УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Радмила Ј. Гаћина

Комплексна техно-економска оцена оптималног решења рекултивисаног терена на одлагалиштима површинских копова угља

Докторска дисертација

Београд, 2026.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Radmila J. Gaćina

A complex techno-economic assessment of the optimal solution of reclaimed terrain at landfills at surface coal mines

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2026

Ментори:

_____

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

_____

др Бојан Димитријевић, редовни професор
Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет
Ужа научна област: Површинска експлоатација лежишта минералних сировина

Чланови комисије:

_____

др Зоран Глигорић, редовни професор
Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет
Ужа научна област: Подземна експлоатација лежишта минералних сировина

_____

др Томислав Шубарановић, редовни професор
Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет
Ужа научна област: Површинска експлоатација лежишта минералних сировина

_____

др Милан Миливојевић, редовни професор
Универзитет у Београду – Технолошко-металуршки факултет
Ужа научна област: Хемијско инжењерство и заштита животне средине

Датум одбране:_____

Захвалност

Ова докторска дисертација представља завршни корак докторских студија на Рударском инжењерству, Рударско-геолошког факултета у Београду под менторством проф. др Чедомира Бељића и проф. др Бојана Димитријевића. Поштованим професорима се захваљујем за усмерење на поједине аспекте рекултивације и економске оцене, као и за припрему других научних радова. Такође се захваљујем и члановима комисије на саветима који су допринели квалитету докторске дисертације.

Захваљујем се свим колегама са Рударско-геолошког факултета који су ми помогли у току израде овог рада или утицали да донесем исправну одлуку.

Исказала бих захвалност и Министарству просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије за стипендирање током докторских студија.

Највећу захвалност дугујем својој породици, мајци Мирјани, оцу Јови, на несебичној подршци. Ову докторску дисертацију посвећујем својим синовима Михаилу, Огњену и Луки јер су ми они дали мотив да истрајем на овом раду.

На крају, захваљујем свима који су веровали у мене и мој рад, који су својим саветима и присуством допринели изради ове дисертације.

Комплексна техно-економска оцена оптималног решења рекултивисаног терена на одлагалиштима површинских копова угља

САЖЕТАК

Експлоатација угља и очување животне средине представљају два међусобно супротстављена, али истовремено стратешки значајна друштвена интереса. Посебно су изражени просторни и функционални конфликти на подручјима површинске експлоатације лигнита, која се најчешће одвија на земљиштима високог пољопривредног потенцијала. У циљу ублажавања негативних последица рударских активности и обезбеђивања одрживог коришћења простора након завршетка експлоатације, неопходна је примена мера техничке и биолошке рекултивације.

Предмет овог истраживања је избор оптималног модела рекултивације спољашњег одлагалишта површинског копа Дрмно. Истраживање је усмерено на анализу могућих постекспоатационих намена простора и утврђивање решења које обезбеђује најповољнији однос између економских, еколошких и друштвених ефеката. Рекултивација је посматрана као сложен процес ревитализације деградираног земљишта, чији је циљ успостављање стабилног, функционалног и дугорочно одрживог екосистема.

У раду је извршена техно-економска оцена разматраних варијанти рекултивације кроз анализу инвестиционих и експлоатационих трошкова, очекиваних економских користи, могућности будућег коришћења простора и њихове усклађености са принципима одрживог развоја. За вредновање и рангирање алтернативних решења примењена је ВИКОР метода вишекритеријумског одлучивања, која омогућава избор компромисног решења у условима међусобно конфликтних критеријума.

Резултати истраживања показали су да пољопривредна рекултивација представља оптималну варијанту за предметну локацију, јер обезбеђује најповољнији баланс економске оправданости, еколошке прихватљивости и друштвене користи. Добијени резултати потврђују да примена савремених метода вишекритеријумског одлучивања може представљати поуздану основу за планирање рекултивације деградираних рударских простора и доношење одлука о њиховој будућој намени.

Кључне речи: техно-економска оцена; животна средина; техничка рекултивација; биолошка рекултивација; ремедијација; површински копови угља

Научна област:

Рударско инжењерство

Ужа научна област:

Површинска експлоатација лежишта минералних сировина

УДК: 622.271::502-048.34(043.3)

A complex techno-economic assessment of the optimal solution of reclaimed terrain at landfills at surface coal mines

ABSTRACT

Coal exploitation and environmental protection represent two mutually opposing, but at the same time strategically important social interests. Spatial and functional conflicts are particularly pronounced in areas of surface lignite exploitation, which most often takes place on lands with high agricultural potential. To mitigate the negative consequences of mining activities and ensure sustainable use of the area after the end of exploitation, it is necessary to implement technical and biological reclamation measures.

The subject of this research is the selection of the optimal model for the reclamation of the external landfill of the Drmno open pit mine. The research is aimed at analyzing possible post-exploitation uses of the area and determining the solution that provides the most favorable relationship between economic, environmental and social effects. Reclamation is viewed as a complex process of revitalizing degraded land, the goal of which is to establish a stable, functional and long-term sustainable ecosystem.

The paper presents a techno-economic assessment of the reclamation options considered through an analysis of investment and operating costs, expected economic benefits, possibilities of future use of the area and their compliance with the principles of sustainable development. The VIKOR multi-criteria decision-making method was applied to evaluate and rank alternative solutions, which allows the selection of a compromise solution in conditions of mutually conflicting criteria.

The research results showed that agricultural reclamation is the optimal option for the site in question, as it provides the most favorable balance of economic justification, environmental acceptability and social benefits. The results obtained confirm that the application of modern multi-criteria decision-making methods can represent a reliable basis for planning the reclamation of degraded mining areas and making decisions about their future use.

Key words: techno-economic evaluation; environment; technical reclamation; biological reclamation; remediation; open pit coal mines

Scientific field:

Surface Mining engineering

Scientific subfield:

Surface mining of mineral deposits

UDC: 622.271::502-048.34(043.3)

САДРЖАЈ

1. УВОД 1
1.1 Предмет и циљ истраживања 1
1.2 Основне научне хипотезе 2
1.3 Методологија истраживања 3
1.4 Научни допринос 3
1.5 Применљивост резултата дисертације 4
1.6 Структура дисертације са кратким описом поглавља 4
2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ 7
2.1 Одрживи развој 7
2.2 Економски аспекти рударских пројеката 7
2.3 Затварање површинског копа и рекултивација 9
2.3.1 Закони и прописи који се односе на рекултивацију земљишта 19
2.3.2 Одлучивање и управљање процесом рекултивације 21
2.3.3 Техничка рекултивација 22
2.3.4 Биолошка рекултивација 23
2.3.5 Одлучивање у процесу рекултивације 25
2.3.6 Својства процеса рекултивације деградираних површина насталих површинском експлоатацијом угља 28
2.3.7 Утицај рекултивације на животну средину 40
2.3.8 Моделске анализе кључних фактора за подршку одлучивању у рекултивацији 41
2.3.8.1 Утицај природних услова 41
2.3.8.2 Утицај рударских техника и технолошких процеса 42
2.3.8.3 Утицај законских и финансијских оквира 43
2.3.8.4 Општи принципи рекултивације 44
2.3.8.5 Комплексно рудничко планирање и оперативни систем за одрживо рударство 44
2.4 Процена трошкова 45
2.5 Техно-економска оцена 46
2.5.1 Фактори техно-економске оцене 47
2.5.1.1Минерагенетски фактори 48
2.5.1.2 Техничко технолошки фактори 49
2.5.1.3 Регионални фактори 50
2.5.1.4 Тржишни фактори 51
2.5.1.5 Социо-економски фактори 52
2.5.1.6 Еколошки фактор 53
2.5.2 Показатељи техно-економске оцене 54

2.5.2.1 Амортизација 57
2.5.2.2 Нето садашња вредност NPV (Net present value) 57
2.5.2.3 Рентабилност 58
2.5.2.4 Профитабилност 58
2.5.2.5 Економичност 58
3. МЕТОДОЛОГИЈА 59
3.1 ВИКОР метода 64
4. КОМПЛЕКСНА ТЕХНО-ЕКОНОМСКА ОЦЕНА ЗА РЕКУЛТИВАЦИЈУ СПОЉАШЊЕГ ОДЛАГАЛИШТА „ДРМНО “ 68
4.1 Студија случаја спољашње одлагалиште површинског копа Дрмно 68
4.2 Избор варијанти рекултивације и дефинисање критеријума за уређење постеxсплоатационих предела одлагалишта Дрмно 74
4.3 Фактори техно-економске оцене за спољашње одлагалиште Дрмно 83
4.3.1 Геолошки фактори 83
4.3.2 Техничко-технолошки фактори 84
4.3.3 Регионални фактори 85
4.3.3.1 Климатски услови 85
4.3.3.2 Рељеф подручја 85
4.3.3.2 Услови снабдевања водом и енергијом, горивом и потребним материјалом за рекултивацију 86
4.3.3.3 Опште економске карактеристике подручја 86
4.3.3.4 Расположивост радне снаге 86
4.4 Еколошки фактори 86
4.5 Нормирани трошкови материјала и енергије 89
5. ДИСКУСИЈА 94
6. ЗАКЉУЧАК 97
ЛИТЕРАТУРА 99

СПИСАК СИМБОЛА И СКРАЋЕНИЦА

Ради лакшег и правилног разумевања скраћеница коришћених у овој докторској дисертацији дата су појашњења.

AC	-	Просечни трошак (Average Cost)
AHP	-	Analytic Hierarchy Process (Аналитички хијерархијски процес)
ATC	-	Просечни укупни трошак (Average Total Cost)
AVC	-	Просечни варијабилни трошак (Average Variable Cost)
БТО	-	Багер-трака-одлагач
ДО	-	Доносилац одлука
ICMA	-	The International Capital Market Association (Међународно удружење тржишта капитала)
IRR	-	Интерна стопа рентабилности (Internal Rate of Return)
MAUT	-	Multi-attribute utility theory (Вишеатрибутска теорија корисности)
MCDM	-	Multi-Criteria Decision Making (вишекритеријумско доношење одлука)
MLSA	-	Mined Land Suitability Analysis (Анализа погодности рударског земљишта)
NPV	-	Нето садашња вредност (Net Present Value)
ПК	-	Површински коп
ТЕО	-	Техно-економска оцена
ВИКОР	-	ВИшекритеријумскаоптимизација и Компромисно Решење
VKO	-	Вишекритеријумска оптимизација

СПИСАК СЛИКА

Слика 1. Структура докторске дисертације....5
Слика 2. Фазе животног века рудника угља....13
Слика 3. Планирање радног тока и затварања рудника угља обухватајући и процес рекултивације....14
Слика 4. Могућност смањења ризика и лоше праксе затварања рудника....15
Слика 5. Нивои планирања кроз развојне фазе површинског копа угља....17
Слика 6. Модел оптимизације управљања рекултивацијом на површинском копу угља (према Димитријевић 2014)....18
Слика 7. Алгоритам одлучивања (Худеј, 2014)....27
Слика 8. Природни и техничко-технолошки параметри....33
Слика 9. Штетне последице по животну средину проузроковане експлоатацијом животне средине....33
Слика 10. Фактори који обликују перцепцију концепта одрживог рударства....42
Слика 11. Алтернативе обликовања постеексплоатационих предела у површинском рударству....43
Слика 12. Рударске активности које се узимају у обзир за правилан распоред и ревитализацију терена....44
Слика 13. Модули за интегрисано рудничко планирање....45
Слика 14. Правилник који дефинише садржај техно-економске оцене....46
Слика 15. Дијаграм фактори техно-економске оцене....47
Слика 16. Еколошки фактори....53
Слика 17. Узајамна зависност решавања проблема и доношења одлука....60
Слика 18. Задатак вишекритеријумске оптимизације....62
Слика 19. Дијаграм процеса оптимизације....62
Слика 20. Дијаграм вредновања алтернативних решења....63
Слика 21. Подручје површинског копа Дрмно (прилагођено према https://a3.geosrbija.rs/, приступљено 17.11.2025)....69
Слика 22. Позиција одлагалишта хумуса на унутрашње одлагалишту (Пројекат рекултивације спољашњег одлагалишта на површинском копу Дрмно)....70
Слика 23. Просторна организација и морфолошка структура спољашњег одлагалишта површинског копа Дрмно (Пројекат рекултивације спољашњег одлагалишта на површинском копу Дрмно)....71
Слика 24. Рекутивисано спољно одлагалиште пре изградње ветрогенератора (према Пројекту рекултивације спољашњег одлагалишта на површинском копу Дрмно)....72
Слика 25. Конфигурација терена рекултивисаног спољашњег одлагалишта „Дрмно“....72
Слика 26. Слика Рекултивисано подручје спољашњег одлагалишта „Дрмно“....73
Слика 27. Алгоритам за вишекритеријумско одлучивање при избору оптималне намене рекултивисаног терена....75
Слика 28. Дијаграм оптималне алтернативе намене терена рекултивисаног спољашњег одлагалишта Дрмно....81
Слика 29. Прогнозни инжењерскогеолошки модел терена локалитета „Дрмно“ Извор: Република Србија, Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре. (2016) Измене и допуне Просторног плана подручја посебне намене Костолачког угљеног басена – Концептуални материјал за рани јавни увид. Београд. Доступно на е-адреси: https://www.mgsi.gov.rs/sites/default/files/Izmene%20i%20dopune%20PPPPN%20Kostolackog%20basena_rani%20javni%20uvid.pdf....84

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 1. Фазе техничке рекултивације....23
Табела 2. Основна дејства и исходи утицаја експлоатације минералних сировина на животну средину....29
Табела 3. Намена влажних и сувих депресија копова....36
Табела 4. Мере за спровођење рекултивације....44
Табела 5. Натурални показатељи техно-економске оцене....54
Табела 6. Вредносни показатељи техно-економске оцене....56
Табела 7. Преглед начина доношења одлуке....59
Табела 8. Процес ВИКОР методе....65
Табела 9. Алтернативе рекултивационих решења за полигон спољашње одлагалиште површинског копа Дрмно....74
Табела 10. Фазификована скала (Cheng, 1996, Deng, 1999)....77
Табела 11. Квантификована матрица одлучивања, са дефинисаним минималним и максималним вредностима по критеријумима....78
Табела 12. Међувредности (fimax - fij) / (fimax - fimin) * wi....79
Табела 13. Вредности Sj и Rj....79
Табела 14. Међурезултати (Qj и Qi) и рангирање алтернатива (Qj)....79
Табела 15. Утицаји изазвани радовима на рекултивацији терена....87
Табела 16. Оцене промена и оптерећења....88
Табела 17. Трошкови материјала и енергије за техничку рекултивацију....89
Табела 18. Трошкови радне снаге....90
Табела 19. Трошкови израде пута са макадамском конструкцијом....90
Табела 20. Амортизација опреме на извођењу техничке рекултивације....90
Табела 21. Укупни трошкови техничке рекултивације (дин.)....91
Табела 22. Укупни трошкови биолошке рекултивације по фазама....91
Табела 23. Укупни трошкови рекултивације....93

1. УВОД

У савременим условима тржишног пословања неопходно је управљати природним ресурсима. На тај начин се може постићи њихово рационално коришћење и обезбедити жељена ефикасност пословања. Како је Земља у последње време угрожена неконтролисаном људском активношћу и делатношћу, потребно је ускладити обим производње са еколошким захтевима. Таква усклађеност је повезана и сеже у домен одрживог развоја. Иначе, под управљањем у рударству, обично се подразумева скуп мера, метода и активности којима се обезбеђује усклађивање остварења жељених циљева са расположивим улазним подацима.

Минерални ресурси због своје специфичности,захтевају адекватно управљање, како би се њиховом експлоатацијом остварили жељени циљеви, пре свега оптимални ниво ефикасности и ефективности. Основни приступ у стратегисјком управљању минералним ресурсима, огледа се у високом степену рационалности при њиховом коришћењу, што је могуће постићи интензивном екплоатацијом која има за циљ да се са што мање природних ресурса, оствари максимална корисност.

Питања у вези са управљањем, одрживим коришћењем и рекултивацијом/ремедијацијом деградираних терена након површинске експлоатације у економској теорији отварају могућност за различите приступе. Проблем рекултивације и одрживост се налази у жижи интересовања различитих области науке. Геолози и рудари посматрају проблем из једног угла. Еколози са друге стране ова питања разматрају из угла предмета сопствених наука, док економисти имају задатак да прорачунају трошкове откопавања оваквих материјала. Биолози, шумари и стручњаци за пољопривреду раде на биолошкој рекултивацији и одабиру био покривача. Природа и животни простор, природни ресурси и капитал су комплексни и захтевају мултидисциплинаран приступ.

Остваривање услова за ефективну и ефикасну наменску санацију и унапређење деградираних површина, као предуслова њихове поновне употребе, подразумева спровођење активности усмерених на избор, организацију и примену адекватних технологија техничке и биолошке рекултивације, као и на управљање новоформираним ресурсима на одлагалиштима површинских копова. Процес планирања ревитализације и дефинисања мера рекултивације на просторима на којима је процес одлагања окончан заснива се на свеобухватној анализи природних, техничких и технолошких параметара који представљају основу за доношење оптималних решења.

Главни циљ ове дисертације је да омогући одрживо управљање рекултивацијом, да преко метода вишекритеријумске оптимизације, техно-економске оцене и других алата пружи адекватну подршку за доношење одлука.

1.1 Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације је актуелна тематика рекултивације деградираних терена површинском експлоатацијом угља, као и техно-економска оцена самог процеса рекултивације у укупном уделу трошкова.

До осамдесетих година двадесетог века процес извођења рударских радова у функцији откопавања корисних минералних сировина најчешће је био окончаван престанком експлоатације, с обзиром на то да је примарни циљ био обезбеђивање производње минералне сировине, док су последице настале рударским активностима имале споредан значај. Као последица таквог приступа, површинска експлоатација доводила је до формирања обимних

деградираних површина које су по окончању радова углавном биле препуштене спонтаним процесима природне сукцесије и самозарашћивања.

Просторно уређење, процеси рекултивација и ревитализације подручја обухваћених рударским објектима представљају, у техничко-технолошком смислу, изузетно сложен, дугорочан и стручно захтеван вишефазни процес. Овај процес обухвата активности од предвиђања, планирања и пројектовања, преко извођења експлоатационих радова и спровођења техничке и биолошке рекултивације деградираних површина, до формирања нових друштвених садржаја, успостављања биљних и животињских заједница, као и обнове природних станишта и екосистема. Током читавог процеса рекултивације неопходно је интегрално сагледавање и усклађивање природних, техничких, економских и социјалних фактора, који у значајној мери утичу на избор и успешност примењених решења.

Узимајући у обзир генералне карактеристике пројеката техничке и биолошке рекултивације, које могу бити комплексне, очигледно је да приоритет представља квантитативно и квалитативно управљање процесом рекултивације које има за циљ успешну реализацију. Оптимизација оваквих пројеката, као и имплементирана методологија најчешће представљају један од кључних фактора успешне реализације пројеката, уз доследну примену свих алата и техника које нуди управљање рударским пројектима.

Циљ предметног докторског истраживања усмерен је на свеобухватну техно-економску оцену процеса рекултивације деградираних простора, са посебним освртом на анализу техничких, економских, еколошких и организационих параметара који су предуслов за ефикасну и одрживу реализацију пројекта рекултивације. Истраживање је обухватило и развој, примену и верификацију вишекритеријумског модела одлучивања у функцији избора оптималног алтернативног решења пројекта рекултивације, ради обезбеђивања рационалног, економски оправданог и дугорочно одрживог управљања деградираним просторима.

Зацртани циљ докторске дисертације постигнут је остваривањем следећих задатака:

- Проучавањем методологије и фактора техно-економске оцене рударских пројеката;
- Проучавањем метода вишекритеријумске оптимизације;
- Верификација примењених метода заснована на практичним резултатима и релевантним сазнањима проистеклим из претходних теоријских истраживања;
- Развој техно-економског модела рекултивације заснованог на претходно верификованој методологији и релевантним истраживачким резултатима;
- Интерпретација резултата и евалуација добијених показатеља.

1.2 Основне научне хипотезе

Кључна претпоставка од које полази истраживање за ову докторску дисертацију је:

Експлоатација угља на површинским коповима остварује сложене и вишеструке утицаје на животну средину, друштвене токове и економске показатеље. Сходно томе, у процесу доношења одлука о покретању и реализацији рударских пројеката неопходно је систематски интегрисати еколошке и друштвене захтеве са економским критеријумима. Такав приступ могуће је обезбедити применом адекватних аналитичких модела и метода процене.

С обзиром на то да се избор пројеката у области површинске експлоатације угља најчешће заснива на економским критеријумима, неопходно је у процес одлучивања укључити и додатне показатеље, како би се обезбедила свеобухватнија и оправданија селекција пројеката.

Истраживања у оквиру предметне докторске дисертације биће спроведена на теоријском и практичном нивоу, са циљем свеобухватног сагледавања проблематике и верификације

предложених решења кроз примену у реалним условима. Може се дефинисати сценарио управљања пројектима рекултивације и ремедијације након затварања површинског копа, усмерен ка смањењу трошкова.

Предметна тема докторске дисертације добија посебан научни и стручни значај имајући у виду да се, како у домаћој тако и у светској пракси, управљању процесима посвећује изузетна пажња, не само у области рударства и површинске експлоатације, већ и у другим привредним и техничким системима. На тај начин, дисертација добија значај кроз два основна аспекта: актуелност научно-истраживачке проблематике и специфичност примењеног истраживачког приступа.

1.3 Методологија истраживања

Процеси рекултивације нису били у потпуности истражени и систематизовани у досадашњој пракси, посебно у погледу просторне и временске динамике, као и других релевантних детерминанти које могу значајно утицати на повећање трошкова рекултивације, а самим тим и на укупну цену експлоатације угља. Наведено се нарочито односи на процес планирања рекултивације и идентификацију његових кључних детерминанти, које представљају основу за ефикасну реализацију рекултивације површинских копова.

Из наведеног се може закључити да област рекултивације у систему површинске експлоатације угља још увек није довољно истражена и научно систематизована, посебно у домену интегралног сагледавања процесних, организационих, просторних и временских аспеката рекултивације. Постоје значајне могућности за унапређење постојећих приступа кроз спровођење свеобухватних истраживања заснованих на примени савремених научних метода, као и на коришћењу домаћих и међународних практичних искустава у области рекултивације деградираних простора.

Истраживање примењено у докторској дисертацији укључује примену следећих метода:

- **Теоријске анализе** која обухвата анализу досадашњих истраживања у области рекултивације, техно-економске анализе као и интерпретација сазнања и резултата карактеристичних за ову тематику како у свету, тако и код нас.
- **Прикупљања, анализирања и обједињавање података.** Током израде дисертације урађено је прикупљање и систематизација података и објављених досадашњих истраживања, тј. анализиран је садржај стручне и релевантне литературе у области рекултивације и ремедијације код нас и у свету.
- **Метода вишекритеријумске оптимизације** за одређивање алтернативних решења намене земљишта након рекултивације угља (ВИКОР метода).
- **Емпиријска метода.** Примена наведене методе омогућава поређење теотских поставки са искуственим чињеницама.
- **Метода индукције и дедукције.** Наведена метода омогућује стицање нових сазнања који су базирани на емпиријском искуству, те доприноси извођењу закључака о ефикасности и применљивости наведених метода.

Поменуте методе пружају шансу да се током израде дисетације узму у обзир сва савремена сазнања и препоруке у смислу побољшања алтернативе за намену земљишта након рекултивације одлагалишта.

1.4 Научни допринос

Тематика рекултивације и процене избора саме методе је мало обрађена у литератури о затварања рудника и пренамени након експлоатације и потребно је усмерити више пажње на

ту тему, посебно се недовољно пажње посвећује о методама рекултивације у наведеној области.

У истраживању су коришћена релевантна научна и стручна достигнућа из комплементарних научно-истраживачких области које су од значаја за реализацију постављених циљева дисертације. За потребе дефинисања и избора оптималног рекултивационог решења постексплоатационих предела, у дисертацији ће бити примењена метода вишекритеријумског одлучивања ВИКОР, као једна од савремених метода погодних за рангирање и избор алтернативних решења у условима присуства више, често супротстављених критеријума.

Тематика докторске дисертације обједињује значајну и актуелну проблематику из области рекултивације деградираних терена. Научни допринос дисертације огледа се у развоју и примењеним моделима за оптимизацију трошкова који, на основу прорачуна трошкова и примене метода вишекритеријумске оптимизације, омогућава доношење виших објективних и практичних одлука. Ишчекивани резултати могу имати вишеструк значај у научном смислу и имати позитивно дејство на будућа истраживања.

1.5 Применљивост резултата дисертације

У оквиру ове дисертације, урађена је техно-економска оцена рекултивације са циљем да се постигне ефективност и ефикасност управљањем процесом рекултивације уз минимизирање трошкова. Методологија техно-економске оцене рекултивације на површинском копу угља применљива је у површинској експлоатацији других минералних сировина, аналогијом је могуће применити на било који рударски инвестициони пројекат.

1.6 Структура дисертације са кратким описом поглавља

Докторска дисертација је систематизована тако да читалац кроз логичан приказ поглавља може да се упути у област истраживања докторске дисертације, значај проблематике, методолошки приступ који је имплементиран и постигнуте резултате.

Поред општих делова докторске дисертације као што су насловне стране, стране на којима су информације о ментору и члановима комисије, као и сажетак са кључним речима, списка скраћеница, слика и табела, садржаја, захвалнице, литературе, биографије кандидата и изјава о ауторству, коришћењу и истоветности штампане и електронске верзије, докторска дисертација садржи шест структурних целина (слика 1.).

Структура докторске дисертације

Редни број поглавља	Опис поглавља
1	Увод • предмет и циљ • научне хипотезе • методологија истраживања • научни допринос • применљивост резултата
2	Преглед литературе • одрживи развој • Затварање површинског копа и рекултивација • Законска регулатива • Техничка и биолошка рекултивација • техно-економска оцена (фактори и показатељи)
3	Методологија - вишекритеријумска ВИКОР метода
4	Комплексна техно-економска оцена за студију случаја Спољашње одлагалиште “Дрмно”
5	Дискусија
6	Закључак

Слика 1. Структура докторске дисертације

Прво поглавље представља увод у тематику у оквиру којег је образложен предмет и циљ истраживања, такође су образложене полазне хипотезе, као и методологија који чине основ истраживања ове докторске дисертације.

Поглавља 2 и 3 представљају литературни преглед који даје кратак осврт на досад познате чињенице и постигнућа досадашњих истраживања у областима одрживог развоја, техно-економске оцене рударских пројеката, рекултивације деградираних површина као и увид у предложену методологију, стога као такви не одражавају оригинални рад аутора докторске дисертације.

Друго поглавље даје осврт на теоријске основе одрживог развоја и затварања површинског копа. У овом поглављу дефинисане су основе техно-економске оцене, са посебним освртом на факторе који утичу на ефикасност, оправданост и оптимизацију процеса рекултивације у условима површинске експлоатације.

Такође, наглашене су чињенице које рекултивацију стављају на прво место након затварања рудника, законска регулатива коју је неопходно испоштовати, и предочен је преглед актуелних истраживања из области одрживог управљања и рекултивације. Дат је приказ могућих рекултивација и ремедијација површинског копа угља, у свету и код нас. Уз осврт на досадашње најчешће примене, у овом поглављу се прадлажу нове могућности примене.

Треће поглавље описује предложену методологију, примену мултикритеријумске анализе у рударству, као и опис ВИКОР методе која је примењена за избор намене рекултивисаног терена.

Четврто поглавље даје осврт на комплексну техно-економску анализу, која је вршена за предложено оптимално алтернативно решење на основу ВИКОР методе. Ово поглавље представља детаљан прорачун трошкова рекултивације као и анализу добијених резултата, са циљем економске оправданости и ефикасности предложеног решења.

Пето поглавље обухвата дискусију резултата добијених применом предложене методологије, са посебним освртом на примену мултикритеријумске анализе и економску оцену различитих намена рекултивисаног терена. У оквиру овог поглавља разматрају се предности и ограничења примењеног приступа, анализира се поузданост добијених резултата, као и њихов значај за доношење одлука у процесу планирања постеексплоатационог коришћења простора. На основу спроведених анализа и добијених резултата дате су препоруке за унапређење методологије, као и смернице за будућа истраживања у области рекултивације деградираних рударских подручја и избора њихове оптималне намене.

Шесто поглавље даје осврт на закључке о разматраној теми уз наглашавање доприноса ове докторске дисертације. Ово поглавље обухвата предлог мера за будућа истраживања и унапређење економске анализе процеса рекултивације.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

2.1 Одрживи развој

Дугорочни "концепт одрживог развоја" подразумева константни економски раст, такав да изузев економске ефикасности и технолошког напретка захтева учешће чистијих технологија које чувају планету Земљу. Одрживи развој у перспективи као напредак и иновативност целог друштва подразумева друштвено одговорно пословање предузећа, обезбеђује смањење сиромаштва, дугорочно боље искоришћење ресурса, унапређивање здравства и квалитета живота, друштвени напредак.

Разлог за оправдање концепта одрживости, може се навести економски аргуменат да је одрживи развој ефикаснији, наиме, непоштовање концепта одрживости, води ка неефикасном привредном развоју, у смислу све већег расипања вредних, ретких ресурса и енергије (Živković, 2011). Привредни развој има шансе да буде одржив, упркос у прошлости утрошеним нерепродуктивним ресурсима, само уколико смањене залихе ресурса буду надокнађене повећаном количином и квалитетом физичког капитала.

Социјални захтеви све више подржавају одрживи развој свих активности везаних за рударство, посебно за адекватно управљање отпадима током свих фаза рударске експлоатације, укључујући проспекцију и истраживање лежишта, ископавање, транспорт и обраду добијених производа, итд. (Bakken *at all.,* 2007).

Концепт одрживог развоја се дефинише као дугорочан, свеобухватан, циљно-оријентисан и синергетски процес који утиче на све аспекте живота (економски, еколошки, социјални и институционални) на свим нивоима. Одрживи развој је усмерен ка изради модела који на ефикасан начин задовољава друштвено-економске потребе, а упоредо елиминише или значајно смањује утицаје који су штетни по животну средину и природне ресурсе.

Одрживи развој је приоритетно питање које се тиче друштва у целини и позива данашње генерације да одговорно и рационално употребљавају природне ресурсе. У том контексту, одрживи развој представља интегрални концепт који повезује економске, еколошке и друштвене аспекте развоја, са циљем дугорочног и рационалног управљања природним ресурсима.

2.2 Економски аспекти рударских пројеката

Техно-економска оцена пројеката представља један од најважнијих делова економике у рударству, јер омогућава доношење квалитетних одлука о томе да ли се исплати улагати у истраживање, отварање и експлоатацију лежишта минералних сировина. У савременим условима пословања, рударски пројекти захтевају велика почетна улагања, дуг период реализације и носе висок степен неизвесности, што додатно истиче потребу за детаљном анализом. Према литератури, ова оцена се заснива на повезивању техничких елемената (као што су производни капацитет, технологија експлоатације и прераде) са економским показатељима (трошкови, приходи и профитабилност).

Посебан акценат ставља се на примену стандардних метода инвестиционе анализе, као што су нето садашња вредност (NPV), интерна стопа рентабилности (IRR) и период повраћаја инвестиције. Ови показатељи омогућавају да се процени економска исплативост пројекта и упореде различите инвестиционе могућности. Ипак, наглашава се да се у рударству ове методе морају прилагодити специфичностима сектора, попут променљивих цена сировина на светском тржишту, геолошких ризика и законских услова. Због тога се све више користе и

напреднији приступи, као што су анализа осетљивости, сценарији и симулациони модели за процену ризика.

Поред бројчаних анализа, савремена истраживања указују и на значај укључивања одрживости и заштите животне средине у техноекономску оцену рударских пројеката. Трошкови заштите природе, рекултивације земљишта и друштвене одговорности све више постају саставни део укупне економске процене. Оваквим свеобухватним приступом добија се реалнија слика дугорочне исплативости пројеката и обезбеђује усклађеност са принципима одрживог развоја, који имају све већи утицај на инвестиционе одлуке у рударској индустрији.

Преглед литературе показује да се техно-економска оцена рударских пројеката најчешће заснива на анализи новчаних токова и управљању неизвесношћу. На пример, у раду Kamel et. all (a), разматрају економске перформансе рударских пројеката кроз комбинацију дисконтованих новчаних токова и напредних метода процене ризика. Посебан допринос овог рада огледа се у увођењу модела као што су Монте Карло симулације и биномна стабла одлучивања за процену утицаја променљивости цена метала на профитабилност пројекта. Аутори показују да класични детерминистички модели нису довољни и да укључивање неизвесности значајно мења процену исплативости пројекта.

Сличан приступ имају Amini et all., у свом раду где се анализирају два сценарија – детерминистички и стохастички. Аутори користе NPV као основни критеријум, али га комбинују са биномним моделом одлучивања како би обухватили неизвесност цена и трошкова. Резултати показују да укључивање неизвесности може довести до већих процењених вредности пројекта, али и до другачијих инвестиционих одлука, што указује на значај динамичких метода у односу на класичне приступе.

У раду аутора Park et. all (c) представљен је статистички модел који служи за процену утицаја ризика на економску оправданост улагања у рударске пројекте. Овај модел је примењен на стварним примерима, чиме је показано да може ефикасно да квантификује ризике у различитим фазама – од развоја до експлоатације рудника. Закључак аутора је да рано укључивање анализе ризика доприноси доношењу квалитетнијих инвестиционих одлука и умањује могућност неуспеха пројекта.

Рад „Comparative Study of Techno-economic Evaluation Methods: NPV and IRR as Examples“ анализира и упоређује два кључна показатеља инвестиционе ефикасности – NPV и IRR. Аутори истичу њихове предности и ограничења, посебно у случајевима када могу довести до различитих закључака. На крају се наглашава да избор методе зависи од карактеристика новчаних токова и циљева инвеститора, као и да је у пракси најпоузданије користити комбинацију више показатеља приликом доношења одлука.

a. Ahmed Kamel, Mohamed Elwageeh, Stefano Bonduà and Mohamed Elkarmoty (2023). Evaluation of mining projects subjected to economic uncertainties using the Monte Carlo simulation and the binomial tree method: Case study in a phosphate mine in Egypt, Resources Policy, Volume 80, 103266, ISSN 0301-4207
b. Moslem Amini, Fatemeh Alijani, and Zana Mozaffari (2015). Economic evaluation of mining projects under conditions of uncertainty for prices and operating costs," International Journal of Innovation and Applied Studies, vol. 10, no. 3, pp. 881–890, March 2015.
c. Park, H. M., & Nelson, M. G. (2012). Mining project evaluation process for investment decisions (Doctoral dissertation, Department of Mining Engineering, University of Utah).
d. Hou, Chaohan & Huo, Nan & Wang, Shenye. (2023). Comparative Study of Techno-economic Evaluation Methods: NPV and IRR as Examples. BCP Business & Management. 40. 196-199. 10.54691/bcpbm.v40i.4381.

2.3 Затварање површинског копа и рекултивација

Рударска активност је знатно порасла због значајног раста становништва и светске потражње за минералним ресурсима (Reichl at al. 2016). Ове специфичности утичу на економику рудника, односно, на карактер и садржај економских токова, па према томе и на стратегију и политику његовог тржишног понашања. Избор адекватне ценовне стратегије има круцијални значај.

Површински копови обезбеђују сировине и енергетске ресурсе неопходне за привредни развој и задовољавање потреба становништва. Међутим, експлоатација минералних сировина неизбежно доводи до деградације земљишних ресурса и нарушавања природне средине. Начин поновног коришћења и привођења намени напуштених рударских површина представља један од основних предуслова за реализацију концепта одрживог развоја рударских подручја. Стога, планирање и спровођење адекватних мера рекултивације и ревитализације деградираних простора има пресудну улогу у обезбеђивању дугорочне одрживости у еколошком, економском и социјалном смислу ових подручја (Liu at all, 2017).

Експлоатација минералних сировина, посебно на површинским коповима, често изазива значајне промене и деградацију животне средине услед заузимања великих површина земљишта и интензивних техногених активности. Из тог разлога, планирање рекултивације треба да буде саставни део рударских пројеката и да се развија паралелно са плановима експлоатације лежишта. Према Setiawan и сарадницима (2021), рекултивација рударског земљишта обухвата скуп мера и активности усмерених на ублажавање негативних утицаја рударских радова током читавог животног циклуса рудника. Основни циљ ових мера јесте обнова деградираних површина, успостављање функционалности екосистема и стварање услова за одрживо коришћење простора након завршетка експлоатације.

Подручја деградирана рударским активностима често на први поглед остављају утисак запуштености и нарушеног пејзажа. Ипак, правилним планирањем и спровођењем мера рекултивације, овакви простори могу бити успешно трансформисани у површине различите намене које имају значајну економску, друштвену и еколошку вредност. У зависности од природних и просторних услова, постексплоатационе површине могу се користити за индустријске и комерцијалне садржаје, рекреативне зоне, спортске комплексе, језера и купалишта, тематске паркове, као и друге облике одрживог коришћења простора. У свом раду, Masoumi и сарадници истичу да анализа погодности земљишта представља један од основних корака у процесу планирања и пројектовања одрживе рекултивације. Према њиховим истраживањима, избор оптималне пострударске намене треба да буде заснован на свеобухватној процени карактеристика простора и његових развојних потенцијала. Као могуће алтернативе рекултивације и будућег коришћења земљишта наводе се пољопривредне површине, индустријске зоне, стамбене целине, рекреативна подручја и други облици коришћења који су усклађени са принципима одрживог развоја (Masoumi et al., 2014).

Избор оптималног начина коришћења деградираних површина заснива се на анализи природних и просторних карактеристика локалитета, стручним проценама експерата из релевантних области, развојним плановима локалне самоуправе и потребама локалног становништва. Поред тога, у процесу доношења одлука неопходно је уважити важећу законску регулативу из области заштите животне средине, као и постојећа еколошка ограничења. Овако свеобухватан приступ омогућава избор постексплоатационе намене која је истовремено технички изводљива, економски оправдана, друштвено прихватљива и еколошки одржива (Palogos at al., 2017).

Mborah и сарадници (2016) истичу да је основни циљ планирања пострударске намене земљишта и рекултивације идентификација најпогоднијих алтернативних начина коришћења простора након завршетка експлоатације минералних сировина. Према њиховом становишту,

процес планирања треба да обезбеди да будућа намена земљишта буде у складу са његовим природним потенцијалима и карактеристикама локалитета. Крајњи циљ рекултивације јесте успостављање таквог стања простора које ће омогућити одрживо коришћење земљишта, при чему оно може подржавати претходну намену, односно колико је то изводљиво обновљене карактеристике предексплоатационог екосистема. Тиме се омогућава дугорочна функционалност и вредност пострударских подручја са еколошког, економског и друштвеног аспекта.

У свом раду "Quality evaluation of land reclamation in mining area based on remote sensing", Wang и сарадници (2023) указују на бројне недостатке у постојећим приступима оцени квалитета рекултивације земљишта на рударским подручјима. Према њиховим истраживањима, један од кључних проблема огледа се у непостојању јединственог и општеприхваћеног система индикатора и стандардизованих критеријума за вредновање успешности рекултивације. Додатно, процена стања рекултивисаних површина често се заснива на традиционалним методама узорковања, које захтевају значајно време и финансијска средства, а истовремено не обезбеђују увек довољан ниво ефикасности и просторне репрезентативности. Наведени недостаци указују на потребу за развојем савремених и интегрисаних метода мониторинга и евалуације, које би омогућиле поузданију и свеобухватнију процену квалитета рекултивације рударских површина.

Према наводима из литературе (Yu at al, 2020), користи од рекултивације земљишта на рударским подручјима могу се процењивати применом поступака вишекритеријумске анализе, који обухватају свеобухватно вредновање, рангирање и оптимизацију различитих варијанти рекултивације. Ови поступци заснивају се на дефинисаним критеријумима евалуације, који могу укључивати еколошке, економске, техничке и социјалне аспекте. На тај начин омогућава се избор оптималног решења које обезбеђује највећи укупан ефекат рекултивације и најрационалније коришћење простора након завршетка експлоатације минералних сировина.

Велики копови угља у нашој земљи су енергетски потенцијал од стратешког значаја. Развој површинских копова угља као енергетско-индустријског комплекса доприносе појави бројних негативних утицаја на животну средину, што захтева планирано спровођење мера ревитализације и уређења деградираних простора и њихово свестрано коришћење у постексплоатационом периоду у складу са локалним становништвом.

Рекултивација и реструктуирање јалове откривке пружају различите могућности. У сврху смањења негативних последица које настају развојем површинских копова, неопходно је да рударске активности прате мере биолошке рекултивације одлагалишта јаловине и санације деградираних површина, ради успостављања различитих вегетационих и екосистемских целина на новонасталим депосолима.

Бројна истраживања показују да је на деградираним подручјима овог типа изводљиво формирање различитих екосистема различите намене и структуре. Рекултивација је скуп рударско-технолошких, инжењерских и биолошких мера усмерених на санацију индустријски деградираног земљишта и његову трансформацију у простор погодан за пољопривредне, шумарске и рекреативне активности, као и изградњу објеката различите намене и друге циљеве. Шире посматрано, рекултивација подразумева поновно успостављање биљних заједница у подручјима деградираних експлоатацијом угља.

До осамдесетих година XX века, процес рударских активности на простору у функцији експлоатације минералних сировина по правилу је завршаван престанком откопавања, при чему је доминантан циљ био усмерен на производњу сировине, док су еколошке и просторне последице експлоатације имале споредни значај. Услед таквог приступа, површинском

експлоатацијом су генерисане значајне деградиране површине које су најчешће препуштане природној, спонтаној сукцесији и самозарастању.

Природни процеси обнове екосистема на деградираним просторима одвијају се у дугим временским интервалима. Дужина периода спонтане саморекултивације, односно успостављања пионирских биљних врста, условљена је пре свега степеном присуства и доступности хранљивих материја у супстрату деградираних површина, које представљају основни предуслов за иницијални развој вегетације.

Развојем екологије као научне дисциплине и система заштите животне средине, како на глобалном нивоу, тако и у домаћој пракси, долази до еволуције приступа очувању животне средине, који се све више заснива на интегралном и локационо специфичном управљању просторним ресурсима. Савремени концепт подразумева да брига о заштити природне средине започиње већ у фази истражних геолошких радова, континуирано се наставља током експлоатације лежишта, а по њеном окончању обухвата систематску рекултивацију деградираних простора. У зависности од степена и карактера деградације површина, примењују се различити облици рекултивације, и то: ауторекултивација, полурекултивација и еурекултивација.

Рударство има значајан и дуготрајан утицај на животну средину, чак и након завршетка рударских радова. Зато је неопходно извршавање техничке и биолошке рекултивације, или неки други облик пренамене површине како би се тај утицај смањио на најмању могућу меру.

Према Антоновићу (1999), рекултивација (лат.ре - предметак у сложеницама који значи поново, опет још једном; култиватио - гајење, подизање, обрађивање) значи процес трансформације земљишта деградираног рударским, индустријским, грађевинским и другим антропогеним утицајима у продуктивне педолошке системе, применом комплекса мера, као што су равнање, хумизација, фертилизација, хемијске и хидротехничке мелиорације, затрављивање, пошумљавање и др.

Основни циљеви мелиорација огледају се у побољшању физичких, хемијских и биолошких својстава земљишта, његовој рекултивацији и конзервацији. Савремени концепт мелиорација проширује се и на процесе санације и рекултивације рударских копова и депонија (Kuntze,1986).

Рекултивација подразумева процес поновног успостављања вегетационих заједница на подручјима деградираним површинском експлоатацијом. Она се може спроводити периодично или континуирано, синхронизовано са рударским активностима. При томе, није неопходно, а често ни изводљиво, успостављање претходних пејзажних карактеристика нити потпуна реконструкција стања идентичног предексплоатационом. Уместо тога, могуће је подржати различите облике коришћења земљишта, при чему је од суштинске важности да изабрани начин коришћења буде усклађен са потребама локалног становништва, природним условима, карактеристикама новоформираних земљишта, постексплоатационим стратегијама и економским трошковима (Kural, 1994). Према Моторини (1975), рекултивација се дефинише као комплекс интегрисаних рударско-техничких, инжењерских, агротехничких и шумарских мера и радова, који се реализују у дефинисаном временском периоду, са основним циљем трансформације индустријски деградираног земљишта у функционално стање погодно за вишенаменско коришћење, укључујући пољопривредне, шумарске, рекреативне, водопривредне, као и урбанистичко-грађевинске намене.

У земљама са развијеним регулаторним оквиром, стандарди у области рекултивације представљају један од доминантних фактора који детерминишу избор постексплоатационог начина коришћења земљишта, при чему често имају пресудан утицај на дефинисање коначне

намене деградираних простора. Уобичајан метод контроле у пракси је да се од локалне, регионалне или националне државне агенције мора тражити сагласност за експлоатацију пре започињања било какве активности (Аустралија, Канада, ЕУ, Јужна Африка и САД). Уобичајни елементи у многим законима укључују селективно одлагање раскривке, посебно плодног хумусног слоја земљишта, као и преобликовање у складу са оригиналним контурама (САД и Велика Британија). Обавезно је надгледање представника из владе над радовима рекултивације, контрола успостављања вегетационог покривача, полагање новчане гаранције или других видова финансијских депозита пре започињања радова на површинској експлоатацији сировина (Дражић, 2011).

Узимајући у обзир интензитет и разноврсност деградационих форми, деградирано земљиште треба рекултивисати и привести новој намени. У току овог процеса не мора се инсистирати на аутентичној реконструкцији облика, садржаја и функција који су постојали пре рударских активности. Могу се креирати нове амбијенталне вредности предела, узимајући у обзир промењене еколошке, друштвене и друге услове.

Димитријевић (2014, 2024) наводи да су експлоатационе активности праћене значајним негативним еколошким утицајима на животну средину ширег простора, што условљава потребу за интегралним планирањем, ревитализацијом, рекултивацијом и уређењем деградираних подручја, у циљу њиховог поновног хуманог и функционалног коришћења након периода експлоатације. Постекспоатационо уређење терена површинских копова, одлагалишта и пратеће инфраструктуре, односно простора деградираног рударским активностима, представља синтетички, мултидисциплинарни и интердисциплинарни, изузетно комплексан и вишефазни инжењерски и пројектни поступак.

Пракса показује да су обично дозвољене опције санације усклађене с документима просторног уређења које се обично планирају и уграђују у просторно–планску документацију: природно обнављање у којем не би било изравног људског утицаја у процес обнове, затим биолошка рекултивација (озелењивањем завршних равнинама и косина површинских копова аутохтоним биљним врстама), ублажавање дубина и уређивање обале и приступа језерима и воденим површинама насталих експлоатацијом, осигурање стабилности косина и околног терена експлоатацијских поља или неки други поступак уклапања у околиш те пренамену у површине друге намене (пољопривредне површине, шуме и др.), ограничена експлоатација минералних сировина у сврху санирања незаконитом експлоатацијом угрожених делова околиша, те враћање првобитној намени или некој другој намени која није у супротности с планираном наменом простора (Српак и Павловић 2020).

Jackson i и Xobbs, 2009 наводе да санација копа треба да надокнади еколошки утицај – тренутно и у зависности од интензитета новог штетних утицаја. У већини случајева једноставно је немогуће обновити историјске системе због променљивих услова животне средине и станишта, захтева за коришћење земљишта и друштвених потреба након ископавања угља. Пратећи дефиницију појма „обнова“ описује амбициознији циљ поновног успостављања структуре и функције екосистема као и пре поремећаја – реплицирање референтних екосистема (Seastedt at all., 2008, Doley, Audet 2016).

На слици 2. приказане су развојне фазе животног века површинског копа.



Слика 2. Фазе животног века рудника угља

Основна концепција и стандарди за извршење процеса рекултивације и рехабилитације простора, која доминира у фази затварања површинских копова, постаје све захтевнија и комплекснија у поређењу са ранијим периодом, при чему се уочава значајно повећање техничке, еколошке и пројектне сложености у односу на стање од пре десетак година, на њима се одражавају јавни приоритети и заштите животне средине као императив.

Стратешки посматрано, Рекултивација и рехабилитација простора површинских копова представља континуиран и интегралан процес који обухвата све фазе рударског циклуса — од истраживања и отварања лежишта, преко експлоатације, до затварања рудника и периода након затварања. Овај процес се реализује у оквиру јасно дефинисаног програма и обухвата пројекте усмерене на обнављање физичких, хемијских и биолошких карактеристика, односно потенцијала ваздуха, земљишта и водног режима, нарушених експлоатационим активностима, у стање прихватљиво за све релевантне заинтересоване стране, укључујући и будуће кориснике земљишта након затварања рудника.

Финална рекултивација у постексплоатационој фази површинских копова угља усмерена је на спречавање или минимизирање дугорочних негативних утицаја на животну средину, као и на успостављање самоодрживих природних екосистема или алтернативних облика коришћења земљишта, у складу са дефинисаним и усаглашеним циљевима. Питања затварања површинских копова угља представљају значајан сегмент у процесу процене и евалуације пројеката експлоатације минералних сировина.

Фокус успостављања стратешког оквира за развој и затварање површинских копова угља усмерен је на промовисање национално конзистентног приступа управљању развојем и затварањем рударских активности на свим нивоима државне надлежности, при чему је обухваћена и рекултивација у свим фазама животног циклуса пројекта. С тим у вези, неопходно је дефинисати и имплементирати јасно утврђене принципе, као и усагласити концептуални оквир на основу којег се дефинишу и остварују наредна четири основна критеријума:

- Заштита здравља и безбедност људства;
- Смањити или у потпуности отклонити негативне утицаје на екосистем;
- Створити услове за квалитетно и функционално коришћење земљишта;
- Повећавати социјалне и економске бенефите у процесу одрживог развоја и експлоатације површинског копа угља.



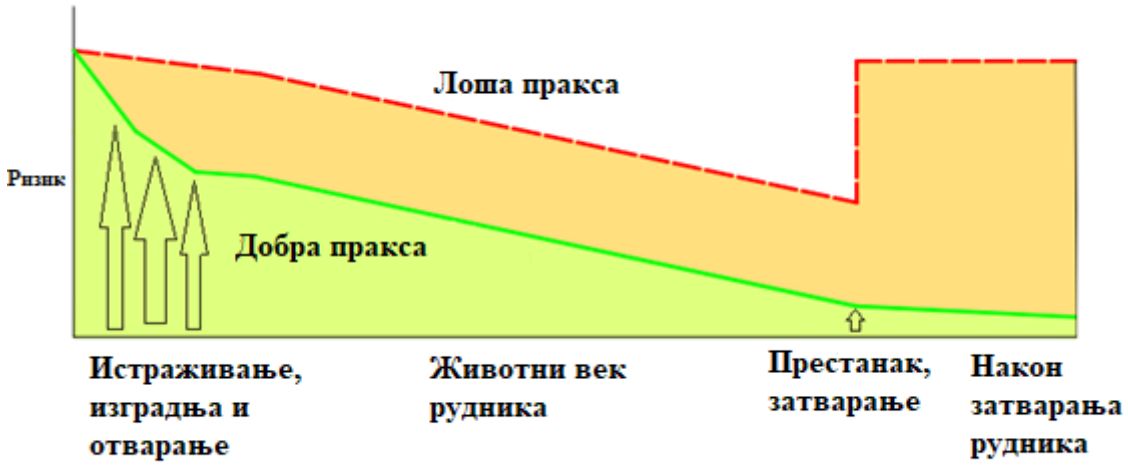
Слика 3. Планирање радног тока и затварања рудника угља обухватајући и процес рекултивације

Концепт рекултивације и рехабилитације деградираних простора јесте скуп кључних циљева и принципа које рударско предузеће дефинише у циљу реализације сложеног процеса одрживог затварања површинског копа, уз неопходну анализу постојећег стања, као и утврђивање релевантних критеријума и индикатора. У циљу обезбеђивања поузданих информација за доношење оптималних техничких и социо-економских одлука у процесу планирања рекултивације и затварања копа, неопходно је свеобухватно сагледати економске, социјалне и еколошке услове, уз стриктно поштовање важеће законске регулативе.

Адекватно пројектовање рекултивације треба да започне већ у фази израде претходне студије изводљивости, настави се кроз фазе пројектовања и издавања дозвола за експлоатацију површинског копа угља, те да се континуирано унапређује током читавог животног века рудника. Недостатак континуираног ажурирања плана затварања рудника може довести до значајних еколошких и економских последица. Правовремено и свеобухватно планирање омогућава да се процес рекултивације, затварања и рехабилитације одвија ефикасно, економично и у складу са предвиђеном динамиком. Затварање и рекултивација површинског копа представљају интегрални део укупног појектовања развоја рударског пројекта.

Стратегија затварања рудника који се заснива на ризику мора да минимизира и неизвесности и трошкове, као што јеприказано на слици 4. Досадашњи трендови при затварању површинске експлоатације угља обухватају техничку контролу и анализирање ризика, као и трошкове

инжењеринга и заштите животне средине. Имплементацију рекултивације као саставног дела затварања површинског копа угља диктира прогресивно смањење ризика и незнање.



Слика 4. Могућност смањења ризика и лоше праксе затварања рудника

Уколико се раније смање незнање и ризик, утолико се ефикасније постижу задати циљеви. Из тог разлога, неопходно је што раније започети планирање. Концепт затварања површинског копа угља са рекултивацијом обухвата све комплексне параметре постојећег екосистема и система површинске експлоатације, уз укључивање и других научних дисциплина као што су геологија, геотехника, хидрогеологија, хидрологија, геохемија, биологија, економија и екологија, као и уз разматрање друшвених фактора. За потребе валидације одабране варијанте конципирања рекултивације и затварања површинског копа, неизоставно се спроводи процена и евалуација ризика. Сходно свеобухватној анализи релевантних параметара треба израдити планове затварања, са инкорпорисаном компонентом рекултивације, који остварују директан утицај на статусну позицију и даљу еволуцију пројекта.

Најмање две врсте плана затварања потребне су у току животног века површинског копа угља: Концептуални план затварања копа (фаза пројектовања – студија изводљивости) и Главни план затварања копа (фаза експлоатације – фаза отварања површинског копа, оперативни рад и постоперативне активности након престанка експлоатације) представљају кључне документе у оквиру интегралног процеса управљања животним циклусом рударског објекта.

Управљање процесом рекултивације, затварања и рехабилитације простора представља неопходан сегмент у циљу обезбеђивања техничке, еколошке, економске и социјалне изводљивости пројекта. Динамика пројектовања рекултивације и затварања површинског копа угља подразумева континуирану и критичку анализу, која одражава текуће промене услова током експлоатационог периода површинског копа. Пројекат санације и затварања је неопходно кориговати уколико дође до неке оперативне промене, нове технологије откопавања, нових прописа.

Одлично испланиран концепт рекултивације и затварања површинског копа угља укључује етапу планирања и етапу имплементације. Усклађивање ових етапа је неопходно са циљем да се обезбеди добро пројектовано, систематско, безбедно и исплативо затварање рудника, као и рекултивација и обнова деградираног терена. У току имплементације плана затварања површинског копа угља потребно је сагледати и интегрисати следеће релевантне факторе:

- Надлежност за реализацију концепта затварања копа;

- Средства која су потребна да се осигура усаглашеност са концептом;
- Континуирано усмеравање и контрола услова неопходних за спровођење рекултивације који настају током реализације пројекта.

Током фазе имплементације неопходно је омогућити јасно дефинисање и одговорности институција, као и адекватну расположивост ресурса за спровођење концепта рекултивације, у циљу постизања потпуне усаглашености са концептом затварања површинског копа.

Пројекти површинске експлоатације угља представљају отворене и динамички променљиве системе, на које истовремено утичу међусобно повезаних технички, економски, еколошки, безбедносни и организациони фактори, као и различитих ограничења која произилазе из природних услова лежишта, регулаторног оквира и просторних карактеристика. Ови системи су подложни континуираним променама током свих фаза животног циклуса рударског пројекта, при чему се интеракције између наведених фактора одражавају на планирање, експлоатацију, затварање и постексплоатациону рекултивацију простора.

Животни циклус површинског копа обухвата следеће фазе:

- фазу истраживања и планирања лежишта,
- фазу отварања и развоја површинског копа,
- фазу достизања пуног производног капацитета,
- фазу затварања рударског објекта, као и
- фазу постзатварајућег периода, односно постексплоатационог управљања простором.

Током фазе истраживања и планирања лежишта развија се сложен однос између локалне заједнице и рударске компаније, при чему начин управљања тим односом може на дугорочном плану резултовати позитивним или негативним ефектима, зависно од степена усклађености економских интереса, еколошких ограничења и социјалних потреба.

Фаза отварања и развоја површинског копа обухвата период од почетка рударских радова до комплетног инсталирања и пуштања у рад пројектоване опреме. Иако је временски релативно кратка у односу на укупан век експлоатације, ова фаза има изузетно изражен краткорочни утицај и дугорочне последице по животну средину, јер се јаловински материјал одлаже ван контуре копа, док процес рекултивације још није започет.

Током фазе пуне производње површинског копа ефекти на животну средину су временски најдуготрајнији, али се њихов просторни обухват делимично смањује у односу на претходну фазу, јер се јаловински материјал одлаже у већ откопане делове копа. Истовремено, у овој фази започиње и систематска рекултивација спољашњег одлагалишта, чиме се постепено ублажавају негативни утицаји рударских активности на окружење.

Фаза затварања површинског копа представља завршну етапу животног циклуса експлоатационог рударског система, која наступа након поступног опадања производње и њеног потпуног престанка. У овој фази активности усмерене на заштиту и санацију животне средине добијају примарни значај и обухватају извођење завршних радова техничке и биолошке рекултивације, спровођење коначне процене утицаја на животну средину, као и израду и имплементацију планова постексплоатационог уређења простора и дугорочног мониторинга рекултивисаних површина.

Фаза након затварања површинског копа не подразумева директне експлоатационе утицаје на животну средину, али представља значајан постексплоатациони период у којем се врши континуирано праћење стања простора. У оквиру ове фазе спроводи се мониторинг ефеката реализованих мера санације и рекултивације, а уколико се уочи одступање од планираних

циљева заштите, предузима се њихова корекција и оптимизација. На тај начин обезбеђује се дугорочна стабилност система и остварење пројектованих еколошких и просторних циљева у пострударском периоду.

Израда плана рекултивације кроз све фазе животног циклуса површинског копа обухвата израду прелиминарних, оперативних и финалних планских докумената, што је шематски приказано на слици 5. Овај приступ се може применити како на нове површинске копове, тако и на већ активне копове за које у ранијем периоду није спроведено свеобухватно и детаљно планирање мера заштите животне средине.



Слика 5. Нивои планирања кроз развојне фазе површинског копа угља

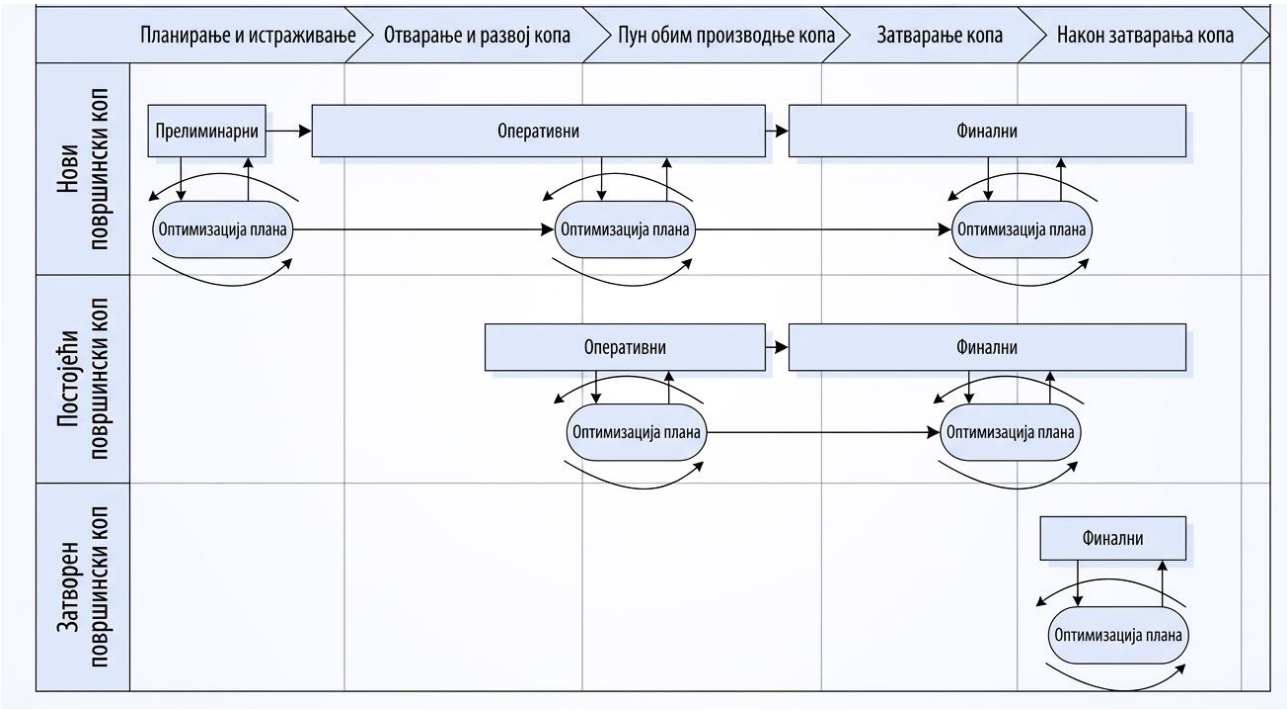
Пројектовање рекултивације површинског копа угља представља интердисциплинарни и дугорочно усмерен концепт који интегрише комплекс анализа, студија и пројектно-извођачке документације, са циљем успостављања стабилног и одрживог постексплоатационог простора. Основни циљ овог процеса јесте обезбеђивање физичко-механичке стабилности и хемијске инертности одлагалишта и других површина деградираних рударским активностима, уз истовремено планирање демонтаже и санације опреме, спровођење мера рециклаже материјала, као и реализацију активности усмерених ка поновном успостављању екосистема и биодиверзитета. Крајњи домет оваквог приступа јесте формирање еколошких услова који омогућавају обнављање природних функција простора на нивоу који је еквивалентан претходном стању или, у оптималним условима, његовом унапређењу.

Пројектовање рекултивације представља један од кључних фактора који одређују укупну ефективност и ефикасност реализације мера санације и уређења простора површинског копа. У оквиру овог процеса, а посебно у фази избора одговарајућег модела рекултивације, дефинишу се основни стратешки и технички оквири који условљавају све даље планске, пројектне и извођачке активности, могу се користи разне методе вишекритеријумског одлучивања ВИКОР, АНР, TOPSIS. Битно је нагласити да се дефинисани модел може примењивати у свим планским и експлоатационим фазама животног циклуса површинског копа, без обзира да ли је реч о ново пројектованом копу или о већ активном експлоатационом систему. На тај начин обезбеђује се његова универзална примењивост и континуирана употреба као основа за доношење планских одлука и усмеравање мера рекултивације.

Са ширењем области примене, методе вишекритеријумског одлучивања постале су значајан инструмент за решавање комплексних проблема у мноштву различитих научних и стручних дисциплина. Иако се појединачне методе међусобно разликују по теоријским основама, математичким поступцима и начину обраде података, њихова примена је усмерена ка решавању сличних проблема који подразумевају истовремено разматрање већег броја, често међусобно супротстављених критеријума. Због тога се ове методе широко користе као подршка доношењу одлука у ситуацијама у којима је потребно извршити избор, рангирање

или вредновање већег броја алтернативних решења (Hodgett 2016, Siksnelyte-Butkiene at al. 2020).

Континуирано унапређивање омогућава спровођење корективних мера током реализације планова рекултивације, чиме се обезбеђује оптимизација процеса одлучивања у погледу дефинисања коначног плана рекултивације и рехабилитације простора током фазе затварања површинског копа. Модел оптимизације представља динамички систем који прати животни циклус копа и омогућава континуално прилагођавање плана уз уважавање техничких, економских и еколошких критеријума, приказан је на слици 6.



Слика 6. Модел оптимизације управљања рекултивацијом на површинском копу угља (према Димитријевић 2014)

Бројна досадашња истраживања показују да је на деградираним површинама насталим услед рударских активности могуће успоставити нове и функционалне екосистеме различите намене. У зависности од природних услова, карактеристика супстрата и примењених мера рекултивације, такве површине могу бити успешно приведене пољопривредној, шумској, водној или ливадској намени (Bascetin 2007, Soltanmohammadi 2008 i 2010, Bangian 2012).

Многе површинске експлоатације минералних сировина, након завршетка рударских активности, успешно су трансформисане у шумске комплексе, пољопривредне површине и заштићена природна подручја. Техничка рекултивација представља један од најчешће примењиваних приступа у санацији простора деградираних рударењем, а у бројним државама њена примена је прописана законским и подзаконским актима, што је чини обавезном фазом процеса затварања рудника (Spasić at al 2024).

Захваљујући развијеном законодавном оквиру којим су у бројним земљама дефинисани поступци, услови, надлежности и одговорности у области санације простора деградираних рударском активношћу, значајне површине нарушеног земљишта успешно су приведене новој намени. Искуства развијених рударских земаља показују да се након завршетка експлоатације примењују различити модели рекултивације, у зависности од природних, економских и друштвених услова подручја. На појединим подручјима Сједињених Америчких Држава, спровођене су агромелиоративне мере којима је земљиште враћено у продуктивно стање, док се у новије време све већа пажња посвећује обнови природних екосистема и дивљих станишта. Посебан значај имају поступци којима се постексплоатациони простори трансформишу у

мочварне екосистеме, чиме се доприноси очувању биодиверзитета и унапређењу еколошких функција простора (Harley, Wexner 2022).

Избор и примена рударских технологија, укључујући начин откопавања, одлагање јаловине и формирање одлагалишта, значајно утичу на квалитет станишта и могућности касније рекултивације деградираних површина (Spasić at al, 2023).

Савремени приступ управљању рударским подручјима подразумева укључивање површинских копова у програме одрживог развоја, економске подршке локалним заједницама и обнове животне средине. Данас се рударска делатност не посматра искључиво кроз призму истраживања и експлоатације минералних сировина, већ и кроз одговорност према очувању природних ресурса и обезбеђивању дугорочне еколошке одрживости. Због тога су правни, друштвени и еколошки захтеви интегрисани у све фазе рударских пројеката, укључујући планирање, експлоатацију, затварање рудника и рекултивацију деградираних површина. Примена концепта одрживог развоја и инжењерских анализа омогућава оптимизацију рударских процеса, уз истовремено постизање економске оправданости, заштите животне средине и дугорочне функционалности рекултивисаних простора (Baidowi at al, 2021, Wieckol-Ruk at al, 2023).

Истраживања спроведена на постеексплоатационим подручјима у Индонезији указују на бројне изазове у процесу рекултивације, као што су деградација земљишта, повећана подложност ерозији и ризик од плављења. Као одговор на ове проблеме, значајан део програма рекултивације усмерен је ка пошумљавању и обнови шумских екосистема. Поред тога, примењују се различити облици будуће намене простора, укључујући аквакултуру, урбане шуме, парковске и спортско-рекреативне садржаје, сточарску производњу и екотуризам. У циљу унапређења еколошких функција пострударских подручја развијени су и нови приступи рекултивацији, међу којима се издваја концепт „ecohabitat“, заснован на стварању и очувању станишта која подржавају обнову биодиверзитета и природних екосистемских процеса (Pambudi at al, 2023).

2.3.1 Закони и прописи који се односе на рекултивацију земљишта

Проблематика рекултивације земљишта регулисана је већим бројем законских и подзаконских аката. Поједини прописи ову област уређују непосредно, кроз јасно дефинисане обавезе и поступке рекултивације, док други индиректно упућују на неопходност спровођења ових активности у сфери заштите животне средине, управљања природним ресурсима и уређења простора. Анализирајући постојећи законодавни оквир закључује се да је питању рекултивације земљишта дат значајан нормативни и стратешки значај.

1. **Закон о рударству и геолошким истраживањима (Службени гласник РС бр. 101/2015, 95/2018,40/2021)**

Према одредбама Закона о рударству и геолошким истраживањима, предвиђено је да Народна скупштина Републике Србије, на предлог Владе, доноси Стратегију управљања минералним сировинама у трајању од најмање десет година. Сходно усвојеној стратегији, Влада Републике Србије доноси План и програм њеног спровођења, који, између осталог, обухвата и мере ремедијације и рекултивације старих и напуштених рударских објеката (чл. 13).

Истим законом прописано је да пројектна документација на основу које се изводе рударски радови мора да садржи одговарајуће техничке пројекте и мере које се тичу спровођења техничке и биолошке рекултивације земљишта на простору обухваћеном експлоатацијом минералних сировина. На тај начин, рекултивација се дефинише као обавезан и интегрални део процеса планирања и реализације рударских активности.

2. **Закон о заштити животне средине („Службени гласник РС“ бр. 135/2004, 95/2018, 94/2024)**

Према начелу „корисник плаћа“, дефинисаном у Закону о заштити животне средине, свако правно/физичко лице које користи природне ресурсе и природни капитал има обавезу да сноси реалне трошкове њиховог коришћења, као и трошкове рекултивације и санације простора који је деградиран обављањем активности (чл. 9).

Законом је такође прописано да је субјект који проузрокује деградацију животне средине дужан да спроведе рекултивацију или друге одговарајуће мере санације деградираног простора, у складу са законским одредбама и другим посебним прописима (чл. 16). У случају непоштовања наведених обавеза, предвиђене су санкције, при чему се за привредни преступ правног лица прописује новчана казна у опсегу од 150.000 до 3.000.000 RSD (чл. 116).

Поред тога, закон дефинише да корисник природних добара плаћа накнаду за њихово коришћење и у потпуности сноси трошкове ремедијације и рекултивације деградираног простора, у складу са релевантном законском регулативом (чл. 84).

3. **Закон о пољопривредном земљишту (Службени гласник РС, бр.62/2006, 65/08-3, 41/09....); Измене и допуне Закона о пољопривредном земљишту (Сл. гласник РС, бр. 112/15)**

Према одредбама Закона о пољопривредном земљишту, инвеститор који врши конверзију пољопривредног земљишта у непољопривредно коришћење дужан је да уз захтев за добијање сагласности, достави и пројекат рекултивације у случајевима када се промена намене врши на одређени временски период, односно када је реч о експлоатацији минералних сировина или извођењу радова од значаја за јавни интерес (чл. 24).

Законом даље прописује да се пољопривредне површине трансформисане услед експлоатације минералних сировина, као и за друге привремене намене, мора привести одговарајућој намени и оспособити за пољопривредну намену сагласно са пројектом рекултивације пољопривредног земљишта (чл. 55). Поред наведеног, законом је прецизно дефинисан и садржај пројекта рекултивације, чиме се обезбеђује систематичан приступ обнови деградираних површина и њиховом поновном укључивању у производну и просторну функцију.

4. **Закон о просторном плану Републике Србије (2010 - 2020) године (Службени гласник РС бр. 88/2010)**

У Закону о просторном плану Републике Србије, у оквиру оцене стања природе, еколошког развоја и заштите животне средине, указује на недовољно развијене оперативне механизме за примену правних норми и институционалних оквира у области заштите, рационалног коришћења, уређења и рекултивације земљишта. Истовремено, констатовано је слабљење мотивације породичних пољопривредних газдинстава за ангажовање у пољопривредној производњи, као и потреба за јачањем институционалне подршке у домену заштите земљишних ресурса, посебно у процесу хармонизације националних критеријума, стандарда и модела управљања са релевантном праксом Европске уније.

Просторним планом посебно се наглашава значај интегрисања јавног интереса у интеграцији капацитета и плодности пољопривредног земљишта у развојно-планске документе свих привредних сектора иинституционалних служби. Такође, истиче се неопходност систематског чишћења простора Републике Србије од отпада, као и спровођења мера санације, рекултивације и рехабилитације подручја са израженим степеном деградације животне средине.

Као један од стратешких циљева, дефинисано је унапређење процеса ремедијације и рекултивације земљишта деградираног експлоатацијом минералних сировина, индустријским развојем и различитим антропогеним активностима. Посебан приоритет у подручјима површинске експлоатације минералних сировина представља системска и интегрисана рекултивација, чијом се реализацијом у што краћем временском периоду успоставља педолошки и еколошки функционално земљиште, погодно за формирање стабилног, отпорног и самоодрживог биљног покривача.

Овакав приступ подразумева планирано успостављање различитих типова вегетационих система, укључујући вештачки формиране шумске екосистеме, пољопривредне производне површине, декоративно-урбану вегетацију у зонама насеља, као и рекреативне и заштитне зелене површине. Поред тога, обухвата и формирање специфичних копнених и водених екосистема у оквиру просторно-еколошки вредних предеоних целина, са циљем очувања и унапређења биодиверзитета и укупног еколошког потенцијала простора.

Поред наведених законских аката, и други прописи од значаја за ову област разматрају проблематику заштите, санације и рекултивације земљишта, препознајући њен значај у контексту очувања животне средине, одрживог управљања природним ресурсима и унапређења квалитета живота становништва. На тај начин, законодавни оквир овој проблематици придаје посебан значај, с обзиром на њен непосредан ефекат на животну средину, просторни развој и друштвено-економске услове.

Закон о заштити земљишта (Службени гласник РС бр. 112/2015)

Закон о процени утицаја на животну средину (Службени гласник РС бр.135/2004, 36/2009)

Закон о шумама (Службени гласник РС бр. 30/2010, 93/2012, 89/2015)

Закон о планирању и изградњи (Службени гласник РС бр. 72/09, 81/2009 Испр.,

64/2010 –Одлука УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013 -Одлука УС, 50/2013 -Одлука УС, 98/2013 -Одлука УС, 132/2014 И 145/2014)

Закон о водама (Службени гласник РС бр. 30/2010 и 93/2012)

Закон о планирању и уређењу простора и насеља (Службени гласник РС бр. 44/95)

2.3.2 Одлучивање и управљање процесом рекултивације

У рударству се процес доношења одлука одвија у сложеним мултиваријабилним условима, уз присуство различитих техничких, економских, технолошких и еколошких ограничења. У таквим условима, модел одлучивања може се дефинисати као скуп могућих алтернативних решења која су на располагању доносиоцу одлуке (ДО), заједно са системом постављених критеријума према којима се дефинише њихова оцена и избор. Сам процес доношења управљачке одлуке подразумева избор оне алтернативе која, у складу са дефинисаним критеријумима, представља најповољније, најрационалније, најефикасније или оптимално решење (Sage, Armstrong 2000).

Доносилац одлуке може бити појединац или група стручњака, при чему се у случају колективног приступа одлуке доносе тимски, на основу интеграције различитих знања и искустава. У циљу смањења, односно минимизирања субјективности у процесу одлучивања, препоручује се примена тимског приступа кад год за то постоје одговарајући услови (Вујић и др. 2013).

Алтернативе, као средства за реализацију једног или више дефинисаних циљева, представљају потенцијална решења разматраног проблема, при чему су по својој природи најчешће међусобно искључиве. Сам проблем доношења одлука настаје услед постојања више могућих начина за достизање дефинисаних циљева, јер у одсуству алтернативних решења не постоји потреба за процесом одлучивања.

Одређивање скупа алтернативних решења представља једну од кључних и најкреативнијих фаза у процесу одлучивања. Квалитет и обухват дефинисаних алтернатива зависе од нивоа познавања проблема, стручних компетенција, теоријских и практичних знања, искуства, као и развијености аналитичких способности и креативности учесника у процесу доношења одлука, али и од природе самог проблема који се разматра. С обзиром на то да не постоји универзални модел за генерисање алтернативних решења, процес њиховог формирања захтева индивидуалан и систематичан приступ. Како непосредни чин доношења одлуке подразумева избор једне од понуђених алтернатива, очигледно је да квалитет коначне одлуке директно зависи од квалитета и релевантности разматраних алтернатива.

Исход процеса одлучивања може бити условљен једним критеријумом, при чему се такав проблем дефинише као једнокритеријумски (Вујошевић 1997). Међутим, у практичним условима знатно су чести случајеви у којима исход одлуке може зависити од већег броја различитих показатеља, па се такви проблеми сврставају у мултикритеријумске проблеме одлучивања. Поред квалитета расположивих алтернативних решења, значајан утицај на квалитет коначне одлуке имају избор релевантних критеријума, као и дефинисање њихових вредности за сваку посматрану алтернативу (Оприцовић 1998).

У решавању практичних проблема у рударству, као и у ширем индустријском окружењу, постоји велики број релевантних критеријума, од којих су многи међусобно супротстављени, односно конфликтни. Критеријуми могу бити дефинисани у квантитативном облику, кроз бројчане показатеље као што су профит, трошкови, рентабилност, обим производње и потрошња, или у квалитативном облику, путем описних и вербалних оцена као што су добро, лоше, оптимално, ниско, високо и слично.

Избор критеријума и дефинисање вредности критеријума за посматране алтернативе зависе од природе и специфичности конкретног проблема, због чега овај процес представља веома захтеван сегмент процеса доношења одлука, са директним утицајем на коначни исход одлуке. Сложеност овог задатка произилази из неизбежног присуства субјективног фактора, који се манифестује кроз ставове, преференције и одговорност доносиоца одлуке или тима укљученог у процес доношења одлука, како у погледу избора критеријума и њихових вредности, тако и у односу на ризик и друге релевантне факторе.

Модели за избор алтернативних решења заснивају се на квалитативним или квантитативним принципима. Квалитативне методе превасходно се ослањају на процене, знање и искуство експерата, док квантитативне методе користе математичке и моделске алате у циљу избора најповољније, најефикасније, најрационалније или оптималне алтернативе из скупа расположивих решења.

2.3.3 Техничка рекултивација

Техничка рекултивација представља инжењерско-технолошку фазу рекултивације којом се одлагалиште обликује, стабилизује и припрема за биолошку фазу. Њен основни циљ је да се обезбеди стабилност, безбедност и погодност терена за даљу употребу.

У оквиру техничке рекултивације обављају се следећи радови (табела 1):

Табела 1. Фазе техничке рекултивације

Формирање завршне геометрије терена	Одлагалиште се нивелисањем и профилисањем доводи у стабилан облик. Нагиби косина се формирају у складу са физичко-механичким особинама материјала, најчешће у опсегу 18–25°, док се на вишим одлагалиштима израђују терасе ради спречавања клизишта и ерозије.
Стабилизација и консолидација материјала	Будући да је откривка растресит материјал, потребно је време и инжењерске мере да би се постигла стабилност. У ту сврху се примењују дренажни слојеви, геотекстилни материјали, потпорни зидови и насипи, а на критичним местима се спроводи и мониторинг стабилности.
Уређење система одводњавања	Формирају се канали, јаркови и пропусти ради одвођења атмосферских и површинских вода. На тај начин се спречава ерозија и задржавање воде у телу одлагалишта.
Припрема површинског слоја	Површина се прекрива слојем плодног земљишта дебљине 0,3–1,0m, који омогућава развој вегетације. Овај слој се обогаћује органским материјама и побољшава хемијским средствима, чиме се стварају услови за биолошку рекултивацију.
Уређење инфраструктуре и приступа	Изграђују се приступни путеви, потпорни објекти и заштитне ограде, како би се омогућило одржавање и праћење терена.

Техничка рекултивација има пресудну улогу јер ствара основне физичке и хидролошке услове за даљи развој простора и гарантује безбедност, и у погледу стабилности терена и у погледу заштите животне средине.

2.3.4 Биолошка рекултивација

Површинска експлоатација минералних сировина заузима значајне површине земљишта, које након завршетка рударских радова остају изразито деградиране и неспособне за спонтано враћање у првобитно стање. Овакви захвати доводе до потпуне трансформације постојећег екосистема, чије је природно формирање трајало током веома дугог геолошког периода, те се његова обнова не може очекивати без адекватних техничких и биолошких мера.

Одложени супстрати откривке и јаловине углавном су сиромашни хумусним материјама, које представљају основни носилац плодности, структуре и биолошке активности земљишта. Истовремено, овакви супстрати карактеришу се недостатком приступачних хранљивих елемената и ниским садржајем органске материје, услед чега је присуство хетеротрофне микрофлоре, као кључног покретача биохемијских процеса у земљишту, сведено на минимум. Поред тога, формирани супстрат најчешће не поседује адекватну структуру неопходну за успостављање повољног водно-ваздушног режима, који има пресудан значај за одвијање педогенетских процеса и правилан развој кореновог система биљака.

Полазећи од наведених карактеристика деградираног супстрата, неопходно је применом одговарајућих технолошких, агротехничких и биолошких мера створити услове за активирање корисних педолошких и биохемијских процеса, као и за обезбеђивање услова неопходних за биљну исхрану и развој вегетације. Основу процеса формирања новог земљишта представља органска материја коју уноси вегетација, као и активност микроорганизама, без чијег деловања би супстрат остао биолошки неактиван и педолошки нефункционалан.

Биљна маса представља примарни извор органских једињења и енергетску основу за развој микрофлоре и формирање хумусног хоризонта. Сходно томе, све мере и поступци који омогућавају повећан унос органске материје у стерилне супстрате јаловине значајно убрзавају процесе педогенезе и доприносе постепеном формирању функционалног и продуктивног земљишта.

Применом савремених метода техничке и биолошке рекултивације могуће је у релативно кратком временском периоду, приближно од 10 до 15 година, на просторима на којима се завршавају рударске активности, обновити репродуктивне и производне способности деградираних земљишта и формирати функционално уређене пределе прилагођене различитим потребама савременог друштва.

Процес рекултивације представља комплексну и суштински значајну активност у оквиру санације деградираних простора, а обухвата две међусобно повезане и нераздвојне фазе: техничку (рударско-техничку) и биолошку рекултивацију. Поред наведеног, савремени приступи рекултивацији подразумевају и трећу фазу, која се односи на просторно и пејзажно уређење рекултивисаног подручја, са циљем његовог функционалног и визуелног уклапања у карактеристике ширег природног и антропогеног окружења.

Посебно осетљиву и стручно најзахтевнију фазу обнове деградираних земљишта представља биолошка рекултивација. Овај процес подразумева успостављање одговарајућих биљних заједница, подизање различитих култура и примену агротехничких, мелиоративних и биотехнолошких мера, чиме се постепено обнављају биолошка активност, плодност и еколошка стабилност земљишта. На тај начин долази до ревитализације простора и постепеног успостављања новог, функционално одрживог екосистема.

Након завршетка фазе техничке рекултивације, спроводи се биолошка рекултивација, која има за циљ да обнови биолошке функције земљишта и формира вегетациони покривач. Ова фаза представља природно-еколошки процес обнављања живота на вештачки створеном терену. Припрема земљишта подразумева спровођење мелиоративних мера: дубоко орање и растресање слоја, додавање органских материја (стајњак, компост, тресет) и ђубрење минералним ђубривима. По потреби се врши и малчирање површине ради заштите од исушивања и ерозије.

Правац биолошке рекултивације одређује се према будућем коришћењу простора:

- Шумарска рекултивација – пошумљавање површина пионирским и аутохтоним врстама (багрем, бреза, црни бор, топола, јасен).
- Пољопривредна рекултивација – сетва ратарских и травно-легуминозних култура (луцерка, детелина, раж, јечам) које обогаћују земљиште.
- Травна рекултивација – заснивање травних покривача на стрмим површинама, често методом хидросејања.
- Рекултивација за пејзажне и рекреативне намене – комбинација травњака, дрвећа и водених површина за паркове и рекреативне зоне.

Мониторинг рекултивације - На успешност процеса биолошке рекултивације утиче велики број међусобно условљених и повезаних фактора, почев од избора биљних врста, квалитета и типа садног материјала, односно семена, па све до начина припреме супстрата, примењене технологије озелењавања и мера неге успостављених култура. Ефикасност овог процеса условљена је и правилним сагледавањем специфичности станишта, односно идентификацијом критичних фактора спољашње средине који могу ограничити опстанак, развој и продуктивност биљака.

С тим у вези је неопходно је сагледати да различити биотички и абиотички фактори у значајној мери умањују раст и развој биљака у односу на њихов генетички потенцијал. Један од важних елемената успешности рекултивације представља и избор оптималног временског периода за извођење радова. Радови на биолошкој рекултивацији морају се реализовати у одговарајућем делу вегетационе сезоне, јер свако значајније одступање од оптималног термина може негативно утицати на степен успешности успостављања вегетационог покривача.

Поред фактора на које је могуће утицати применом одговарајућих техничких и агротехничких мера, значајан ризик у процесу биолошке рекултивације представљају и фактори који су тешко контролисани или потпуно независни од људског деловања. У том контексту, посебан значај имају физичко-хемијске карактеристике откривке и јаловине, као и геопедохемијски процеси који се у њима одвијају. Поред тога, метеоролошки параметри, као што су температурни режим, количина и распоред падавина, влажност ваздуха и интензитет ветра, могу значајно утицати на ефикасност и динамику процеса рекултивације.

С обзиром на то да биолошка рекултивација представља сложен процес у коме учествује већи број субјеката и који се заснива на примени живог биолошког материјала, процена ризика и успешности рекултивације представља веома комплексан задатак. У поступку евалуације успешности рекултивације користе се различити параметри, у зависности од планиране намене простора. Код формирања дрвенастих засада као један од основних показатеља најчешће се користи проценат пријема садница, како у иницијалној фази, тако и након прве вегетационе сезоне.

У случајевима када је циљ рекултивације успостављање пољопривредне производње, критеријум успешности најчешће се изражава кроз ниво оствареног приноса, односно његов однос према просечном приносу исте културе на подручју датог региона у претходном вегетационом периоду. Уколико добијене вредности анализираних параметара одговарају пројектованим и очекиваним резултатима, рекултивација се сматра успешно спроведеном, након чега се примењују мере редовног одржавања и мониторинга успостављених засада. Са друге стране, у случају одступања од очекиваних вредности, приступа се корективним и мелиоративним мерама, које могу обухватити поправку вегетационог покривача, накнадну подсетву или подсадњу, у циљу постизања планиране функционалности и стабилности рекултивисаног простора.

2.3.5 Одлучивање у процесу рекултивације

У данашње време, проблем одлучивања чини нераскидиви део процеса управљања. Појам управљање је свеприсутан, говори се о процесу управљања пројектима, квалитетом, па и управљање ризицима. Основни задатак одлучивања и управљања процесом рекултивације представља избор оптималне алтернативе из скупа могућих решења разматраног проблема, при чему се одлука доноси на основу утврђених критеријума евалуације.

Дефинисање критеријума потребних за одлучивање представља веома захтеван задатак који може задирати у неколико различитих области. Математичко–моделски приступи решавања управљачких задатака, према Ehrgott (2005), могу се класификовати на оптимизационе или нормативне. Оптимизациони приступ подразумева формулацију управљачког задатка као проблема тражења екстремне вредности функције критеријума (max–min), при чему се путем критеријума квантификују понашање система и припадајући излазни ефекти, уз задата ограничења (Кречевинац и др., 2004). Бројне су методе оптимизације и према једној од најзаступљенијих класификација у литератури, ове методе се, у зависности од присуства ограничења, деле на методе без ограничења (методе безусловне оптимизације) и методе са ограничењима (методе условљене оптимизације). Рударско инжењерство најчешће користи дискретне моделе у решавању конкретних оптимизационих проблема, где се уместо израде

свеобухватног математичког модела, приступа се дефинисању и разматрању алтернативних решења. Мултикритеријумске анализе се по аутоматизму као нормативи у процесу одлучивања и управљања.

Према Ehrgott-u, (2005) у процесу одлучивања кључну улогу има доносилац одлуке (ДО), док се алтернативна решења најчешће формулишу од стране стручњака или стручног тима за подршку одлучивању. У оквиру интерактивног приступа између доносиоца одлуке и експертског тима може доћи до модификације и унапређења предложених решења, чиме се повећава поузданост и квалитет мултикритеријумског одлучивања. Непосредна одговорност доносиоца одлуке огледа се у дефинисању критеријума, структурирању преференција у односу на алтернативе, као и у избору коначног решења.

У својој докторској дисертацији „Мултиваријабилни модели управљања у рударству“ Худеј (2014) наводи да одлучивање и управљање у рударству карактеришу сложеност, променљивост, вишезначност, осетљивост и висок степен ризика. Оваква атрибуција проистиче из више међусобно повезаних разлога. Први се односи на мултиваријабилност амбијенталних услова и функционалну и структурну сложеност рударских система, који се могу посматрати као интеракција човек–природа (радна средина)–машина–окружење. Други разлог огледа се у непостојању опште научне сагласности у погледу процене адекватности модела за подршку одлучивању и управљању. Трећи разлог произилази из чињенице да, чак и у случају постојања такве сагласности, није извесно да би расположиви модели, методе и технике давали еквивалентне резултате у идентичним рударским условима.Четврто, системске науке још увек немају опште прихваћен и у пракси применљив алгоритам избора најбољег решења у случају колебања мултимоделских поредака алтернатива. Присутни су различити приступи у премоштавању проблема, они се међусобно не искључују, али понуђена решења немају верификацију опште и универзалне применљивости.

У рударству се сусрећемо са сложеније структуираним проблемима, у оквиру којег процес избора оптималног решења из скупа могућих алтернатива, заснован на више критеријума, у литератури се означава као мултикритеријумско односно мултиатрибутно одлучивање, чије су основне карактеристике (Opricovic, Tzeng 2004).

- Симултано постојање више критеријума, који су често међусобно конфликтни и супротстављени по својој природи;
- Инкомпатибилност алтернативних решења подразумева да једно решење може бити повољније по једном критеријуму, а неповољније по другом;
- Немогућност једнозначног одређивања бољег решења без експлицитног дефинисања преференција доносиоца одлуке представља једно од основних обележја мултикритеријумског одлучивања;
- Ангажовање доносиоца одлуке у процесу, у различитом степену, подразумева уношење елемената субјективности, односно такозване „субјективне објективности“;
- Будући да не постоји решење које је супериорно у односу на сва друга по свим критеријумима, у строгом математичком смислу не постоји јединствено оптимално решење, већ се као резултат одлучивања добија компромисно решење.

Да би се приступило управљању, неопходно је донети одлуку што има за циљ остваривање најбољег исхода у простору могућих решења што је приказано алгоритмом на слици 7.



Слика 7. Алгоритам одлучивања (Худеј, 2014)

Процес доношења одлука своди се на задатак да доносилац одлуке (ДО) из скупа расположивих алтернативних решења изабере најбоље, односно најефикасније решење. С обзиром на специфичности рударских система, доношење одлука је захтеван и ризичан процес, имајући у виду постојање непредвидивих догађаја и динамичких промена у оквиру рудничких система.

Посматрано са аспекта математичко-моделског описа реалног система, проблеми у вишекритеријумском одлучивању могу се класификовати у две основне категорије.

1. Мултицильно одлучивање (МЦО)
2. Мултикритеријумска нализа (МКА). Атрибут представља средство за процену нивоа одређеног критеријума (циља). У литератури се као синоними за атрибуте користе термини као што су параметри, карактеристике, особине, перформансе, компоненте и фактори. Модели мултикритеријумске анализе (МКА) најчешће се примењују на слабо структуриране проблеме. У зависности од природе проблема, код ових модела могу се разликовати три основна приступа у поступку решавања.

А) Рангирање (скуп свих алтернатива, почевши од најбоље до најлошије),

Б) Приликом избора једне алтернативе, задатак се своди на селекцију оптималне алтернативе из скупа могућих решења,

Ц) Избор више алтернатива може се реализовати на два начина:

- полазећи од највишег ранга, усваја се унапред дефинисан број алтернатива;

- избор алтернатива уз примену додатних услова који нису били инкорпорирани у иницијални модел.

Стање и морфолошки изглед постеxсплоатационог предела разликују се између површинских копова брдског и равничарског типа, при чему су условљени трајањем експлоатације, обимом и интензитетом рударских радова, карактеристикама радне средине, примењеним техничко-технолошким методама, степеном и начином спровођења мера заштите животне средине током експлоатације, као и природним и геоморфолошким карактеристикама окружења и другим релевантним факторима. Уређење постеxсплоатационог простора мора бити предмет детаљних стручних анализа и процена, реализованих кроз више фаза и уз висок ниво стручне одговорности.

Ако изузмемо законску регулативу као обавезу, уређење предела након експлоатације чине првенствено етичке обавезе усмерене каеколошким чиниоцима природне средине њеном очувању, тако и према нашем будућем нараштају у моралној обавези да плодно земљиште, као природни Необновљиви ресурси не смеју бити изложени деградацији и трајном нарушавању, већ се морају очувати и пренети будућим генерацијама као основа њихове сигурне егзистенције и дугорочног развоја.

Површински копови угља у домаћим условима, као типични рударски системи са изразито великом просторном експанзијом, најчешће су лоцирани у зони или непосредној близини стамбених насеља, индустријских и инфраструктурних система, као и саобраћајних коридора од регионалног и локалног значаја. Услед такве просторне конфигурације, рударска експлоатација неминовно генерише висок степен просторне конфликтности између рударских активности и других видова коришћења простора. Током динамичког развоја експлоатације и континуираног померања граница експлоатационих поља, јављају се сложени и мултидимензионални проблеми који се односе на измештање привремених и трајних објеката инфраструктуре, као и на делимично или потпуно дислоцирање насеља, што представља један од кључних социо-просторних и техничко-организационих изазова рударске делатности.

Уређењем постеxсплоатационих површина након техничке и биолошке рекултивације, неопходно је креирати услове дугорочног процеса планирања, пројектовања и извођења радова, стећи услове за изградњу стамбених насеља инфраструктурних објеката, уколико има потребе, враћање воде у природне водотокове итд.

Приликом осмишљавања уређења постеxсплоатационих предела, неопходно је имати у виду да рекултивисани простори површинских копова могу представљати значајне еколошке ћелије, које поред своје економске вредности могу имати и улогу специјалних резервоара биодиверзитета, односно станишта за биљне и животињске врсте које су услед антропогених утицаја у другим деловима култивисаног предела постале угрожене, истиснуте или локално ишчезле. На основу резултата истраживања може се закључити да формирање секундарних биотопа у одређеним случајевима доприноси повећању разноврсности флоре и фауне, односно унапређењу укупног биолошког диверзитета.

2.3.6 Својства процеса рекултивације деградираних површина насталих површинском експлоатацијом угља

Рударска експлоатација минералних сировина, на самом старту има противуречност са животном средином. Површинска експлоатација ствара неизбежан негативан утицај на животну околину.

Уопштено посматрано, утицаји су приметни у горњем делу литосфере, у доњем делу атмосфере, целој хидросфери подручја управо насталих активностима површинске експлоатације. Технолошки процеси експлоатације утичу на све набројане елементе животне средине која образује биосферу. Дејства и исход ефеката на животну средину табеларно су приказани у табели 2.

Табела 2. Основна дејства и исходи утицаја експлоатације минералних сировина на животну средину

Аспекти животне средине	Дејство процеса експлоатације	Исходи утица на животну средину
Земља	Спровођење рударских радова Стварање одлагалишта и израда објеката и путева	Деградација површине земље и стварање техногеног рељефа Смањење пољопривредног земљишта и приноса Повећање процеса ерозије тла Загађивање и засољавање плодног слоја земље Нарушавање животних услова живих организама
Лежишта	Откопавање лежишта минералних сировина Откопавање откривке Одводњавање лежишта Самозапаљење угља Неадекватно управљање отпадом Истакање техничке воде	Исцрпљивање минералних ресурса Угрожавање геолошке структуре лежишта и геодинамичког састава простора Снижавање нивоа подзмних вода, као и смањење њихових резерви Контаминирање земље Убрзавање карстних процеса Губици корисне сировине при откопавању
Ваздух	Емисија штетних гасова у атмосферу (контролисана и неконтролисана)	Загађивање и запрашивање атмосфере како у зони копа тако и у околини Скраћење века објеката и опреме Пораст обољења живих организама
Вода	Измештање површинских токова воде Одводњавање лежишта Претакање дренажних вода из површинског копа Изградња постојења за пречишћавање вода	Исцрпљивање резерви површинских и подземних вода Ремећење хидрогеолошких и хидролошких режима површинских вода Смањење количине воде и загађивање водоносног басена

Сваким даном, проблеми деградирања животне средине постају бројнији и комплекснији. Смањивање обновљивих и необновљивих извора, редукцију биодиверзитета које је настало као последица људских активности, повећање људске популације, све су то питања на глобалном новоу која треба решавати правовремено.

Површинска експлоатација минералних сировина, а нарочито рударско-енергетски комплекси који производе/користе угаљ за производњу електричне енергије има веома велики удео у загађењу животне средине. Најизраженији су загађење зељишта, воде и ваздуха, заузимање пољопривредног и шумског земљишта тј. смањење тих површина, негативан итицај на трансформисање предела и микроклиме, бука и ризици од акцидената.

Поједини зелени покрети данас приписују много више негативног утицаја од онога што то заиста настаје експлоатацијом. Објективно, површинска експлоатација носи велику одговорност, нарушава животну срдину, али законски је прописано да се сваки вид нарушавања мора отклонити и дуготрајно пратити утицај на животну средину. Најјачи утисак ствара визуелно нарушавање, разарање стенске масе, скидање пољопривредног земљишта и шума. Генерално посматрано, рударски радови представљају део подсистема у оквиру површинске експлоатације који је ограничен временски са различитим техничким процесима уз поштовање мера техничке и биолошке рекултивације у завршној фази експлоатације копа.

Бројни су примери у свету где су велике деградиране површине успешно рекултивисане, приведене претходној намени пољопривреде и шумарства, али и пренамењени простори удруге сврхе (одмор и рекреација, туризам и сл.). Историјски посматрано, пракса бриге о животној средину у периоду након експлоатације најпре је заживела на тлу Немачке.

Области које су захваћене рударском експлоатацијом, независно од степена деградације, могу се рекултивисати веома успешно примењивањем савремених мера техничке и биолошке рекултивације и након тога привести новој намени терена након рударских активности.

Теза о потенцијалима одрживог развоја у рударству бива потврђена доношењем исправних одлука о могућности намене новонасталих предела након завршетка експлоатације и успешно завршеној рекултивацији, није нужно да што човек у данашње време деградира зарад својих потреба буде изгубљено неповратно, штавише напротив, уз поштовање безкомпромисне законске регулативе и примене резултата научних истраживања може унапредити и користити свестрано.

Полазну основу за доношење одлуке о избору рекултивационог решења треба да представља плански и системски приступ будућем коришћењу простора након завршетка експлоатације минералних сировина на површинским коповима, уз уважавање просторних, еколошких и друштвено-економских аспеката постексплоатационог предела. На основу тога проистиче и адекватна пројектна документација која јасно дефинише план рекултивације, склад агрономских и шумарских мера, осигуравање оптималних супстрата неопходних за њихово извођење, уз препоруку селективног одлагања откривке и уређењем површинских вода у тим пределима. Уколико је неопходно, треба предвидети пресељење локалног становништва, размештај нових насеља, са изградњом неопходне инфраструктуре и саобраћајница. У рекултивисаним пределима некадашњих зона утицаја површинске експлоатације могу се дефинисати нови рекреациони, спортски, културни садржаји који прате социјалну структуру локалног становништва.

Процес развијања површинског копа условљава потребу за сукцесивним обнављањем површина на на коповима, и као таква рекултивација дефинише низ мера којим се деградирани оредели враћају претходној намени. Са аспекта мера које се примењују разликују се техничка и биолошка рекултивација, где техничка поредставља претходницу биолошкој и припрема терен за биолошку која означава завршни облик рекултивације површинских копова.

Експлоатација минералних сировина у Србији се реализује површински и подземно. У укупној експлоатацији лежишта минералних сировина, површинска експлоатација се реализује на значајном броју лежишта различитог генетског, литолошког и економског карактера, укључујући лежишта лигнитских угљева, руду бакра, руду гвожђа са никлом, олово-цинкове руде, као и лежишта неметаличних минералних сировина, архитектонско-грађевинског камена, шљунковито-песковитих алувијалних наслага и глиновитих формација. Према досадашњим истражним радовима процењује се да су дегрдиране површине на око 100.000 ha површина углавном на квалитетном пољопривредном земљишту и са насељеним местима и постојећом путном инфраструктуром.

Са циљем да се изврши санација ефеката експлоатације минералних сировина и спречи погоршање услова живота током рада копа а и по окончању, потребно је да сваки површински коп има програм заштите животне средине који јасно дефинише активности које треба спровести и утврди фазе реализације самог програма заштите животне средине. Тиме се постиже услов да се поштују принципи одрживог развоја и да на нашим површинским коповима заживе директиве које су усвојене од стане савременог законодавства.

Најуочљивије одлике површинске експлоатације, са становишта будућих рекултивисаних површина, карактерише заузимање великих просторних целина услед експлоатационих активности обухвата површински коп, спољашња одлагалишта, пратеће и инфраструктурне објекте, саобраћајне комуникације, као и постројења за припрему и прераду минералних сировина, што заједно представља значајну просторну интервенцију у природно и изграђено окружење.

Са аспекта локације одлагалишта постоје две врсте, спољашње и унутрашње одлагалиште. При формирању спољашњег одлагалишта постоји низ фактора од којих се издвајају: запремина простора која је неопходна за количину јаловине, дужина транспорта, могућност уклапања у постојеће окружење, економска вредност локације за формирање одлагалишта. Унутрашње одлагалиште се формира у откопаном простору унутар контура површинског копа уз могућност надвишења изнад површине терена.

Уклапање одлагалишта у околину карактерише да одлагалиште својим косинама и горњом површином уклапа у већ постојећу амбијенталну целину. Овај циљ се остварује постепеним прелазом са хоризонталних ка косо моделованим површинама, чиме се обезбеђује континуитет у обликовању терена. Проблематика је знатно једноставнија у случају спољашњих одлагалишта која се ослањају на више бокова природног терена, јер се на тај начин редукује број површина које је неопходно накнадно геометријски и функционално ускладити, у поређењу са одлагалиштима формираним на равним теренима, где су све бочне и горње површине отворене за накнадне интервенције и реконтурирање. Ово питање се разматра већ у фази пројектовања одлагалишта, с обзиром на то да се тиме стварају предуслови за ефикасну реализацију техничке рекултивације. Основни концепт подразумева да се већ током формирања спољашњег одлагалишта пројектује морфологија која је у највећој могућој мери приближна коначној пострекултивационој форми. У том контексту, неопходно је прецизно дефинисати нагибе косина одлагалишта и висинске параметре уз одговарајућа ограничења, како би се обим радова у фази техничке рекултивације свео на минималну корекцију косина етажа и финално обликовање терена.

Процес унутрашњег одлагања карактерише тежња ка формирању постеексплоатационог терена који је у што већој мери приближан првобитној морфологији простора. Међутим, ову поставку није могуће у потпуности реализовати, имајући у виду ограничења у расположивим количинама откривке и јаловине, која настају као последица формирања спољашњих одлагалишта. Услед тога, на завршним контурним линијама површинских копова формирају се блажи прелази, уз могућност појаве локалних надвишења терена, чиме се обезбеђује технички изводљиви компромис између пројектованог и затеченог стања простора (Лазић, 2006).

Рударство, специфично површински копови угља, као и пратеће термоелектране које чине индустријско-енергетски компекс, прате многобројни негативни утицаји на животну средину и самим тим захтевају интердисциплинарно планирање и деловање, рекултивацију, ревитализацију и уређење девастираних површина са циљем свеобухватног њиховог коришћења у периоду након експлоатације. Извођење техничке фазе рекултивације и преуређења откопних маса откивке и јаловине пружа бројне могућности. Како би се избегле штетне последице развоја површинских копова, планиране рударске активности треба да прати планирана и усклађена биолошка рекултивација одлагалишта, као и да буде динамички усклађено са просторно-пејзажним обликовањем како би се успоставили вегетацијски системи на новоформираним депосолима. Бројна досадашња искуства потврђују да је на овако деградираним теренима могуће креирати нове пољопривредне, ливадске, шумске, акваторне и друге екосистеме.

Крајем XX века као приоритет се постављао квантитет производње минералне сировине. Стога, рударски радови су били постављани као приритет и експлоатација минералне сировине се завршавала престанком откопавања, док су секундарно посматране последице дејства експлоатације. На тај начин су девастиране површине површинских копова биле препуштене спонтаном зарашћивању што је захтевало дуг временски период. Спонтана ауторекултивација умногоме зависи од присуства хранљивих материја неопходних за раст насељавања пионирских врста.

Спољашња одлагалишта површинских копова угља структурно су сачињена од хоризонталних и благо нагнутих површина које формирају берме сигурности, затим стрмих површина које представљају косине одлагалишних етажа, као и горњих површина појединачних етажа, чиме се успоставља специфична геоморфолошка и техничко-технолошка конфигурација одлагалишног простора. Ове површине су намењене за техничку, а након тога и биолошку рекултивацију како би се реализовао стратешки циљ у области рекултивације простора и заштите природе. Првенствено, смањење штетних утицаја експлоатације и прераде угља на стање пољопривредног земљишта, земљишта под шумама, ваздуха, вода, биљног и животињског света, као и других природних и социо-економских фактора.

У циљу унапређења и постепеног постизања трајног и мерљивог побољшања еколошких и амбијентално-пејзажних карактеристика, као и економских потенцијала подручја у зони експлоатације минералних сировина, неопходно је спровођење планских и континуираних мера санације и уређења простора. Биолошка рекултивација одлагалишта јаловине реализује се првенствено путем агробиолошких метода и пошумљавања, заснованих на завршној концепцији просторне организације након окончања експлоатационих активности, чиме се обезбеђује дугорочна стабилност и функционална интеграција рекултивисаног простора у окружење.

У оквиру природних параметара обухваћени су природне и новоформиране морфолошке карактеристике рељефа, климатске специфичности подручја површинског копа, литолошка грађа откривке и јаловине у зонама будућег ширења експлоатације, као и физичко-хемијске и биолошке особине земљишта и депосола. Такође се разматрају карактеристике природне вегетације, као и вегетације формиране на рекултивисаним површинама, што је приказано на слици 8. Поред наведеног, у анализу се укључују и техничко-технолошки параметри, који обухватају динамику експлоатације откривке по експлоатационим пољима, примењене технологије откопавања и одлагања, просторни распоред одлагалишта, као и врсте и карактеристике ангажоване рударске опреме. итд.



Слика 8. Природни и техничко-технолошки параметри

Уобичајене негативне последице настале као резултат утицаја површинске експлоатације на непосредну околину и животну средину обухватају различите компоненте система животне средине, што је приказано на слици 9, и могу се генерално класификовати на утицаје на земљиште, водне ресурсе и водни режим, атмосферу, биљни покривач, животињски свет, локалне климатске услове, као и на околне објекте, социо-економске факторе, археолошко наслеђе и заштићена природна подручја.



Слика 9. Штетне последице по животну средину проузроковане експлоатацијом животне средине

На земљиште: нарушавање површинског хумусног слоја и солума, који представљају необновљив природни ресурс, као и деградацију дубљих, потенцијално плодних хоризоната испод пољопривредног земљишта. Последице експлоатационих активности огледају се и у геоморфолошкој и економској деградацији терена услед формирања експлоатационих површина и одлагалишта, затим у загађењу земљишта емисијама из прерађивачких капацитета, појави ерозионих процеса и акумулацији прашине и отпадних материја. Додатно,

долази до интензивирања нестабилности терена кроз појаву клизишта, одрона и слегања, што у крајњем исходу представља изражену трансформацију геодиверзитета простора.

Утицаји на воду и водне ресурсе огледају се у пресецању и ремећењу природних токова услед рударских радова, измени микросливова, нарушавању природног режима површинских и подземних вода, измештању водотокова, формирању вештачких акумулација, као и у промени нивоа подземних вода, уз истовремено загађење како површинских, тако и подземних вода.

Утицаји на ваздух манифестују се кроз емисију прашкастих материја из процеса експлоатације и прераде, као и кроз емисију гасова (CO, CO_2, NO_x и др.), који утичу на квалитет ваздушне средине.

Утицаји на биљни покривач обухватају уништавање шумских и пољопривредних површина, што доводи до дугорочне или трајне промене квалитета земљишта и смањења флористичког диверзитета.

Утицаји на животињски свет односе се на деградацију и фрагментацију станишта, као и на нестанак појединих врста фауне и нарушавање еколошке равнотеже у ширем временском оквиру.

Утицаји на климу манифестују се кроз измене микроклиматских параметара, које се даље рефлектују на локалне климатске услове у зони експлоатације и ширем окружењу.

Утицаји на објекте обухватају физичка оштећења инфраструктурних и грађевинских објеката, прекиде и измене саобраћајних и комуналних система, као и промене режима водоснабдевања и других инфраструктурних токова.

Социолошки утицаји односе се на трансформацију структуре домаћинстава, посебно пољопривредних, измештање насеља, као и на промене у друштвеној структури, навикама, културним обрасцима и укупном начину живота становништва.

Утицаји на археолошко наслеђе, споменике културе и заштићена природна добра испољавају се кроз ограничење и сужавање простора истраживања и заштите, укључујући локалитете као што је римски војни логор Виминацијум и манастир Рукумија у зони површинског копа угља Дрмно.

Ревитализацији деградираног простора неопходно је приступити још у току фазе експлоатације да би се утицало на смањивање штетних утицаја. Најзначајнија ставка у оквиру ревитализације је рекултивација деградираног земљишта. Нерекултивисана одлагалишта вишеструко могу угрозити непосредну животнусредину и становништво. На првом месту се издваја штетан утицај ветрова који разносе фине честице прашине у којој могу бити присутне токсичне материје. Мале количине угља у одложеној јаловини подложне су самозапаљењу при чему се у ваздух емитује CO, CO_2, оксиди сумпора итд. Постоји и непрекидна опасност од попуштања брана и канала, као и од обрушавања неодржаваних завршних косина одлагалишта. Атмосферске падавине спирају штетне материје и тиме могу загадити подземне воде.

Крајњи циљ рекултивације јесте успостављање нове, функционално стабилне и одрживе намене простора, која може бити пољопривредног, шумског, рекреативног, пејзажно-естетског или другог карактера, у складу са природним потенцијалима и развојним потребама подручја. Техничка рекултивација представља почетну и суштинску фазу овог процеса и обухвата скуп инжењерско-техничких мера које се планирају и реализују у складу са пројектом рекултивације. Њен основни задатак је физичко привођење спољашњих и унутрашњих одлагалишта, као и осталих површина захваћених површинском експлоатацијом,

пројектованом облику терена. Ова фаза подразумева нивелацију и обликовање површина у складу са планираном морфологијом терена, формирање стабилних косина и етажа, разастирање погодних земљишних материјала и завршно наношење хумусног слоја, чиме се стварају предуслови за успостављање биолошке продуктивности простора. Поред тога, техничка рекултивација обухвата формирање рекултивационих површина, корекцију и ублажавање нагиба косина, као и изградњу неопходне инфраструктуре, укључујући путеве, хидротехничке и мелиорационе објекте, који обезбеђују стабилност терена и услове за његово даље коришћење.

Реализација ових активности захтева ангажовање одговарајуће основне и помоћне механизације, при чему је циљ да се формира земљишни супстрат који ће по својим физичким, механичким и производним својствима у највећој могућој мери одговарати природном земљишту које је постојало пре почетка експлоатације минералних сировина. На тај начин техничка рекултивација представља неопходну основу за успешну биолошку рекултивацију и дугорочну ревитализацију деградираног простора.

Практично, техничка рекултивација треба да почне упоредо са експлоатацијом угља. Кључну карактеристику техничке рекултивације у почетним фазама експлоатације представља селективно откопавање, издвајање и привремено депоновање хумусног слоја и других потенцијално плодних земљишних хоризоната. Иако овакав приступ у почетној фази повећава трошкове експлоатације минералних сировина услед додатних радова на одвојеном руковању земљишним материјалом, његова оправданост долази до изражаја током каснијих фаза рекултивације. Очувани плодни слојеви могу се поново користити за формирање рекултивационог супстрата, чиме се значајно смањује потреба за додатним побољшањем земљишта и допремањем плодног материјала са других локација. На тај начин се обезбеђује економичнија реализација рекултивационих радова, уз истовремено очување производног потенцијала земљишта и стварање повољнијих услова за успостављање стабилног биљног покривача на рекултивисаним површинама.

При томе је неопходно испунити следеће услове:

- усклађеност са техничко-технолошким могућностима ангажоване механизације, пре свега са параметрима који дефинишу висину и дубину копања багерске опреме;
- обезбеђивање довољних количина селективно издвојеног материјала за препокривање површина са којих је супстрат претходно уклоњен;
- економску оправданост поступка, односно избор дебљине слоја који обезбеђује минималне укупне трошкове откопавања, транспорта, депоновања и поновног коришћења материјала;
- усклађеност са пројектованим геометријским параметрима одлагалишта, при чему дебљина селективно откопаваног слоја не сме прећи максимално дозвољену висину етаже дефинисану за конкретну врсту опреме и услове рада;
- обезбеђивање довољне дебљине рекултивационог супстрата на завршним површинама одлагалишта, како би се створили повољни услови за развој кореновог система, успостављање стабилног биљног покривача и дугорочну биолошку продуктивност рекултивисаног простора.

Испуњавање наведених услова омогућава рационално управљање земљишним ресурсима током експлоатације, уз истовремено стварање предуслова за ефикасну и економски оправдану реализацију рекултивације деградираних површина.

Када се формира одлагалиште, пре свега хумусни слој се наноси на равне површине. Производна способност одложеног хумусног слоја за пољопривредну производњу требало би да буде приближна првобитној производној способности.

Адекватна рекултивација уз могућност што бржег искоришћавања новоформираног терена, колико је то могуће доводи у склад, површинску експлоатацију и животну средину, као и могућност приходовања од рекултивисаног простора (продаја земљишта, продаја производа са те земље, итд.).

Најизраженија потреба за ремедијацијом и рекултивацијом која се одвија тече упоредо са експлоатацијом је пре свега на повринским коповима угља, у Колубари и Костолцу. Велике површине, углавном пољопривредног земљишта, Србија је изгубила експропријацијом земљишта због експлоатације угља.

Плодно земљиште представља површински педолошки слој Земљине коре који настаје дуготрајним процесима педогенезе, односно трансформацијом матичног супстрата на који утицачу климатски фактори, вода, биљни и животињски свет, као и сложени физичко-хемијски и биолошки процеси. Формирање плодног земљишта тече веома споро, тако да је за стварање само једног центиметра хумусно-акумулативног хоризонта потребно и до неколико хиљада година. Због изузетно дугог периода настанка и ограничене могућности природне обнове, плодно тло се, заједно са водним ресурсима и минералним сировинама, сврстава у најзначајније природне ресурсе чије је очување од стратешког значаја.

Савремени концепт одрживог развоја подразумева рационално и одговорно управљање плодним земљиштем, треба настојати да се његова продуктивност и функционалност очувају за будуће генерације. У оквиру површинске експлоатације минералних сировина, један од основних захтева заштите земљишта јесте селективно откопавање, привремено складиштење и очување плодног слоја тла. Тако издвојен хумусни материјал користи се у завршним фазама рекултивације, када се равномерно распоређује по рекултивисаним површинама и новоформираним морфолошким облицима терена, чиме се стварају предуслови за успостављање биолошке продуктивности и поновно привођење земљишта намени.

Биолошка рекултивација изискује коришћење механизације и техничких средстава, концептуално обликовање будуће намене простора који треба да буде рекултивисан, избор садног материјала који се врши на основу више критеријума, укључујући постексплоатациону намену простора, климатске и микроклиматске услове, карактеристике земљишта и еколошке захтеве појединих биљних врсте.

Могућа сврха влажних као и сувих депресија приказана је табеларно (табела 3).

Табела 3. Намена влажних и сувих депресија копова

Намена депресија копова	
Влажне депресије	*Суве депресије*
Научна (заштита природе, науке и образовања)	Научна(заштита природе, науке и образовања)
Одмор и рекреација (купање, једрење и веслање, ски спортови, клизање, спортски риболов, кампови, викенд насеља)	Пољопривреда (величина површине, повољне карактеристике земљишта и добра приступачност)
Рибарство	Шумарство (величина површине и приступачност)
Водопривреда (снабдевање пијаћом водом, пречишћавање текућих вода)	Насеља (величина површине, приступачност, клима и визуелни параметри, геотехничка погодност терена)

Депоније (рудничке, комуналне)	Индустрија (повољна доступност постојећој инфраструктурној мрежи, уз остале карактеристике сличне онима које одликују насељена подручја)
	Одмор и рекреација (просторни капацитет локалитета и његова повезаност са излетничким и рекреативним садржајима, заштићено од ветра)
	Стрелишта, мото спорт, вежбалишта за алпинисте
	Депоније (капацитет, већа удаљеност од стамбених зона и локација ван подручја санитарне заштите водних ресурса)

У циљу обезбеђивања дугорочне еколошке стабилности, очувања природних вредности простора и унапређења амбијенталних карактеристика постексплоатационих предела, неопходно је спровести свеобухватну анализу расположивих модела рекултивације и донети одговарајуће стратешке одлуке о будућем коришћењу простора. Једно од кључних питања у процесу планирања рекултивације односи се на избор између интегративног и сегрегативног приступа уређењу деградираних површина.

Интегративни приступ подразумева успостављање вишефункционалног простора у коме су еколошки, социјални и економски аспекти развоја међусобно усклађени. Овај модел рекултивације тежи стварању нових екосистема и пејзажних целина које истовремено обезбеђују заштиту животне средине, могућности привредног коришћења простора и задовољење потреба локалног становништва. На тај начин рекултивисани простори постају саставни део ширег природног и друштвеног окружења, доприносећи одрживом развоју региона.

Са друге стране, сегрегативни или конзервациони приступ заснива се на настојању да се очувају или обнове природна станишта и биолошке заједнице које су постојале пре почетка рударских активности. Основни циљ овог концепта јесте минимизирање антропогеног утицаја и обезбеђивање услова за природну сукцесију екосистема, уз ограничено укључивање додатних функција простора. Управо је овај модел дуги низ година доминирао у инжењерској и рударској пракси, где су постексплоатациони терени најчешће третирани као изоловане целине чија је примарна сврха била успостављање еколошке равнотеже и очување природних вредности.

Савремени концепти управљања деградираним просторима све више фаворизују интегративне моделе рекултивације, који омогућавају упоредо остваривање еколошких, друштвених и економских циљева. Избор оптималног приступа зависи од низа фактора, међу којима се издвајају карактеристике локалитета, просторни положај, природни потенцијали подручја, потребе локалне заједнице, законска ограничења и могућности будућег коришћења земљишта. Стога се одлука о примени интегративног или сегрегативног модела рекултивације мора заснивати на детаљној техничкој, еколошкој и економској анализи, како би се обезбедило најрационалније и најодрживије решење за конкретан постексплоатациони простор.

Када се приоритет даје очувању природе и амбијенталним вредностима у постексплоатационим пределима, друга кључна одлука у процесу избора варијанте рекултивационог решења односи се на дилему о приоритетном стратешком опредељењу, односно да ли глобални циљ треба усмерити ка очувању природности, тј. природних процеса и динамике екосистема, или ка заштити врста, односно очувању биодиверзитета као основног еколошког приоритета. У зависности од усвојеног концепта, остали специфични циљеви се не третирају као примарни, већ се у одређеним приступима могу сматрати секундарним или изостављеним из оперативног оквира планирања. У таквим случајевима не предузимају се посебне, циљано усмерене мере усмерене ка додатним функционалним или еколошким

аспектима, већ се интервенције концентришу искључиво на реализацију изабраног доминантног циља рекултивације. Уколико се предност даје очувању врста, неопходно је дефинисање које врсте имају приоритет у заштити уколико није могуће истом мером заштити све врсте. У ту сврху потребно је дефинисати листу циљних врста.

Изван зона приоритетних интервенција треба дефинисати одговарајући модел коегзистенције између коришћења земљишта и његовог очувања, са циљем постизања функционалне и еколошке равнотеже у простору. У том контексту могу се применити концепти мрежа станишта заснованих на ситним структурним елементима пејзажа, као што су живе ограде, мање водене акумулације, као и хортикултурни и други вегетациони засади, који доприносе повезивању издељених станишних целина.

Алтернативно, може се дефинисати просторни градијент интензитета коришћења земљишта, при чему се различити нивои експлоатације и заштите распоређују у складу са еколошким капацитетом простора, чиме се обезбеђује постепен прелаз између природних и антропогено модификованих зона.

Значајни резултати у области ревитализације и рекултивације површинских копова минералних сировина остварени су у Сједињеним Америчким Државама, пре свега као последица примене савезног Закона о контроли површинске експлоатације и рекултивације из 1977. године (Surface Mining Control and Reclamation Act – SMCRA). Овим законским оквиром успостављени су строги стандарди за санацију деградираних површина и њихово враћање у функционално и еколошки стабилно стање.

У пракси су развијени различити модели постексплоатационог уређења, међу којима се издваја успостављање пољопривредних површина и фарми у оквиру агромелиоративних мера, са циљем трансформације рекултивисаних простора у продуктивне и еколошки стабилне зелене површине. У новије време све већи значај добија рестаурација напуштених копова у мочварне екосистеме, који представљају погодна станишта за бројне врсте птица, нарочито током периода њихових миграција.

Овако формирани екосистеми имају вишеструке еколошке функције, укључујући улогу природних пречистача воде, регулатора хидролошких процеса и биолошких филтера. Поред еколошког значаја, њихово успостављање доприноси и економској оправданости рекултивационих мера, кроз дугорочне екосистемске услуге које обезбеђују.

У случајевима када се површински копови налазе у шумским подручјима, у процесу доношења одлука о постексплоатационој рекултивацији простора најчешће се разматрају решења заснована на пошумљавању или успостављању воћарских засада, као облика биолошке рекултивације прилагођене природним условима локалитета. У зависности од планских опредељења рударских компанија или будућих власника земљишта, као алтернативне намене могу се предвидети и формирање травних површина, односно успостављање примарне вегетације и ливадских екосистема. У одређеним геоморфолошким условима, посебно у случајевима када морфологија површинских копова подразумева формирање депресија, такве форме терена могу представљати погодне локације за настанак језерских екосистема. У том контексту посебан значај има стабилизација косина одлагалишта и санација нестабилних делова терена, док се околно земљиште може планирати за развој туристичких, рекреативних и спортских садржаја, укључујући и формирање туристичких насеља и пратеће инфраструктуре.

На одлуку о избору будуће намене земљишта након спровођења рекултивације значајно утичу важећи стандарди и нормативи у области рекултивације, који у појединим државама са развијеним и строгим законским оквиром представљају кључни опредељујући фактор у

процесу планирања постеексплоатационог коришћења простора. У таквим системима, најпоузданији механизам контроле примене законске регулативе подразумева обавезу прибављања одобрења за пројекте експлоатације пре њиховог отпочињања, при чему се укључују надлежне институције на локалном, регионалном и националном нивоу (нпр. Сједињене Америчке Државе, Канада, Аустралија и Јужноафричка Република).

Анализа међународне праксе указује да се законодавни оквири у већини земаља налазе између две крајности у погледу степена централизације одлучивања. Са једне стране, Канада представља пример децентрализованог приступа, у којем је локалним властима остављен значајан степен дискреционог права у избору облика и модела рекултивације. Са друге стране, Сједињене Америчке Државе карактерише релативно строг и централизован систем са јасно дефинисаним националним стандардима рекултивације. И поред разлика у регулаторним приступима, заједничко обележје већине законодавних решења представља обавеза селективног откопавања и привременог складиштења хумусног слоја земљишта, као и успостављање финансијских гаранција у виду депозита или других инструмената обезбеђења, који служе као гаранција да ће након престанка рударских активности деградиране површине бити адекватно рекултивисане и приведене планираној намени.

Структура власништва је такође битан фактор који утиче на одлуку о намени терена после рекултивације. Уколико је земљиште преузето за рударску екслпоатацију од пољопривредника, тежња је да се претежно рекултивише пољопривредној намени. Уколико је земљиште у власништву државе, најраспрострањенија намена су паркови и простор за рекреацију, станишта дивљих животиња и биљака. Земљиште које се граничи са парковима, приводи се истој намени. Ако се земљиште које се рекултивише налази у непосредној близини насеља, рекултивише се за изградњу индустријских објеката, стамбених насеља, и сл.

Величина деградиране површине и рељеф утичу на избор рекултивационог решења. За површине до 20 ha, најподеснија рекултивација се у појединим случајевима може спроводити тако да се формирани простор приближи карактеристикама природног окружења, док површине већег просторног обухвата, реда величине неколико квадратних километара, могу бити обликоване у форми која се морфолошки и функционално разликује од доминантног амбијента.

Такође у обзир треба узети и локално становништво (старост, економско стање и културолошке особине). Земљишта у подручјима где је присутан рапидни популациони раст треба планирати урбану реконструкцију или рекултивацију у виду парка ради унапређења животних услова становништва. Различите социо-економске групе становништва испољавају различите потребе и приоритете у погледу коришћења земљишта након рекултивације. Млађа популација често је склонија активним облицима рекреације, као што су планинарење, лов и сличне активности у природи, док старије старосне групе у већој мери преферирају рекреативне садржаје мирнијег карактера, укључујући пецање, голф и шетње у уређеним природним амбијентима.

С друге стране, социјално и економски угроженије категорије становништва често не располажу довољним слободним временом за рекреативне активности, услед приоритета усмерених на егзистенцијалне потребе. У таквим условима, коришћење рекултивисаног земљишта може бити усмерено ка производним активностима мањег обима, попут узгоја поврћа и других пољопривредних култура за сопствене потребе, чиме се истовремено задовољавају и социјални и економски аспекти коришћења простора.

Рељеф терена је један од кључних фактора који утиче на коначно морфолошко обликовање простора након рекултивације, при чему посредно одређује и избор погодних биљних заједница за насељавање одређеног локалитета. Степен нагиба, експозиција и микрорељефне

карактеристике у значајној мери условљавају еколошке услове станишта, што се директно одражава на структуру и састав вегетације. Са становишта технологије извођења радова, рељеф такође има пресудан утицај на избор метода пошумљавања и садње. На површинама са благим нагибима могућа је примена механизованих система садње, док се на теренима са израженим нагибом, услед ограничене приступачности и безбедносних услова, примењују искључиво ручне методе садње биљног материјала.

Климатски фактори, који обухватају дужину вегетационог периода, температурни режим, годишњу количину и распоред падавина, режим ветрова, просечну релативну влажност ваздуха, као и интензитет инсолације (број сунчаних дана), представљају лимитирајуће факторе у процесу избора одговарајућих биљних врста за рекултивацију. Наведени параметри у значајној мери одређују еколошке услове станишта и способност појединих врста да се адаптирају и успешно развијају у специфичним климатским условима датог подручја.

Формирање вегетацијског покривача условљено је хемијским особинама земљишта, његовом текстуром и структуром,средином за клијање и раст садница, приступачношћу воде и дренажом, које утичу на способност супстрата да обезбеди оптималне услове за клијање, раст и развој биљних врста. Кључ успеха биолошке рекултивације је обезбеђење добре средине за коренов систем биљака. Плодан хумусни слој на површини даје више могућности за рекултивациона решења. Успех рекултивације умногоме зависи од могућности да се сачува слој првобитног плодног земљишта.

Вујић (2009) у свом раду наводи да, без обзира на облик будућег коришћења земљишта, ефикасна рекултивација постеxсплоатационих предела подразумева обезбеђивање стабилности косина површинских копова и одлагалишта, ограничење ерозивних процеса, као и очување квалитета површинских и подземних вода. Поред тога, као битни услови истичу се и одсуство повећане концентрације прашине у атмосфери, формирање продуктивног и одрживог вегетацијског покривача, као и могућност поновног успостављања станишта за дивље биљне и животињске врсте.

2.3.7 Утицај рекултивације на животну средину

Рекултивација, ревитализација и уређење простора деградираног површинском експлоатацијом угља је техничко-технолошки комплексна, временски дуготрајна и стручно захтевна мултифазна процесна активност. Овај процес обухвата низ међусобно повезаних активности које се реализују кроз фазе од предвиђања, планирања и пројектовања, преко извођења рударско-експлоатационих радова, техничке и биолошке рекултивације деградираних површина, до формирања нових просторних садржаја и успостављања одрживих биљних заједница и природних станишта.

Основу овако комплексних и дугорочних процеса чини њихова фазна (секвенцијална) структура, као и снажна међузависност појединачних активности, при чему је реализација сваке наредне фазе условљена резултатима претходних. Поред тога, процес карактеришу временски променљиви и обимни скупови података и информација, као и њихова континуирана интеракција у оквиру система планирања и управљања простором.

Правилно коришћење рекултивисаног земљишта мора бити одлучено у смислу локалних физичких и социо-економских услова. У европским земљама више од 50% претходно ископаног земљишта се користи као шумско или травнато земљиште. Међутим, у Кини се више од 70% рекултивисаног земљишта користи за пољопривредне сврхе, јер велика популација и недостатак пољопривредних површина то чине неопходним (Zhengfu и др., 2010). Реконструкција сеоских заједница или побољшање становања је један еколошки

проблем који произилази из рударства, стога је веома важно поштовати ставове и сарађивати са локалним становништвом.

Setiawan и др. (2021), анализирају у свом раду „Evaluation of environmental and economic benefits of land reclamation in the Indonesian coal mining industry“, еколошки и економски значај рекултивасаног земљишта након рударске експлоатације, истичу значај новонасталих терена под шумом који умањују емисију угљен диоксида, а повећавају производњу кисеоника.

2.3.8 Моделске анализе кључних фактора за подршку одлучивању у рекултивацији

Животни циклус пројекта рударске експлоатације обухвата време од првог открића угља до реинтеграције експлоатационог подручја у друштво након вађења угља. Током овог периода врше се различите активности које обухватају: геолошка истраживања, припрема рударског терена за површинско откопавање (уколико је потребно иселити ставништво, дислоцирати постојеће објекате, урадити канале за одводњавање), осавремењивање инфраструктуре рудника, откопавање и прерада угља и јаловине, активности рекултивације и затварања рудника, као и дугорочно праћење последица експлоатације на животну средину. Све наведене активности делују на природне и социјално-културне структуре које су биле присутне на простору пре почетка развоја рударства на датој локацији.

Рударски пројекти могу значајно и дугорочно изменити природни и социјални амбијент експлоатационих предела. Иако су датуми отварања лежишта и трајање рударских активности познати, коначни завршетак пројеката често није јасно дефинисан. Историјски посматрано, рударске активности су често обустављане након релативно кратког периода економске исплативости, без спровођења реинтеграције деградираних простора. Такав приступ у значајној мери зависио је од степена друштвено-економског развоја, расположивости правних и техничких инструмената, као и од нивоа образовања и одговорности актера укључених у процес.

2.3.8.1 Утицај природних услова

Природни и просторни услови одређеног подручја значајно варирају у зависности од географског положаја, геолошке подлоге и климатских карактеристика. Формирање и развој природних екосистема у великој мери условљени су деловањем четири основна абиотичка фактора: рељефа и морфолошких карактеристика терена, својстава земљишта, климатских услова, као и режима површинских и подземних вода. Међусобна интеракција ових фактора одређује тип и структуру вегетације, продуктивност екосистема и укупне еколошке карактеристике простора.

Поред природних фактора, значајан утицај на обликовање и функционисање предела има и човек кроз различите облике коришћења земљишта. Антропогене активности, посебно у областима интензивне експлоатације минералних сировина, доводе до значајних промена у природној структури простора, услед чега је након завршетка рударских радова неопходно спровести мере рекултивације и ревитализације деградираних површина. Избор будуће намене ових простора мора бити усклађен са природним потенцијалима локалитета, потребама локалне заједнице и принципима одрживог развоја.

Искуства развијених земаља показују да се већина постексплоатационих простора успешно трансформише у савремене пејзажне целине различите намене. Такви простори могу бити приведени пољопривредној, шумској, водопривредној, рекреативној, туристичкој или урбаној намени, при чему се тежи успостављању стабилних и функционалних екосистема. Савремени приступи рекултивацији не подразумевају само санацију последица рударских активности, већ и стварање нових просторних вредности које доприносе економском развоју, унапређењу

квалитета животне средине и побољшању животног стандарда локалног становништва. Фактори локалитета, у међусобној интеракцији приказани су на слици 10, одређују и количинске и квалитативне аспекте, укључујући учесталост и трајање појава.



Слика 10. Фактори који обликују перцепцију концепта одрживог рударства

Земљиште настаје развојем геолошког материјала на који утичу: клима, вода, вегетација и ерозије, док тип вегетационог покривача зависи од земљишта, климе и хидрологичних услова. Површинске и подземне воде формирају се под утицајем падавина, испаравања, дренажних услова и структуре терена. Геологија лежишта, укључујући положај, дубину и слојевитост, директно одређује тип рударских операција и методе експлоатације, који утичу на природну средину.

2.3.8.2 Утицај рударских техника и технолошких процеса

У зависности од геолошких, техничких и економских карактеристика лежишта минералних сировина, примењују се различите методе експлоатације, које се начелно могу поделити на површинске и подземне. Избор одговарајуће рударске методе откопавања условљен је дубином залегања лежишта, дебљином откривке, морфологијом терена, хидрогеолошким условима, квалитетом и количином минералне сировине, као и економском оправданошћу експлоатације. Код лежишта која се налазе на мањим дубинама најчешће се примењује површинска експлоатација, која омогућава висок степен механизације, већу продуктивност рада и нижу цену производње у односу на подземне методе.

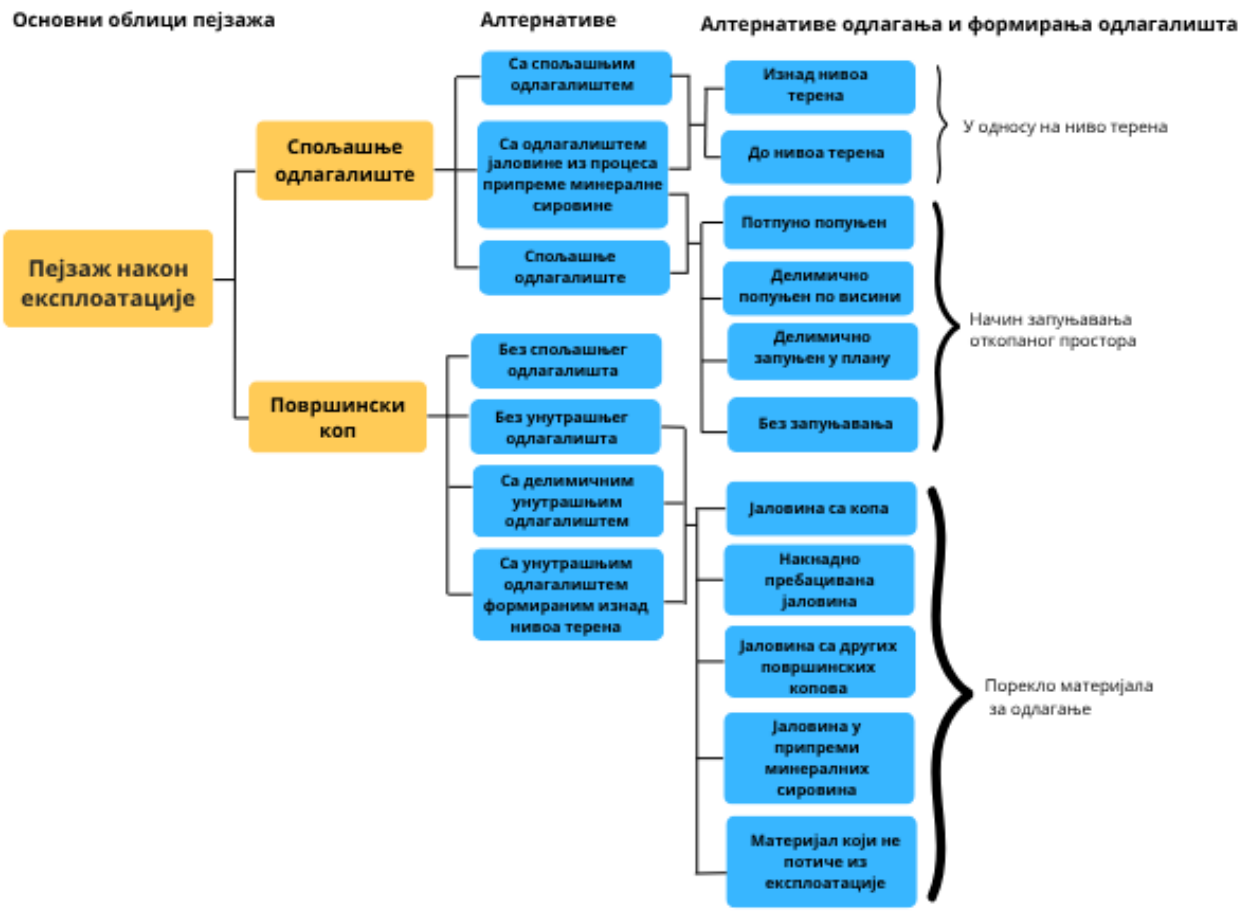
Површинска експлоатација подразумева уклањање откривке и ископавање корисне минералне сировине на великим површинама, што доводи до значајних промена морфологије терена и природних карактеристика простора. Истовремено, овај вид експлоатације пружа могућност контролисаног обликовања будућег рељефа, премештањем и распоређивањем великих количина земљаних и стенских маса. Тако се већ током експлоатационог периода могу стварати предуслови за каснију рекултивацију и привођење земљишта новој намени.

У савременом површинском рударству широко се примењују континуални системи откопавања, који се заснивају на раду роторних багера, транспортних трака и одлагача. Ови системи омогућавају ефикасно ископавање, транспорт и одлагање откривке и јаловинског материјала на унапред дефинисаним локацијама. Посебан значај има формирање унутрашњих и спољашњих одлагалишта, јер њихов положај, висина, нагиби косина и просторни распоред директно утичу на будући изглед постексплоатационог предела. Правилним планирањем

одлагалишта могуће је обезбедити стабилност терена, смањити трошкове рекултивације и створити повољне услове за будуће коришћење простора.

Пројектовање коначног облика терена након завршетка експлоатације представља важан сегмент савременог планирања у рударству и подразумева усклађивање техничких захтева експлоатације са еколошким, просторним и друштвено-економским циљевима рекултивације. Неопходно је уважити ограничења која произилазе из геометрије лежишта, геотехничких услова, стабилности косина, режима подземних и површинских вода, као и захтева будуће намене земљишта. Савремени приступи управљању рударским просторима све више наглашавају потребу да се коначан облик предела и постексплоатациона намена дефинишу већ у фази пројектовања рудника, са циљем обезбеђивања ефикасније рекултивације и дугорочног одрживог коришћења простора након завршетка рударских активности.

На слици 11 је приказана класификација постексплоатационих пејзажа на простору некадашњих површинских копова, која обухвата депресије и језера, у зависности од положаја одлагалишта јаловине и порекла материјала. Просторна дистрибуција јаловинског материјала мора бити планирана у складу са дугорочном наменом земљишта, уз уважавање специфичних услова таложења и укупних карактеристика свих копова у оквиру рударског басена.



Слика 11. Алтернативе обликовања постексплоатационих предела у површинском рударству

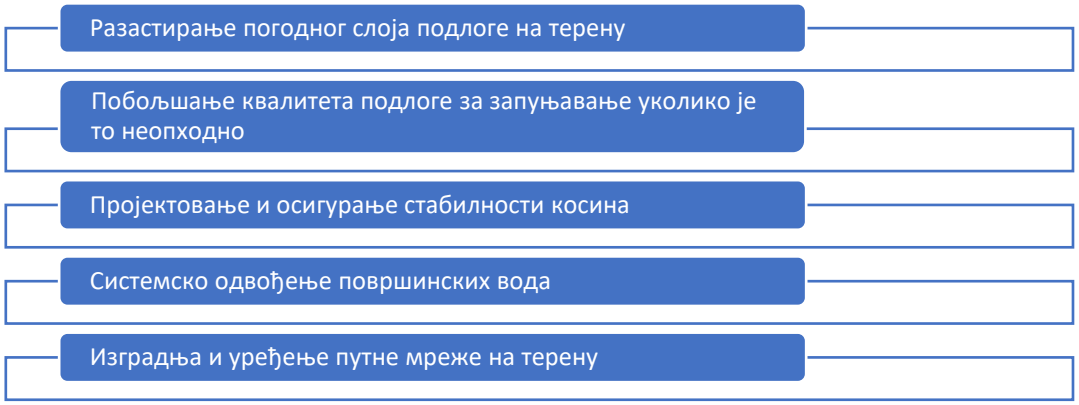
2.3.8.3 Утицај законских и финансијских оквира

Природни услови нуде више опција за коришћење постексплоатационог земљишта. У многим рударским регионима постоји обавеза рекултивације, при чему се начин доношења одлука разликује међу земљама. *Према међународним стандардима, план и пројекат рекултивације требају бити доступни већ при покретању експлоатације*. У развијеним државама прописују

се финансијске резерве за правилно затварање рудника и омогућава се учешће јавности и заинтересованих институција.

2.3.8.4 Општи принципи рекултивације

Према Drebenstedtu (2012), рекултивација обухвата све активности усмерене на реинтеграцију природног окружења у екосистем. Рекултивација се, у основи, дели на техничку и биолошку фазу и практично је оправдана, а оба корака су неопходна за стварање нове, постеклоатационе културе предела. Правилан распоред и облик терена, за који је одговорна рударска компанија током активности, морају одговарати предвиђеној намене земљишта и обухватају низ задатака који су приказани на слици 12.



Слика 12. Рударске активности које се узимају у обзир за правилан распоред и ревитализацију терена

Рударски радови се сматрају завршеним онда када су обезбеђени услови за предвиђену постеклоатациону употребу земљишта. Након тога, одржавање и коришћење преузимају стручњаци, пре свега пољопривредне и/или шумарске струке. У Европи се пракса слично спроводи: поједине рударске компаније настављају активности одржавања земљишта и шумских површина преко сопствених стручних служби или ангажовањем трећих лица, све до момента преноса права управљања на нове кориснике или власнике, док друге компаније предметно земљиште одмах уступају трећим лицима ради даљег коришћења. Све зависи од конкретних околности, укључујући учеснике у обавезама, као и од важећих закона и регулатива. Прецизни услови и одговорности могу значајно варирати у зависности од ових фактора. Мере које се спроводе за рекултивацију и циљеви истих, приказани су у табели 4.

Табела 4. Мере за спровођење рекултивације

Мера	Циљ мере
Процене вредности обрадивог слоја откривке	Одговарајући технолошки процес експлоатације и поступка одлагања
Прибављање стручног мишљења геолошких експерата у вези са јаловиштима	Мере унапређеног поступања са селективно издвојеним и погодним земљиштима
Планирање плодореда	Обогаћивање садржаја хумуса на пољопривредном земљишту

2.3.8.5 Комплексно рудничко планирање и оперативни систем за одрживо рударство

У циљу ефикасног планирања и мониторинга рударског процеса, као и интегрисаног планирања и оперативног управљања алатима, потребно је обезбедити следеће модуле приказане на слици 13.



Слика 13. Модули за интегрисано рудничко планирање

Основна сврха интегрисаног рудничког планирања и оперативног система управљања јесте да се све активности које имају утицај на природу и животну средину планирају на основу расположивих података о геолошком саставу откопаног материјала. Ови подаци омогућавају прецизније селективно откопавање, ефикасније одлагање и контролисано обликовање терена. Систем истовремено обезбеђује регистровање информација у реалном времену, при чему се модел одлагалишта континуирано ажурира након сваког процеса одлагања.

Геохемијске анализе стена у оквиру модела лежишта неопходне су за планирање мера против формирања киселих вода, управљање квалитетом сировина и одговорно руковање слојевима јаловине. Хидролошки модели омогућавају праћење тока подземних и површинских вода, а узорковање на месту експлоатације или на одлагалишту обезбеђује податке за израду ове документације. Узимајући у обзир ризик од формирања киселих вода и квалитет минералних сировина, у процесу рудничког планирања обезбеђује се геотехничка стабилност и сигурност.

Примена интегрисаног планирања и управљања системом на структуру и дизајн одлагалишта омогућава прецизно одређивање и контролу расположивих маса у погледу локације, количине и квалитета.

Модификовани интегрисани систем рударског планирања и управљања може ефикасно подржати енергетски и еколошки безбедну експлоатацију, обрађујући информације од бушења до припреме минералних сировина и дефинишући оптималне параметре радних активности.

Одрживог рударство се темељи на природно-геолошким, техничко-технолошким и друштвено-економским условима. Савремене методе планирања и контроле омогућавају рударским компанијама да минимализују негативан утицај рударства на животну средину. Законодавство треба да обезбеди ефикасне инструменте за спречавање финансијских ризика и одговорности. Рударске активности морају да имају јасно дефинисан концепт, који омогућава поновну интеграцију нарушених делова животне средине у друштво, уз неопходно укључивање природног и социјалног окружења, а реализација ових мера треба бити интегрисана у текући план рада како би се смањио утицај временског фактора. Образовање и истраживање представљају кључне компоненте у животном циклусу рударске стратегије (Drebenstedt, 2012).

2.4 Процена трошкова

Трошкови производње представљају предмет многих теорија и научних дисциплина у којима се они посматрају на разне начине и на основу тога класификују по разним критеријумима. За економику предузећа трошкови имају посебан значај јер с једне стране представљају основу од које се полази при доношењу пословних одлука, а с друге стране, утичу на укупне пословне билансе предузећа. Стога је неопходно комплексно сагледавања трошкова, њиховог настајања и значаја у укупном процесу производње.

Свака трансформација уложених ресурса у резултате условљена је њиховом потрошњом. Без утрошка ресурса не долази до производње добара и пружања услуга, нити до стварања нове вредности (Надовеза, Пешић 2014). Производња је немогућа без одређених саставних компоненти који се називају факторима производње и који се по правилу комбинују, зависно

од избора вида и обима производње, организације, начина управљања предузећем као и донетих одлука. Претпоставка успешног пословања је познавање структуре сваке производње и могућих комбинација инпута као и начина управљања.

Прорачун трошкова фактички представља конкретну методу распоређивања укупних трошкова производње по врстама производа у поступку израчунавања цене коштања. На овај начин се постиже основни циљ, који је да се сваки производ оптерети оним износом трошкова који је изазвао својом производњом. Претпоставља се да се тиме ефикасније спроводи контрола трошкова и пружа поуздана основа за доношење одлука. Калкулација трошкова има велики значај и због тога се морају поштовати и доследно спровести одговарајући принципи. Прорачун трошкова производње мора бити тачан, благовремен, прегледан, једнообразан за све врсте производа, прилагодљив пословању предузећа, документован одговарајућом евиденцијом као и упоредив са другим прорачунима.

У Републици Србији, документ који детаљно дефинише садржај техно-економске оцене (често у оквиру инвестиционо-техничке документације) најчешће је регулисан Правилником о садржини рударских пројеката што је приказано на слици 14.



Слика 14. Правилник који дефинише садржај техно-економске оцене

2.5 Техно-економска оцена

Техно-економска оцена рекултивације одлагалишта површинских копова представља методолошки поступак којим се анализирају геолошки, технички, економски и други фактори, као и из њих проистекли показатељи значајни за остваривање будућих економских ефеката у даљим истраживањима или рекултивацији одређених одлагалишта.

2.5.1 Фактори техно-економске оцене

Фактори техно-економске оцене представљају скуп техничких, економских, друштвених и еколошких параметара на основу којих се врши анализа оправданости, исплативости и одрживости одређеног пројекта, инвестиције или техничког решења. Њихова примена је посебно значајна у рударству, енергетици, грађевинарству, саобраћају и другим привредним областима у којима је неопходно донети оптималну одлуку уз уважавање више међусобно зависних критеријума.

Техно-економска оцена има за циљ да обезбеди свеобухватно сагледавање пројекта, од техничке изводљивости до економске исплативости и утицаја на животну средину и друштвену заједницу. Фактори који се најчешће анализирају предствљени су на слици 15, могу се груписати у неколико основних категорија: технички, економски, производно-организациони, еколошки и социјални фактори.



Слика 15. Дијаграм фактори техно-економске оцене

За техно-економску оцену потребно је анализирати низ фактора: геолошки, генетски, технички-технолошки, регионални, тржишни, социо-економски и еколошки фактори.

Основни геолошки фактори који се анализирају у оквиру техно-економске оцене лежишта минералних сировина обухватају економски тип руде, квалитет минералне сировине, тип лежишта - геометрију и положај лежишта, морфолошке карактеристике рудног тела, као и хидрогеолошке и инжењерско-геолошке услове.

Економски тип руде - Количина и категорија резерви представљају полазни параметар за оцену економске оправданости експлоатације. У том смислу дефинишу се геолошке резерве,

које могу бити билансне и ванбилансне, као и степен њихове истражености, односно доказане, вероватне и индиковане резерве. Од величине и поузданости резерви директно зависе планирани капацитет производње, век експлоатације и сигурност инвестиције.

Квалитет минералне сировине односи се на хемијски састав и садржај корисне компоненте, као што су бакар, злато, угаљ и друге минералне сировине, уз анализу присуства штетних примеса и физичко-механичких својстава стена. Квалитет сировине утиче на могућност прераде, степен искоришћења, технолошке поступке и економске ефекте производње.

Морфолошке карактеристике рудног тела представљају скуп геометријских и просторних својстава лежишта минералне сировине која одређују његов облик, величину, положај и начин простирања у оквиру стенског масива. Ове карактеристике имају значајну улогу у избору методе откопавања, пројектовању рударских радова, одређивању техничко-технолошких параметара експлоатације и економској оцени лежишта.

У морфолошке карактеристике рудног тела убрајају се облик рудног тела, дебљина, дужина и ширина простирања, пад и правац пружања, дубина залегања, континуитет орудњења, као и степен разуђености и сложености геолошке грађе. Поред наведеног, значајан параметар представља и однос између рудног тела и околних стена, који утиче на стабилност откопних просторија и услове експлоатације.

Анализа морфолошких карактеристика омогућава оптималан избор система откопавања, дефинисање граница експлоатације и процену техничких и економских показатеља рударског пројекта. Сложенија морфологија рудног тела најчешће условљава веће губитке и осиромашење руде, сложенију организацију рада и више трошкове експлоатације.

Хидрогеолошки и инжењерско-геолошки услови подразумевају анализу присуства подземних вода, стабилности кровине и подине, као и механичких карактеристика стенских маса. Наведени фактори имају значајан утицај на безбедност рада, избор техничких решења, потребу за одводњавањем и подграђивањем, као и на укупне трошкове експлоатације и заштите радне средине.

2.5.1.1Минерагенетски фактори

Анализирање минерагенетских фактора се спроводи са циљем сагледавања ширег потенцијалног простора, ради провере могућег постојања економски значајних процеса који се могу одвијати на том терену.

Минерагенетски фактори представљају скуп геолошких, тектонских, магматских, седиментационих, метаморфних и хидротермалних процеса који су условили настанак, развој и просторни распоред лежишта минералних сировина. Њихово проучавање има посебан значај у геолошким истраживањима, јер омогућава разумевање услова образовања рудних концентрација, прогнозу нових лежишта, као и процену квалитета и економске вредности минералне сировине. Ови фактори обухватају све природне услове и процесе који су током геолошке прошлости довели до миграције, концентрације и таложења корисних компоненти у одређеним деловима Земљине коре. У зависности од генетског типа лежишта, различити фактори имају доминантан утицај на формирање минерализације.

Анализирање минерагенетских фактора омогућава дефинисање генетског типа лежишта, прогнозу перспективних истражних простора и рационално планирање даљих геолошких истраживања и експлоатације. У оквиру техно-економске оцене лежишта, познавање минерагенетских услова има значајан утицај на процену резерви, квалитета руде, сложености експлоатације и економске исплативости рударског пројекта.

2.5.1.2 Техничко технолошки фактори

У техничко експлоатационе факторе спадају: општи услови експлоатације, капацитет производње, технолошки процес откопавања угља и јаловине, предмер и прорачун (радова, опреме, нормативи материјала и радне снаге), хидрогеолошки, инжењерско-геолошке карактеристике, тип руде, основни услови припреме сировине.

Општи услови експлоатације представљају скуп природних, техничко-технолошких, економских, организационих и друштвених фактора који утичу на могућност, ефикасност и безбедност експлоатације минералних сировина. Анализа ових услова има значајну улогу у техно-економској оцени лежишта, јер омогућава процену техничке изводљивости, економске оправданости и дугорочне одрживости рударског пројекта.

У склопу општих услова експлоатације анализирају се геолошке, морфолошке и хидрогеолошке карактеристике лежишта, које директно утичу на избор начина откопавања, технолошке поступке и организацију производње. Посебан значај имају дубина залегања рудног тела, стабилност стенског масива, присуство подземних вода, као и физичко-механичке особине стена, јер ови фактори условљавају сложеност и безбедност извођења рударских радова.

Техничко-технолошки услови обухватају избор система експлоатације, механизације, транспортних система, начина припреме и прераде минералне сировине, као и примену савремених технолошких решења. Степен механизације и аутоматизације производног процеса има значајан утицај на продуктивност рада, трошкове производње и степен искоришћења резерви. Поред тога, неопходно је анализирати доступност енергетске инфраструктуре, водоснабдевања, саобраћајних веза и осталих пратећих објеката који омогућавају несметано функционисање рударског предузећа.

Економски услови експлоатације односе се на висину инвестиционих улагања, оперативне трошкове, цену минералне сировине на тржишту, трошкове транспорта, као и очекивану рентабилност производње. Значајан фактор представљају и тржишна кретања, стабилност потражње, конкурентност производа и могућност пласмана минералне сировине или финалних производа. Економска анализа омогућава процену исплативости експлоатације и одређивање оптималног капацитета производње.

Организациони и кадровски фактори подразумевају обезбеђеност стручним кадром, ниво организације рада, систем управљања производњом и примену прописа из области рударства, заштите на раду и заштите животне средине. Успешна организација производног процеса има значајан утицај на безбедност рада, ефикасност експлоатације и смањење производних губитака.

На посебном месту у анализи општих услова експлоатације налазе се еколошки и друштвени фактори. Експлоатација минералних сировина може изазвати промене у животној средини, као што су деградација земљишта, загађење вода и ваздуха, бука и нарушавање природног пејзажа. Због тога је неопходно предвидети мере заштите животне средине, рекултивацију деградираних површина и примену принципа одрживог развоја. Такође, потребно је анализирати утицај рударских активности на локалну заједницу, запошљавање становништва и развој регионалне инфраструктуре.

Свеобухватна анализа општих услова експлоатације омогућава доношење оптималних техничких и економских решења, смањење ризика у реализацији рударског пројекта и обезбеђивање рационалног и одрживог коришћења минералних ресурса.

2.5.1.3 Регионални фактори

Регионални фактори представљају један од значајних елемената техно-економске оцене експлоатације угља, јер непосредно утичу на економичност производње, висину инвестиционих улагања и дугорочну одрживост рударског пројекта. Њихов значај огледа се у чињеници да услови ширег простора у коме се лежиште налази могу у великој мери одредити трошкове изградње, организацију производње, ефикасност транспорта, као и услове пласмана минералне сировине на тржиште. Регионални фактори утичу и на могућност изградње неопходне инфраструктуре, обезбеђење енергетских и водних ресурса, доступност квалификоване радне снаге и развијеност пратећих привредних делатности.

На економичност експлоатације угља, као и његовог транспорта и прераде, регионални фактори утичу пре свега кроз висину потребних инвестиција за отварање и рад рудника. Повољан географски положај лежишта, добра саобраћајна повезаност и близина потрошачких центара могу значајно смањити транспортне трошкове и повећати конкурентност производње. Са друге стране, неповољни регионални услови, као што су велика удаљеност од инфраструктурних коридора, недостатак енергетске и комуналне инфраструктуре или неповољни климатски услови, могу условити значајна додатна улагања и повећати цену коштања угља.

У оквиру анализе регионалних фактора неопходно је детаљно испитати саобраћајну инфраструктуру, односно развијеност путне и железничке мреже, могућности прикључења на главне транспортне правце, као и доступност речног или другог вида транспорта уколико постоји. Посебан значај има анализа транспортних растојања између лежишта, постројења за прераду и крајњих потрошача, јер транспорт представља једну од најзначајнијих ставки у структури трошкова експлоатације минералних сировина.

Климатски услови такође имају значајан утицај на организацију и континуитет производног процеса. Падавине, температурне осцилације, дужина зимског периода, ветрови и појава екстремних временских услова могу утицати на стабилност косина, рад транспортне механизације, одводњавање копа и укупну безбедност рада. У подручјима са неповољним климатским условима неопходно је предвидети додатне мере техничке заштите и одржавања, што повећава оперативне трошкове.

Рељеф терена и морфолошке карактеристике подручја утичу на сложеност изградње инфраструктурних објеката, формирање откопних етажа, организацију транспорта и могућност проширења рударских радова. Равничарски терени углавном омогућавају једноставнију организацију површинске експлоатације и мање трошкове изградње, док изражено разуђен рељеф може условити сложенија техничка решења и веће инвестиционе захвате.

Поред природних услова, неопходно је анализирати и општа економска и демографска обележја испитиваног подручја. То подразумева степен развијености региона, индустријску структуру, ниво инфраструктурне опремљености, могућности снабдевања материјалом и резервним деловима, као и расположивост и квалификациону структуру радне снаге. Доступност стручног кадра и близина урбаних центара од великог су значаја за стабилно функционисање рудника и смањење трошкова ангажовања радне снаге.

Регионални фактори обухватају и анализу енергетске инфраструктуре, односно могућност прикључења на електроенергетску мрежу довољног капацитета, као и обезбеђење стабилног водоснабдевања за потребе технолошког процеса. Недовољна развијеност енергетске и комуналне инфраструктуре може условити значајна додатна улагања у изградњу далековода, трафостаница, водозахвата као и пратећих објеката.

Савремена техно-економска анализа регионалних фактора мора укључити и аспекте одрживог развоја, заштите животне средине и друштвене прихватљивости рударских активности. Однос локалне заједнице према рударском пројекту, могућност решавања имовинско-правних односа, утицај на постојећу инфраструктуру и потенцијални конфликти у коришћењу простора представљају значајне елементе који могу утицати на динамику реализације и укупну економску оправданост експлоатације.

2.5.1.4 Тржишни фактори

Тржишни фактори представљају један од кључних елемената техно-економске оцене лежишта минералних сировина, јер непосредно утичу на економску оправданост експлоатације, висину прихода и дугорочну одрживост рударског пројекта. Вредност лежишта не зависи искључиво од количине и квалитета минералне сировине, већ и од могућности њеног успешног пласмана на домаћем и иностраном тржишту, као и од стабилности тржишних услова током експлоатационог века рудника.

Тржиште минералних сировина је веома специфично у односу на тржиште других индустријских производа, пре свега због ограничености природних ресурса, зависности од глобалних економских кретања, цикличних промена у понуди и потражњи, као и значајног утицаја енергетске, индустријске и геополитичке политике. Цена минералних сировина често је подложна осцилацијама које су условљене стањем светске привреде, нивоом индустријске производње, енергетским потребама, транспортним трошковима и међународним трговинским односима. Због тога је анализа тржишних фактора од изузетног значаја приликом доношења одлука о инвестирању у истраживање и експлоатацију лежишта.

У оквиру анализе тржишних фактора неопходно је сагледати опште услове понуде и потражње за одређеном минералном сировином, како на домаћем тако и на међународном тржишту. Посебну пажњу потребно је посветити анализи трендова потрошње, динамици индустријског развоја и очекиваним променама у структури потрошача. Код енергетских минералних сировина, као што је угаљ, значајан утицај имају енергетска политика државе, развој алтернативних извора енергије и еколошки стандарди који могу ограничити или повећати потражњу.

Важан сегмент тржишне анализе представља и прогноза цена минералне сировине у дужем временском периоду. Пројекције цена морају бити засноване на анализи историјских кретања, очекиваних промена на глобалном тржишту, технолошког развоја и могућих поремећаја у ланцима снабдевања. С обзиром на изражену нестабилност тржишта минералних сировина, у техно-економским анализама често се примењују различити сценарији кретања цена како би се проценила осетљивост пројекта на тржишне промене и ризике.

Поред цене, неопходно је анализирати и могућности пласмана минералне сировине, односно постојање сигурног тржишта и потенцијалних купаца. При томе је потребно сагледати удаљеност потрошачких центара, транспортне трошкове, конкурентност производа у односу на друге произвођаче, као и квалитет минералне сировине у односу на захтеве тржишта. Значајну улогу имају и дугорочни уговори са потрошачима, који могу обезбедити стабилност пласмана и смањити тржишни ризик.

Тржишни фактори обухватају и анализу конкуренције, односно положаја лежишта и будућег рудника у односу на друге произвођаче исте или сличне минералне сировине. Потребно је проценити производне капацитете конкурената, њихове трошкове производње, квалитет производа и могућности снабдевања тржишта. Конкурентска способност рудника директно зависи од односа производне цене и продајне вредности минералне сировине.

Савремене анализе тржишних фактора морају укључити и утицај глобалних еколошких политика, процеса енергетске транзиције и одрживог развоја, који у великој мери утичу на потражњу за појединим минералним сировинама. Посебно код угља, све строжи еколошки стандарди и тежња ка декарбонизацији енергетског сектора могу значајно утицати на будуће тржишне услове, што је неопходно узети у обзир приликом процене економске оправданости експлоатације.

2.5.1.5 Социо-економски фактори

Социо-економски фактори представљају значајан сегмент техно-економске оцене рударских пројеката, јер обухватају утицај експлоатације минералних сировина на друштвени и економски развој ширег подручја. Поред техничке изводљивости и економске оправданости, савремени приступи вредновању рударских пројеката све више укључују анализу друштвених користи, утицаја на локалну заједницу, запосленост, инфраструктурни развој и квалитет живота становништва. Значај ових фактора произилази из чињенице да рударска активност представља сложен привредни систем који, поред економских ефеката, производи и бројне социјалне, демографске и просторне промене.

У оквиру техно-економске оцене неопходно је анализирати утицај рударског пројекта на развој локалне и регионалне економије. Отварање рудника најчешће доводи до повећања привредне активности, развоја пратећих индустрија, услужних делатности и инфраструктуре. Рударски пројекти могу значајно допринети повећању прихода локалне самоуправе, развоју саобраћајне и комуналне инфраструктуре, као и укупном економском развоју региона.

Један од најзначајнијих социо-економских фактора јесте утицај на запошљавање и тржиште рада. Експлоатација минералних сировина омогућава отварање нових радних места, како директно у рударској производњи, тако и индиректно кроз развој транспортних, грађевинских, енергетских и услужних делатности. Посебан значај има структура и квалификованост расположиве радне снаге, као и могућност ангажовања локалног становништва. У срединама са високим степеном незапослености рударски пројекти могу имати значајан социјални ефекат кроз повећање животног стандарда и економске стабилности становништва.

Социо-економска анализа обухвата и процену утицаја рударских активности на демографске токове и просторни развој. Изградња и рад рудника често доводе до миграције становништва, урбанизације и промене структуре насеља. У појединим случајевима неопходно је измештање домаћинстава, инфраструктурних објеката или пољопривредних површина, што може изазвати значајне социјалне и економске последице. Због тога је потребно анализирати могућност решавања имовинско-правних односа, обезбеђивања адекватне накнаде и очувања социјалне стабилности локалне заједнице.

Значајан аспект социо-економских фактора односи се и на прихватљивост рударског пројекта од стране локалног становништва и друштвене заједнице. Подршка локалне заједнице има велики утицај на динамику реализације пројекта, док недостатак поверења или изражени социјални конфликти могу довести до кашњења, повећања трошкова или обуставе рударских активности. Из тог разлога неопходно је спроводити транспарентну комуникацију са становништвом, укључивање јавности у процес доношења одлука и примену мера друштвено одговорног пословања. Социо-економски фактори обухватају и процену утицаја рударских активности на животни стандард, здравље становништва и квалитет животне средине. Бука, прашина, вибрације, заузимање земљишта и промене у режиму вода могу утицати на услове живота локалног становништва, што захтева примену мера заштите и санације. Савремени рударски пројекти све више укључују концепт одрживог развоја, који подразумева усклађивање економских интереса са социјалним и еколошким захтевима.

У оквиру техно-економске оцене посебно је важно сагледати укупне друштвено-економске користи и трошкове пројекта. Поред директних финансијских ефеката, потребно је вредновати и индиректне користи као што су развој инфраструктуре, повећање запослености, развој локалне привреде и повећање буџетских прихода. Истовремено, неопходно је узети у обзир и потенцијалне негативне ефекте, укључујући деградацију простора, социјалне промене и трошкове рекултивације и санације након завршетка експлоатације.

2.5.1.6 Еколошки фактор

Савремени приступ техно-економској оцени подразумева да економска оправданост пројекта не зависи једино од профитабилности, већ и од степена очувања животне средине и усклађености са принципима одрживог развоја. Површински копови неминовно мењају површину терена и нарушавају постојећу еколошку равнотежу. Стога је неопходно још при истраживању дефинисати штету која може бити начињена животној средини током периода истраживања и експлоатације.

Новонастала штета може бити умањена уколико се поштује прописана законска регулатива као и да радови буду у складу са законском регулативом. Потребно је извршити процену могућих неповољних утицаја на животну средину, првенствено просторну и временску привремену девастацију површине која је обухваћена експлоатацијом. Затим, неопходно је дати предлог мера за спречавање/ублажавање могућих утицаја техничких операција и опреме на животну средину, утицај на становништво, подземне воде, ваздух, мера техничке заштите људи и објеката, на крају спровести мониторинг (загађење честицама, бука, вибрације).

Еколошки фактори се анализирају током целокупног животног циклуса пројекта — од истраживања и експлоатације минералних сировина, преко прераде и транспорта, па све до затварања рудника и рекултивације деградираних површина. У оквиру техно-економске оцене посебно се разматрају могући негативни утицаји на земљиште, воде, ваздух, биљни и животињски свет, тако и на здравље локалног становништва. На слици 16 су приказани најзначајнији еколошки фактори које обухвата техно-економска оцена.



Слика 16. Еколошки фактори

У техно-економској оцени треба квантификовати трошкове мера заштите животне средине, попут: пречишћавања отпадних вода, одлагања јаловине, санације и рекултивације терена. Наведени трошкови утичу директно на инвестиционе и експлоатационе трошкове пројекта, али истовремено смањују ризик од еколошке штете, законских санкција и друштвених конфликата.

Посебан значај има процена дугорочних последица експлоатације, јер недовољна примена еколошких мера може довести до трајне деградације простора и високих трошкова рекултивације у будућности. Због тога се у савременим техно-економским анализама све више примењују концепти „зелене економије“, циркуларне економије и одрживог управљања ресурсима.

Еколошки фактор је тесно повезан са законском регулативом и обавезом израде студије процене утицаја на животну средину. Испуњавање еколошких стандарда и добијање неопходних одобрења представља важан предуслов за реализацију и дугорочну одрживост пројекта. На основу анализе еколошких фактора доноси се оцена прихватљивости пројекта са становишта заштите животне средине, при чему се тежи успостављању равнотеже између економске ефикасности, техничке изводљивости и очувања природних ресурса.

2.5.2 Показатељи техно-економске оцене

Показатељи техно-економске анализе представљају параметре који се користе за оцену техничке, економске, финансијске и друштвене оправданости рударских и индустријских пројеката. Њихов циљ је да прикажу ефикасност експлоатације, економску исплативост и одрживост пројекта.

Показатеље техно-економске оцене могу се поделити према:

- природи показатеља - натурални (изражени у физичким јединицама нпр. тоне, година, %, m^3 , број радника) и вредносни (изражени у новчаним јединицама – RSD, еври, приходи, трошкови). Подела према природи показатеља је приказана у табелама 5 и 6.

У рударским пројектима посебно су значајни специфични натурални показатељи који су приказани у табели 5, као што су потрошња енергије по тони руде, количина откривке по тони корисне минералне сировине и продуктивност механизације, јер директно утичу на економску оправданост експлоатације.

Табела 5. Натурални показатељи техно-економске оцене

Група показатеља	Натурални показатељ	Јединица мере
Производња	Годишњи капацитет експлоатације	t/год, m^3/год
Резерве	Количина геолошких и експлоатационих резерви	t, m^3
Откривка	Количина откривке	m^3, t
Коефицијент откривке	Однос откривке и руде	m^3/t
Рад	Број радника	број радника
Продуктивност	Производња по раднику	t/по раднику

Енергија	Потрошња електричне енергије	kWh/t
Гориво	Потрошња дизел горива	l/t
Вода	Потрошња технолошке воде	m^3/t
Бушење	Метража бушења	m
Минирање	Потрошња експлозива	kg/t
Транспорт	Дужина транспортних путева	km
Механизација	Капацитет опреме	m^3/h, t/h
Одлагање јаловине	Количина јаловине	t, m^3
Рекултивација	Површина рекултивисаног земљишта	ha

Вредносни показатељи представљају економске параметре који се исказују у новчаним јединицама и служе за оцену економске оправданости, рентабилности и ефикасности рударског пројекта. Они омогућавају анализу инвестиционих улагања, производних трошкова, прихода и финансијских ефеката експлоатације минералних сировина.

Искуство у пракси је показало да се вредносни показатељи најчешће комбинују са натуралним показатељима, јер се економски параметри формирају на основу производних капацитета, утрошка енергије, механизације и других техничких карактеристика рударског система.

Према временском карактеру: статичке и динамичке показатеље.

Статички показатељи служе за оцену економске оправданости пројекта без уважавања временске вредности новца. Заснивају се на упоређивању укупних трошкова, прихода, добити и инвестиција у одређеном временском периоду. Једноставни су за примену и користе се за почетну анализу рударских пројеката.

Динамички показатељи узимају у обзир временску вредност новца и промене новчаних токова током века трајања пројекта. Користе дисконтовање прихода и трошкова ради реалније оцене економске ефикасности инвестиције. Примењују се код сложених и дугорочних рударских пројеката.

Према нивоу анализе: микроекономске (на новоу компаније) и макроекономске (на регионалном и државном нивоу).

Микроекономска анализа обухвата оцену техно-економских показатеља на нивоу рударског предузећа или пројекта. Анализирају се производња, трошкови, приходи, профитабилност, продуктивност и ефикасност пословања компаније.

Макроекономска анализа посматра значај рударског пројекта са аспекта регионалног и националног развоја. Обухвата утицај на запосленост, развој инфраструктуре, енергетску и сировинску стабилност, извоз, привредни раст и укупни друштвено-економски значај.

Одређени вредносни показатељи техно-економске оцене приказани су у табели 6, чиме се омогућава прегледнија и систематизована анализа релевантних параметара.

Табела 6. Вредносни показатељи техно-економске оцене

Група показатеља	Вредносни показатељ	Опис показатеља
Инвестициони показатељи	Инвестициона улагања	Укупна средства потребна за отварање и изградњу рудника, набавку опреме и инфраструктуре
Инвестициони показатељи	Основна средства	Вредност механизације, постројења, објеката и инфраструктуре
Инвестициони показатељи	Обртна средства	Средства потребна за текуће пословање и одржавање производње
Производни трошкови	Трошкови експлоатације	Трошкови откопавања, бушења, минирања, транспорта и одлагања
Производни трошкови	Трошкови прераде	Трошкови дробљења, млевења, сепарације и припреме минералне сировине
Производни трошкови	Трошкови енергије	Трошкови електричне енергије, горива и технолошке воде
Производни трошкови	Трошкови радне снаге	Зараде, доприноси и остали трошкови запослених
Производни трошкови	Трошкови одржавања	Одржавање механизације, опреме и постројења
Економски показатељи	Амортизација	Годишње умањење вредности основних средстава
Економски показатељи	Цена коштања	Просечан трошак производње јединице минералне сировине
Економски показатељи	Укупни приход	Вредност продате минералне сировине
Економски показатељи	Добит	Разлика између прихода и укупних трошкова
Економски показатељи	Рентабилност	Показатељ економске успешности и профитабилности пројекта
Финансијски показатељи	Економичност	Однос прихода и расхода у пословању
Финансијски показатељи	Нето садашња вредност (NPV)	Показатељ исплативости инвестиције у времену
Финансијски показатељи	Интерна стопа рентабилности (IRR)	Стопа приноса инвестиционог пројекта
Финансијски показатељи	Период повраћаја инвестиције	Време потребно за повраћај уложених средстава
Финансијски показатељи	Новчани токови	Приливи и одливи новчаних средстава током века пројекта
Еколошки трошкови	Трошкови рекултивације	Средства за санацију и рекултивацију деградираног земљишта
Еколошки трошкови	Трошкови заштите животне средине	Трошкови отпрашивања, пречишћавања вода и управљања отпадом

Техно-економски показатељи представљају значајне инструменте за вредновање инвестиционих пројеката и подршку процесу доношења одлука. Њихова примена омогућава свеобухватну процену економске оправданости улагања кроз сагледавање различитих аспеката пословања, укључујући стварање нове вредности, повраћај инвестираног капитала, ефикасност коришћења расположивих ресурса и ниво профитабилности пројекта.

2.5.2.1 Амортизација

Амортизација представља један од значајних елемената техно-економске оцене, јер одражава постепено трошење и смањење вредности основних средстава током њиховог коришћења. У рударству као и пројектима рекултивације, амортизација се односи на механизацију, транспортну опрему, објекте, инфраструктуру и друга средства неопходна за извођење пројекта. Укључивањем амортизације у анализу, добија се реалнија слика трошкова пословања, јер она представља део вредности средстава који се преноси на трошкове производње или извођења радова током њиховог експлоатационог века.

У оквиру техно-економске оцене, амортизација има важну улогу у одређивању економске оправданости инвестиција и процени укупних трошкова пројекта. Њено правилно обрачунавање омогућава тачније утврђивање производне цене, финансијског резултата и показатеља економске ефикасности. Истовремено, амортизација представља извор средстава за обнављање и замену дотрајале опреме, чиме се обезбеђује континуитет производног процеса и дугорочна одрживост пројекта.

2.5.2.2 Нето садашња вредност NPV (Net present value)

Нето садашња вредност (NPV) представља један од најзначајнијих динамичких показатеља за оцену економске оправданости инвестиционих пројеката. Израчунава се као разлика између садашње вредности очекиваних новчаних токова и садашње вредности инвестиционих и оперативних трошкова током анализираног периода.

Позитивна вредност NPV указује да пројекат генерише економску корист већу од трошкова капитала, док негативна вредност указује да пројекат није економски оправдан. Математички се записује:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \qquad (2.1)$$

где су:

CF_t– нето новчани ток у години t,

r – дисконтна стопа,

n– период анализе,

I_0– почетна инвестиција.

Интерна стопа рентабилности (IRR – Internal Rate of Return) представља дисконтну стопу при чему је нето садашња вредност (NPV) инвестиционог пројекта једнака нули. Односно, IRR показује максималну стопу приноса коју пројекат може да оствари, односно стопу по којој су садашња вредност будућих новчаних прилива и садашња вредност инвестиционих трошкова изједначене. Због тога се IRR убраја међу најзначајније динамичке показатеље у техно-економској анализи инвестиционих пројеката.

Математички, IRR је вредност стопе r која је представљена једначином:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - I_0 = 0 \qquad (2.2)$$

где су:

CF_t– нето новчани ток у периоду t,

IRR – интерна стопа рентабилности,

r – дисконтна стопа,

n– период анализе,

I_0– почетна инвестиција.

2.5.2.3 Рентабилност

Рентабилност се сматра једним од основних економских показатеља у техно-економској анализи пројеката. Она изражава однос између остварених економских ефеката и уложених средстава, односно показује способност пројекта да генерише добит.

Анализа рентабилности омогућава оцену економске оправданости инвестиције и представља значајан критеријум при избору оптималног пројектног решења.

$$R = \frac{D}{U} x100 \tag{2.3}$$

где су:

R – рентабилност (%),

D – добит,

U – укупно уложена средства.

2.5.2.4 Профитабилност

Профитабилност омогућава процену способности инвестиције да генерише добит у односу на уложена средства. Анализа профитабилности пружа увид у економску ефикасност пројекта и степен искоришћења расположивих ресурса, и тиме доприноси доношењу одлука о оправданости реализације инвестиције. Виша профитабилност указује на повољније економске ефекте и већу атрактивност пројекта са становишта инвеститора.

У техно-економским анализама инвестиционих пројеката профитабилност се најчешће разматра заједно са показатељима NPV, IRR и периодом повраћаја инвестиције, јер пружа додатне информације о економској ефикасности и исплативости пројекта.

2.5.2.5 Економичност

Економичност је значајан фактор техно-економске оцене пројеката, јер омогућава сагледавање степена рационалног коришћења расположивих ресурса. Она изражава однос између остварених ефеката и утрошених средстава, при чему већи степен економичности указује на ефикасније коришћење ресурса и повољније економске резултате. Анализа економичности доприноси процени оправданости инвестиционих улагања и представља један од важних критеријума за избор оптималног пројектног решења.

$$\text{E} = \frac{\text{Укупни приходи}}{\text{Укупни расходи}} \tag{2.4}$$

где је:
E – коефицијент економичности,
Укупни приходи – вредност остварених ефеката,
Укупни расходи – вредност утрошених ресурса.

Табела 7 приказује основне критеријуме за доношење одлука на основу нето садашње вредности (NPV), интерне стопе рентабилности (IRR), рентабилности и економичности. Наведени показатељи омогућавају процену способности пројекта да ствара нову вредност, обезбеди адекватан принос на уложена средства, испуни задовољавајући ниво профитабилности и обезбеди рационално коришћење расположивих ресурса. Комбинована примена ових критеријума доприноси објективнијем избору оптималног пројектног решења.

Табела 7. Преглед начина доношења одлуке

Показатељ	Формула/критеријум	Циљ
NPV	NPV>0	Стварање нове вредности
IRR	IRR>0	Максималан поврат н аинвестицију
Рентабилност	Добит/уложени капитал	Профитабилност
Економичност	Приходи/расходи>1	Рационално пословање (ефикасност)

3. МЕТОДОЛОГИЈА

Рекултивација деградираних подручја — као што су напуштени рудници, депоније, индустријске зоне, клизишта или еродирана земљишта — укључује бројне факторе који међусобно утичу једни на друге. Ту спадају следећи фактори:

- еколошки (степен загађења, потенцијал за природну обнову),
- техничке могућности (теренски услови, тип радова на санацији),
- економски елементи (трошкови, корист, одрживи развој),
- друштвено-културни (потребе локалне заједнице, потенцијал за запошљавање),
- просторни фактори (саобраћајна доступност, постојећа инфраструктура).

Пошто је циљ рекултивације најчешће комбиновање више циљева, класични једнокритеријумски модели нису довољни — зато се примењује Вишекритеријумска оптимизација (ВКО) . Одабир најприкладније алтернативне намене рекултивисаног подручја представља сложен процес, јер подразумева обраду великог броја података о карактеристикама појединих могућих пренамена. Често постоји више потенцијалних решења за конкретну ситуацију. Методе ВКО показале су се веома користан алат за рангирање алтернатива, посебно када је потребно истовремено узети у обзир више међусобно повезаних и сложених критеријума.

Методе ВКО омогућавају:

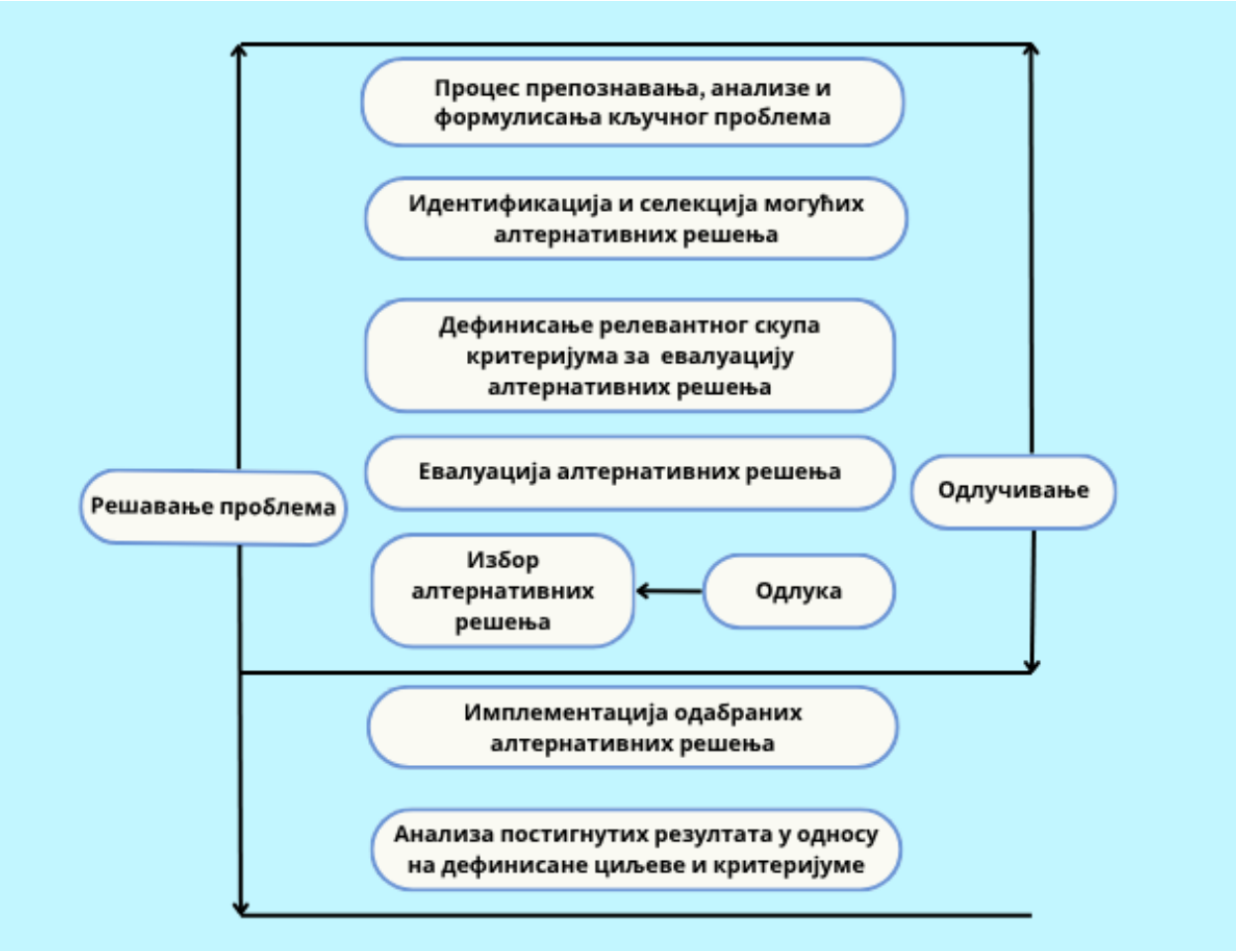
- систематско поређење више алтернатива,
- уважавање различитих типова критеријума (квантитативни и квалитативни),
- транспарентан и објективан процес рангирања опција,
- укључивање стручних и јавних приоритета у исти модел.

Методе ВКО омогућавају да се процене предности и мане сваке од ових могућности.

Доношење одлука представља фундаменталан проблем присутан у готово свим областима људске делатности. У оквиру вишекритеријумске оптимизације, процес одлучивања се најчешће формулише као избор најповољније алтернативе из скупа могућих решења, при чему одлучилац мора истовремено укључити све релевантне факторе, односно критеријуме у анализу.

Имајући у виду то да су критеријуми у већини случајева међусобно конфликтни, добијено решење не може бити оптимално у класичном смислу, већ представља компромисно, односно „најбоље могуће“ решење у оквиру задатих ограничења. Управо из тог разлога примењују се вишекритеријумски приступи, који омогућавају објективнију и методолошки засновану евалуацију комплексних варијанти.

У контексту ове дисертације, наведени приступи се користе за избор адекватног алтернативног решења намене терена након рекултивације спољног одлагалишта, кроз формално моделирање проблема, анализу алтернатива и структуиран процес доношења одлука. На слици 17 приказан је однос између процеса решавања проблема и процеса доношења одлука.



Слика 17. Узајамна зависност решавања проблема и доношења одлука

Процес доношења одлука представља уређен и логички повезан низ активности који обухвата препознавање и анализу проблема, јасно дефинисање циљева, процену ризика, разраду могућих стратегија, израду одговарајућих модела и симулацију њиховог понашања, као и избор најповољније одлуке и њено преношење релевантним субјектима.

Полазећи од чињенице да се већина одлука у конкретним ситуацијама може заснивати на унапред дефинисаном процесу, у коме се одлука рашчлањује на своје саставне елементе, и да је неопходно да се одлуке доносе на основу јасних аргумената, можемо закључити да

математички модели и оптимизационе методе имају веома важну, а понекад и незаменљиву улогу у кључним фазама тог процеса.

Иако се проблем управљања одређеним системом на први поглед може чинити нерешивим, детаљнијом анализом често се долази до сазнања да решење ипак постоји — а неретко и више њих. Тада се као главни изазов јавља избор „најбољег“ решења, односно процес оптимизације, којим се тежи проналажењу најповољније опције у датим условима.

Вишекритеријумски приступ оптимизације је метод који омогућава да се сваки конкретан проблем прикаже на што реалнији и свеобухватнији начин. Циљ вишекритеријумске оптимизације је да се изабере најповољнија варијанта, односно најбоље решење међу низом могућих опција које задовољавају задате критеријуме. Најбоља варијанта се назива оптималним решењем оптимизационог задатка и представља компромис између жеља и критеријума на једној страни, и могућности и ограничења на другој. Оптимизација се извршава стављањем различитих метода у праксу, према типа релације у математичком моделу, критеријумске функције и ограничења (Николић, Боровић, 1996).

Теорија оптимизације није само нумерички метод за проналажење оптималног решења, већ се бави и проблемима који се не могу у потпуности изразити математичким моделима. Оптимизациони модели олакшавају процес доношења одлука тако што стручњаку омогућују да повезу све податке и односе у конкретном случају. Резултат тог процеса треба да помогне у избору добре, односно оптималне алтернативе, уз узимање у обзир свих сложености задатка. Коришћењем оптимизационих метода стручњак добија информације о последицама и утицајима изабране одлуке.

Оприцовић (1992), наводи да се примена методе оптимизације заснива на стварном проблему који је потребно решити. Оптимизациони модели често се ослањају на приступ „дискретних модела“, при чему се уместо израде потпуног математичког модела разрађују различите могуће варијанте решења.

При решавању проблема методом ВКО прво се дефинишу циљеви, затим се бирају критеријуми по којима ће се мерити њихово остварење. Након тога врши се спецификација могућих алтернатива, а перформансе сваке алтернативе се прилагођавају различитим критеријумима тако да буду мерљиве истом мером. Критеријумима се додељују тежински коефицијенти како би се одредила њихова релативна значајност. Следи избор одговарајуће ВКО методе за рангирање алтернатива, а на крају се одређује најбоља алтернатива, односно оптимално решење за дато подручје (Петковић, 2016).

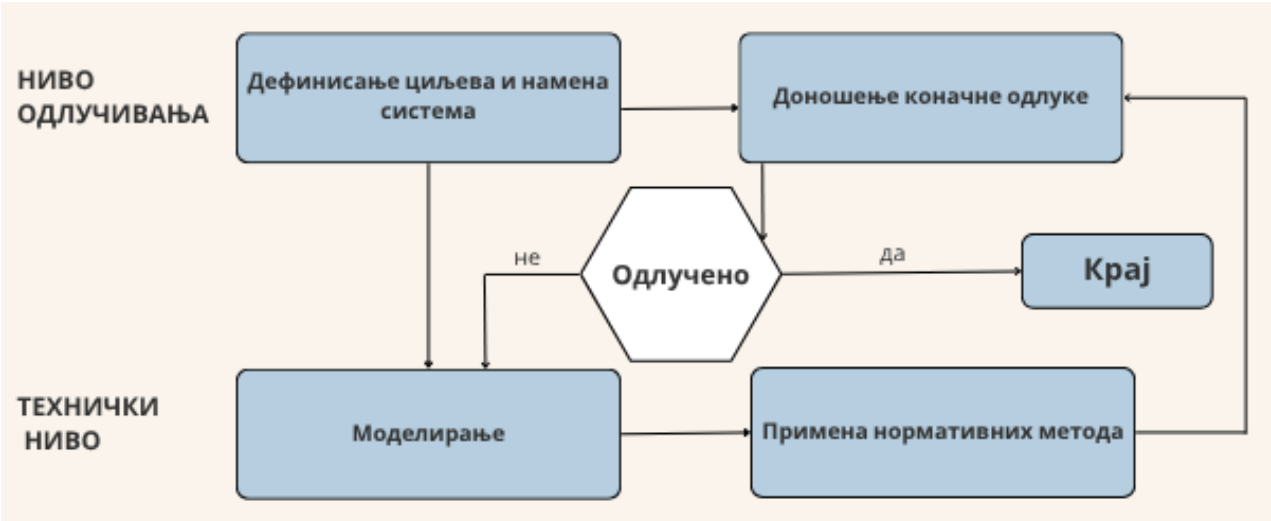
Оприцовић (1998) наводи у својој књизи да решење задатка вишекритеријумске оптимизације представља сложен процес доношења коначне одлуке и обухвата следеће кораке, приказане на слици 18. Поступак се започиње проучавањем проблема и дефинисањем конкретних циљева, затим се анализира систем и формира скуп реално изводљивих алтернатива. За сваку алтернативу дефинишу се релевантни критеријуми на основу којих се врши њихово вредновање. Након формирања матрице одлучивања и одређивања значаја критеријума, примењује се одговарајући поступак вишекритеријумске оптимизације, у овом случају VIKOR метода, којом се алтернативе рангирају према степену приближавања идеалном решењу. На основу добијене компромисне ранг-листе идентификује се најповољнија алтернатива, након чега се проверава стабилност добијеног рангирања и прихватљивост компромисног решења. Коначан резултат поступка представља избор решења које обезбеђује најприхватљивији компромис.



Слика 18. Задатак вишекритеријумске оптимизације

Током решавања проблема методом ВКО приступа се препознавању, односно идентификацији самог проблема доношења одлука. Идентификација проблема обухвата прикупљање и класификацију података, њихову обраду, а затим и интерпретацију прикупљених информација, што представља важан предуслов за правилно разумевање проблема и представљено је на слици 19.

У фази идентификације, први корак је прикупљање релевантних података и информација од стране доносиоца одлука, који долазе из више извора. Примарни циљ је издвојити најрелевантније податке који су кључни за конкретан проблем. Поента ове фазе је обезбедити да се прикупљени подаци правилно обраде и припреме тако да омогуће формирање ефикасног модела за доношење одлука.



Слика 19. Дијаграм процеса оптимизације

На нивоу доношења одлука важну улогу има „доносиоц одлуке“. Технички ниво представља скуп могућих добрих решења (алтернативних варијанти) како би се олакшало доношење крајње одлуке. То подразумева јасно, концизно и прецизно образлагање предложених решења, као и њихово рационално ограничење по броју. У интерактивној размени између два нивоа спроводи се континуирана модификација решења, при чему процес по правилу тежи ка конвергенцији ка оптималном коначном решењу.

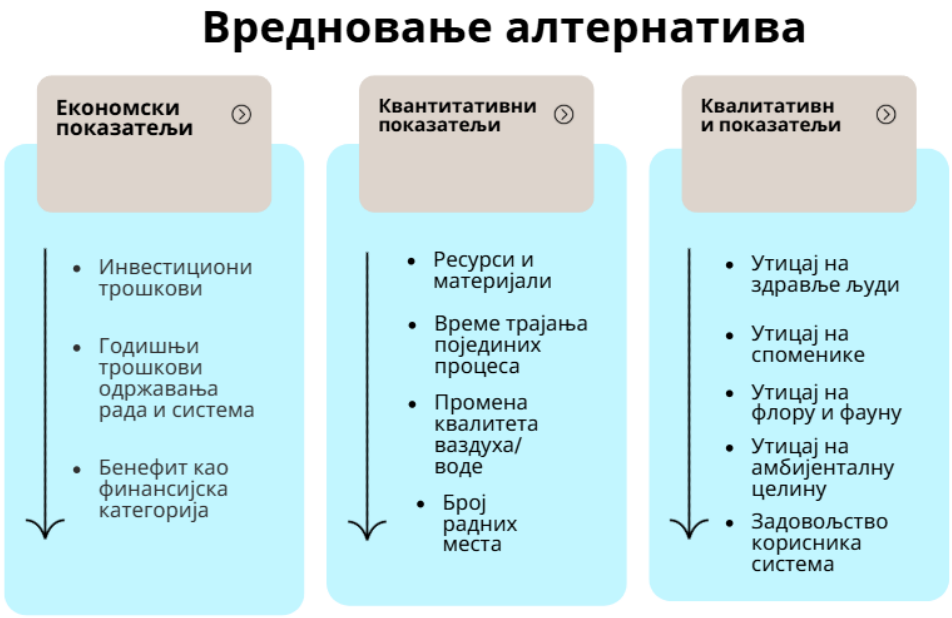
Поступак решавања задатака вишекритеријумског доношења одлука зависи од степена конфликта између критеријума. Након што се анализира постојећи проблем вишекритеријумске оптимизације, саставља се опис и прецизна формулација проблема, а затим се спроводе све неопходне активности.

Рао (2007) истиче да је формулисање проблема први и најзначајнији корак приликом избора материјала применом вишекритеријумског доношења одлука (ВКО). Начин на који се проблем формулише одређује и могућност његовог успешног решавања, као и коначан исход процеса.

Алтернатива означава један могући исход промена у систему, а могуће је размотрити више од две опције. Процес генерисања или креирања алтернатива почива на главном циљу и намени система, који остају исти за све разматране варијанте, док се мењају вредности одређених системских променљивих: x_1, x_2, …, x_n. Једна конкретна комбинација вредности вектора x представља једну алтернативу a_j. Генерисање алтернатива може се спроводити кроз анализе уз помоћ математичких модела, а коначно решење је одабрана алтернатива из формираног скупа.

За мерење и вредновање алтернатива користе се критеријуми који укључују:
- економске параметре система (на пример, трошкови – инвестициони, експлоатациони)
- потрошњу ресурса (земљиште, вода, енергија, материјали за рад…),
- утицај на околину (вода, ваздух, земљиште, становништво, амбијент…),
- ефекте и производе система (обезбеђивање добара и услуга).

Вредновање алтернативних решења врши се посебно према сваком критеријуму. Вредности критеријумских функција обично се изражавају кроз квантитативне економске параметре, квантитативне техничке показатеље и квалитативне индикаторе. На слици 20 приказани су показатељи који утичу на вредновање алтернатива.



Слика 20. Дијаграм вредновања алтернативних решења

Bangian и сарадници (2012) у свом раду „Optimizing postmining land use for pit area in open-pit mining using fuzzy decision making method“ применили су фазу аналитички хијерархијски процес за развој модела за избор оптималних намена земљишта након завршетка експлоатације на површини рудника бакра Сунгун у северозападном Ирану. Резултати истраживања показали су да је шумарство са производњом дрвне масе најповољнија пострударска намена анализираног простора.

Soltanmohammadi и сарадници (2010) развили су поступак за одређивање намене земљишта након завршетка експлоатације применом оквира за анализу погодности деградираног рударског земљишта (MLSA). У свом раду „An analytical approach with a reliable logic and a ranking policy for post-mining land-use determination“ комбинацијом метода AHP и TOPSIS извршено је рангирање могућих пострударских намена, при чему је индустријска намена оцењена као најпогоднија за анализирано подручје.

Аутори рада „Suitability evaluation for land reclamation of nonmetallic mines in Xinjiang, China“, Tang и др. (2020) су успоставили вишекритеријумски модел на основу анализе 149 површина за рекултивацију у оквиру 21 рудника у Кини. У свих девет индекса су квантитативно одређени путем стварног мерења, експеримента и релевантних извештаја, без прибегавања тежинским факторима и вредностима које су додељују експерти.

Perdeli Demirkan и др. (2022) применом теорије корисности више атрибута (MAUT) утврђују најбољу алтернативу која подржава преференције заинтересованих страна и обезбеђује економски, еколошки и друштвено најодрживији исход. Резултати истраживања су показали да иако различите заинтересоване стране имају различита схватања одрживог развоја у контексту затварања рудника и пренамене простора, ова метода омогућава процену степена у којем поједини сценарији задовољавају њихове потребе и очекивања.

3.1 ВИКОР метода

ВИКОР метода (вишекритеријумска оптимизација и компромисно решење) представља једну од метода вишекритеријумске оптимизације и одлучивања. Методу је конципирао 1998. године Серафим Оприцовић, са циљем решавања сложених проблема одлучивања кроз рангирање алтернатива дефинисаних конфликтним и хетерогеним критеријумима који имају значајан утицај на процес доношења одлука. ВИКОР метода се заснива на претпоставци да компромисно решење представља прихватљив приступ у превазилажењу конфликата, при чему доносилац одлуке тежи избору алтернативе која је најближа идеалном решењу, уз истовремено вредновање свих алтернатива према унапред дефинисаним критеријумима.

Метода је тако конципирана да доносиоцу одлуке омогућава избор алтернатива које представљају компромисно решење између постављених циљева и расположивих могућности, односно компромис који је усаглашен са различитим интересима учесника у процесу одлучивања. У оквиру ове методе, жеље се интерпретирају као критеријуми, док могућности представљају ограничења система. Компромисно решење се дефинише као алтернатива која је најближа идеалном случају. Методологија се заснива на издвајању ужег скупа могућих решења чије су вредности најприближније идеалној, односно референтној тачки у простору критеријумских функција.

Стојановић (2016) наводи да компромисно решење које се добија прихвата доносиоц одлуке, будући да омогућава остваривање максималне корисности уз минималан ниво појединачног „жаљења“, односно незадовољства у односу на изабрану алтернативу.

Редослед различитих алтернативних решења одређује се путем вишекритеријумског рангирања, при чему се оне вреднују према n критеријума (f1, f2, …, fn). Алтернатива која је најближа оптималном решењу сматра се компромисним решењем (Јемцов, 2008).

У циљу избегавања нумеричких потешкоћа у решавању проблема које се јављају код оригиналне ВИКОР методе, Chang (2010) је први развио модификовану ВИКОР методу. На основу дотадашњих истраживања, Jahan и сарадници (2011) су развили свеобухватну ВИКОР методу, која поред модификоване ВИКОР методе укључује и унапређени приступ нормализацији, чиме је омогућено да се у разматрање укључе и циљни критеријуми. У наставку је табеларно представљен начин поступак ВИКОР методе кроз неколико основних корака.

Табела 8. Процес ВИКОР методе

Корак 1.	**Дефинисати циљ и одредити релевантне критеријуме за евалуацију алтернатива**.
Корак 2.	**Поставити матрицу одлучивања на основу расположивих информација о алтернативама**, према следећој једначини: $X = [x_{ij}] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$ (3.1) где x_{ij} представља перформансу i-те алтернативе у односу на j-ти критеријум; m означава број алтернатива, док n представља коначни број критеријума.
Корак 3.	**Дефинисати најповољније вредности за све критеријуме** (највећа вредност код критеријума максимизације, најмања вредност код критеријума минимизације, односно циљна вредност за *j*-ти критеријум.) T = {T1, T2 , T3, ..., Tj, ..., Tn} = најповољнији елемент *xij* или циљна вредност за *j*-ти критеријум, где x_{ij} представља перформансу *i*-те алтернативе у односу на *j*-ти критеријум; m означава број алтернатива, а n представља укупан број критеријума.
Корак 4.	**Утврдити релативну важност критеријума, односно вредности њихових тежинских коефицијената,** уз услов да важи[1]: $\sum_{i=1}^{n} w_i$ (3.2)
Корак 5.	**Одредити вредност тежине v, како би се формирала компромисна ранг-листа**. Вредност параметра v зависи од броја критеријума (n): $v = 0{,}5$ за $n \leq 4$, $v = 0{,}6$ за $5 \leq n \leq 10$, а $v = 0{,}7$ за $n \geq 11$. Поред тога, вредност v зависи пре свега од начина доношења коначне одлуке; у случају одлучивања „већином гласова“ усваја се $v = 0{,}9$ или v = 1,0. Код независних доносилаца одлука узима се $v = 0$.
Корак 6.	**Прорачунати вредности метрика S_j и R_j.** Jemcov (2008) истиче да се формирају мере одступања од идеалне тачке у зависности од параметра, полазећи од трансформисане функције компромисног програмирања и увођењем тежинских фактора w_i (релативна значајност) критеријумских функција. $S_j = \sum_{i=1}^{n} w_i = \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-}$ (3.3) (p = 0)

[1] Оприцовић (1998). Тежине критеријума не поседују директно економско значење, већ представљају инструмент за утврђивање релативне важности појединачних критеријума

	$R_j = max\left(w_i \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-}\right)$ (3.4) (p = ∞) при чему се релације односе на *j*-ту варијанту, док су f_i^* f_i^- максимална и минимална вредност критеријумске функције у односу на све варијанте. $f_i^* = \max_j f_{ij}$ i $f_i^- = \min_j f_{ij}$ (i = 1,2,.....,n) S*j* означава меру одступања која одражава тежњу ка максимизацији групне корисности, док R_j означава меру одступања која изражава захтев за минимизацијом највећег растојања алтернативе од идеалног решења.
Корак 7.	**Прорачунати вредности укупног индекса рангирања алтернатива** Рангирањем применом уведених мера S_j и R_j, свака алтернатива заузима одређено место на листама $s(a_j)$ и $r(a_j)$. Пошто се добијене ранг-листе међусобно разликују, јавља се потреба за поступком вредновања алтернатива према јединственом критеријуму. Као нова мера рангирања уводи се величина Q_j, која означава линеарну комбинацију критеријумских функција S_j и R_j, чиме се проблем своди на двокритеријумски приступ: $Q_j = v\frac{S_j - S^*}{S^- - S^*} + (1-v)\frac{R_j - R^*}{R^- - R^*}$ (j = 1,2,....., J) (3.5) где је: $S^* = \min_j S_j, R^* = \min_j R_j, S^- = \max_j S_j, R^- = \max_j R_j,$ S* и R* представљају најбоље вредности (границе) метрика S_j и R_j, док S^- и R^- означавају најлошије вредности тих метрика. Параметар *v* представља тежину стратегије задовољења већине критеријума и његова вредност се креће у интервалу [0,1], при чему се најчешће усваја *v* = 0,5. Уколико је *v* > 0,5, приоритет се даје задовољењу већине критеријума (мери S_j), уз могућност да изабрана алтернатива буде слабије оцењена по појединим критеријумима. У случају да се не дозвољава незадовољавајући учинак ни по једном критеријуму, примењује се вредност v < 0,5. Израчунавањем вредности Q_j за сваку алтернативу формира се трећа, независна ранг-листа алтернатива, која се назива компромисна ранг-листа. Из дате једначине произилази да је величина Q_j линеарна комбинација метрика S_j и R_j, што значи да се компромисна ранг-листа може посматрати као линеарна комбинација ранг-листа добијених на основу наведених метрика Корелација за меру Q_j може се записати на следећи начин: $Q_j = v\,QS_j + (1-v)\,QR_j$ (3.6)
Корак 8.	**Извршити три рангирања алтернатива у складу са вредностима S_j, R_j и Q_j.** Најбоља алтернатива, према компромисној ранг-листи, јесте она која остварује најмању вредност Q_j.
Корак 9.	Као прелазно решење сугерисати Алтрнативу $A^{(1)}$ која је најбоље рангирана према компромисној ранг-листи (најмања вредност Qj), под условом да су испуњена следећа два услова: 1.“довољна предност“ над алтернативом са наредне позиције. Сходно томе, алтернатива $A^{(1)}$ има одговарајућу предност у односу на алтернативу са следеће позиције $A^{(2)}$, уколико је испуњен следећи услов: $Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq 1/m-1,$ (3.7) Где м представља број алтернатива. 2.“довољна стабилност“ прве позиције алтернативе. Алтернатива $A^{(1)}$ на компромисној ранг-листи има „довољно стабилну“ позицију уколико заузима прво место на ранг-листи према Sj или према Rj, односно према Q за *v* = 0,5. Ако није испуњен неки од услова, сугерише се скуп компромисних решења: - Ако прва алтернатива са компромисне ранг-листе не задовољава оба услова У1 и У2, сматра се да она није довољно супериорна у односу на алтернативу

	са друге позиције. У том случају предлаже се скуп компромисних решења добијених применом ВИКОР методе, који обухвата прву алтернативу, као и наредне по рангу. Тај скуп решења чине алтернативе $A^{(1)}$, $A^{(2)}$, …, $A^{(p)}$. Алтернатива $A^{(p)}$ одређује се на основу следеће корелације: $Q(A^{(p)}) - Q(A^{(1)}) \approx 1/m-1$ (3.8) - Ако прва алтернатива не испуњава критеријум довољне стабилности У2, у разматрани скуп компромисних решења улази само друга алтернатива - Уколико прва алтернатива не задовољава услов довољне предности У1 , у скуп компромисних решења придружују се све алтернативе са компромисне ранг-листе, закључно са оном за коју се још увек испуњава услов да прва алтернатива има довољну предност у односу на њу.

Посебна пажња у процесу оптимизације алтернативних решења посвећује се анализирању стабилности добијеног решења, односно одређивању интервала тежина различитих критеријума у оквиру којих предложено решење остаје стабилно (Оприцовић, 1998). Тежинске коефицијенте критеријумских функција w_i одређује сам доносилац одлуке током процеса рангирања алтернатива. Ове вредности се могу мењати у зависности од степена наглашавања значаја појединих критеријума у процесу доношења коначне одлуке. На тај начин, тежине *i*-те критеријумске функције могу бити веће или мање у односу на почетну вредност w_i. Нова вредност тежине изражава се као:

$w_i' = qw_i$, где q представља нову променљиву, $0 \leq q \leq 1$. (3.9)

Променом једне тежине (w_i) долази до промене осталих тежинских коефицијената, из чега произилази да важи:

$$\sum_{k=1}^{n} w_k' = 1 \quad (3.10)$$

али се задржава почетни однос осталих тежина:

$$w_k' = rw_k, k \neq i, k = 1 \ldots, n \quad (3.11)$$

Функција r(q) може се утврдити из наредне корелације:

$$qw_i + r\sum_{k \neq i} w_k = 1 \quad (3.12)$$

у следећем облику:

$r = (1 - qw_i) / (1 - w_i)$, при чему променљива q може да варира у интервалу: $0 \leq q \leq /w_i$..

Применом ВИКОР методе за различите вредности променљиве q одређује се интервал $q_1 \leq q \leq q_2$, у оквиру кога компромисно решење остаје алтернатива добијена на основу почетних вредности тежинских коефицијената. Наведени интервал дефинише „интервал стабилности“ тежине i-тог критеријума, који се може изразити у облику: $q_1 w_i \leq w_i \leq q_2 w_i$.

Фактор релативног повећања (односно смањења) тежине i-тог критеријума има следећи интервал стабилности:

$s_1 \leq s \leq s_2$
где је $s_1 = q_1 / r_1$, $s_2 = q_2 / r_2$

Компромисно решење добијено на основу почетних вредности тежинских коефицијената биће промењено уколико се почетна вредност тежине wj повећа за фактор s_2 или већу вредност, тј. уколико се смањи за фактор s_1 или мању вредност.

4. КОМПЛЕКСНА ТЕХНО-ЕКОНОМСКА ОЦЕНА ЗА РЕКУЛТИВАЦИЈУ СПОЉАШЊЕГ ОДЛАГАЛИШТА „ДРМНО “

У склопу предметне техно-економске оцене анализирани су најбитнији типични фактори.

Поред рентабилности, као једног од кључних услова и показатеља оправданости улагања у рекултивацију, неопходно је узети у обзир и шири друштвени значај, односно корист одређене микро локације у контексту интереса целокупне заједнице.

Ипак, у појединим случајевима економски ефекти могу бити занемарени или стављени у други план, јер и рекултивисани терени, у специфичним околностима, могу имати изузетан друштвени значај. У условима какви постоје код нас, где се лежишта често експлоатишу у привредно недовољно развијеним подручјима, чак и скромнији економски резултати у односу на просек могу имати велики значај за локалну заједницу.

На глобалном нивоу постоји низ примера у којима су економски ефекти стављени у други план у корист позитивних социо-економских утицаја рударске производње.

4.1 Студија случаја спољашње одлагалиште површинског копа Дрмно

Карактеристике експерименталног подручја Дрмно

Костолачки басен је смештен у североисточном делу Србије, на приближно 90 километара југоисточно од Београда, на десној обали реке Дунав. Географски обухвата простор северно, источно и јужно од Пожаревца, у пределу између долина Велике Мораве на западу и Млаве на истоку. Због повољног географског положаја, развијене саобраћајне инфраструктуре и значајних резерви лигнита, ово подручје представља један од најважнијих енергетских и рударских центара Србије.

Експериментално подручје Дрмно налази се у оквиру Костолачког угљеног басена и обухвата простор површинског копа „Дрмно“, највећег активног копа лигнита у Србији. Рељеф овог подручја карактеришу претежно равничарске и благо заталасане морфолошке форме са надморским висинама које се углавном крећу од 70 до 120 m. Клима је умерено-континентална, топла лета, умерено хладне зиме и просечном годишњом количином падавина која обезбеђује повољне услове за биолошку рекултивацију деградираних површина.

Просторни положај дела Костолачког угљеног басена, активног површнског копа Дрмно и предметне локације спољашње одлагалиште Дрмно приказан је на слици 21.



Слика 21. Подручје површинског копа Дрмно (прилагођено према https://a3.geosrbija.rs/, приступљено 17.11.2025)

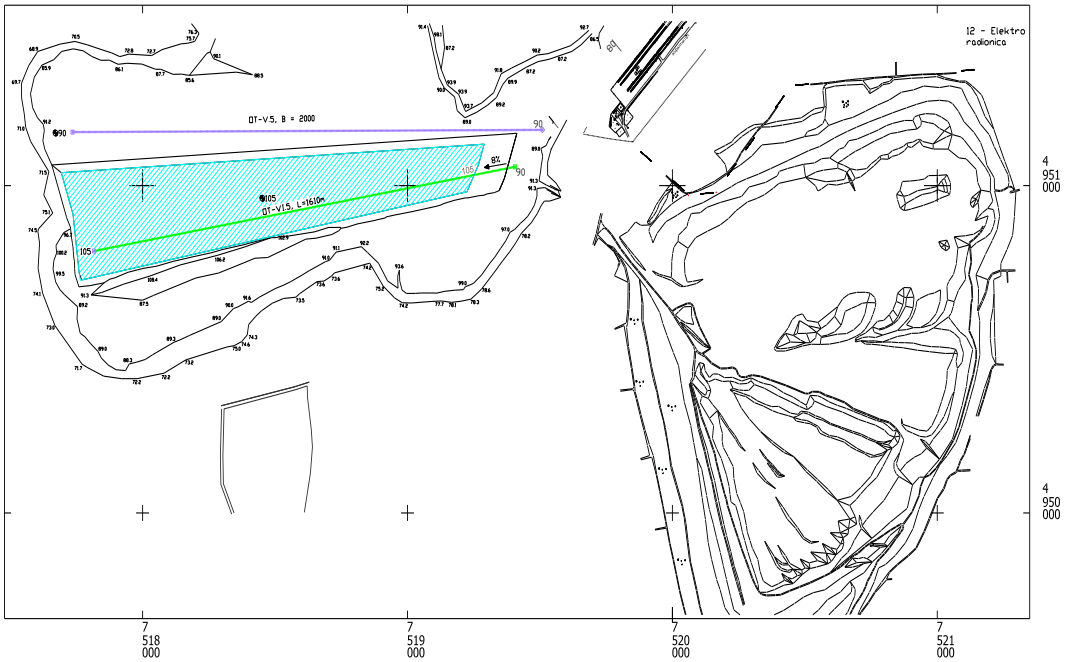
Са геолошког аспекта, подручје припада Панонском басену и одликује се дебелим наслагама неогених седимената у којима су формирани значајни слојеви лигнита. Дугогодишња површинска експлоатација угља условила је значајне промене природног рељефа и структуре земљишта, што намеће потребу за систематском техничком и биолошком рекултивацијом деградираних површина. Близина термоенергетских постројења, пре свега термоелектрана Костолац А и Костолац Б, додатно наглашава стратешки значај овог подручја у националном енергетском систему Републике Србије.

Због великог обима рударских активности, простор површинског копа Дрмно представља погодан пример за истраживање и вредновање различитих модела рекултивације, као и за примену мултикритеријумских метода у избору оптималне постексплоатационе намене земљишта. Наведене карактеристике чине ово подручје репрезентативним примером за анализу техничких, економских, еколошких и друштвених аспеката рекултивације након завршетка рударских радова.

Спољашње одлагалиште површинског копа Дрмно лоцирано је источно од самог површинског копа угља Дрмно и северно од села Брадарац, обухватајући катастарске општине Брадарац и Кличевац, са укупном површином од приближно 200 ha. Депоновање јаловине на овом одлагалишту отпочето је 1983. године и настављено до 1997. године, при чему је у току овог периода депоновано око 75.000.000 m^3 јаловине. На тај начин створена је нова површина од око 2.000.000 m^2 (Pavlović, 2008).

Са развојем одлагалишта, иницирани су и радови на техничкој и биолошкој рекултивацији јужног дела прве и друге одлагалишне етаже, усмерени ка селу Брадарац. Циљ ових радова био је обезбеђење геотехничке стабилности и хидролошког баланса терена, као и стварање повољних услова за успостављање функционалног биолошког слоја и дугорочну еколошку стабилност простора. Уоквиру простора спољашњег одлагалишта спровођено је неконтролисано и неселективно депоновање откривке. Хоризонталне и благо нагнуте

површине настале су се деловањем континуалне опреме (одлагача) и и помоћне механизације (булдозера), обухватају 51,4% спољашњег одлагалишта „Дрмно“, док се под косим површинама налази 48,6%. Унутрашње одлагалиште откривке површинског копа „Дрмно“ од до 2010. год коришћено као позајмиште за хумус за спољашње одлагалиште што је приказано на слици 22. Систем за пребацивање хумуса достиже капацитет од 1.000.000. $čm^3$ и тиме се хумус ставља на располагање за рекултивацију деградираних површина на спољашњем одлагалишту.

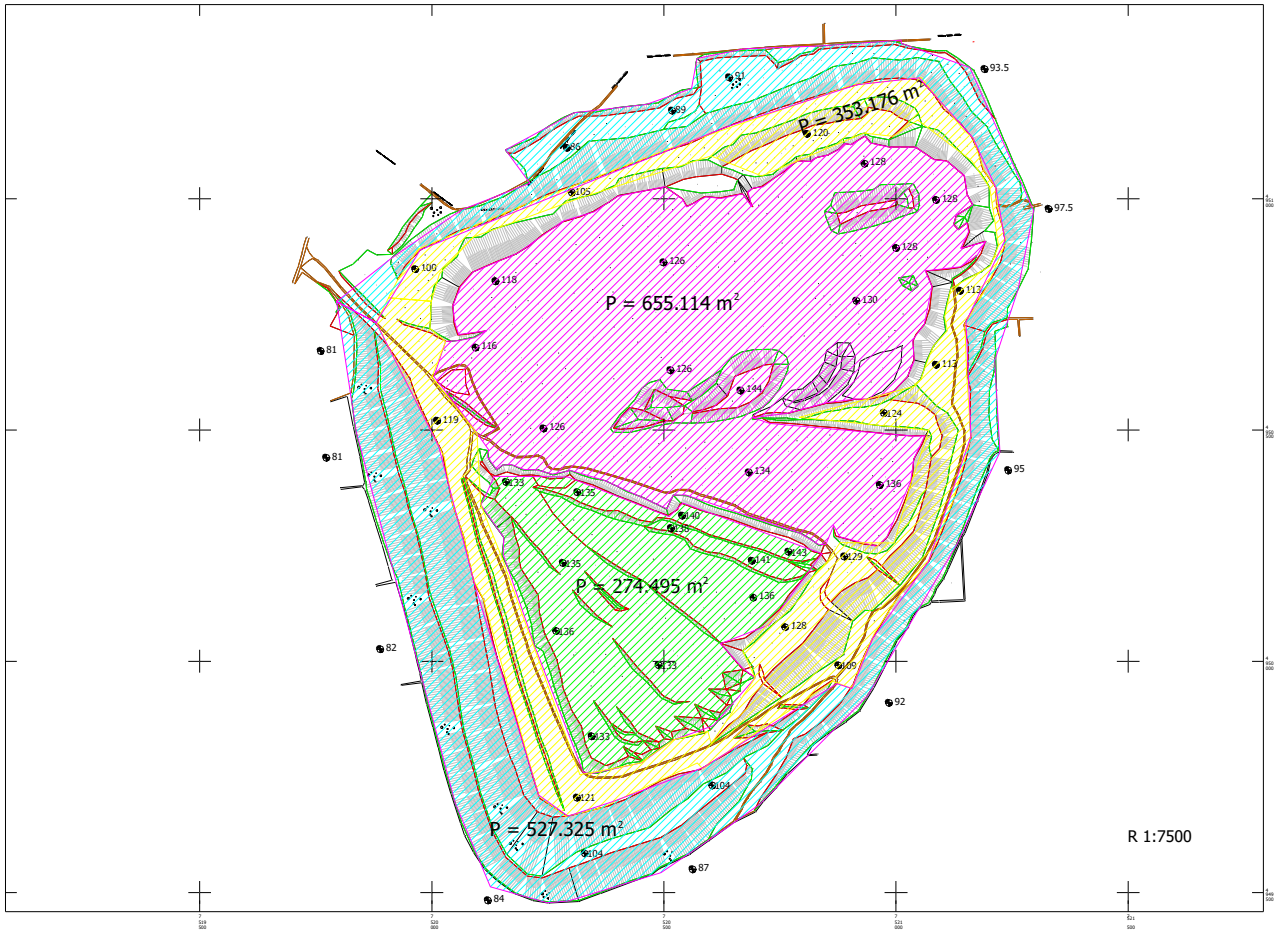


Слика 22. Позиција одлагалишта хумуса на унутрашње одлагалишту (Пројекат рекултивације спољашњег одлагалишта на површинском копу Дрмно)

Предложена ВИКОР методологија при доношењу одлуке о оптималној намени рекултивисаног терена примењена је на реално истражно подручје. Истражни терен обухвата спољашње одлагалиште на површинском копу угља „Дрмно“ који је лоциран у рударском басену Костолац приказан је на слици 23, стање пре завршене комплетне рекултивације.

Као логично и технолошки прихватљиво решење спроведена је организација и извођење радова агротехничке рекултивације, који су обухватили планиметријско обликовање и нивелацију већег дела завршних површина у складу са затеченим педолошким покривачем (солумом). У оквиру процеса рекултивације примењена је еурекултивација, при чему је простор одлагалишта путем агромелиоративних мера доведен у стање погодно за успостављање пољопривредне производње, формирање ливадских и пашњачких екосистема, као и за пошумљавање.

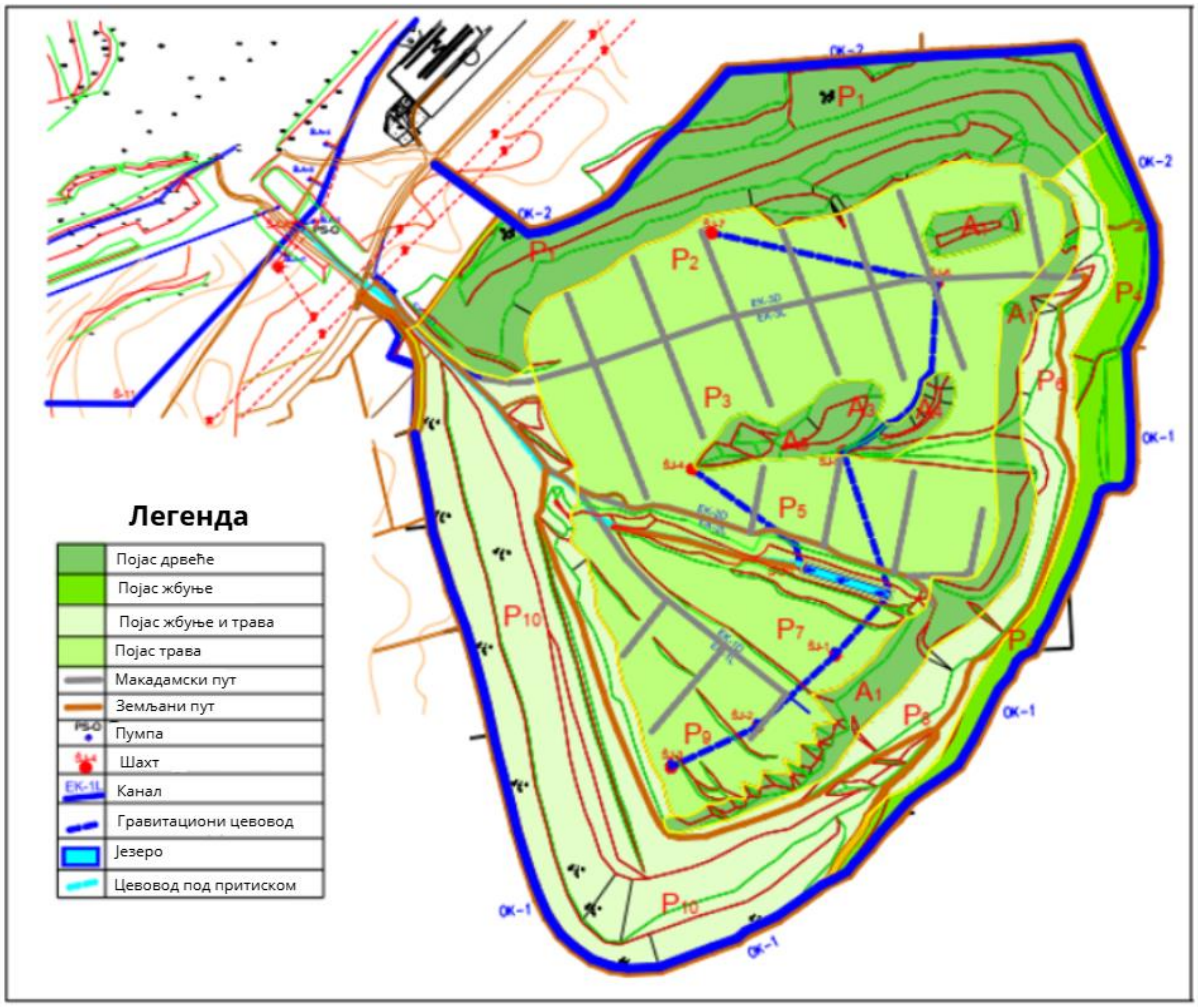
Постојећим површинама дат је облик који омогућава њихово еколошки повољно уклапање у околни простор, као и стварање предуслова за извођељњ биолошке рекултивације колико је то било могуће у оквиру примењене технологије одлагања. Реализацијом мера техничке рекултивације обезбеђени су предуслови за завршно морфолошко обликовање површина одлагалишта. На слици 23 је приказано завршно морфолошко обликовање простора одлагалишта након спроведене техничке рекултивације, са јасно издвојеним функционалним целинама различитих површина и намена, у оквиру пројектно дефинисане просторне организације терена.



Слика 23. Просторна организација и морфолошка структура спољашњег одлагалишта површинског копа Дрмно (Пројекат рекултивације спољашњег одлагалишта на површинском копу Дрмно)

На основу приказане картографске документације на слици 24, простор спољашњег одлагалишта је јасно структурисан у функционалне целине које обухватају пољопривредне површине различитих категорија (P_1–P_8), заштићене појасе вегетације (дрвореди, жбуње и комбинације травно–жбунастих појаса), као и мрежу интерних саобраћајница и сервисних коридора.

Простор је опремљен системом канала и сабирних вододерина за контролисано одвођење површинских вода, као и гравитационим и притисним цевоводима који омогућавају регулисање хидролошког режима одлагалишта.



Слика 24. Рекутивисано спољно одлагалиште пре изградње ветрогенератора (према Пројекту рекултивације спољашњег одлагалишта на површинском копу Дрмно)

На приложеним фотографијама приказано је реално стање на предметној локацији спољашњег одлагалишта „Дрмно“, са посебним освртом на конфигурацију терена, постојећу покривеност земљишта и инфраструктурне елементе који карактеришу простор. Слике документују хоризонталне и стрме површине спољашњег одлагалишта, видљиве агротехничке и мелиоративне мере. Ова визуелна документација пружа основ за анализу ефективности рекултивационих радова и омогућава квалитативну процену еколошког стања локације.



Слика 25. Конфигурација терена рекултивисаног спољашњег одлагалишта „Дрмно“

С обзиром на карактер и обим планираних рударских радова, није могуће у потпуности обновити првобитне морфолошке карактеристике предметног простора. У складу са тим, обавеза пројектаната је да кроз адекватно дефинисан технолошки процес експлоатације, активности одлагања јаловине и спровођење техничке рекултивације обликују завршну геометрију копа на начин који ће омогућити да се новоформирани простор функционално, визуелно и амбијентално што успешније интегрише у постојећи природни и просторни контекст.

Очекује се да ће применом одговарајућих техничко-технолошких, биолошких, просторно-физичких, нормативних, организационих и других мера бити значајно ублажени негативни утицаји површинске експлоатације на животну средину. Истовремено, предвиђа се да ће, током времена и кроз процесе природне и планиране трансформације простора, рекултивисано подручје постепено постати интегрални део околног предела, као што је приказано на фотографији 26.



Слика 26. Слика Рекултивисано подручје спољашњег одлагалишта „Дрмно“

Површинска експлоатација угља подразумева управљање укупним простором експлоатационог поља, укључујући и значајне количине откривке настале током рударских активности. Процеси рекултивације и реструктурирања ових простора пружају широк спектар могућности за формирање нових облика и намена земљишта, у складу са потребама човека и природних екосистема.

Избор постексплоатационог начина коришћења земљишта неопходно је заснивати на функционалним, просторним, еколошким и друштвено-културним потребама локалне заједнице и ширег окружења. Досадашња пракса и стечена искуства указују на постојање стручних знања, техничких могућности и организационих капацитета за успешно уређење простора на којима је завршена експлоатација угља, при чему је могуће формирати садржаје и површине са израженом мултифункционалном вредношћу.

У циљу утврђивања оптималног модела рекултивације предметног постексплоатационог простора, у оквиру истраживања развијен је методолошки оквир заснован на примени метода вишекритеријумског одлучивања (MCDM – Multi-Criteria Decision-Making). Предложени модел одлучивања обухвата идентификацију и дефинисање релевантних критеријума, као и

формулисање алтернативних решења будуће намене простора након завршетка рударских активности. Избор критеријума заснован је на свеобухватном сагледавању техничких, економских, еколошких и друштвених аспеката рекултивације, са циљем обезбеђивања објективне и научно утемељене основе за доношење одлука.

На основу дефинисаног модела извршено је вредновање и рангирање разматраних алтернатива, чиме је омогућено утврђивање решења које у највећој мери задовољава постављене критеријуме и стратешке циљеве одрживог управљања простором. Добијени резултати представљају полазну основу за наредну фазу истраживања, у којој је спроведена техно-економска анализа рекултивације. На тај начин је успостављена непосредна веза између процеса вишекритеријумског вредновања и економске оцене развојних могућности предметне локације, што омогућава свеобухватно сагледавање инвестиционих захтева, економске оправданости и дугорочне одрживости предложених решења. Применом овако конципираног методолошког приступа обезбеђује се висок степен поузданости резултата и доношење одлука заснованих на принципима рационалног коришћења ресурса, заштите животне средине и одрживог развоја.

4.2 Избор варијанти рекултивације и дефинисање критеријума за уређење постеексплоатационих предела одлагалишта Дрмно

У оквуру овог поглавља дат је табеларни приказ могућих и претпостављених варијанти, односно алтернативних решења рекултивације, као и њихових комбинација, које могу бити као основа за анализу и избор оптималног начина уређења постеексплоатационих предела (табела 9).

Предмет истраживања обухвата пример спољашњег одлагалишта Дрмно, које је посматрано као експериментални полигон за анализу избора типа рекултивације и одговарајућег начина уређења предела. У оквиру овако конципираног процесног моделовања интегрисаног система рекултивације, дефинисано је пет алтернативних варијанти пројектовања рекултивационих намена и уређења постеексплоатационог простора одлагалишта.

Табела 9. Алтернативе рекултивационих решења за полигон спољашње одлагалиште површинског копа Дрмно

Редни број	Алтернатива
A_1	Пољопривредна производња (ратарство и повртарство)
A_2	Пољопривредна производња (воћарсво и виноградартсво)
A_3	Шумарство
A_4	Спортско-рекреативни комплекс – зона за рекреацију
A_5	Индустријска зона (изградња ветропарка)

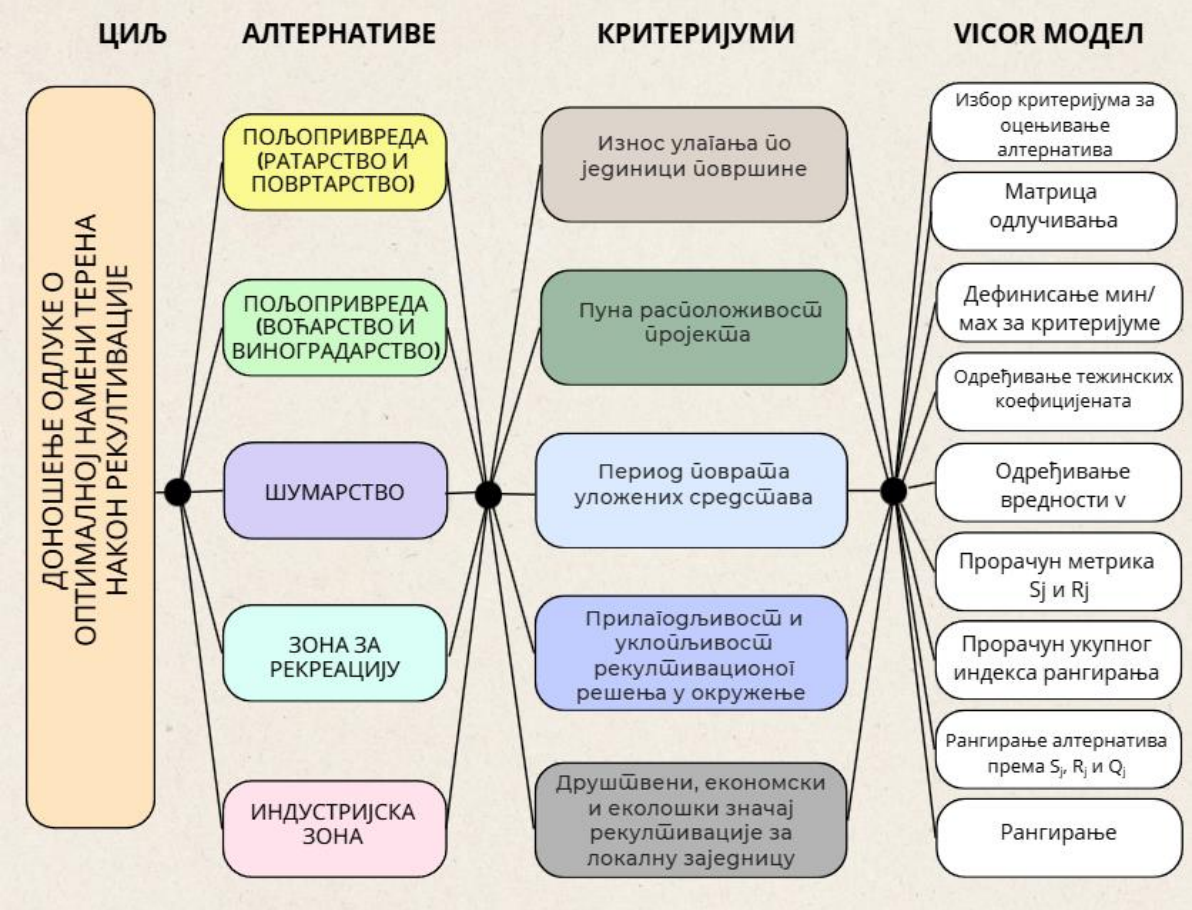
Избором алтернативних решења коришћења земљишта након завршетка рударске експлоатације и рекултивације интегришемо у претходно дефинисан оквир просторног планирања и намене предела након откопавања лигнита. Из тог разлога пожељно је сарађивати са одговарајућим органима локалне самоуправе за детаљно планирање, пројектовање и уређење простора након експлоатације.

Поред систематизованих алтернативних решења, приказани су и критеријуми за избор различитих типова рекултивационих решења који обухватају техничку и биолошку

рекултивацију, као и пројектна решења уређења предметног простора, која представљају потпроцесе система површинске експлоатације.

Дефинисањем пет критеријума обезбеђено је свеобухватно сагледавање техничко-технолошког, организационог, економског, социјалног и естетског аспекта вредновања изабраних рекултивационих решења, односно интегрисаних процесних активности.

На слици 27 је приказан ток решавања проблема одлучивања и рангирања алтернатива и састоји се од следећих неколико корака:



Слика 27. Алгоритам за вишекритеријумско одлучивање при избору оптималне намене рекултивисаног терена

За решавање проблема избора алтернативе намене простора након рекултивације лежишта разматране су следеће потенцијалне алтернативе:

- A_1 – пољопривредна производња (ратарство и повртарство),
- A_2 – пољопривредна производња (воћарство и виноградарство),
- A_3 – шумарство,
- A_4 – зона за рекреацију (спортско-рекреативни комплекс) и
- A_5 – индустријска зона – ветрогенератори.

Дефинисањем критеријума за доношење одлука постављена је основа за избор оптималног алтернативног решења намене терена након рекултивације, чиме се омогућава свеобухватно сагледавање различитих просторних, еколошких и економских аспеката и доношење одлуке која је усклађена са принципима одрживог развоја.

Усвојени су следећи критеријуми:

- k_1 – износ улагања по јединици површине,

- k_2 – пуна расположивост пројекта,
- k_3 – период повратa уложених средстава,
- k_4 – прилагодљивост и уклопљивост рекултивационог решења у окружење и
- k_5 – друштвени, економски и еколошки значај рекултивације за локалну заједницу.

Критеријум износ улагања по јединици површине представља економски показатељ којим се оцењује висина финансијских средстава неопходних за реализацију одређеног алтернативног решења на јединици површине рекултивисаног простора. Овај критеријум обухвата трошкове припреме терена, извођења рекултивационих радова, набавке потребног материјала, успостављања инфраструктуре, као и све друге инвестиционе издатке који су неопходни за привођење простора планираној намени. Применом овог критеријума омогућава се поређење различитих алтернативних решења са аспекта потребних инвестиција, независно од укупне величине обухваћене површине. Алтернативе које захтевају мања улагања по јединици површине имају предност са становишта економске оправданости, под условом да истовремено обезбеђују задовољавајући ниво функционалности, еколошке прихватљивости и дугорочне одрживости.

Критеријум пуна расположивост пројекта представља временски период који је неопходан да се, након спроведених рекултивационих радова, планирана намена простора у потпуности успостави и постане функционална за предвиђену употребу. Овај критеријум обухвата време потребно за завршетак свих техничких, биолошких и организационих активности, као и период неопходан за постизање стабилности и продуктивности рекултивисаног простора. Вредновањем овог критеријума процењује се брзина којом поједино алтернативно решење може да обезбеди очекиване економске, еколошке и друштвене ефекте. Краће време потребно за пуну расположивост представља предност, јер омогућава раније коришћење простора, бржи повратт уложених средстава и брже остваривање користи за локалну заједницу и друге заинтересоване стране. Са друге стране, поједине намене могу захтевати дужи временски период за достизање пројектоване функционалности, али истовремено обезбеђивати значајније дугорочне користи.

Критеријум период повратa уложених средстава представља временски период потребан да се кроз приходе или економске користи остварене реализацијом одређеног алтернативног решења надокнаде почетна инвестициона улагања. Овај критеријум служи за процену економске ефикасности и исплативости пројекта, јер указује на брзину враћања уложеног капитала. Приликом вредновања алтернативних решења, краћи период повратa средстава сматра се повољнијим, јер подразумева мањи инвестициони ризик, већу ликвидност и брже генерисање нето економских користи. Насупрот томе, дужи период повратa може указивати на већу неизвесност у погледу будућих прихода и већу изложеност променама тржишних, економских и других спољних услова.

У контексту рекултивације деградираних простора, овај критеријум омогућава поређење различитих намена земљишта са аспекта времена потребног за остваривање економских ефеката. Његова примена у поступку вишекритеријумског одлучивања доприноси избору решења које, поред еколошке и друштвене оправданости, обезбеђује и прихватљиву динамику повратa инвестиција.

Критеријум прилагодљивост и уклопљивост рекултивационог решења у окружење односи се на способност предложене намене простора да се функционално, еколошки и визуелно интегрише у постојеће природно и друштвено окружење. Овим критеријумом се оцењује у којој мери рекултивационо решење доприноси успостављању складног односа између рекултивисаног простора и околног предела, постојећих начина коришћења земљишта, инфраструктуре, природних ресурса и потреба локалне заједнице. Висок степен прилагодљивости подразумева да предложена намена не нарушава постојеће просторне и

еколошке вредности, већ да их унапређује и допуњује. Истовремено, добра уклопљивост решења омогућава лакшу интеграцију рекултивисаног подручја у шири просторни систем, смањује могућност настанка конфликата у коришћењу простора и повећава дугорочну одрживост одабране намене.

Критеријум друштвени, економски и еколошки значај рекултивације за локалну заједницу односи се на обим и интензитет позитивних ефеката које реализација одређеног рекултивационог решења може да оствари на локалном нивоу. Овим критеријумом се процењује допринос рекултивације унапређењу квалитета животне средине, подстицању економског развоја и побољшању услова живота становништва на подручју које је било под утицајем рударских активности. Са друштвеног аспекта, критеријум обухвата могућност отварања нових радних места, унапређење услова за живот и рад локалног становништва, повећање безбедности простора и стварање предуслова за различите привредне и друштвене активности. Економски значај огледа се у потенцијалу рекултивисаног простора да генерише приходе, повећа вредност земљишта, подстакне развој пољопривреде, шумарства, туризма или других привредних делатности и допринесе укупном економском развоју локалне заједнице. Еколошки значај подразумева побољшање квалитета земљишта, ваздуха и вода, смањење деградације простора, обнову екосистема и повећање биолошке разноврсности. У процесу вишекритеријумског одлучивања овај критеријум омогућава свеобухватно сагледавање користи које појединo алтернативно решење доноси локалној заједници у дугорочном периоду. Алтернативе које обезбеђују веће друштвене, економске и еколошке користи сматрају се повољнијим, због чега се овај критеријум сврстава у групу максимизационих критеријума.

На основу дефинисаних критеријума формирана је матрица одлучивања. Након формирања скупа критеријума, извршено је њихово вредновање, при чему су критеријуми класификовани као минимизациони и максимизациони. За оцену алтернатива у односу на постављене критеријуме примењена је фазификована Сатијева скала (Zhu K, 1996) што је приказано у табели 10.

Табела 10. Фазификована скала (Cheng, 1996, Deng, 1999)

Лингвистичка варијабла (дефиниција важности)	AHP скала	FAHP скала
		Троугани фази број ($0.5 \leq \alpha \leq 2$)
једнака	1	(1, 1, 1+α)
слаба	3	(3- α, 3, 3+α)
јака	5	(5- α, 5, 5+α)
доказана доминантност	7	(7- α, 7, 7+α)
апсолутна доминантност	9	(9- α, 9, 9)
међувредности	2, 4, 6, 8	(x-1, x, x+1) x=2, 4, 6 ,8

Одређена је релативна значајност критеријума, при чему важи услов:

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1 \qquad (4.1)$$

Такође, дефинисане су вредности тежинског параметра v. Узимајући у обзир то да је број критеријума у анализи n=5, а да вредност параметра v зависи од броја критеријума, усвојена је вредност: v =0.6, n≥5

Након тога израчунате су вредности метрика S_j и R_j, а затим и укупни индекси рангирања алтернатива QS_j и QR_j, дефинисани изразима:

$$QSj = \frac{Sj - minSj}{max\ Sj - min\ Sj} \tag{4.2}$$

$$QRj = \frac{Rj - minRj}{max\ Rj - min\ Rj} \tag{4.3}$$

Израчуната је и вредност Qj, која представља линеарну комбинацију метрика Sj и Rj, на основу које је извршено коначно рангирање алтернатива. Рангирање је спроведено према вредностима Sj, Rj и Qj, након чега је предложено коначно решење најповољније намене простора након рекултивације.

За потребе валидације предложеног модела коришћени су подаци из Студије и Пројекта рекултивације спољашњег одлагалишта површинског копа Дрмно, које је 2008. године израдио Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду.

Као основа за анализу усвојене су алтернативне варијанте рекултивационих техничких решења дефинисане наведеном документацијом. При томе су преузети подаци о површинама предвиђеним за рекултивацију и одговарајућим јединичним инвестиционим улагањима, док су остали улазни параметри процењени на основу података из упоредивих примера површинских копова угља који се налазе у фази затварања и постексплоатационог уређења простора.

Методолошки оквир за моделирање рекултивационих процеса на примеру полигона спољашњег одлагалишта Дрмно утемељен је на формирању иницијалне квантификационе матрице одлучивања, која је приказана у табеларној форми (табела 11).

Табела 11. Квантификована матрица одлучивања, са дефинисаним минималним и максималним вредностима по критеријумима

Критеријуми / Алтернативе	$к_1$	$к_2$	$к_3$	$к_4$	$к_5$
A_1	9	5	3	9	3
A_2	7	3	5	5	1
A_3	5	1	1	7	5
A_4	3	7	7	1	7
A_5	1	9	9	3	9
Extr	max	max	max	max	max
f*	9	9	9	9	9
f-	1	1	1	1	1
D	8	8	8	8	8

Уношењем података из претходне табеле 11, који представљају полазну основу за вишекритеријумску анализу методом ВИКОР, дефинише се почетни корак поступка, док су наредни прорачуни међувредности, у складу са шестим кораком ВИКОР методологије, приказани у наредној табели 12.

*Табела 12. Међувредности (fimax - fij) / (fimax - fimin) * wi*

Критеријуми / Алтернативе	к1	к2	к3	к4	к5
A_1	0	0,5	0,75	0	0,75
A_2	0,25	0,75	0,5	0,5	1
A_3	0,5	1	1	0,25	0,5
A_4	0,75	0,25	0,25	1	0,25
A_5	1	0	0	0,75	0

Затим се приступило прорачуну вредности Sj и Rj за сваку алтернативу што је приказано у табели 13 .

Табела 13. Вредности Sj и Rj

Алтернативе	Sj	Rj
A_1	2	0,75
A_2	3	1
A_3	3,25	1
A_4	2,5	1
A_5	1,75	1

Применом вишекритеријумске анализе методом ВИКОР формирана је табела 14, добијених резултата, која даје вредности вредности Qj и Qi , за поједина пројектна рекултивациона решења као могућих алтернативних намена терена на пострекултивисаним пределима на примеру спољашњег одлагалишта Дрмно у Костолачком угљеном басену. Рангирањем је постигнуто оптимално решење за дати терен и оно представља:

1. A_1 – пољопривреда (ратарство и повртарство у комбинацији),
2. A_5 – индустријска зона – изградња комплекса ветропарка
3. A_4 – зона за рекреацију и спорт (спортски комплекс)
4. A_2 – пољопривреда (воћарство и виноградарство у комбинацији)
5. A_3 – шумарство.

Табела 14. Међурезултати (Qj и Qi) и рангирање алтернатива (Qj)

	(Sj-minSj)/(maxSj-minSj)	(Rj-minRj)/(maxRj-minRj)	Qj	v
A_1	0,166667	0	**0,1**	$v = 0.6$
A_2	0,833333	1	**0,9**	$v = 0.6$
A_3	1	1	**1**	$v = 0.6$
A_4	0, 5	1	**0,7**	$v = 0.6$
A_5	0	1	**0,4**	$v = 0.6$

Анализирани пример спољашњег одлагалишта Дрмно показује да је пресудан утицај на избор имала површина коју је могуће заузети пољопривредом, као и утицај локалног становништва, поред других повољних критеријума који су утицали на избор ове варијанте, посебно се издваја њен значај у контексту обнове и унапређења деградираног простора. Предложено решење представља ефикасан механизам регенерације предметног подручја, доприносећи успостављању нових еколошких, економских и друштвених функција простора.

Прорачун је спроведен у складу са унапред дефинисаним корацима ВИКОР методе, приказаним у поглављу које се односи на методе вишекритеријумске оптимизације. Полазећи од претходно познатих података о алтернативама, формирана је матрица одлучивања у складу

са кораком 2, односно једначином 3.1. Након тога су, у оквиру корака 3, одређене оптималне вредности за све критеријуме, при чему је код максимизационих критеријума усвојена највећа вредност, а код минимизационих најмања вредност критеријума. За оцену алтернатива у односу на дефинисане критеријуме примењена је фазификована Сатијева скала, коју су предложили Zhu et al. и Lamata, а која је приказана у табели 10.

У складу са кораком 4, дефинисаним једначином 3.2, извршено је одређивање релативног значаја критеријума, односно вредности тежинских коефицијената критеријума, при чему је усвојен услов да је $\sum wi = 1$. Добијене вредности приказане су у табели 11. У наведеној табели представљени су резултати комбинације критеријума у случају када ниједној критеријумској функцији није дата предност у процесу вредновања алтернатива.

У складу са кораком 5 извршено је одређивање вредности тежинског параметра v. Имајући у виду да је у предметном случају број критеријума $n = 5$, као и да вредност параметра v зависи од броја критеријума, усвојена је вредност $v = 0,7$ за случајеве у којима је $n \geq 11$.

У складу са кораком 6, на основу једначина 3.3 и 3.4, израчунате су вредности метрика Sj и Rj, које су приказане у табели 13. Даље, у оквиру корака 7, у табели 14 приказани су резултати прорачуна укупног индекса рангирања алтернатива, као и вредности параметра Qj, који представља линеарну комбинацију метрика Sj и Rj. Вредност параметра Qj одређена је применом једначине 3.5.

На основу добијених вредности метрика Sj, Rj и Qj извршено је рангирање разматраних алтернатива и дефинисан је предлог компромисног решења. На основу спроведених прорачуна и добијених резултата, као најповољније решење издвојена је алтернатива A_1 – пољопривреда. Према вредностима рангирања, редослед преосталих алтернатива је: A_5, A_4, A_2, док је као најнеповољније решење издвојена алтернатива A_3.

На основу спроведене вишекритеријумске анализе и добијеног ранга алтернатива, утврђено је да је пољопривредна намена заснована на комбинацији ратарске и повртарске производње (A_1) најповољније решење за будуће коришћење рекултивисаног простора спољашњег одлагалишта Дрмно. Ова алтернатива остварила је најбољи баланс између економских, техничких, еколошких и друштвених критеријума, што указује на њен висок потенцијал за одрживо коришћење простора након завршетка рударских активности.

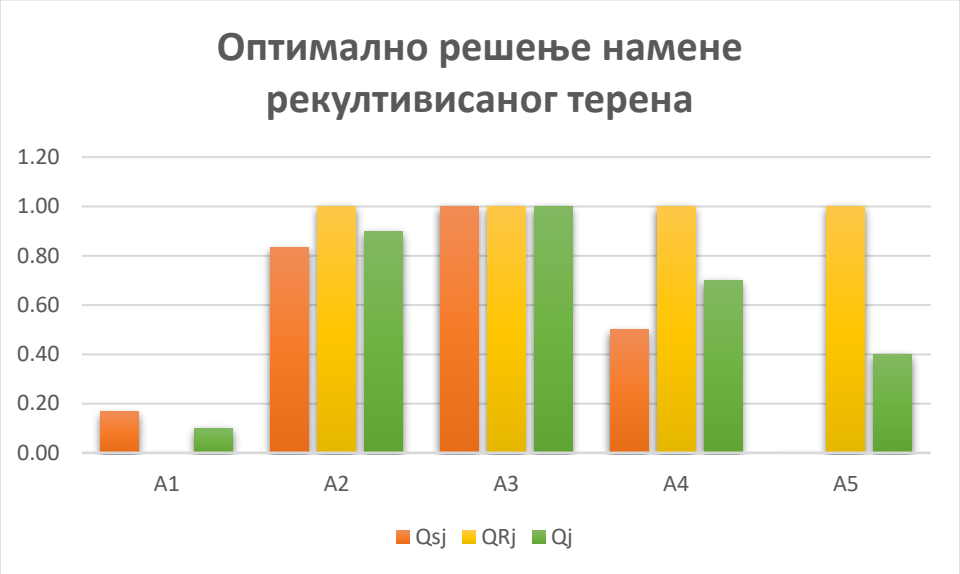
Другорангирана алтернатива, изградња комплекса ветропарка (A_5), потврђује значај примене концепта обновљивих извора енергије на пострударским просторима и указује на могућност њихове успешне интеграције у процесе енергетске транзиције. Рекреативно-спортска зона (A_4) показала је значајан друштвени и просторни потенцијал, док је пољопривредна намена заснована на воћарству и виноградарству (A_2) оцењена као прихватљиво, али нешто мање повољно решење услед већих инвестиционих захтева и дужег периода поврата уложених средстава.

Шумарска намена (A_3) заузела је последње место у рангирању, првенствено због ограничених економских ефеката и дугог временског периода потребног за остваривање пуне функционалности и економске вредности шумских засада. Ипак, ова алтернатива задржава значајну улогу са аспекта заштите животне средине, стабилизације терена и очувања екосистемских функција.

Добијени резултати потврђују да предложени модел омогућава објективно вредновање различитих варијанти рекултивације и избор оптималне намене постексплоатационих простора, уз истовремено уважавање економских, еколошких, техничких и друштвених аспеката одрживог развоја.

Применом ВИКОР методе омогућено је објективније сагледавање проблема, као и ефикасније доношење одлука у процесу избора оптималне намене терена након рекултивације.

Дијаграм оптималног алтернативног решења за намену терена спољашњег одлагалишта Дрмно приказан је на слици 28.



Слика 28. Дијаграм оптималне алтернативе намене терена рекултивисаног спољашњег одлагалишта Дрмно

Избор пољопривредне намене као облика коришћења рекултивисаног терена након завршетка експлоатације угља представља једно од најчешће примењиваних и друштвено најкориснијих решења. Оваква намена омогућава поновно укључивање деградираног земљишта у производне токове, чиме се обезбеђује дугорочна економска и еколошка валоризација простора. Успостављањем пољопривредних површина на рекултивисаном земљишту доприноси се очувању земљишних ресурса, повећању укупног пољопривредног фонда и смањењу притиска на природне и плодне површине које нису биле изложене рударским активностима.

Са аспекта одрживог развоја, пољопривредна рекултивација омогућава обнављање педолошких функција земљишта, побољшање водно-ваздушног режима и постепено успостављање биолошке активности, што позитивно утиче на стабилност екосистема. Истовремено, овакво коришћење простора обезбеђује услове за производњу пољопривредних култура, отварање нових радних места и развој локалне заједнице.

Предност пољопривредне намене огледа се и у релативно ниским инвестиционим захтевима у поређењу са појединим другим облицима постексплоатационог коришћења простора. Уколико су рекултивациони радови адекватно изведени и обезбеђен довољан слој плодног земљишта, рекултивисане површине могу достићи задовољавајући ниво продуктивности и представљати значајан ресурс за будући развој региона. На тај начин се обезбеђује континуитет коришћења простора и стварају предуслови за његову потпуну интеграцију у привредне и друштвене токове након завршетка рударских активности.

Затим према рангирању алтернатива следи изградња ветропарка. Изградња ветропарка на рекултивисаном рударском терену представља један од најзначајнијих облика постексплоатационог коришћења простора, јер омогућава интеграцију принципа одрживог развоја, енергетске транзиције и просторне ревитализације деградираних подручја. Рекултивисани терени, нарочито спољашња одлагалишта и завршне косине површинских копова, често обухватају велике, ненасељене и технички стабилизоване површине које се могу ефикасно привести новој намени без заузимања плодног пољопривредног земљишта.

Примена ветроенергетских система на оваквим локацијама доприноси повећању енергетске ефикасности и производњи електричне енергије из обновљивих енергентских извора, чиме се доприноси декарбонизацији кроз смањење зависности од фосилних горива и емисије гасова са ефектом стаклене баште. Истовремено, оваква намена омогућава економску валоризацију простора који је претходно био деградиран рударским активностима, стварајући додатне приходе и подстичући локални економски развој.

Са аспекта животне средине, изградња ветропарка представља пример циркуларног приступа управљању земљиштем, јер се рекултивисане површине поново укључују у привредне токове уз минималне додатне интервенције у простору. Поред тога, овакви пројекти могу допринети унапређењу друштвене прихватљивости процеса рекултивације, показујући да се пострударски предели могу успешно трансформисати у просторе са значајном еколошком и економском вредношћу.

Због наведених предности, изградња ветропаркова на рекултивисаним рударским површинама све чешће је препозната као стратешки модел одрживог коришћења постексплоатационих површина и важан инструмент зелене транзиције рударских региона.

Формирање зоне за рекреацију и спорт на рекултивисаном рударском терену представља један од најзначајнијих начина ревитализације постексплоатационих површина. Овакав приступ омогућава трансформацију деградираног простора у функционалну целину намењену одмору, рекреацији, спорту и унапређењу квалитета живота локалног становништва. Истовремено, повећава се друштвена вредност простора и подстиче његова интеграција у савремене развојне токове.

У оквиру рекреативно-спортске зоне могуће је предвидети различите садржаје, као што су дечја игралишта, парковске површине, пешачке и бициклистичке стазе, спортске терене. Поред тога, терен може бити погодан за изградњу полигона за стреличарство, оријентиринг, трим-стаза, авантуристичких паркова, вештачких стена за спортско пењање и других облика активне рекреације.

Просторне и морфолошке карактеристике терена задовољавају критеријуме за формирање излетишта, кампинг зоне, едукативне стазе кроз рекултивисане пределе, видиковац, простора за пикник и организовање различитих спортско-рекреативних манифестација.

Оваква намена рекултивисаног простора има вишеструке користи, јер поред унапређења животне средине и пејзажних вредности доприноси развоју туризма, повећању атрактивности подручја и стварању нових могућности за локални економски развој. На тај начин рекултивација превазилази оквире техничке санације терена и постаје инструмент дугорочне друштвене, економске и еколошке ревитализације рударских региона.

Потребно је истаћи да би будућа истраживања у области примене метода вишекритеријумске оптимизације у рударству требало усмерити ка развоју интегрисаног софтверског пакета, који би представљао ефикасну подршку у процесу доношења одлука, како приликом избора оптималних решења у сличним проблемским ситуацијама, тако и у анализи и утврђивању зависности између појединих атрибута.

Предност комбинације воћарства и виноградарства је могућност остваривања релативно високе додате вредности по јединици површине, посебно у случају производње квалитетног грожђа, вина и воћа. Поред економских ефеката, вишегодишњи засади позитивно утичу на формирање новог културног пејзажа, повећање биодиверзитета и побољшање естетских вредности рекултивисаног простора.

С друге стране, реализација виноградарства захтева испуњење одређених предуслова. Неопходно је обезбедити довољну дубину и квалитет рекултивационог слоја земљишта, повољна физичко-хемијска својства супстрата, као и адекватан водни режим. Воћарске и виноградарске културе захтевају значајна почетна инвестициона улагања и дужи период до достизања пуне родности, што може утицати на економску исплативост пројекта у првим годинама експлоатације. Такође, успех производње зависи од климатских услова, изложености терена, појаве екстремних временских догађаја и доступности стручне радне снаге.

Шумарска намена рекултивисаног терена, иако представља један од најчешће примењиваних облика биолошке рекултивације, у оквиру спроведене вишекритеријумске анализе показала је најнижи степен погодности у односу на разматране алтернативе. Овакав резултат првенствено је последица ограничених економских ефеката у краткорочном и средњорочном периоду, с обзиром на то да шумски засади захтевају дуг временски период за достизање пуне производне и економске вредности.

Поред дугог инвестиционог циклуса, шумарска намена обезбеђује релативно мању директну економску корист у поређењу са алтернативама као што су пољопривредна производња, рекреативно-спортске зоне или производња енергије из обновљивих извора. Такође, могућности интензивнијег коришћења простора и генерисања прихода су ограничене, што може негативно утицати на укупну економску оправданост пројекта.

Ипак, неопходно је нагласити да шумарска рекултивација поседује значајне еколошке предности. Формирање шумских екосистема доприноси стабилизацији терена, смањењу ерозије, повећању биодиверзитета, акумулацији угљеника и унапређењу микроклиматских услова. Стога нижи ранг ове алтернативе не указује на њену неприхватљивост, већ на мању погодност у односу на друге разматране намене у контексту постављених критеријума и циљева истраживања.

Техно-економска евалуација пројеката има важан практични значај како за предузећа тако и за државну управу. На основу резултата добијених применом вишекритеријумске методе ВИКОР и избора оптималне варијанте рекултивације, спроведена је техно-економска оцена студије случаја спољашњег одлагалишта „Дрмно“. Основни циљ техно-економске оцене јесте да се потврди оправданост и оптималност предложеног рекултивационог решења са техничког, економског и функционалног аспекта.

4.3 Фактори техно-економске оцене за спољашње одлагалиште Дрмно

За потребе техно-економске оцене анализирани су следећи фактори: геолошки, технички, технолошки, регионални, еколошки и друштвено-економски.

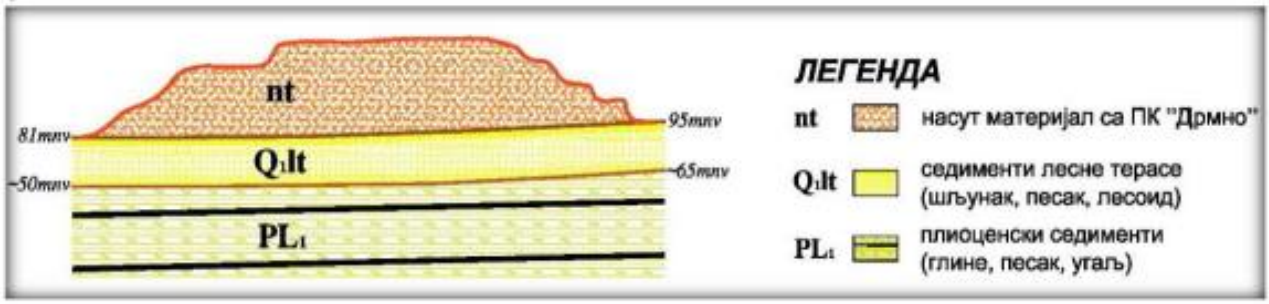
4.3.1 **Геолошки фактори**

Локалитет „Дрмно“ представља спољашње одлагалиште јаловине површинског копа „Дрмно“, димензија приближно 2 km дужине, 1,2 km ширине и око 50 m висине. Косине одлагалишта су рекултивисане у складу са спроведеним мерама рекултивације..

Одлагалиште је формирано у облику етажа, косина и купастих наслага различитих геометријских димензија. Издвајају се две доминантне етаже, позициониране на котама приближно 140 mnv и 127 mnv, док дебљина насутог јаловинског материјала износи 40–50 m.

На основу прогнозног инжењерскогеолошког модела терена (Слика 29), основну геолошку грађу истраживаног подручја чине плиоценски седименти (Pl_1), који се јављају на приближним котама од 50 до 65 m н.в. Ови седименти представљени су комплексом лапоровитих и

песковитих глина, лапора, пескова, као и хоризонтима угља и угљевитих глина. Наведени литолошки чланови карактеристични су за седиментне наслаге Костолачког угљоносног басена и представљају основни супстрат на којем је формирано одлагалиште.



Слика 29. Прогнозни инжењерскогеолошки модел терена локалитета „Дрмно“ Извор: Република Србија, Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре. (2016) Измене и допуне Просторног плана подручја посебне намене Костолачког угљеног басена – Концептуални материјал за рани јавни увид. Београд. Доступно на е-адреси: https://www.mgsi.gov.rs/sites/default/files/Izmene%20i%20dopune%20PPPPN%20Kostolackog%20basena_rani%20javni%20uvid.pdf

Крајем осамдесетих година XX века, западни део спољашњег одлагалишта Површинског копа „Дрмно“ је рекултивисан. Даљи радови на рекултивацији реализовани су 2008. године, када је спроведена биолошка рекултивација на површини од 10 ha, док је током 2009. године извршена агробиолошка рекултивација на додатних 10 ha. На деловима одлагалишта са песковитим супстратом подигнут је виноград површине 2 ha.

Пошумљавањем је обухваћено укупно 20,5 ha косина одлагалишта, при чему су доминантно заступљене састојине багрема на површини од 15 ha, црног бора на 1,5 ha и тополе на 4 ha. На заравњеним површинама старог одлагалишта, које обухватају око 41 ha, успостављена је пољопривредна производња, са заступљеним ратарским културама као што су уљана репица (7 ha), затим детелина (16 ha) и легуминозне смеше (18 ha).

Међутим, у складу са планираном пренаменом простора и потребама развоја енергетске инфраструктуре, очекује се да ће значајан део ових површина бити искључен из пољопривредне производње, услед конкуренције у коришћењу земљишта између производње хране и производње енергије.

4.3.2 **Техничко-технолошки фактори**

Техничка рекултивација представља комплексан и обавезан део укупног процеса рекултивације, чији је основни циљ обликовање и стабилизација деградираног простора. Она обухвата низ инжењерско-техничких мера, као што су нивелисање површина, изградња приступне инфраструктуре, формирање терасних берми на етажама одлагалишта и растресање збијених површинских слојева, чиме се обезбеђују неопходни услови за успешну примену биолошке фазе рекултивације.

Радови на изградњи површинског слоја етажа на спољашњем одлагалишту Површинског копа Дрмно изведени су током три фазе. При свакој фази техничке рекултивације радови се реализују према утврђеном редоследу. Најпре се булдозером изводи изградња нових или санација и равнање постојећих приступних путева. Након тога врши се планирање, односно нивелисање неравнина на хоризонталним површинама етажа. По завршетку наведених радова приступа се формирању берми њиховим усецањем у тело одлагалишта.

Спољашње одлагалиште Површинског копа Дрмно повезано је са широм саобраћајном мрежом путем Дрмно–Кличевац. Унутрашња саобраћајна инфраструктура на површинама предвиђеним за рекултивацију има функцију обезбеђивања приступа пољопривредној

механизацији до формираних производних парцела. За потребе кретања ове врсте механизације предвиђена је изградња земљаних путева, који ће бити формирани од материјала доступног на одлагалишту.

Трасе унутрашњих саобраћајница условљене су геометријом одлагалишта и планираном организацијом простора у оквиру биолошке рекултивације. С обзиром на то да је пројектом предвиђено нивелисање свих етажних површина применом булдозерске механизације, већина путева биће само трасирана током извођења биолошке рекултивације. Изузетак представљају главни приступни путеви, који ће бити изведени са макадамском коловозном конструкцијом ради обезбеђивања адекватне носивости и дуготрајности.

Приступни путеви на одлагалишту имају вишеструку намену и користиће се за транспорт плодног земљишта, допрему садног материјала, као и за потребе одржавања и коришћења рекултивисаног простора након завршетка рекултивационих радова.

4.3.3 **Регионални фактори**

4.3.3.1 Климатски услови

Подручје спољашњег одлагалишта Дрмно и Костолачког рударско-енергетског басена, које се налази на јужном ободу Панонског басена, карактерише умерено континентална клима са израженим степско-континенталним утицајима који долазе из суседног Баната. Основне климатске одлике овог подручја огледају се у релативно хладним зимама и топлим летима.

На климатске услове значајан утицај има и близина улаза у Ђердапску клисуру, која омогућава продор кошаве, ветра чија брзина повремено прелази 90 km/h. Као последица тога, ово подручје карактерише велики број ветровитих дана, у просеку око 100 током године.

На основу података Републичког хидрометеоролошког завода Србије, Одељења за климатологију – Метеоролошке станице Велико Градиште, просечна годишња количина падавина у периоду од 2001.-2007. године кретала се у распону од 558,7 mm до 881,2 mm. Подручје се одликује и релативно сувим зимама са малом количином снежних падавина.

На ширем подручју регистрована је средња годишња температура ваздуха у распону од 10,6 до 12,3°C, при чему се средње годишње максималне температуре крећу од 16,0 до 18,0°C, а средње годишње минималне од 5,9 до 7,3°C.

4.3.3.2 Рељеф подручја

Површински коп „Дрмно, самим тим и спољашње одлагалиште, катастарски припада подручју Градске општине Костолац, највећим делом се налазе у атару села Дрмно. Најзначајнији објекти изнад лежишта су насеље Дрмно и Термоелектрана „Костолац Б“.

У граничним зонама лежишта налазе се:

на западу: река Млава и Пожаревачка греда са манастиром Рукумија;

на северу: Мали Дунав („Дунавац“), мочварно-шумски комплекс Храстовача и река Дунав;

на истоку: насеље Кличевац;

на југу: спољашње одлагалиште откривке и насеље Брадарац.

4.3.3.2 Услови снабдевања водом и енергијом, горивом и потребним материјалом за рекултивацију

Механизација на спољашњем одлагалишту опремљена је моторима са унутрашњим сагорњевањем. Као погонска енергија за рад машина и опреме на спољашњем одлагалишту „Дрмно“ користи се дизел гориво. У нормалним условима и приликама, снабдевање дизел горивом и мазивом биће редовно. Овим енергентима снабдевање се врши са сопствене пумпе у оквиру Површинског копа „Дрмно“.

Ови фактори се могу оценити као повољни.

Спољашње одлагалиште површинског копа до сада није имало проблема са водоснабдевањем, те неће бити потребна додатна улагања.

4.3.3.3 Опште економске карактеристике подручја

Подручје Костолца, којем административно припада локалитет спољашње одлагалиште Дрмно, представља једно од најзначајнијих енергетских и рударских центара у Републици Србији. Економски развој овог подручја у великој мери заснива се на експлоатацији лигнита и производњи електричне енергије у оквиру Костолачког рударско-енергетског басена. Површински коп „Дрмно“ представља основни извор угља за потребе Термоелектране „Костолац Б“, чиме има стратешки значај за национални енергетски систем. Костолац је градско насеље као и седиште истоимене градске општине, која административно припада граду Пожаревцу, у Браничевском округу. Према попису из 2022. било је 8.741 становника. На територији општине налазе се 4 села Село Костолац, Петка, Острово и Кленовник.

Привредна структура подручја доминантно је оријентисана на рударство, енергетику и пратеће индустријске делатности, док су пољопривреда, трговина и услужни сектор развијени у мањем обиму. Захваљујући присуству великих привредних субјеката и развијеној инфраструктури, подручје Костолца спада међу економски развијеније локалитете у Браничевском округу.

Развој рударских и енергетских капацитета значајно је утицао на запосленост становништва, развој саобраћајне и комуналне инфраструктуре, као и на укупне привредне активности региона. Истовремено, дугогодишња експлоатација минералних сировина условила је потребу за систематским планирањем рекултивације деградираних површина и дефинисањем одрживих модела будућег коришћења простора након завршетка рударских активности.

4.3.3.4 Расположивост радне снаге

Расположивост радне снаге за егзистенцију и одржавање рекултивисаних радова на површинском копу Дрмно је задовољавајућа, предузеће ТЕ-КО КОстолац има запослену квалификациону структуру људи. Тенденција изградње ветропарка Костолац, даје могућност повећања броја запослених радника на овом површинском копу.

4.4 Еколошки фактори

Површинска експлоатација угља доводи до значајних промена природног рељефа и карактеристика терена, чиме се нарушава постојећа еколошка равнотежа. Стога, већ у почетним фазама истраживања неопходно је сагледати потенцијалне утицаје рударских активности на животну средину, што је уједно јасно дефинисано и важећом законском регулативом Републике Србије.

Негативни утицаји радова на рекултивацији могу се у значајној мери ублажити систематичним праћењем и анализом свих фаза процеса, као и доследном применом прописаних мера заштите

животне средине. Спровођење радова у складу са законским и стручним захтевима представља основни предуслов за смањење деградације простора као и очување еколошке стабилности подручја. Утицаји изазвани извођењем техничке и биолошке рекултивације на спољашњем одлагалишту „Дрмно“ систематски су побројани у табели 15.

Табела 15. Утицаји изазвани радовима на рекултивацији терена

Утицаји	Угрожена делатност			
	Природа	Становање	Пољопривреда	Рекреација
ВАЗДУХ				
Загађење ваздуха -прашина	●	●	●	●
Бука	●	●		●
ЗЕМЉИШТЕ				
Деградација	●		●	
ВОДЕ				
Утицај на отицање вода	●			
ФЛОРА				
Уништавање врста	●			
ФАУНА				
Уништавање врста	●			
СТРУКТУРА ПРЕДЕЛА				
Ограничавање визуелних ефеката				●
НАМЕНА И КОРИШЋЕЊЕ ПОВРШИНА				
Заузимање површина	●			●

Као последица утицаја током рекултивационих радова на овом локалитету, јављају се могући интензитети утицаја на околину:

- Утицај загађења ваздуха прашином је оцењен као низак (до незнатног загађења ваздуха прашином услед рада машина на равнању терена, рада на сејању и садњи);
- Загађење ваздуха издувним гасовима из машина са СУС моторима за главне и помоћне радове је ниско. Оцена се заснива на чињеницама да машине раде унутар граница површинског копа, број машина за рад је мали, снага тих мотора релативно мала и интензитет рада машина релативно низак;
- Извор буке су радне машине за насипање и равнање терена, затим у другој фази за сетву и садњу, обзиром на конфигурацију терена, геометрију спољашњег одлагалишта, све операције се врше унутар копа, интензитет утицаја бује оцењује се као низак;
- Утицај на отицање површинских вода је могућ. Површинским копом се мењају повремени водотокови атмосферских вода у извесној мери. Оцењује се да је и овај утицај низак;
- Утицај на деградацију земљишта је минималан јер се спроводе агротехничке мере на санацији земљишта;
- Уништавање флоре и фауне процењено је као средње јер површина спољашњег одлагалишта није велика, и да се ради о земљишту које је осиромашено услед антропогених утицаја;
- Ограничавање визуелне комплексности нема велики значај;
- Утицај заузимања површина које су заштићене са становишта заштите природе је веома значајан. Рекултивацијом се постиже минимализација негативних утицаја и у том случају се овај утицај процењује као мали;
- Осетљивост пољопривреде загађењем прашином и издувним гасовима из мотора машина, оцењена је као ниска, што је видљиво на терену. Ипак, осетљивост са становишта заштите природе и рекреације процењена је средњом;

- Осетљивост становања у рударском насељу, на буку и аерозагађење, с обзиром на удаљеност спољашњег одлагалишта од насеља, оцењено је као ниско осетљиво;
- У непосредној близини се не налазе објекти интезивне рекреације или потенцијално ширење насеља, стога је осетљивост на визуелна оштећења ниска.

Оцена промена и отерећења дата је у табели 16. Анализом табеле уочава се да су средња оптерећења процењена за осетљивост са становишта заштите природе и рекреације, сходно величини спољашњег одлагалишта, технологији техничке и биолошке рекултивације.

Табела 16. Оцене промена и оптерећења

Врсте утицаја	Интензитет утицаја	Оцена осетљивости	Оцена промена и оптерећења
А Заштита природе			
А1 Загађење ваздуха прашином	Низак	Средња	Средње
А2 Бука	Низак	Ниска	Ниско
А3 Деградација земљишта	Низак	Средња	Средње
А4 Утицај на отицање вода	Низак	Ниска	Ниско
А5 Уништавање флоре	Средњи	Средња	Средње
А6 Уништавање фауне	Средњи	Средња	Средње
А7 Заузимање површина	Низак	Средња	Ниско
Б Становање			
Б1 Загађење ваздуха прашином	Низак	Средња	Ниска
Б2 Бука	Низак	Средња	Ниска
В Пољопривреда			
В1 Загађење ваздуха прашином	Средњи	Ниска	Ниско
В2 Деградација земљишта	Средњи	Средњи	Средње
В3 Утицај на отицање вода	Низак	Ниска	Ниско
Г Рекреација			
Г1 Загађење ваздуха прашином	Низак	Средња	Ниско
Г2 Бука	Низак	Ниска	Ниско
Г3 Деградација земљишта	Средњи	Средња	Средње
Г4 Уништавање флоре	Средњи	Средња	Средње
Г5 Уништавање фауне	Средњи	Средња	Средње
Г6 Ограничавање визуелних ефеката	Средњи	Средња	Средње
Г7 Заузимање површина	Средњи	Средња	Средње

Промене квалитета ваздуха, вода, земљишта и нивоа буке. Анализа интеракције интензитета утицаја, осетљивости рецептора и потенцијалних оптерећења указује да на локалном нивоу није дошло до значајнијих промена квалитета ваздуха и вода. Са друге стране, на простору обухваћеном активностима на рекултивацији евидентирана је деградација земљишта као последица рударских радова. Ипак, имајући у виду ограничену површину захваћеног спољашњег одлагалишта, степен оптерећења оцењен је као умерен.

Угроженост здравља становништва. На основу спроведене анализе није утврђен значајан негативан утицај рударских активности на здравље становништва околних насеља.

Промене климатских услова. Надвишење копа може утицати на микроклиму.

Промене у флори и фауни. Природни екосистеми су били нарушени рударским активностима. На конкретној локацији успешно је ревитализован и опорављен екосистем.

Промене, намене и коришћења земљишта. Утицај површинске експлоатације угља одражава се у великој мери на промену намене земљишта. У конкретном случају, рекултивацијом је постигнуто враћање природних функција деградираног простора, као и провођење новој намени – изградња ветрогенератора у склопу ветропарка „Костолац“.

Промене насељености, концентрације и миграције становништва. Утицаји које изазива спољашње одлагалиште површинског копа не изазива никакве промене насељености, концентрације и миграције становништва.

Промене у комуналној инфраструктури. Спољашње одлагалиште нема утицај на промене и оптерећење комуналне инфраструктуре.

Промене на заштићеним природним и културним добрима и слично. Рекултивацијом спољашњег одлагалишта очекиване промене процењене су као средње. Оваква оцена је проистекла из сагледавања интензитета очекиваних утицаја, процене очуваности постојећих екосистема, величине копа.

Предлог мера за ублажавање могућих утицаја техничких операција и опреме на поједине животне елементе

Смањење неповољних утицаја рударских радова на пејзаж

Експлоатација угља на површинском копу у суштини представља деструктивно деловање на рељеф и пејзаж одређеног подручја. Негативни утицаји рударских радова могу се свести на минимум рекултивацијом деградираних површина.

4.5 Нормирани трошкови материјала и енергије

Нормирани трошкови материјала и енергије током извођења радова техничке рекултивације спољашњег одлагалишта површинског копа Дрмно дати су у табели 17.

Табела 17. Трошкови материјала и енергије за техничку рекултивацију

Р.Б.	Врста изведених радова	Укупно (дин)
1	Засецање и планирање берми булдозером	10121000
2	Планирање северне косине одлагалишта булдозером	20146651
3	Планирање хоризонталних површина булдозером	19340000
4	Откопавање, утовар и транспорт материјала за планирање хоризонталних површина	11086000
5	Израда канала и језера	1718000
6	Откопавање, транспорт и планирање хумуса на хоризонталним површинама	9263000
7	Откопавање, транспорт хумуса за косе и посебне површине	3365000
	Укупно:	**75.039.651**

Нормирани трошкови материјала и енергије при вршењу техничке рекултивације спољашњег одлагалишта површинског копа Дрмно износе **75.039.651** RSD. Предмер и предрачун код израде система за одводњавања површина спољашњег одлагалишта површинског копа Дрмно - укупни трошкови износе **48.730.000** RSD.

Радна снага

Укупну радну снагу на извођењу радова на техничкој рекултивацији не узимајући у обзир израду путева са макадамском коловозном конструкцијом је дата у табели 18.

Табела 18. Трошкови радне снаге

Назив	Број извршиоца	Укупно
Водећи инжењер	1	960000
Надзорник	2	760000
Руковаоц булдозера	2	680000
Руковаоц багера кашикара	2	102000
Возач камиона	2	510000
Руковаоц утоварача	2	272000
Помоћни радници	2	325000
	Укупно:	**3.609.000**

Укупни трошкови радне снаге при вршењу техничке рекултивације спољашњег одлагалишта износе 3.609.000 RSD. Трошкови израде пута са макадамском коловозном конструкцијом су дати у табели 19.

Табела 19. Трошкови израде пута са макадамском конструкцијом

Редни број	Врста радова	Јед. мере	Количина	Јед. цена (дин)	Износ (дин)
1.	Обележавање објекта на терену (обрачун по km)	km	4.91	48000	235600
2.	Машинско скидање површинског слоја са одвозом	m^3	42000	60	2520000
3.	Стабилизација подлоге	m	4910	80	392800
4.	Набавка, транспорт и уградња постељице тампон слоја од шљунка d=10 cm	m^3	5540	640	3545600
5.	Набавка, транспорт и уградња носећег слоја од туцаника d = 35 cm	m^3	12000	1000	12000000
6.	Набавка, транспорт и уградња горње носеће подлоге од туцаника d = 15 cm	m^3	4420	850	3757000
				УКУПНО:	**22.451.000**

Као што се може видети из претходне табеле, укупни трошкови на изради саобраћајница на спољашњем одлагалишту износе 22.451.000 RSD.

Трошкови амортизације прорачунати су за време ангажовања опреме на радовима техничке рекултивације и приказани у табели 20.

Табела 20. Амортизација опреме на извођењу техничке рекултивације

Опрема	Цена (RSD)	Амортизација (%)	Време (год)	Амортизација (дин)
Булдозер	21.780.000	12.5	0.8	2178000
Утоварач	10.500.000	12.5	0.3	393750
Хидр. багер	14.000.000	12.5	0.15	262500
Камион	8.400.000	12.5	0.6	630000
			Укупно	3.464.250

Укупни трошкови за извођење техничке рекултивације на спољашњем одлагалишту по фазама I,II, III као и годинама дати су у табели 21.

Табела 21. Укупни трошкови техничке рекултивације (дин.)

Фаза	Година	Рад на бермама и северној косини	Планирање хориз. површина	Откоп. утовар и транспорт материјала за планирање хориз. површина	Израда канала и језера	Откоп. транспорт и планирање хумуса	Откоп. и транспорт хумуса за косе и посебне површине	Систем наводњ.	Путеви	Радна снага	Аморти-зација	Укупно
I	1		4681118	2683276	145626		371530	37410000	5413865	1247600	519637	52472652
II	2	17157325			1036210		712458			556900	969990	20432883
	3	13110325			311896		1470231	8660000		556900	692850	24802202
III	4		1872781	1073380	224268	9263000	315559	2660000	17037215	623800	554280	33624283
	5		12786101	7329344			495222			623800	727493	21961960
											Укупно:	**153293980**

За I фазу техничке рекултивације спољашњег одлагалишта потребно је издвојити 52.472.652 RSD, за II фазу 45.235085 RSD, док за III фазу треба издвојити 55.586.243 RSD.

Укупна улагања у техничку рекултивацију спољашњег одлагалишта површинског копа Дрмно износе **153.293.980** RSD.

Укупни трошкови за реализацију пројекта биолошке рекултивације на спољашњем одлагалишту по фазама I,II, III као и годинама дати су у табели 22.

Табела 22. Укупни трошкови биолошке рекултивације по фазама

Фаза	**Трошкови садница багрема (RSD)**	**Трошкови семења (RSD)**	**Трошкови физичког рада (RSD)**	**Трошкови ђубрива (RSD)**	**Машински трошкови (RSD)**	**Укупно (RSD)**
I	1.054.320	134.240	1.560.000	1.649.351	378.000	**4.775.911**
II	4.176.420	186.890	8.369.000	3.367.148	-	**16.099.458**
III	2.301.570	309.980	3.373.000	3.701.416	1.004.000	**10.689.966**
Укупно:	**7.532.310**	**631.110**	**13.302.000**	**8.717.915**	**1.382.000**	**31.565.335**

Као што се из претходне табеле може видети, укупна улагања током I фазе биолошке рекултивације спољашњег одлагалишта површинског копа Дрмно износе 4.776.000 RSD, током II фазе 16.100.000 RSD, а током III фазе 10.690.000 RSD.

Укупни трошкови биолошке рекултивације износе **31.566.000** RSD. Цена биолошке рекултивације по ha износи око 160.233 RSD, док по m^2 износи 16 RSD.

Мере за смањење неповољних утицаја техничких операција и опреме на становништво

У оквиру рударских радова техничке рекултивације обавезно је применити мере за обарање прашине уз примену одговарајућих прскалица.

Кинетичке делове машина и опреме на спољашњем одлагалишту редовно одржавати, подмазивати, како би се бука свела на минимум у току њихове активности.

Мере смањења неповољних утицаја техничких операција и опреме на ваздух

У току рада на техничкој рекултивације, неопходно је током сушног периода организовати орскање водим, у циљу спречавања појаве већих количина прашине.

Неопходно је редовно одржавање механизације, која користи СУС моторе, са циљем смањења прекомерног загађења ваздуха полутантима аерозагађења.

Мере техничке заштите људи и објеката

У току рада на рекултивацији, сви радови морају се одвијати у складу са Законом о рударству и геолошким истраживањима („Службени гласник Републике Србије“, бр. 101/2015, као и осталим важећим законским актима који се баве овом облашћу.

Посебне мере заштите регулисане су посебним упутствима и наредбама које доноси технички руководилац копа, а односе се пре свега на: руковање средствима за рад; кретање радника и механизације на спољашњем одлагалишту; периодичну проверу оспособљености радника из области безбедности и здравља на раду; као и на коришћење личних и колективних средстава заштите.

Технички руководилац је дужан да наложи и спроведе одговарајуће посебне мере заштите за сваку специфичну ситуацију која може настати током рекултивације.

На Површинском копу мора бити увек довољно санитетског материјала за пружање прве помоћи, као и у свакој смени довољан број радника које је обучен за пружање исте.

Друштвено-економски фактори

Економски значај за подручје и земљу. Економски ефекти рекултивације не огледају се искључиво у непосредним финансијским показатељима, већ и у бројним индиректним користима које се остварују током дужег временског периода. Ови ефекти често имају значајан утицај на укупну економску оправданост пројекта, јер доприносе смањењу будућих трошкова, повећању вредности простора као и стварању нових могућности за привредно коришћење земљишта. Код избора пољопривредне рекултивације спољашњег одлагалишта Дрмно, индиректни економски бенефити представљају важан аргумент у прилог овом облику будуће намене простора.

Један од најзначајнијих индиректних економских ефеката огледа се у смањењу ризика од појаве ерозионих процеса, клизишта и других геотехничких нестабилности. Неуређене одлагалишне површине могу представљати извор потенцијалних опасности које захтевају накнадне санационе радове и значајна финансијска средства. Спровођењем рекултивације успоставља се стабилан површински слој земљишта и вегетациони покривач који доприносе заштити терена од деградације. На тај начин смањују се будући трошкови одржавања и интервенција, што представља значајну економску корист за носиоца пројекта и локалну заједницу.

Поред тога, благовремено и квалитетно извршена рекултивација омогућава испуњавање законских и еколошких обавеза које су дефинисане националним прописима и условима издатих дозвола. Неизвршавање или одлагање рекултивације може довести до плаћања новчаних казни, пенала и других финансијских обавеза, као и до повећања трошкова услед потребе за каснијим и сложенијим санационим захватима. Стога рекултивација представља и механизам превенције потенцијалних економских губитака, чиме се додатно повећава њена оправданост.

Значајан индиректан бенефит односи се и на повећање тржишне вредности земљишта након завршетка рекултивације. Земљиште које је било деградирано рударским активностима након рекултивације добија нову употребну вредност и постаје погодније за различите облике привредног коришћења. У случају пољопривредне рекултивације, површине се могу укључити у пољопривредну производњу, што доприноси повећању вредности простора у односу на стање пре рекултивације. Истовремено, уређен простор постаје привлачнији за потенцијалне инвеститоре и кориснике земљишта.

Посебно важан економски ефекат представља могућност остваривања прихода од пољопривредне производње. Након формирања плодног супстрата и успостављања повољних агроеколошких услова, рекултивисане површине могу се користити за гајење ратарских, крмних или индустријских култура. На тај начин земљиште које је током периода експлоатације било изузето из производне функције поново постаје економски активан ресурс. Потенцијални приходи од пољопривредне производње могу допринети делимичном повраћају уложених средстава у рекултивацију, али и стварању нове вредности за локалну економију.

Поред директних прихода, пољопривредна рекултивација може имати и позитивне мултипликативне ефекте на развој локалне заједнице. Повећање пољопривредних површина може подстаћи развој пратећих делатности као што су прерада пољопривредних производа, транспорт, складиштење и трговина. Истовремено, стварају се предуслови за отварање нових радних места и јачање економске активности на локалном нивоу. Сагледани у целини, наведени индиректни економски ефекти значајно доприносе позитивној техно-економској оцени пољопривредне рекултивације као оптималног начина будуће намене простора спољашњег одлагалишта Дрмно.

Такође, обезбеђује се сталан посао за раднике предузећа који ће радити на одржавању пољопривредних и шумских засада.

Стратешки значај рекултивисаног терена. За спољашње одлагалиште површинског копа Дрмно може се рећи да је од значаја за општину Костолац, град Пожаревац и само предузеће ТЕ-КО Костолац које послује у оквиру енергетског предузећа „Електропривреда Србије".

Табела 23. Укупни трошкови рекултивације

Редни број фазе	Фазе рекултивације	**Укупно (RSD)**
1.	Техничка рекултивација	**153.264.000**
2.	Биолошка рекултивација	**31.566.000**
	Укупно:	**184.860.000**

Укупни трошкови реализације радова на рекултивацији спољашњег одлагалишта површинског копа Дрмно процењени су на 184.860.000 RSD, као што је приказано у табели 23. Посматрано по јединици површине, наведени износ одговара трошку од приближно 938.375 RSD по хектару, односно око 94 RSD по квадратном метру рекултивисане површине.

Ови трошкови обухватају активности неопходне за успостављање планиране намене простора и представљају један од кључних економских показатеља у процесу вредновања рекултивационих решења. Анализа трошкова по јединици површине омогућава објективно поређење различитих варијанти рекултивације са аспекта инвестиционих захтева и економске оправданости њихове реализације. Истовремено, овај показатељ пружа основу за сагледавање односа између неопходних улагања и очекиваних економских, еколошких и друштвених користи које ће бити остварене након привођења простора планираној намени.

5. ДИСКУСИЈА

Рекултивација деградираних површина насталих површинском експлоатацијом угља представља сложен процес који обједињује техничке, еколошке, економске, просторне и друштвене аспекте. Због тога избор оптималног решења не може бити заснован само на једном критеријуму, нити искључиво на висини инвестиционих улагања. Резултати спроведеног истраживања показују да је овај процес потребно посматрати као проблем вишекритеријумског одлучивања, у коме се истовремено вреднују инвестициони захтеви, време потребно за пуну функционалност простора, време потребно за економску валоризацију уложених средстава, уклопљивост решења у постојеће окружење, као и његов еколошки, економски и друштвени значај за локалну заједницу.

Значај спроведеног истраживања огледа се у развоју и примени ВИКОР модела који омогућава систематично вредновање различитих варијанти рекултивације деградираног простора. Применом оваквог методолошког приступа омогућено је да се процес избора оптималне намене рекултивисаног земљишта заснива на истовременом разматрању већег броја међусобно условљених критеријума, који у пракси често имају супротстављене захтеве. На тај начин се одлучивање не заснива искључиво на појединачним техничким или економским показатељима, већ на интегралном сагледавању економских, еколошких, просторних и друштвених аспеката будућег коришћења простора. Овакав приступ обезбеђује већу објективност и поузданост у процесу доношења одлука, уз истовремено уважавање принципа одрживог развоја и рационалног управљања постексплоатационим пределима.

У оквиру истраживања разматрано је пет алтернативних решења будуће намене рекултивисаног простора: пољопривредна производња заснована на ратарству и повртарству, пољопривредна производња у виду воћарства и виноградарства, шумарска намена, спортско-рекреативни комплекс и индустријска зона са изградњом ветропарка. Избор ових алтернатива омогућио је анализу различитих развојних концепата који обухватају производне, еколошке, рекреативне и енергетске функције простора. Добијени резултати потврђују да се рекултивација не може посматрати искључиво као процес санације последица рударске експлоатације, већ као стратешки инструмент трансформације деградираног земљишта у простор са новом економском, еколошком и друштвеном вредношћу.

Резултати рангирања алтернатива показали су да је варијанта A_1 – пољопривредна производња у виду ратарства и повртарства оцењена као најповољније решење за анализирано спољашње одлагалиште. Након ње следе алтернативе A_5 – индустријска зона са ветропарком, A_4 – спортско-рекреативна намена, A_2 – воћарство и виноградарство и A_3 – шумарство. Овакви резултати указују да у конкретним природним, техничким и економским условима предметне локације пољопривредна рекултивација обезбеђује најповољнији однос између инвестиционих захтева, могућности привођења земљишта намени, очекиваних користи и значаја за локалну заједницу. Истовремено, добијени редослед алтернатива потврђује да решења са већим инвестиционим захтевима или дужим периодом реализације не морају нужно представљати оптималан избор уколико не обезбеђују одговарајући ниво економске, еколошке и друштвене оправданости.

Посматрано са становишта одрживог развоја, добијени резултати указују на значај интегрисања економских, еколошких и социјалних критеријума приликом планирања будуће намене рекултивисаних рударских површина. Истраживање потврђује да примена вишекритеријумских модела одлучивања представља поуздану основу за дефинисање стратегија рекултивације, јер омогућава објективно поређење већег броја алтернатива и идентификацију решења која обезбеђују највећи степен усклађености са дугорочним развојним циљевима предметног подручја.

Добијени резултати указују да се избор пољопривредне намене као оптималног решења може оправдати са више различитих аспеката. Са техничког становишта, карактеристике формираног терена након спроведене техничке рекултивације омогућавају релативно једноставно привођење земљишта пољопривредној намени, уз испуњавање захтева у погледу стабилности, морфологије терена и услова за несметано обављање пољопривредне производње. Оваква намена је у складу са могућностима уређења и припреме простора, што додатно потврђује њену оправданост у условима анализиране локације.

Са еколошког аспекта, резултати истраживања указују да пољопривредна рекултивација може имати значајну улогу у процесу постепене обнове деградираног екосистема. Применом одговарајућих техничких и биолошких мера стварају се предуслови за успостављање повољнијих физичких, хемијских и биолошких својстава земљишта, побољшање водно-ваздушног режима, смањење интензитета ерозионих процеса и повећање стабилности површинског слоја. Истовремено, долази до постепеног обнављања биолошке активности и формирања услова за дугорочно одрживо коришћење простора.

Са економског и друштвеног аспекта, ратарство и повртарство омогућавају релативно брзо остваривање видљивих ефеката, посебно у срединама у којима постоје традиција пољопривредне производње, расположива радна снага и потреба за поновним активирањем деградираног простора. Ово решење може допринети стварању нових економских активности, ангажовању локалног становништва, повећању употребне вредности земљишта и дугорочном одржавању рекултивисаних површина. Његови индиректни ефекти огледају се и у смањењу будућих трошкова санације, испуњавању законских и еколошких обавеза, као и у стварању предуслова за развој пратећих делатности.

Наведени резултати потврђују да рекултивацију није оправдано посматрати искључиво као законску обавезу или завршну фазу експлоатације минералних сировина. Напротив, она представља важан инструмент еколошке ревитализације и поновног укључивања деградираног земљишта у природне и производне системе. У том контексту, пољопривредна намена се издваја као решење које истовремено доприноси обнови еколошких функција простора и стварању предуслова за његово економски оправдано и друштвено корисно коришћење у постексплоатационом периоду.

Посебан значај спроведеног истраживања огледа се у интеграцији резултата вишекритеријумског вредновања са техно-економском анализом одабраног решења рекултивације. На тај начин процес одлучивања није завршен идентификацијом најповољније алтернативе, већ је додатно проширен кроз оцену њене техничке изводљивости и економске оправданости. Оваквим приступом обезбеђена је свеобухватна провера добијених резултата, чиме је потврђена практична примењивост предложеног модела у поступку планирања и реализације рекултивације постексплоатационих простора.

Спроведена техно-економска анализа показала је да реализација рекултивације захтева значајна инвестициона улагања, што је и очекивано имајући у виду обим радова неопходних за техничко и биолошко уређење деградираног простора. Међутим, добијени резултати указују да су наведена улагања оправдана у контексту дугорочних економских, еколошких и друштвених користи које произилазе из привођења земљишта новој намени. Поред директних ефеката који се огледају у поновном стављању простора у функцију и стварању услова за остваривање будућих прихода, значајни су и индиректни ефекти, као што су повећање вредности земљишта, унапређење квалитета животне средине, смањење ризика од деградационих процеса и стварање предуслова за одрживи развој локалне заједнице.

Сагледавањем резултата техно-економске анализе може се закључити да изабрано решење представља не само најповољнију алтернативу са аспекта вишекритеријумског вредновања, већ и варијанту која обезбеђује задовољавајући степен економске оправданости и дугорочне одрживости. На тај начин потврђена је оправданост примене интегрисаног приступа који повезује методе вишекритеријумског одлучивања са техно-економском оценом, чиме се обезбеђује поузданија основа за доношење стратешких одлука о будућој намени рекултивисаних рударских површина.

Укупни трошкови рекултивације процењени су на 184.860.000 RSD. Посматрано по јединици површине, трошак износи приближно 938.375 RSD по хектару, односно око 94 RSD по квадратном метру рекултивисане површине. Највећи део улагања односи се на техничку рекултивацију, која обухвата обликовање терена, стабилизацију одлагалишта, уређење површинских слојева и стварање предуслова за биолошку фазу. Биолошка рекултивација, иако финансијски мање заступљена, има кључну улогу у успостављању вегетационог покривача, побољшању квалитета земљишта и формирању услова за будућу пољопривредну производњу.

Ови показатељи указују да рекултивацију не треба посматрати искључиво као трошак рударског пројекта, већ као инвестицију у обнову простора, смањење будућих ризика и стварање нових корисних функција земљишта. Повезивање вишекритеријумског модела и техно-економске оцене представља методолошку предност дисертације, јер омогућава да се најбоље рангирано решење додатно провери кроз техничке, економске, еколошке и друштвене показатеље.

Резултати истраживања указују и на ширу применљивост предложеног модела. Његова структура омогућава примену на другим површинским коповима угља, али и на деградираним просторима насталим експлоатацијом других минералних сировина. Уз прилагођавање улазних података, критеријума и тежинских коефицијената, модел може представљати користан алат за подршку одлучивању у процесима затварања рудника, планирања постеексплоатационе намене и управљања рекултивацијом.

Приликом тумачења добијених резултата неопходно је узети у обзир одређена методолошка ограничења која су карактеристична за поступке вишекритеријумског одлучивања. Иако примењени модел обезбеђује систематичан и објективан приступ вредновању алтернатива, поједини елементи анализе условљени су расположивошћу података, квалитетом улазних информација, као и експертским проценама које су коришћене у процесу дефинисања и вредновања критеријума. Поред тога, специфичности природних, техничких, економских и друштвених услова анализиране локације могу утицати на применљивост добијених резултата у другим рударским срединама, због чега их је потребно посматрати у контексту конкретног простора који је био предмет истраживања.

Са становишта даљег унапређења предложеног модела, посебан значај имала би примена анализе осетљивости, којом би се испитала стабилност добијеног ранга алтернатива у условима промене тежинских коефицијената критеријума или варирања улазних параметара. Таква анализа омогућила би додатну проверу поузданости резултата и идентификацију критеријума који имају највећи утицај на коначни избор оптималног решења. Истовремено, добијени налази могли би послужити као основа за даље усавршавање модела и његову примену на другим постеексплоатационим просторима.

Такође, резултати истраживања указују на потребу за интензивнијим укључивањем заинтересованих страна у процес планирања будуће намене рекултивисаних површина. Активније учешће представника локалне самоуправе, локалног становништва, потенцијалних корисника земљишта, стручне јавности и носилаца рударских активности могло би допринети свеобухватнијем сагледавању просторних, економских и друштвених последица предложених

решења. На тај начин би процес доношења одлука био додатно усклађен са принципима одрживог развоја и партиципативног управљања простором, што представља један од кључних предуслова за дугорочну успешност рекултивације и ревитализације постеексплоатационих предела.

Генерално посматрано, резултати потврђују да је избор адекватног решења рекултивације потребно заснивати на интегралном приступу који обједињује вишекритеријумско одлучивање и техно-економску оцену. На примеру анализираног спољашњег одлагалишта показано је да пољопривредна рекултивација, односно комбинација ратарства и повртарства, представља најповољнију варијанту у односу на постављене критеријуме, док техно-економска оцена додатно потврђује њену оправданост као основе за еколошку стабилизацију, економску валоризацију и друштвену ревитализацију деградираног простора.

6. ЗАКЉУЧАК

Спроведено истраживање било је усмерено на решавање проблема избора оптималне намене рекултивисаних површина насталих површинском експлоатацијом угља. Имајући у виду сложеност рекултивације као процеса који обухвата техничке, еколошке, економске, просторне и друштвене аспекте, развијен је методолошки приступ који омогућава објективно и систематично вредновање различитих алтернатива будућег коришћења постеексплоатационог простора.

За процес рекултивације након рударске експлоатације неопходне су велике интервенције људи. Дозволити да се земљиште природно поврати тј. изврши ауторекултивација од стране природе током времена није опција, а радови на рекултивацији и санацију су обавезни законом у Републици Србији. Рад на рекултивацији има за циљ да побољша окружење након рударске експлоатације и учини га продуктивнијим. Да би се побољшао квалитет и успех радова на рекултивацији на рударским локацијама, закон се мора стриктно спроводити, владине агенције морају бити транспарентне, а људски ресурси морају бити мудро коришћени за извођење и надзор радова. Такође се препоручује повећано учешће заједнице, посебно када се одлучује како ће се земљиште коначно користити.

Развијени методолошки оквир заснива се на повезивању вишекритеријумског одлучивања и техно-економске анализе у јединствен модел подршке одлучивању. Применом изабране методе извршено је вредновање и рангирање разматраних алтернатива према дефинисаним критеријумима, док је техно-економском оценом додатно сагледана оправданост и могућност реализације најповољније варијанте. На тај начин обезбеђена је свеобухватна основа за избор решења које, поред високог ранга у поступку вредновања, поседује и одговарајући степен техничке изводљивости и економске оправданости.

У сложеним условима рада и функционисања рударских система неопходно је укључити одговарајући моделски приступ уз валидне податке који омогућавају процес одлучивања и управљања процесима. У ту сврху добро су се показали вишеатрибутни математички модели. Успешна примена предложеног алгоритма и доношење одлука код избора рекултивационог решења и уређења деградираних предела насталих рударском експлоатацијом, претпоставља се на основу три услова: избора, тачности и чињеница задатих проблема; бројности и прилагодљовсти задатих алтернативних решења и критичко сагледавање компромисног решења. Неопходно је обазриво обрадити улазне податке – избор алтернатива и дефинисање критеријума, и код квалитативног исказивања посебно због субјективности актера одлучивања, неопходно је успостављање системског механизма објективности.

У истраживању је разматрано пет алтернативних решења: ратарство и повртарство, воћарство и виноградарство, шумарство, спортско-рекреативни комплекс и индустријска зона са изградњом ветропарка. За њихово вредновање коришћени су критеријуми који обухватају износ улагања по јединици површине, време потребно за пуну расположивост пројекта, период поврата уложених средстава, прилагодљивост и уклопљивост решења у окружење, као и друштвени, економски и еколошки значај рекултивације за локалну заједницу.

Резултати примене ВИКОР методе показали су да је као најповољнија алтернатива издвојена A_1 – пољопривредна производња у виду ратарства и повртарства. Ова варијанта је оцењена као најбољи компромис између постављених критеријума, јер омогућава поновно укључивање деградираног земљишта у производну функцију, доприноси обнови основних функција земљишта, добро се уклапа у околни простор и има значајан потенцијал за локални економски и друштвени развој.

Техно-економска оцена изабраног решења показала је да су укупни трошкови рекултивације процењени на 184.860.000 RSD, односно приближно 938.375 RSD по хектару или око 94 RSD по квадратном метру рекултивисане површине. Иако реализација захтева значајна инвестициона средства, ова улагања се могу сматрати оправданим, јер обезбеђују стабилизацију терена, успостављање вегетационог покривача, побољшање квалитета земљишта и стварање услова за његово будуће коришћење.

Научни допринос рада огледа се у развоју интегрисаног методолошког приступа који обједињује поступак вишекритеријумског вредновања алтернативних решења и њихову техно-економску оцену. На тај начин успостављена је поуздана основа за избор оптималне намене рекултивисаних простора, уз истовремено сагледавање техничких, економских, еколошких и друштвених аспеката одлучивања. Практична вредност предложеног приступа огледа се у могућности његове примене у процесу планирања и вредновања рекултивације површинских копова, одлагалишта и других деградираних простора. Истовремено, резултати истраживања могу послужити као подршка доносиоцима одлука, укључујући рударске компаније, пројектантске организације, инвеститоре и представнике локалне самоуправе, приликом избора најповољнијих решења будуће намене постеексплоатационих површина.

Добијени резултати потврђују да рекултивацију није оправдано посматрати искључиво као законску обавезу и завршну фазу рударских активности, већ као важан инструмент одрживог управљања постеексплоатационим просторима. Адекватно одабрано и техно-економски оправдано решење омогућава не само санацију деградираног земљишта, већ и стварање предуслова за његово будуће коришћење у складу са развојним потребама локалне заједнице. На тај начин рекултивација доприноси обнови еколошких функција простора, повећању његове употребне вредности и поновном укључивању у привредне и друштвене токове.

За даља истраживања препоручује се даље унапређење предложеног модела кроз укључивање додатних критеријума и подкритеријума који би обухватили дугорочне аспекте одрживости рекултивисаних површина, као што су утицај климатских промена, ризици од ерозије, потребе одржавања, очување биодиверзитета и прихватљивост решења од стране локалне заједнице. Такође, примена анализе осетљивости представљала би значајан корак у провери стабилности и поузданости добијених резултата у условима промене тежинских коефицијената и улазних параметара.

Коначно, може се закључити да комбинација ВИКОР методе и техно-економске оцене представља ефикасан оквир за избор и проверу оптималног рекултивационог решења. На примеру анализираног спољашњег одлагалишта показано је да овакав приступ може допринети одрживом управљању деградираним просторима након завршетка рударских активности.

ЛИТЕРАТУРА

Antonović, G. (1999). Pedološki leksikon. Biblioteka Acta Biologica Iugoslavica, Beograd.

Bakken, G.M. Montana, Anaconda, and the Price of Pollution. Historian 2007, 69, 36–48. Available online: http://www.jstor.org/stable/24453910 (pristupljeno 15.2.2024)

Bangian A. H., M. Ataei, A. Sayadi, A. Gholinejad (2012). Optimizing postmining land use for pit area in open-pit mining using fuzzy decision making method, International Journal of Environmental Science and Technology, 9(4), 613-628.

Bascetin A. (2007). A decision support system using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open-pit mine, Environmental Geology, 52, 663–672.

Chang C. L. (2010). A modified VIKOR method for multiple criteria analysis. Environmental Monitoring and Assessment, Volume 168 (1-4), pp. 339–344.

Chang D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, pp. 649-655.

Deng H. (1999). Multicriteria analysis with fuzzy pair-wise comparison. International Journal of Approximate Reasoning, pp. 215-231

Dimitrijević B. (2014). Optimizacija upravljanja procesima rekultivacije površinskih kopova uglja. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu.

Dimitrijević B., (2024). Višekriterijumski model upravljanja rekultivacijom površinskih kopova uglja, Monografija, ISBN 978-86-7352-401-6, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2024

Doley, D., Audet, P. (2016). What part of mining are ecosystems? Defining success for the "restoration" of highly disturbed landscapes. In: SQUIES, V.R. (ed.) Ecological restoration: global challenges, social aspects and environmental benefits (Chapter 4). 2016 Nova Science Publishers, New York.

Dražić G., (2011). Ekoremedijacije. Fakultet za primenjenu ekologiju Futura, Beograd.

Drebenstedt C., (2012). Active mining: Environmental aspects of mining - Example from lignite extraction, in: Sustainable Mining and Environment - a German-Latin American Perspective, 523,15.

Ehrgott M., (2005). Multicriteria Optimization, Springer Berlin-Heidelberg, 2nd edition, pg. 336

Harley A, Wexner H . (2022). "The Struggle for Sustainable Development in Appalachia's Mineral Rich Mountains" M-RCBG Associate Working Paper Series | No. 184. Rad je dostupan na e-adresi https://sustainabilityscience.org/course/course-library/teaching-cases/case-appalachia.pdf

Hayder A, (2018). Marginal Costing and Cost-Profit-Volume Analysis, Chapter 3 https://www.researchgate.net/publication/329758697_Cost-Volume-Profit_Analysis_Chapter_3

Hodgett R. E. (2016). Comparison of multi-criteria decision-making methods for equipment selection, Int. J. Adv. Manuf. Technol, 85, 1145–1157. Int. J. Environ. Sci. Technol., 9, 613–628

Hudej, M. (2014). Multivarijabilni modeli upravljanja u rudarstvu. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu.

Jackson, S.T., Hobbs, R.J. (2009). Ecological restoration in the light of ecological history. Science 325, pp 567-569 https://doi.org/10.1126/science.1172977

Jahan A., Mustapha F., Ismail M.Y., Sapuan S.M. & Bahraminasab M. (2011). A comprehensive VIKOR method for material selection, Materials and Design 32(3) , pp. 1215-1221

Krečevinac, S., Čangalović, M., Kovačević-Vujičić, V., Martić, M., Vujošević, M., (2004). Operaciona istraživanja, Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu, str. 586.

Kuntze H. (1986). Soil reclamation, improvement, recultivation and conservation in Germany. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 149: 500–512.

Kural O. (1994). Coal: Resources, Properties, Utilization, Pollution. Mining Faculty, Istanbul Technical University, Turkey.

Liu X.Y., Bai Z.K., Zhou W., Cao Y.J., Zhang G.J. (2017). Changes in soil properties in the soil profile after mining and reclamation in an opencast coal mine on the Loess Plateau, China. Ecol. Eng. 2017, 98, 228–239

Masoumi I., Naraghi S., Rashidi-Nejad F., Masoumi S. (2014). Application of fuzzy multi-attribute decision-making to select and to rank the post-mining land-use. Environmental earth sciences, 72, 221-231.

Mborah C., Bansah K. J., Boateng M. K. (2016). Evaluating alternate post-mining land-uses: A review. Environment and Pollution, 5(1), 14-22.

Motorina, I. V. (1975). "Опыт рекультивации нарушенных промышленных ландшафтов СССР и зарубежных стран" (Obzornaja informacia, Moskva).

Nadoveza B., Pešić, H. (2014). Ekonomika preduzeća. Evropski Univerzitet Brčko Distrikta, Banja Luka. https://eubd.edu.ba/02-ID/023-Mon/Ekonomika-preduzeca.pdf

Nikolić I., Borović S. (1996). Višekriterijumska optimizacija – metode, primena u logistici, softver. Centar vojnih škola Vojske Jugoslavije, Beograd, pp. 15-17

Opricovic S., Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. European journal of operational research, 156(2), 445-455.

Opricović S. (1992). Optimizacija sistema. Nauka i Građevinski fakultet, Beograd.

Opricović S. (1998). Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu, Građevinski fakultet u Beogradu, str. 302, str. 19 i 20; Beograd.

Palogos I., Galetakis M., Roumpos C., Pavloudakis F. (2017). Selection of optimal land uses for the reclamation of surface mines by using evolutionary algorithms. International Journal of Mining Science and Technology, 27(3), 491-498.

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

Pavlović V. et al. (2008). The project of recultivation of the external landfill at the Drmno surface mine, Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade.

Perdeli Demirkan C., Smith N. M., Duzgun S. (2022). A Quantitative Sustainability Assessment for Mine Closure and Repurposing Alternatives in Colorado,USA, Resources, 11(7), 66.

Petković Lj. D. (2016). Izbor biomaterijala - višekriterijumska analiza i razvoj sistema za podršku odlučivanju. Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Doktorska disertacija

Rao R.V. (2007). Decision Making in the Manufacturing Environment, Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods, Springer-Verlag.

Reichl C.; Schatz, M.; Zsak, G. (2016). World-Mining-Data. In Minerals Production; International Organizing Committee for the World Mining Congresses: Vienna, Austria, 2016; Volume 31

Reić, Z., Mihaljević Kosor, M. (2011). Ekonomija

Rentzhog, O., Nonković, M. (2000). Temelji preduzeća sutrašnjice: procesima usmerena poslovna filozofija. Prometej.

Sage A., P., Armstrong J. E., (2000). Introduction to Systems Engineering, Wiley-Interscience, 1st edition, pg 568.

Seastedt T.R., Hobbs, R.J., Suding, K.N. (2008). Management of novel ecosystems: are novel aprroaches required?. Frontiers in Ecology and the Environment 6, 10, pp 547-553.

Setiawan I. E., Zhang, Z., Corder, G., Matsubae, K. (2021). Evaluation of environmental and economic benefits of land reclamation in the Indonesian coal mining industry. Resources, 10(6), 60.

Soltanmohammadi H., M. Osanloo, A. A. Bazzazi (2010). An analytical approach with a reliable logic and a ranking policy for post-mining land-use determination, Land use policy, 27(2), 364–372.

Soltanmohammadi H., M. Osanloo, B. Rezaei, A. A. Bazzazi (2008). Achieving to some outranking relationships between post mining land uses through mined land suitability analysis, Int. J. Environ. Sci. Technol., 5, 535–546.

Spasić M., Borůvka L., Vacek O., Drábek O., Tejnecký V. (2021). Pedogenesis problems on reclaimed coal mining sites. Soil and Water Research, 16(3), 137-150.

Spasić M., Drábek, O., Borůvka, L., & Tejnecký, V. (2023). Trends of global scientific research on reclaimed coal mine sites between 2015 and 2020. Applied Sciences, 13(14), 8412.

Srpak M., Pavlović D. (2020). Sanacija zatvorenih i napuštenih eksploatacijskih polja mineralnih sirovina na prostoru Varaždinske županije. Nafta i Plin, 40(165.), 63-72.

Stojanović S. (2016). Razvoj modela za evaluaciju internet informacionih resursa primenom metoda višekriterijumskog odlučivanja. Univerzitet „Džon Nezbit“ u Beogradu, Fakultet za menadžment Zaječar, Doktorska disertacija, pp. 52-55

Tang G., Zhang Z., LV Q., Hao, R., Wang K. (2020). Suitability evaluation for land reclamation of nonmetallic mines in Xinjiang, China. Mathematical Problems in Engineering, 2020, 1-12., https://doi.org/10.1155/2020/4250814

Vujić S., Hudej M. i dr., (2013). Results of the promethee method application in selecting the technological system at the Majdan III open pit mine, Archives of Mining Sciences, PolishAcademy of Siences, Committee of Mining, Karkow, Issue 4

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

Wang S., Guo J., Yu, Y. et al. (2023). Quality evaluation of land reclamation in mining area based on remote sensing. Int J Coal Sci Technol 10, 43 (2023). https://doi.org/10.1007/s40789-023-00601-9

Więckol-Ryk A., Pierzchała Ł., Bauerek A., Krzemień A. (2023). Minimising coal mining's impact on biodiversity: Artificial soils for post-mining land reclamation. Sustainability, 15(12), 9707.

Yu X., Mu C., Zhang D. (2020). Assessment of Land Reclamation Benefits in Mining Areas Using Fuzzy Comprehensive Evaluation. Sustainability 2020, 12, 2015. https://doi.org/10.3390/su12052015

Zhengfu B. I. A. N., Inyang H. I., Daniels J. L., Frank O. T. T. O., Struthers S. (2010). Environmental issues from coal mining and their solutions. Mining Science and Technology (China), 20(2), 215-223

Zhu K., Y. Jing, D. Chang (1999). A discussion on extent analysis method and applications of fuzzy AHP, European Journal of Operational Research, 450–456, https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00331-2.

Živković S. (2011) .Teorija privrednog razvoja uslovljena konceptom održivog razvoja, I ODRŽIVI RAZVOJ, 487-493.

Вујић С., (2009). Пројектовање рекултивације и уређење предела површинских копова, Научна монографија, Рудрско-геолошки факултет Универзитета у Београду и Академија инжењерских наука Србије, стр. 61-64, Београд, 2009.

Правилник о садржини рударских пројеката, "Службени гласник РС", бр. 27/97. https://arhiva.mre.gov.rs/doc/geologija-rudarstvo/06_Pravilnik%20o%20sadrzini%20rudarskih%20projekata.pdf

БИОГРАФИЈА

Радмила Гаћина, мастер инжењер заштите животне средине, рођена је 15.08.1987. године у Зрењанину, где је завршила основну школу и гимназију природно-математичког смера.

2006. године уписала је основне студије на Рударско-геолошком факултету, Универзитета у Београду. Основне академске студије је завршила 2010. године на Рударско-геолошком факултету, Универзитета у Београду, одсек рударски, смер заштита животне средине са просечном оценом 9,23.

На истом факултету, 2011. године. завршила је и мастер студије на истом смеру са просечном оценом 9,78. Исте године уписала је докторске студије на Рударско-геолошком факултету, Универзитета у Београду, где је према плану и програму докторских студија остварила 155 ESPB бодова са просечном оценом 9,93.

У периоду 2011-2015 године била је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије распоређена на пројекту TR 33039. На предлог Катедре за подземну експлоатацију лежишта минералних сировина и одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета у Београду изабрана је у звање Истраживач - приправник, запослена је на Рударско-геолошком факултету од 2016. године, а током 2020 стекла је звање Истраживач - сарадник.

У досадашњој каријери Радмила Гаћина објавила је 35 научних и стручних радова саопштених у целини у домаћим и страним часописима, штампаних у зборницима са скупова од међународног значаја који се првенствено односе на проблематику заштите животне средине, рекултивације и одрживог коришћења секундарних минералних сировина. У оквиру стручног ангажовања учествовала је у изради неколико студија и пројеката из области бушења и минирања (заштита од потреса).

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Радмила Гаћина
Број индекса Р704/21

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Комплексна техно-економска оцена оптималног решења рекултивисаног терена на одлагалиштима површинских копова угља

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, 25.9.2026.год. **Потпис аутора**

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Радмила Гаћина

Број индекса Р704/21

Студијски програм Рударско инжењерство

Наслов рада **Комплексна техно-економска оцена оптималног решења рекултивисаног терена на одлагалиштима површинских копова угља**

Ментор проф. др Чедомир Бељић
Ментор проф. др Бојан Димитријевић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година, место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним станицама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

У Београду, 25.9.2026.год. **Потпис аутора**

_____

Изјава о коришћењу

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

Комплексна техно-економска оцена оптималног решења рекултивисаног терена на одлагалиштима површинских копова угља

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1.Ауторство (CC BY)

2.Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3.Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од 6 понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

У Београду, 25.9.2026 год. **Потпис аутора**

_____

1. **Ауторство.** Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.