраживање засновано на техникама линеарног програмирања спроведено у области рудника Бањи у Кини са годишњом производњом око три милиона тона угља добијеног подземном експлоатацијом показало је да је мелиорација која се спроводи за потребе риболова, производње житарица, воћњака и слично оптимизирана под ограничењем фиксног капитала (инвестиционих финансијских улагања, ресурса, радне снаге и сл.).¹³⁶

¹³⁵ Vangronsveld J., Van Assche F., & Clijsters H., „Reclamation of a bare industrial area contaminated by non-ferrous metals: In situ metal immobilization and revegetation“, *Environmental Pollution*, 1995, 87(1), pg. 51–59.

¹³⁶ Xu L., Song H., & Jin W., „Optimizing the Structures of Reclaimed Land Use in Coal Mining Area“, *3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 2009.

ЛИТЕРАТУРНИ ИЗВОРИ¹³⁷

Вујић С, и др., „Вишекритеријумски оптимизациони модел просторног планирања система површинских копова техничког камена – увод у проблем“, *XXV Symopis*, стр. 581–585, Херцег Нови, 1998.

Vujić S. i dr., *Selectivno otkopavanje i odlaganje otkrivke u funkciji rekultivacije površinskih kopova uglja. Selective Mining and Dumping of Overburden as Mean for Land Reclamation at Coal Open Pit Mines*, prir. S. Vujić, Beograd: Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta – Elektroprivreda Srbije – Akademija inženjerskih nauka Srbije, 2006.

Вујић С., *Пројектовање рекултивације и уређење предела површинских копова*, Београд, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду и Академија инжењерских наука Србије, 2009.

Вујић С., Димитријевић Б., Николић Ј., Милошевић Д., Макар Н., Марјанац С., „Избор рекултивационог решења површинског копа Кленовник вишеатрибутом анализом: Моделски приступ код избора“, *XL SYM-OP-IS 2013*, Златибор, 8–12. септембра 2013.

Вујић С., *Квантитативни модели за подршку одлучивању у планирању и пројектовању у рударству*, Београд: Рударски институт Београд, 2023.

Vujošević M., *Operativni menadžment: Kvantitativne metode*, Beograd: Društvo operacionih istraživača Jugoslavije, 1997.

Димитријевић Б., Степановић С., „Приказ пројектног решења технолошких процеса рекултивације спољашњег одлагалишта површинског копа Дрмно Костолачког угљеног басена“, *Зборник IV Међународна конференција УГАЉ 2008*, 2008, стр. 40–46.

Димитријевић Б., „Избор рекултивационог решења површинског копа “Тамнава Западно поље“ вишеатрибутом анализом, „Selection of the land reclamation option for the Tamnava Zapadno Polje open pit mine by multi-attribute analysis“, *Међународна конференција УГАЉ 2013*, 2013, стр. 37–42.

Dimitrijević B., Lilić N., „Izbor rekultivacionog rešenja na primerima površinskih kopova uglja višekriterijumskom analizom“, *Zbornik radova 10. Međunarodna naučna konferencija o površinskoj eksploataciji: Opencast Mining Conference – OMC 2014*, 2014, str. 43–53. Rad je dostupan na e-adresi: <http://www.jukom.org.rs/OMC-2014.pdf>.

Димитријевић Б., *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, докторска дисертација, Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет, 2014, стр. 1–266. Рад је доступан на е-адреси: www.rgf.bg.ac.rs/biblioteka/.

Dimitrijević B., „Procesna analiza i definisanje modela optimizacije rekultivacije površinskih kopova“, *Tehnika: aktuelni tehnički problemi*, 2015, god. 70, br. 6, str. 947–951. Rad je dostupan na e-adresi: www.sits.org.rs.

¹³⁷ Ради прегледности литература је подељена у две целине по азбучном и абецедном следу. У првој су пописани коришћени извори на српском језику, а потом на руском и енглеском, док другу целину чини грађа која није експлицитно наведена, али која је својим садржајем уско везана за нашу тему, те читаоце свесрдно упућујемо и на њу.

Јовичић В., *Моделирање основних пословних процеса површинске експлоатације угља*, магистарски рад, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 2009.

Крчевинац, С., Чангаловић, М., Ковачевић-Вујичић, В., Мартић, М., Вујошевић, М., *Операциона истраживања*, Београд: Факултет организационих наука Универзитета у Београду, 2004.

Лазић А., *Пројектовање површинских копова са моделирањем система експлоатације*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 2006.

Nikolić I., Borović S., *Višekriterijumska optimizacija: metode, primena u logistici, softver*, Beograd: CVŠ VJ – Beograd, 1996.

Opricović S., *Optimizacija sistema*, Beograd: Građevinski fakultet Beograd, 1992.

Оприцовић С. *Вишекритеријумска оптимизација система у грађевинарству*, Београд: Грађевински факултет у Београду, 1998.

Павловић В., *Системи површинске експлоатације*, уџбеник, Београд, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, Југословенски Комитет за површинску експлоатацију, 1998.

Павловић В., *Рекултивација површинских копова и одлагалишта*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, Југословенски Комитет за површинску експлоатацију, 2000.

Павловић В. и сарадници (... Димитријевић Б.), *Технички пројекат откривке и угља на површинском копу Богutowo село Угљевик за период од 2004. до 2008*, Београд: Центар за површинску експлоатацију, 2004.

Павловић В. и сарадници, *Актуелизовани инвестициони програм изградње површинског копа Тамнава – Западно поље*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 2007.

Павловић В. и сарадници (... Димитријевић Б.), *Студија и идејни пројекат затварања површинског копа Кленовник*, Београд: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 2013.

Petrić J. i dr., *Metode planiranja u SOUR*, Beograd: Savremena Administracija, 1976.

Петрић Ј., *Нелинеарно програмирање*, Београд: Научна књига, 1979.

Просторни план подручја експлоатације колубарског лигнитског басена, Београд: Институт за архитектуру и урбанизам, 2013.

Ћипић М., Tumala Rao, V. M., *Savremeno odlučivanje: metode i primena*, Beograd: Naučna knjiga, 1991.

Adam K., Dretas C., Panagopoulos I., Voudouris N., Kourtis A., *Application of Project management principles for the reclamation of old mine sites, the case of Thorikos bay in Lavrion, Greece*, 2005.

Baidowi N., Rosyidi C. N., Aisyati A., „A Cut-Off Grade Optimization Model in Open Pit Mining Considering Reclamation Cost and Revenue“, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, 1096(1), 012021. Rad je dostupan na e-adresi: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1096/1/012021>.

Belegendu A. D., Chandrupatla T. R., *Optimization Concepts and Applications in Engineering*, Cambridge University Press, 2nd edition, 2011.

- Bing-yuan H., Li-xun Kang., „Mine Land Reclamation and Eco-Reconstruction in Shanxi Province I: Mine Land Reclamation Model“, *The Scientific World Journal*, 2014, pg. 1–9.
- Craynon J., Karmis M., „Integrating sustainability in coal mining operations“, *3rd International Conference on Sustainable Development Indicators in the Minerals Industry*, June 2007, Milos island, Greece, 2007.
- Dahmen D., Karcher C., K.-Heinz Richartz, „Optimization of coal output by increasing the steepness of the lignite slope in the rim slopes system of the Hambach opencast mine“, *World of Mining – Surface & Underground* 59, No. 1, page 27, 8th International Symposium Continuous Surface Mining, September 24 to 27, 2006 at RWTH Aachen, Germany, 2007.
- Dimitrijević B., Pinka J., Mitrović V., „Selection of technological parameters in borehole mining production by technical deep drilling and hydroexploitation“, *Acta Montanistica Slovacia*, Košice, 2004, vol. 3, pg. 160–168.
- Dimitrijevic, B., Vujic, S., Matic, I., Marijanac, S., Nikolic, J., Colakovic, V.: „МНОГОАТРИБУТНАЯ МОДАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИ ВЫБОРЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ УГОЛЬНОГО КАРЬЕРА «КЛЕНОВНИК» В УГОЛЬНОМ БАССЕЙНЕ КОСТОЛАЦ“, *Физико – технические проблемы разработки полезных ископаемых*, Институт горного дела Сибирского отделения Российской Академии Наук, Новосибирск, Россия, 2013, Вол 2, номер: 136–143. Rad je dostupan na e-адреси: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21949121>.
- Dimitrijević B., Vujic S., Matic I., Marijanac S., Praštalo Ž., Nikolic J., Colakovic V., „Multi attribute model support in selecting the land reclamation at the open pit mine 'Klenovnik' of the coal basin 'Kostolac'“, *Journal of Mining Science*, Springer, Springer International Publishing AG, Germany/USA, 2014, Vol-50, pg. 319–325. Rad je dostupan na e-адреси: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10627-014-0201-5>.
- Dimitrijević, B., Miljanović I., „A selection of land reclamation solution at the „Bogutovo selo“ – Ugljevik open pit mine by ute analysis“, *Bulletin of Mines*, Mining Institute, Belgrade, Serbia, br. 1–2, god. CXI, decembar 2014, str. 47–54. Rad je dostupan na e-адреси: <http://www.ribeograd.ac.rs/lat/izdavacka-delatnost/casopis-rudarski-glasnik>.
- Dimitrijević B., Vučković B., Gaćina R., „ОТВЪД 2020 г. – ГЕОЛОЖКИ ПРОУЧВАНИЯ И ВЛИЯНИЕ НА ДЕЙНОСТИТЕ В ОТКРИТИТЕ РУДНИЦИ ПРИ РЕКУЛТИВАЦИОННОТО ПРОЕКТИРАНЕ ВЪВ ВЪГЛИЩНИТЕ МИНИ 'КОЛУБАРА'“, *СЪРБИЯ. НОВИ НАСОКИ, МИННО ДЕЛО И ГЕОЛОГИЯ*, 2023, 10, pg. 48–55.
- Doumpos M., Zopounidis C., *Multicriteria Decision Aid Classification Methods (Applied Optimization)*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2010.
- Ehrgott M., *Multicriteria Optimization*, Springer Berlin–Heidelberg, 2nd edition, 2005.
- Fan X., Guan Y., Bai Z., Zhou W., Zhu C., „Optimization of Reclamation Measures in a Mining Area by Analysis of Variations in Soil Nutrient Grades under Different Types of Land Usage-A Case Study of Pingshuo Coal Mine“, *China. Land* 2022, 11, 321. Rad je dostupan na e-адреси: <https://doi.org/10.3390/land11030321>.
- Frauenstein J., „Lignite mining and rehabilitation“. Paper presented at: *Common Forum, Meeting*. Helsinki, Finland, 2009.
- Gligoric Z., Milos Gligorić M., Dimitrijević B., Gvozdenović I., Milutinović A., Ganić A., Gojković Z., „Model of room and pillar production planning in small scale underground mines with metal price and operating cost uncertainty“, *Resources Policy*, 2020, 65, 101235. Rad je dostupan na e-адреси: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420718302022>.

Guidance on how to provide evidence in support of a request for the Welsh Ministers' approval of a Coal Authority mining operation licence, Requesting approval for Coal Authority mining operation licences, Welsh Government services and information, 2022.

Harley A., G. & Wexner, H., „The Struggle for Sustainable Development in Appalachia's Mineral Rich Mountains“, *M-RCBG Associate Working Paper Series*, 2022, No. 184. Rad je dostupan na e-adresi: https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/37371772/184_AWP_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Hu Z., Xiao W., Fu Y., „Introduction to Concurrent Mining and Reclamation for Coal Mines in China“. In: Drebenstedt, C., Singhal, R. (eds), *Mine Planning and Equipment Selection*, 2014. Rad je dostupan na e-adresi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-02678-7_76.

Kasztelewicz Z., „Approaches to Post-Mining Land Reclamation in Polish Open-Cast Lignite Mining“, *Civil and Environmental Engineering Reports*, 2014, 12(1), pg. 55–67.

Kaźmierczak, U., Strzałkowski, P., Lorenc, M. W., Szumska, E., Sánchez, A. A. P., Baker, K. A. C., „Post-mining Remnants and Revitalization“, *Geoheritage*, 2019, 11(4), pg. 2025–2044. Rad je dostupan na e-adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12371-019-00408-8>.

Krawczyński R., *Succession of Collembola in the the post-mining landscapes of Lower Lusatia*, Doctoral dissertation, Technical University of Cottbus, 2006.

Krunić J., Vujic S., Tanasijević M., Dimitrijević B., Subaranović T., Ilić S., Maksimović S., „Model Approaches to Life Cycle Assessment of Auxiliary Machines Based on an Example of a Coal Mine in Serbia“, *Journal of Mining Science*, 54(3), pg. 404–413. Rad je dostupan na e-adresi: <http://link.springer.com/article/10.1134/S1062739118033809>.

Krzaklewski W., Pietrzykowski M., „Site classification in post-mining areas reclaimed for forest use with special focus on phytosociological-soil method“, *Sylwan*, 2007, 151, pg. 51–57.

Li Z., Wu S., Zhang S., Nie C., Li Y., Huang Y., „Optimization of Land Reuse Structure in Coal Mining Subsided Areas Considering Regional Economic Development: A Case Study in Pei County, China“, *Sustainability*, 2020, 12(8), 3335. Rad je dostupan na e-adresi: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/8/3335>.

Newman A., Rubio E., Caro R., Weintraub A., Eureka K., „A Review of Operations Research in Mine Planning“, *Interfaces*, 2010, Vol. 40, No. 3, pg. 222–245.

Pambudi P. A., Utomo S. W., Soelarno S. W., Takarina N. D., „Coal mining reclamation as an environmental recovery effort: a review“, *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 2023, 10(4), pg. 4811–4821.

Panagopoulos I., Karayannis A., Adam K., Aravossis K., „Project and risk management for the reclamation of mine sites“, *Proceedings of the International Conference of Environmental Management, Engineering, Planning and Economics*, 2007, p.p. 667–673, Skiathos Island, Greece, June 24–28.

Pavlović V. i dr., *Open pit mine spoil dump recultivation design and eco-control model*, 3rd International Conference AMIREG 2009, Athens, Greece, 2009.

Pietrzykowski M., Krzaklewski W., „Reclamation – interaction of technology and ecology“. In Sierpień D., editor: *Monograph: lignite – the chances and the threats*, Krakow: Academy of Mining and Metallurgy AGH, 2014, pg. 333–343.

Pietrzykowski M., Krzaklewski W., „Reclamation of Mine Lands in Poland“, *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*, 2018, pg. 493–513.

Sage A., P. Armstrong J. E., *Introduction to Systems Engineering*, Wiley-Interscience, 1st edition, 2000.

Sloss L., *Coal mine site reclamation CCC/216*, International Energy Association Clean Coal Centre, 2013. Rad je dostupan na e-adresi: www.usea.org/sites/default/files/022013_Coal%20mine%20site%20reclamation_ccc216.pdf.

Spasić M., Borůvka L., Vacek O., Drábek O., Tejnecký V., „Pedogenesis problems on reclaimed coal mining sites“, *Soil & Water Res*, 2021, 16(3), pg. 137–150. Rad je dostupan na e-adresi: <https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/swr/2021/03/01.pdf>.

Spasić M., Drábek O., Borůvka L., Tejnecký V., „Trends of Global Scientific Research on Reclaimed Coal Mine Sites between 2015 and 2020.“, *Applied Sciences*, 2023, 13(14): 8412. Rad je dostupan na e-adresi: <https://doi.org/10.3390/app13148412>.

Šubaranović T., Vujić S., Radosavljević M., Dimitrijević B., Ilić S., Jagodić-Krunić D., „Multi-Attribute Scenario Analysis of Protection of Drmno Open Pit Mine against Groundwater“, *Journal of Mining Science / Mining & Mineral Processing*, Volume 55, pg. 280–286. Rad je dostupan na e-adresi: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1062739119025564>.

Schulz D., „Recultivation of mining waste dumps in the Ruhr area, Germany“, *Water, Air, Soil Pollution*, 1996, pg. 91, (I/2)+89–98.

Tajdus A., Koziol W., Kawalec P., „Present state and prospects of lignite extraction in Poland“, *World of Mining – Surface & Underground 59*, 2007, No. 1, pages 36, The 8th International Symposium Continuous Surface Mining, RWTH Aachen, Germany, September 24 to 27, 2006.

The Lusatian Lignite Mining Region, *Research network minesite recultivation*, Newsletter No. 2 July 1997.

Torpak F., *Mine reclamation financial bonding and regulation*, Master Thesis, Department of Mining of The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle east Technical University.

Vangronsveld, J., Van Assche, F., & Clijsters, H., „Reclamation of a bare industrial area contaminated by non-ferrous metals: In situ metal immobilization and revegetation“, *Environmental Pollution*, 1995, 87(1), pg. 51–59.

Vijić S. i dr., „A location-allocation model of mining facilities planning at strategic level“, *Proceedings of the VII International Symposium on Application of Mathematical Methods and Computers in Geology, Mining and Metallurgy*, Sophia, Bulgaria, 1998.pg. 5–12.

Vujić S., Miljanović I., Maksimović S., Milutinović A., Benović T., Hudej M., Dimitrijević B., Čebašek V., Gajić G., „Optimal dynamic management of exploitation life of the mining machinery: Models with undefined interval“, *Journal of Mining Science*, Vol. 46, No. 4, July–August 2010, pg. 425–430.

Vujić S., Miljanović I., Boševski S., Kasaš K., Milutinović A., Gojković N., Josipović Pejović M., Dimitrijević B., Gajić G., Čebašek V., „Optimal dynamic management of exploitation life of the mining machinery: Models with limited duration“, *Journal of Mining Science*, Vol. 46, No.5, September-October 2010, pg. 554–560.

Vujić S., Hudej M. i dr., „Results of the promethee method application in selecting the technological system at the Majdan III open pit mine“, *Archives of Mining Sciences, Polish Academy of Sciences, Committee of Mining, Krakow*, Issue 4, 2013.

Whitbread-Abrutat P., „A Radical approach to post-mining regeneration – case studies from Cornwall“, UK, *International Conference Sustainable Post-mining Land Management*, Poland, 2005.

Wiegleb G., Felinks B., „Primary succession in the post-mining landscapes of Lower Lusatia – chance or necessity“, *Ecological Engineering* 17, pg. 199–217. Rad je dostupan na e-adresi: www.elsevier.com/locate/ecoleng, 2001.

Więckol-Ryk A., Pierzchała Ł., Bauerek A., Krzemień, A., „Minimising Coal Mining’s Impact on Biodiversity: Artificial Soils for Post-Mining Land Reclamation“, *Sustainability*, 15, 9707. Rad je dostupan na e-adresi: <https://doi.org/10.3390/su15129707>, 2023.

Xiao W., Hu Z., Fu Y., „Zoning of land reclamation in coal mining area and new progresses for the past 10 years“, *International Journal of Coal Science & Technology*, 1(2), pg. 177–183. Rad je dostupan na e-adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40789-014-0024-3>, 2014.

Xu L., Song H., Jin W., „Optimizing the Structures of Reclaimed Land Use in Coal Mining Area“, *3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*. Rad je dostupan na e-adresi: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5163160>, 2009.

Zhang, R. & Chugh, Y.P., „Sustainable Development of Underground Coal, Resources in Shallow Groundwater Areas for Environment and Socio-Economic Considerations: A Case Study of Zhangji Coal Mine in China“. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20, 5213. Rad je dostupan na e-adresi: <https://doi.org/10.3390/ijerph20065213>, 2023.

II

Агрикола, Г., *О геологији, рударству и металургији [De Re Metallica Libri XII]*, приредили Зоран Петковић, Надежда Ђалић, Дејан Миловановић, превели Душанка Симеуновић, Бранко Глушчевић, Снежана Савковић, Београд: Југословенска инжењерска академија, 2007.

Dimitrijević B., Vučković B., Gaćina R., „Beyond 2020 – Geology explorations and open pit activities effectation in reclamationn designing in Kolubara coal mines (KCM) Serbia, new considerations“, *Proceedings of the 17th International Conference of the open and underwater mining of minerals*, pg. 149–157, *Scientific and Technical Union of Mining, Geology and Metallurgy*, Sts. Constantine and Helena Resort, Varna 18–22. September, Bulgaria.

Dimitrijević B., Gaćina R., Vučković B., „Chronological review of lignite surface mining development in Serbia“, *Proceedings of The 11th International Conference Coal and Critical Minerals* 23, 2023, pg. 32–37.

Gaćina R., Dimitrijević B., „Reducing environmental impact caused by mining activities in limestone mines“, *Underground mining engineering* (2022), University of Belgrade – Faculty of minig and geology, g. 37–44, May 30, 2022.

Gaćina R., Dimitrijević B., Bajić S., „Conversion of land areas after coal mine closure and reclamation“, *Proceedings 9th International Conference Mining and Environmental Protection MEP* 23, 2023, pg. 24–27, 252–258.

ИНДЕКС ИМЕНА

- Авросис, Константин (Konstantin G. Aravossis) 132
Агрикола, Георгијус (Georgius Agricola) 38
Адам, Катерина (Katerina Adam) 132
Армстронг, Џејмс (James E. Armstrong Jr.) 35
- Бај, Џонки (Zhongke Bai) 136
Бауерек, Аркадиус (Arkadiusz Bauerek) 135
Бејкер, Кевин (Kevin A. C. Baker) 135
Беленгуду, Ашок (Ashok D. Belegundu) 49
Беновић, Томо 79
Бинг-јан, Хао (Hao Bing-yuan) 136
Боровић, Синиша 35–37
Борувка, Лубош (Luboš Borůvka) 133
Бошевски, Стефко (Стефко Бошевски) 79
- Вајнтрауб, Андрес (Andrés Weintraub) 36
Вангронсвелд, Јако (Jaco Vangronsveld) 137
Вацек, Олдрих (Oldřich Vacek) 133
Векснер, Хана (Hannah Wexner) 133
Виглеб, Герхард (Gerhard Wiegleb) 35, 125
Вијекол-Рик, Ангелика (Angelika Więskol-Ryk) 135
Ву, Сонглин (Songlin Wu) 134–136
Вујић, Слободан 9, 36, 38, 41, 48, 51, 55, 79, 80, 91, 97, 99, 104–106, 108, 127, 129, 130
Вујошевић, Мирко 35, 37, 48
Вучковић, Богољуб 80
- Гајић, Гроздана 79
Ганић, Александар 79
Гаћина, Радмила 80
Глигорић, Зоран 79
Глигорић, Милош 79
Глушчевић, Бранко 38
Гојковић, Зоран 79
Гојковић, Небојша 79
Гроздановић, Инес 79
Гуан, Јењун (Yanjun Guan) 136

Даумпос, Мајкл (Michael Doumpos) 49

Димитријевић, Бојан 19, 21, 28, 30, 33, 34, 58, 60–62, 79, 80, 83, 84, 87–91, 95–105, 108–114, 116–121, 127, 128, 130

Драбек, Ондреј (Ondřej Drábek) 133

Дражић, Драгана 41, 51, 55

Ћин, Веј (Wei Jin) 136, 137

Ергот, Матијас (Matthias Ehr Gott) 48

Еурек, Кели (Kelly Eurek) 36

Зопунидис, Константин (Constantin Zorounidis) 49

Иванов, Венцислав (Венцислав Иванов) 79

Илић, Саша 79, 80

Јагодић-Крунић, Драгица 79, 80

Јовичић, Владан 24–27,

Јосиповић-Пејовић, М. 79

Кавалец, Павел (Pawel Kawalec) 129

Казмиерчак, Уршула (Urszula Kaźmierczak) 135

Кармис, Мајкл (Michael Karmis) 135

Каро, Родриго (Rodrigo Caro) 36

Карше, Констанс (Constance Karcher) 127

Касаш, Карољ 79

Каштелевич, Збигњев (Zbigniew Kasztelewicz) 132, 134

Кжаклевски, Војћех (Wojciech Krzaklewski) 135, 136

Ковачевић-Вујчић, Вера 48

Кравцзински, Рене (René Krawczynski) 125

Крејнон, Џон Р. (John R. Craynon) 135

Крземјењ, Алицја (Alicja Krzemień) 135

Крчевинац, Слободан 48

Кун, Харолд Вилијам (Harold William Kuhn) 68

Лазић, Андрија 43

Ли, Зен (Zhen Li) 134–136

Ли, Ји (Yi Li) 134–136
Лилић, Никола 9, 121
Ли-син, Канг (Kang Li-xun) 136
Лоренц, Марек (Marek W. Lorenc) 134

Макар, Ненад 99, 104
Максимовић, Светомир 79
Марјанац, Симеон 99, 104
Мартић, Милан 48
Матић, Иван 91, 104
Миловановић, Дејан 38
Милошевић, Драган 99, 104
Милутиновић, Александар 79
Миљановић, Игор 41, 51, 55, 79, 120
Митровић, Владимир 80

Николић, Илија 35–37
Николић, Јовица 91, 99, 104

Ње, Чаоја (Chaojia Nie) 134–136
Њуман, Александра (Alexandra M. Newman) 36

Оприцовић, Серафим 35, 37, 47, 49, 77, 79

Павловић, Владимир 31, 38, 39, 56, 64, 95, 96, 99, 107, 108, 113, 114, 116, 117, 127, 128, 130, 131
Пампуди, П. Агунг (Priyaji Agung Pambudi) 135
Парето, Вилфредо (Vilfredo Pareto) 68
Петковић, Зоран 38
Петрић, Јован 35, 67–69, 82
Пијерцхала, Лукас (Łukasz Pierzchała) 135
Пинка, Јан (Jan Pinka) 80
Пјетжиковски, Марћин (Marcin Pietrzykowski) 135, 136
Праштало, Жељко 91, 104

Радосављевић, Милинко 80
Ричарц, Хејнц К. (K. Heinz Richartz) 127
Рубио, Енрике (Enrique Rubio) 36

Савковић, Снежана 38
Санчез, Антонио А. Перез (Antonio Angel Pérez Sánchez) 135
Сејц, Андреј, П.(Andrew P. Sage) 35
Симеуновић, Душанка 38
Сјао, Ву (Wu Xiao) 136
Сју, Љу(Linyu Xu) 136, 137
Слас, Лесли (Lesley Sloss) 134
Соеларно, С. Виторо (Soemarno Witoro Soelarno) 135
Спасић, Марко 133
Станојевић, Радослав 79
Степановић, Саша 58
Стрзалковски, Павел (Paweł Strzałkowski) 135
Сунг, Хуејмин (Huimin Song) 136, 137

Тајдуш, Антони (Antoni Tajduś) 129
Такер, Алберт Вилијам (Albert William Tucker) 68
Тејнецки, Вацлав (Václav Tejnecký) 133
Торпак, Филиз (Filiz Torpak) 125
Тумала, Рао В. М. (V. M. Rao Tummala) 35

Ћалић, Надежда 38

Утомо, С. Варно (Suyud Warno Utomo) 135

Фан, Сианг (Xiang Fan) 136
Фелинкс, Биргит (Birgit Felinks) 35, 125
Фу, Јанхуа (Yanhua Fu) 136

Харли, Алиша (Alicia G. Harley) 133
Ху, Џенги (Zhenqi Hu) 136
Хуанг, Јуанфанг (Yuanfang Huang) 134–136
Худеј, Марјан 36, 79

Цвејић, Јасминка 9, 41, 51, 55

Чангаловић, Мирјана 48
Чандрупатла, Тирупати (Tirupathi R. Chandrupatla) 49
Чебашек, Владимир 79
Чолаковић, Виолета 91, 104,
Чу, Јогиндер (Yoginder P. Chugh) 134–136
Чупић, Милутин 35

Џанг, Руија (Ruiya Zhang) 134–136
Џанг, Шивен (Shiwen Zhang) 134–136
Џоу, Веј (Wei Zhou) 136
Џу, Чусин (Chuxin Zhu) 136

Шулц, Хорст (Horst D. Schulz) 129
Шумска, Елжбјета (Elżbieta Szumska) 135
Шурбатовић, Томислав 79, 80

Резиме: Рекултивација постексплоатационог земљишта има мултидисциплинарни и интердисциплинарни карактер, јер представља синтезу инжењерских рударско-геолошких (геотехничких и хидрогеолошких), хидротехничких, хидролошких и биоинжењерских (агрономски и шумски мелиорациони поступци), као и других техничко-технолошких мера које се предузимају у циљу трансформације техногеног деградираног земљиште у стање погодно за пољопривреду, шумарство, риболов, спортско-рекреативне активности, здравствено-бањски, етно-туризам и простор за изградњу грађевинских објеката различите намене, као и парковских и пејзажних амбијенталних целина за културно-историјске и сакралне, архитектонско-споменичке комплексе у екстеријеру. Са натуралистичког и природњачког становишта, геотехничке, шумске и агротехничке мелиорације, представљају подршку обнављању старих и оживљавању нових биљних и животињских врста, стварању стабилних еко-заједница у циљу еколошке равнотеже животне средине и одрживог развоја природно обновљивих и необновљивих извора. У том циљу, подручје мелиорираних површина уклапају се у постојећи екосистем или се можда у потпуности или делимично мења намена за нове захтеве.

Изузетност површинске експлоатације лежишта минералних сировина у рударству, а нарочито енергетских минералних ресурса као што су фосилна горива, издвајају површинске копове угља и пратећа одлагалишта као просторно доминантне рударске објекте у оквиру просторног планирања и пројектовања великих угљеносних басена како у нас, тако и у свету. Припремне и експлоатационе радови прате негативни еколошки утицаји на животну средину, што нас обавезује на свеобухватну планску пројектну ревитализацију, рекултивацију и уређење деградираног постексплоатационог простора у функцији његовог поновног хумано и одрживог развоја и трајног коришћење.

У уводном поглављу технички процес рекултивације посматран је као пословни систем и диференциран на своје потпроцесе: техничка рекултивација, биолошка рекултивација, мониторинга животне средине и мониторинга радне средине, а управљачки процес се реализује кроз потпроцесе: *планирање, организовање, праћење реализације и контрола реализације*. Генерално, сâм процес планирања рекултивације, „живи“ кроз све фазе развоја површинског копа и састоји се од три нивоа: прелиминарни, оперативни и финални. На тај начин, адаптивно се може применити како за нове површинске копове, тако и за оне у фази развијене експлоатације код којих није уведен обједињен упоредни процес рекултивације.

У Монографији је дат преглед теоријске поставке и математичке анализе модела нелинеарног програмирања, пре свега вишекритеријумских, вишеатрибутних и вишециљних модела, као што су *ELECTRE, PROMETHEE, ANP, VIKOR* и др. На крају овог поглавља дати су различити примери математичких модела из рударске праксе, од одржавања механизације, процеса одводњавања копова, преко бушотинске и подземне експлоатације, до рекултивације копова са освртом на досадашње резултате истраживања аутора ове студије који су презентовани у низу врхунских међународних часописа.

Научни допринос ауторове докторске тезе *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, приказане у Монографији, јесте у дефинисању нове методологије у структурирању процесима управљања и одлучивања, детерминисањем новог практичног решења алгорита процесног одлучивања у поступку избора рекултивационог решења, односно избору најбољег као оптимално најповољнијег решења према задатим критеријумима и предложеним алтернативним рекултивационим варијантама за површинске копове угља и шире. У вези са тим, табеларно је диференцирано дванаест могућих одабраних критеријума који се могу представити нумеричком и/или описном вредношћу, с тим да су неки критеријуми алтернативно пожељни, нужни или без алтернативе у облику детерминистичких или описних података.

Избор рекултивационих решења могућ је селекцијом одређеног броја од максимално двадесет алтернативних варијанти за сваки отворени коп угља, посебно аналогно селекцијом критеријума. За потребе пројектних решења односно, изабраних површинских копова као истраживачких полигона изабран је модел *PROMETHEE*. Без улажења у анализу и оцену вишеатрибутних модела, при избору модела превагу је имало искуство у његовом коришћењу, постигнути резултати и уграђеност у *PROMETHEE* модел шест генерализованих критеријума за исказивање преференција доносиоца одлуке, што ублажава субјективитет пројектаната. Ово не негира остале методе и не искључује њихову применљивост у решавању овог типа проблема са акцентом на математичку методу *PROMETHEE*, која је послужила у завршном делу Монографије за тест опитна истраживања на три полигона у земљи и региону: 1. површински коп Кленовник, Костолачки басен угља, 2. Тамнава – Западно Поље, Колубарски угљени басен у Србији као и 3. површински коп Богутово Село у Угљевичком басену угља Републици Српској (БиХ). Резултати истраживања представљени су рангирањем појединих пројектних рекултивационих решења по индексу преференција као могућих алтернативних варијанти уређења пострекултивационих предела за сваки површински коп и пратећи одлагалишни простор. Наиме, као прворангирана решења по редоследу тестирања добијене су следеће вредности: **1. површински коп лигнита „Кленовник“**, коме се предлаже враћање деградираних површина експлоатационог поља шумским и пољопривредним засадама комбиновано воденим површинама, парковским, спортско рекреативним и сличним садржајима комбинација пољопривредних и шумских засада, **2. површински коп лигнита „Тамнава – Западно Поље“**, пошумљавање и **3. површински коп лигнита „Богутово Село“**, пошумљавање.

На основу резултата за **репрезентативне површинске копове угља са њиховом природном околином, сматрамо их најповољнијим тј. најбољим, односно оптималним рекултивационим варијантама које поред осталих високо позиционираних дају употпуњену слику уређења постексплоатационих предела.** Досадашња рекултивациона пракса у свету је доказала да је могуће створити нове пољопривредне, шумске, акваторне, ливадске, туристичке и друге обновљене просторе, које представљају подстицај и за обнову гео и био диверзитета и код нас.

Appendiks, додатак ове научне монографије, напослетку, доноси опширан преглед искустава успешно затворених и рекултивисаних копова угља кроз анализу примера у светској рударској пракси. Полазећи од теоријских аспеката проблема одлучивања и управљања рекултивационих процеса, историјско-хронолошким и ревијалним приступом представљен је синтетизован преглед примене техничко-технолошких процеса техничке и биолошке рекултивације на деградираним постексплоатационим просторима лежишта и нарушености екосистема земљиштима, воде и биљног и животињског света.

Кључне речи: вишекритеријумски модел, вишеатрибутна анализа, процеси управљања, одлучивања и оптимизације, рекултивационо решење, техничка и биолошка рекултивација, постексплоатациони предео, површински коп угља.

Научна област: Рударско инжењерство

Ужа научна област: Површинска експлоатација лежишта минералних сировина и инжењерство заштите животне средине

Abstract: Recultivation of post-exploitation land has a multidisciplinary and interdisciplinary character, as it represents a synthesis of mining-geological engineering (geotechnical and hydrogeological), hydrotechnical, hydrological and bioengineering (agronomic and forest reclamation procedures), as well as other technical-technological measures undertaken with the aim of transforming man-made land into a state suitable for agriculture, forestry, fishing, sports-recreational activities, health-spa and ethnic tourism and space for the construction of construction facilities of various purposes, as well as park and landscape ambient units for cultural-historical and sacral architectural-monumental complexes in the exterior. From a naturalistic and natural science point of view, geotechnical, forest and agrotechnical reclamation support the renewal of old and the revival of new plant and animal species, the creation of stable eco-communities with the aim of ecological balance of the environment and sustainable development of naturally renewable and non-renewable sources. To this end, the area of meliorated surfaces fits into the existing ecosystem or may be fully or partially repurposed for new requirements.

The exceptionality of the surface exploitation of mineral deposits in mining, and especially of energy mineral resources such as fossil fuels, distinguish surface coal mines and accompanying landfills as spatially dominant mining facilities within the spatial planning and design of large coal basins both in our country and in the world. Preparatory and exploitation works are accompanied by negative ecological impacts on the environment, which obligates us to a comprehensive planned project revitalization, recultivation and arrangement of the degraded post-exploitation space in the function of its humane and sustainable development and permanent use.

In the introductory chapter, the technical process of reclamation is considered as a business system and differentiated into its sub-processes: technical reclamation, biological reclamation, monitoring of the environment and monitoring of the working environment, and the management process is realized through sub-processes: planning, organizing, monitoring of implementation and control of implementation. In general, the reclamation planning process itself "lives" through all phases of open pit development and consists of three levels: preliminary, operational and final. In this way, it can be applied adaptably both for new surface mines and for those in the phase of developed exploitation where a unified comparative recultivation process has not been introduced.

The Monograph provides an overview of the theoretical assumptions and mathematical analysis of nonlinear programming models, primarily multi-criteria, multi-attribute and multi-objective models, such as ELECTRE, PROMETHEE, AHP, VIKOR and others. At the end of this chapter, various examples of mathematical models from mining practice are given, from mechanization maintenance, mine drainage processes, through borehole and underground exploitation, to mine reclamation due to self-citation of works from top international journals of the authors.

The scientific contribution of the author's doctoral thesis „Optimization of process management of land reclamation at the coal open pit mines“ showed in the Monography is in defining a new methodology in structuring management and decision-making processes, by determining a new practical solution of the Process Decision Algorithm in the process of choosing a reclamation solution, i.e. choosing the best - optimally favorable solution according to the given criteria and the suggested alternative land reclamation variations. In addition, scientific research work represents differentiates in tabular form twelve possible selected criteria that can be presented by a numerical and/or descriptive value, having in mind that some of the criteria are alternatively desirable, necessary or without an alternative in form of deterministic or descriptive data. The selection of the land reclamation solutions is possible by selecting a certain number out of maximum of twenty alternative variations for each open pit mine separately, by using analogy in selecting the criteria. For the purpose of design solutions, i.e. the selected open pit mines as the research objects, PROMETHEE model was chosen. Without further analysis and the assessment of the multi-attribute models, the selection of model was predisposed by experience

in its utilization, achieved results and the level of inclusion of six generalized criteria for the decision making preference expression in the PROMETHEE model, thus diminishing the subjectivity of the designer. This is not disproving other methods or excluding their applicability for the purpose of solving this class of problems with an emphasis on the mathematical method PROMETHEE, serving in the closing section of the thesis for test experimental research performed in three subject in our country and the region: 1. Surface mining of lignite "Klenovik" - Kostolac Coal Mining Basin, 2. Surface mining of lignite "Tamnava - West Field, Kolubara Coal Mining Basin in Serbia as well as 3. Surface mining of lignite "Bogutovo Selo" at the Ugljevik Coal Basin in the Republic of Srpska (BIH). Experimental results are presented by ranking certain designed land reclamation solutions by preference index as possible alternative variations in arranging the post-reclamation areas for each open pit mine and the accessory waste dump. Namely, as the first-ranked solutions by testing orders the following results were obtained: 1. Surface mining of lignite Klenovnik - **where the demoted areas of the mining area are proposed to be functionally returned to the forest and agricultural plantations, combined aquatic surfaces, park, sport and recreational and similar contents**, 2. Surface mining of lignite "Tamnava - West Field" - afforestation and 3. Surface mining of lignite "Bogutovo Selo" - afforestation.

Based on the results for representative surface coal mines with their natural environment, we consider them the most favorable, i.e. the best, i.e. optimal recultivation variants which, in addition to the other highly positioned ones, give a complete picture of the arrangement of post-exploration landscapes. The previous recultivation practice in the world has proven that it is possible to create new agricultural, forest, aquatic, meadow, touristic and other restored areas, which represent an incentive for the restoration of geo and biodiversity in our country as well.

In the Appendix (attachment) of the monographic book, a comprehensive overview of the experiences of successfully closed and recultivated coal mines is given through the analysis of examples in world mining practice. Starting from the theoretical aspects of the problem of decision-making and management of reclamation processes, a historical-chronological and revisional approach presents a synthesized overview of the application of technical-technological processes of technical and biological reclamation on degraded post-exploitation areas of deposits, and damage to ecosystems by soil, water and plant and animal life.

Key words: multi-criteria model, multi-attribute analysis, management, decision-making and optimization processes, reclamation solution, technical and biological reclamation, post-exploitation landscape, surface coal mine.

Scientific area: Mining Engineering

Narrow scientific area: Surface exploitation of mineral deposits and environmental engineering

БИОГРАФСКА БЕЛЕШКА О АУТОРУ

Бојан Димитријевић, рођен је 6. јануара 1966. године у Београду где је завршио Основну и Средњу Архитектонску техничку школу са одличним успехом. После одслужења једногодишњег војног рока започео је редовне студије Рударско-геолошког факултета у Београду. Током студија радио је као асистент-демонстратор на предметима: Нацртна геометрија, Комуникације на површинским коповима и Техничко цртање. Током редовних студија награђиван као студент за дан Рударско-геолошког факултета, а од школске 1986/87, стипендиран до краја студија од ЈПРБ Колубара – Лазаревац. Као најбољи студент апсолвент добитник је награде из Фонда проф. Василије и Сузана Павловић.

Дипломирао је јануара 1995. године на Смеру за површинску експлоатацију лежишта минералних сировина на тему „Технологија експлоатације угља на површинском копу Ћириковац за годишњи капацитет од $3.2 \cdot 10^6$ тона“ под менторством проф. др В. Павловића, са оценом 10 и општим успехом током студирања просечном оценом 9,03. Школске 1994/95. на последипломским студијама – Смер за површинску експлоатацију лежишта минералних сировина, сагласно програму за подстицање научног подмлатка Републике Србије, укључен је као истраживач-стипендиста Министарства за науку и технологију Републике Србије на Рударско-геолошком факултету на научно-истраживачки пројекат *Угаљ Републике Србије, основна енергетска сировина у периоду до 2005. године. и даље до 2200.* под менторством проф. др С. Вујића. Током 1995. радио је на стручном усавршавању као истраживач-стипендиста на *Катедри за примену рачунара*, одржавао вежбе из предмета *Примена рачунара у рударству* и био укључен у истраживачке и привредне пројекте којим је руководио проф. др С. Вујић.

Током 1996. преласком на Катедру за површинску експлоатацију лмс. као истраживач-стипендиста, наставио научно-истраживачки рад на истом пројекту а касније и на научно-истраживачком пројекту НИП 08М07 *Истраживање нових технологија и метода експлоатације опреме и управљачких система у циљу искоришћења енергетских минералних сировина* под менторством проф. др В. Павловића, као и као сарадник привредним пројектима.

За асистента–приправника изабран је 1996. године на Катедри за површинску експлоатацију за предмете *Технологија површинске експлоатације и Одводњавање површинских копова*. Поред осталог, одржавао је вежбе и консултативан рад за последипломце Техничког факултета у Косовској Митровици на предмету *Техника и технологија површинске експлоатације* у једној школској години код професора Р. Симића.

На Међународном научном скупу *The VI-th International symposium on application of mathematical methods and computers in mining, geology and metallurgy and the mining Pribram symposium 1997* у Прагу освојио је сребрну медаљу за саопштени рад „Mathematical modelling of sump parameters for opencast mines dewatering“.

Магистарске студије завршио је на Научној области Површинска експлоатација лежишта са просечном оценом 9,22 и 2000. године и одбранио магистарску тезу под насловом *Оптимизација параметара бушотинског откопавања на примеру подинских пескова на површинском копу „Поље Д“ у Колубари*“. Под покровитељством Министарства науке и технологије Републике Србије, 2001. године заједно са ментором тезе, професором др Р. Симићем, одржао научно предавање *Нове технологије у рударству* на трибини *Наука четвртом на Коларчевом Народном Универзитету*.

За асистента на Катедри за површинску експлоатацију лмс, изабран 2000. године за предмете *Технологија површинске експлоатације 1 и Одводњавање површинских копова*. Положио Стручни испит 2001. при СИТРС – Министарства рударства и енергетике Републике Србије, а 2004. године реизабран за асистента на групи предмета на *Катедри за површинску експлоатацију и Катедри за нафту и технику дубинског бушења*. У том периоду активно је студирао на завршним годинама Смера за експлоатацију течних и гасовитих минералних сировина. На конкурс Министарства просвете Републике Србије за међународну просветну сарадњу прихваћен је као први кандидат докторских студија и специјалистичког усавршавања Министарства за образовање Руске Федерације на Московском државном геолошкоистраживачком институту школске 2002/2003. и 2003/2004.

Докторантску аспирантуру – усавршавање према међудржавној сарадњи Министарства просвете Републике Србије, мр Бојан Димитријевић обавио је у Кошицама у Словачкој, школске 2004/2005. у својству докторанда – стипендисте *The BERG Faculty of Technical University Kosice (EU)* у функцији израде прве докторске дисертације под насловом: *Дефинисање модела за оптимизацију техничко-технолошких параметара експлоатације растреситих минералних сировина кроз бушотине*, под менторством проф. др Р. Симића и коменторством проф. др В. Митровића. Током једносеместарског похађања наставе дела докторских студија на *BERG* Факултету у Кошицама, поред научно-истраживачког усавршавања у Лабораторији за истраживање бушења и тунелоградње Геотехничког Института у Кошицама под руководством проф. др Felix Sekule, похађао је и положио пет испита са одличним успехом: *Drilling technology, Deep well drilling, oil and gas production and transport* (Prof. Ing. Jan Pinka CSc, mentor & tutor), *Surface mining*, (Prof. Ing. Viliam Bauer CSc, comentor), *Hidrogeology and underground hydraulics* Asos. Prof. Ing. Ladislav Tometz PhD, member) о чему сведоче оверени Семинарски радови и положени испити набројаних предмета са 1 Excellent – ETCS grade (A; 91–100%). О раду докторанда Димитријевића сачињен је Извештај докторске комисије на три странице у саставу: проф. инг. Ј. Пинка, проф. инг. В. Бауер, и ванр. проф. инг. Т. Лаци, као и Сертификат о положеним испитима и обављеном делу докторских студија од стране Декана проф. инг. П. Рибара *The BERG Faculty of Technical University Kosice*, бр. 00397571 од 15. децембра 2004. године.

Одласком проф. Симића у пензију 2005. године, ННВ Рударско-геолошког факултета у Београду именовало је проф др В. Павловића за ментора исте дисертације. Због стратешког преусмерења колеге Димитријевића на непокривену и савремену, а атрактивну научно-истраживачку област Техничке и биолошке рекултивације површинских копова и одлагалишта, на Катедри за површинску експлоатацију, мр Бојан Димитријевић поднео је пријаву за израду своје друге докторске дисертације 9. 10. 2009. године Катедри за површинску експлоатацију под насловом *Оптимизација управљања процесима рекултивације површинских копова угља*, на којој су касније усвајане све процедуралне сагласности ове тезе. Сагласност Већа научних области Техничких наука Универзитета у Београду за израду ове дисертације дата је 16. 4. 2010. Докторску дисертацију одбранио је на Универзитету у Београду, на Рударско-геолошком факултету 30. 5. 2014. године под менторством проф. др Николе Лилића и коменторством проф. Др С. Вујића..

Од школске 2007/08. године био је ангажован је као асистент проф. Павловића по новом наставном плану и програму Рударског одсека на акредитованим академским, мастер и докторским студијама Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду. На образовним профилима Рударско инжењерство, Инжењерство заштите животне средине и заштите на раду, и Инжењерство нафте и гаса, задужен за вежбе, и испомоћ у настави на следећим предметима: *Технологија површинске експлоатације, Рекултивација површинских копова и одлагалишта, Подводна експлоатација, Експлоатација минералних сировина кроз бушотине, Теренска настава и летња пракса, Техничка и биолошка рекултивација.*

Мр Бојан Димитријевић, изабран је 2009. године у звање асистента на новоустановљену Ужу научну област за површинску експлоатацију лежишта минералних сировина и механику стена, где је одржававао вежбе и припрему наставе на предметима *Технологија површинске експлоатације, Рекултивација површинских копова и одлагалишта, Подводна експлоатација Експлоатација минералних сировина кроз бушотине, Техничка и биолошка рекултивација и Теренска настава и летња пракса* на Рударском инжењерству, Инжењерству заштите животне средине и заштите на раду и Инжењерству нафте и гаса на Основним и Мастер студијама.

Такође, мр Димитријевић је 2012. реизабран и за асистента за групу предмета у оквиру нове Уже научне области *Експлоатација чврстих минералних сировина и механике стена* на Катедри за површинску експлоатацију лежишта минералних сировина, тако да практично ни у једном асистентском избору није биран на истој, односно индентичној научној области. До избора у звање доцента у задњем реизбору помагао у одржавању наставе и извођењу вежби из следећих предмета по новом акредитованом програму од 2013–2018: *Технологија површинске експлоатације 1, Одводњавање површинских копова, Рекултивација површинских копова и одлагалишта на основним студијама, и Специјалне методе експлоатације и Технологија и системи одводњавања површинских копова* на мастер студијама Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду.

До сада је био сарадник на четрнаест научно-истраживачких и иновационих пројеката Министарства за науку и технолошки развој. Био сарадник на преко педесет привредних, развојних и стратешких пројеката, студија и ревизија. Има два софтверска решења у коауторству, од којих један један у Савезном патентном заводу бр. А-122704701 за наставни

предмет Технологија површинске експлоатације. Има једну монографију и једно поглавље и два рада у три монографска дела. Као Члан Комисије за резерве Министарства рударства и енергетике Републике Србије од 2009. године и Министарства заштите животне средине, рударства и просторног планирања од 2011, извршио у својству стручног известиоца ревизију 17 елабората. Такође, 2015. године изабран је и за члана стручне Комисије Министарства заштите животне средине Републике Србије где је извршио у својству стручног известиоца ревизију преко петнаест елабората.

Положио је стручни испит 2001. године Министарства рударства и енергетике. Био ментор на пет мастер и завршних радова и председавајући или члан комисије у четрдесет и девет радова. У поступку је у седам комисија завршних и мастер радова. 2016. године био Ментор магистарске тезе *Праћење ефеката рекултивације деградираних простора на површинским коповима РБ Колубара*. Као експерт за рекултивацију учествовао по позиву СО Станари-Република Српска (БиХ) са пленарним излагањем на Округлом столу „Рекултивација деградираних земљишних површина насталих рударским радовима на површинском копу Рашковац“ 7. 9. 2017. године. Учествовао у седам комисије за избор млађих сарадника на матичној катедри у звања истраживача-приправника, истраживача-сарадника, асистената, доцента и ванредних професора. Секретар Смера за површинску експлоатацију био је од 1996. до 2014., а вд. Секретара Катедре од 1999. до 2000. На овај начин је од прве године рада на Катедри за површинску експлоатацију учествовао у организацији и реализацији теренске наставе и летње праксе са студенатима завршних година Смера а касније и Модула за површинску експлоатацију. Током рада формирао библиотечки фонд дипломских, магистарских и докторских радова на Катедри за површинску експлоатацију. Тиме је помогао у приређивању и припреми грађе за три монографије о Катедри и Смеру за површинску експлоатацију у последња три јубиларна броја: 25, 30 и 35 година Катедре за површинску експлоатацију. Руководио двема Георударскадама у Чању и на Јахорини. Квалитет извођења наставе, професионалност, објективност и етичност асистента др Бојана Димитријевића, студенти су у анонимним анкетама оцењивали високим оценама.

По избору у звање доцента био задужен и учествовао у настави и вежбама за предметима Технологија површинске експлоатације, Рекултивација површинских копова и одлагалишта, Експлоатација минералних сировина кроз бушотине, Теренска настава и летња пракса 3 и 4, Специјалне методе експлоатације лмс на основним и мастер студијама Модула Површинска експлоатација лмс Рударског инжењерства, Инжењерства заштите животне средине и Инжењерству нафте и гаса, а по новој акредитацији 2018. кандидован и за предмете Техничка и биолошка рекултивација, Санација и затварање одлагалишта индустријског отпада (мастер студије), Периоди и технолошки процеси у површинској експлоатацији, Оптимизација система одводњавања у површинској експлоатацији и Оптимизација процеса рекултивације површинских копова и одлагалишта (докторске студије). По позиву 2015. одржао је предавање „Површинска експлоатација минералних сировина у Србији 20. века“ на Коларчевом Народном Универзитету и три пута на Рударско-геолошком факултету („Историјска хронологија српског рударства и геологије XX века“). Био члан Комисије за полагање стручних испита Министарства рударства Републике Србије 2015. и имао осам менторстава, Члан је Уређивачког одбора и рецензент часописа *Подземни радови* од 2010, издавач часописа је РГФ, затим члан редакције часописа *Рударски Гласник* од 2016, издавач Рударски Институт, и рецензент часописа *Шумарски гласник* од 2018., издавач Шумарски факултет. Био заменик шефа Катедре за површинску експлоатацију у мандату 2016–2018, Руководилац Лабораторије за површинску експлоатацију у мандатима 2016–2018, 2018–2021 и 2021–2024 и сада. Члан је Југословенског Комитета за површинску експлоатацију од 1996. до данас, где је био Технички секретар Управног Одбора и Секретар Савеза инжењера рударства и геологије Србије од 2006. године. Од 2017. именован је у више мандата за Председника Суда части Савеза инжењера рударства и геологије Србије. Биран за члана Савета Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду за период 2018–2022. Као аутор или коаутор (група аутора) има 130 библиотечких јединица, од чега 118 научних и стручних радова, и то: 70 радова на међународним конференцијама у иностранству и земљи, 20 радова на међународним симпозијумима, 4 рада на међународним конгресима, 14 радова у водећим домаћим часописима (*Техника, Подземни радови, Рударски Гласник*), 6 радова у врхунским часописима на СЦИ листи, 2 Софтверска пакета, 3 Техничка решења). Коаутор је у два рада – тематска поглавља у монографијама и једним самосталним поглављем у научној монографији, као и самостални аутор научне монографије *Хидроексплоатација растреситих минералних сировина кроз бушотине* и 3 скрипте са два практикума за предмет Технологија површинске експлоатацију (Сајт РГФ –

Репозиторијум ТПЕ и Платформа Teams). У Експертску комисију за стратегију енергетског развоја површинске експлоатације угља при Министарству рударства и енергетике Републике Србије биран је 2021. Члан је Коморе рударских и геолошких инжењера од оснивања (2022). Проф. др Бојан Димитријевић изабран је за члана Савета Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду за период 2018–2022, а 2021. и 2022. био је резензент два техничка решења на Рударском Институту из Београда. Члан је Међународног научног одбора за XVI и XVII *International Conference of the Open and Underwater Mining of Minerals Scientific and Technical Union of Mining, Geology and Metallurgy* (2021. и 2023) и VIII *Balkan Mining Congress* (2022). У протеклих двадесет и девет година има учешћа у преко двадесет и пет радних тела научних и стручних скупова у земљи и иностранству.

Био члан Савета родитеља ОШ „Душко Радовић“, Математичке и Девете гимназије „Михаило Петровић Алас“ из Београда. Из брака са др Светланом Шеатовић, научним саветником Института за књижевност и уметност, има сина Димитрија, студента 3. године Грађевинског факултета у Београду.

Биографски прилог за Монографију 50 година Катедре за површинску експлоатацију лмс Рударско-геолошког факултета у Београду, 2024.

