



Саша М. Јовановић^[1]

Универзитет у Приштини
са привременим седиштем
у Косовској Митровици
Факултет техничких наука
Косовска Митровица
(Србија)



Милош М. Чоловић^[2]

Универзитет у Приштини
са привременим седиштем
у Косовској Митровици
Факултет техничких наука
Косовска Митровица
(Србија)



Огњен Д. Поповић^[5]

Рударски институт
Београд
Београд (Србија)

УДК 338.23:622(497.11)
338.32:553.493.34(497.11)
338.24:502.131.1(497.11)
Кратко (претходно)
саопштење
Примљен: 09.12.2024.
Прихваћен: 24.12.2024.
doi: 10.5937/napredak5-55288



Милица П. Томовић^[3]

Универзитет у Приштини
са привременим седиштем
у Косовској Митровици
Факултет техничких наука
Косовска Митровица (Србија)



Мирсад Р. Тарић^[4]

Универзитет у Приштини
са привременим седиштем
у Косовској Митровици
Факултет техничких наука
Косовска Митровица (Србија)



Мирослав М. Мајсторовић^[6]

МБВ Минерос д.о.о
Пасковац (Србија)

Ризици откопавања руде литијума и њихово ублажавање

Сажетак: Литијум је кључни минерал за савремену технологију и глобалну енергетску транзицију. Његова примена у батеријама за електрична возила, паметне уређаје и системе складиштења обновљиве енергије чини га незаменљивим ресурсом. Међутим, процес његове експлоатације носи значајне ризике по животну средину, локалне заједнице и здравље радника. Потрошња воде, деградација земљишта, загађење и расељавање становништва најчешћи су изазови. Пројекат „Јадар“ у Србији представља будући позитиван пример примене одрживог рударства. У овом раду анализирају се главни ризици и мере за њихово ублажавање, укључујући иновације у технологији, рекултивацију земљишта и укључивање локалних заједница.

Кључне речи: литијум, рударство, мере ублажавања, рекултивација, еколошки ризици

[1] sasa.m.jovanovic@pr.ac.rs ; <https://orcid.org/0009-0006-9728-0695>

[2] milos.colovic@pr.ac.rs ; <https://orcid.org/0000-0003-1621-7936>

[3] milica.tomovic@pr.ac.rs ; <https://orcid.org/0000-0002-8692-5877>

[4] mirsad.taric@pr.ac.rs ; <https://orcid.org/0009-0008-7502-015X>

[5] ognjen.popovic@ribeograd.ac.rs ; <https://orcid.org/0000-0001-9005-0092>

[6] miroslavserbia@gmail.com

1. Увод

Литијум је постао један од најзначајнијих метала 21. века, захваљујући својој суштинској улози у савременој технолошкој и енергетској транзицији. Литијум је мек, сребрнастобео алкални метал у другој периоди Периодног система елемената. Литијум је врло лак метал и има најмању густину међу свим чврстим елементима (под стандардним условима), а такође је и елемент најмање густине међу чврстим елементима. Његова употреба у батеријама за електрична возила, паметне телефоне, преносне уређаје и системе за складиштење обновљиве енергије учинила га је стратешким ресурсом. Раст потражње за литијумом је експоненцијалан, с прогнозама да ће до 2050. потребе за овим металом порасти више од пет пута у односу на тренутни ниво. У контексту борбе против климатских промена, литијум је кључни елемент у производњи батерија за складиштење енергије из обновљивих извора као што су соларне и ветро електране. Поред тога, развој електричних возила као замене за фосилна горива зависи од стабилног снабдевања овом минералном сировином. Ова теза је поставила метал литијум у центар пажње светских економија и подстакла геополитичке аспирације за контролу његових резерви. Откриће јадарита у Србији – јединственог минерала који садржи литијум и бор – представља потенцијал за економски напредак. Пројекат „Јадар“ компаније „Рио Тинто“, као један од највећих рударских подухвата у региону, има за циљ да Србију позиционира међу водеће произвођаче литијума у свету. Ипак, овај пројекат изазива бројне контроверзе због могућих еколошких и социјалних

последица. Главни изазови рударства литијума укључују деградацију земљишта, потрошњу воде, загађење, као и потенцијалне сукобе с локалним заједницама. Примери из Чилеа, Аустралије и Аргентине показују да рударске активности могу значајно утицати на еко-системе и локалне популације ако нису праћене одрживим праксама.

Овај рад има за циљ да пружи свеобухватан преглед ризика повезаних с рударством литијума, као и могућности за њихово ублажавање. Посебан акценат стављен је на примену савремених технологија, као што су затворени системи за рециклажу воде и сензори за мониторинг ризика, који могу значајно унапредити сигурност и смањити еколошки утицај. Да би се унапредила еколошка одрживост, пројекти попут „Јадара“ могу интегрисати мере заштите животне средине, укључујући рекултивацију земљишта након експлоатације и програме за подршку локалним заједницама.

Кроз анализу ризика и предлоге мера за њихово ублажавање, овај рад тежи да допринесе дубљем разумевању комплексности рударства литијума и његовог утицаја на друштво и животну средину. Циљ је да се идентификују кораци који ће омогућити одрживу експлоатацију овог важног ресурса уз минималне негативне последице.

2. Еколошки ризици услед откопавања руде

Потрошња воде

У сушним подручјима, као што је пустиња Атакама у Чилеу, ова потрошња често превазилази расположиве водне ресурсе, остављајући локалне

заједнице без довољно воде за пољопривреду и свакодневне потребе, док на локацијама богатијим водним ресурсом вода из рудника често доспева у локалне реке. У подручјима са slabим системима за управљање отпадним водама токсични материјали могу продрети у водоносне слојеве, што угрожава опстанак еко-система. Употреба филтрационих система и затворених система за воду помаже у минимизацији овог ризика.

Деградација земљишта

Подземна експлоатација има изузетну предност у односу на површинску експлоатацију уз квалитетно пројектантско доношење одлуке о методи експлоатације руде литијума. У многим случајевима, деградација земљишта резултира немогућношћу његове обнове без обимних рехабилитационих пројеката. Примена рекултивације, која укључује садњу локалних биљака и стабилизацију тла, значајно може побољшати постојеће услове, али тај процес је дуготрајан и скуп.

Загађење ваздуха

Током откопавања, честице прашине ослобађају се у јамском ваздуху где могу узроковати проблеме у смислу алергија и плућних болести. Ово се успешно може отклонити коришћењем савремених система за вентилацију рудника у подземној експлоатацији.

Загађење вода

Вода из рудника често доспева у локалне водотокове. У подручјима са slabим системима

за управљање отпадним водама, токсични материјали могу продрети у водоносне слојеве, што угрожава опстанак еко-система. Употреба филтрационих система и затворених система за воду помаже у минимизацији овог ризика.

Губитак биодиверзитета

Уништавање природних станишта услед рударства има директан утицај на локалну флору и фауну. У региону Атакама, популације птица и инсеката смањене су за 30% због губитка природних извора хране и воде. Поред тога, велики транспортни путеви, који се граде ради приступа рудницима, убрзавају уништавање станишта.

Програми за очување угрожених врста, као што су компензациона станишта, показали су се ефикасни у смањењу ових ефеката, али захтевају значајна финансијска улагања.

3. Социјални, економски и здравствени ризици

Социјални и економски ризици услед откопавања руде литијума често су последица комплексне динамике између рударских компанија, локалних заједница и националних економија. Иако рударство доноси потенцијалне економске користи, укључујући стварање радних места и повећање државних прихода, оно, такође, изазива бројне друштвене изазове који се морају пажљиво сагледати.

Расељавање становништва и социјалне тензије

Један од најзначајнијих социјалних ризика рударских активности јесте расељавање локалних заједница. У многим случајевима рударске компаније преузимају земљиште које припада локалном становништву, присиљавајући га да напусти своје домове и традиционалне изворе прихода. Ово је често праћено социјалним тензијама, незадовољством и протестима. Пример из Боливије показује како је велики рударски пројекат довео до дуготрајних сукоба између компаније и домородачких заједница.



Слика 1. Боливија, земља са највише литијума
на свету (BIZLife, 2023)

У Србији, у оквиру пројекта „Јадар“, компанија „Рио Тинто“ спровела је јавне расправе и програме компензације како би ублажила социјалне тензије. Такви програми укључују пресељење погођених породица, као и финансијску помоћ за проналажење нових извора прихода.

Поред тога, улагање у изградњу локалне инфраструктуре, попут школа, болница и путева, може значајно допринети смањењу конфликта.

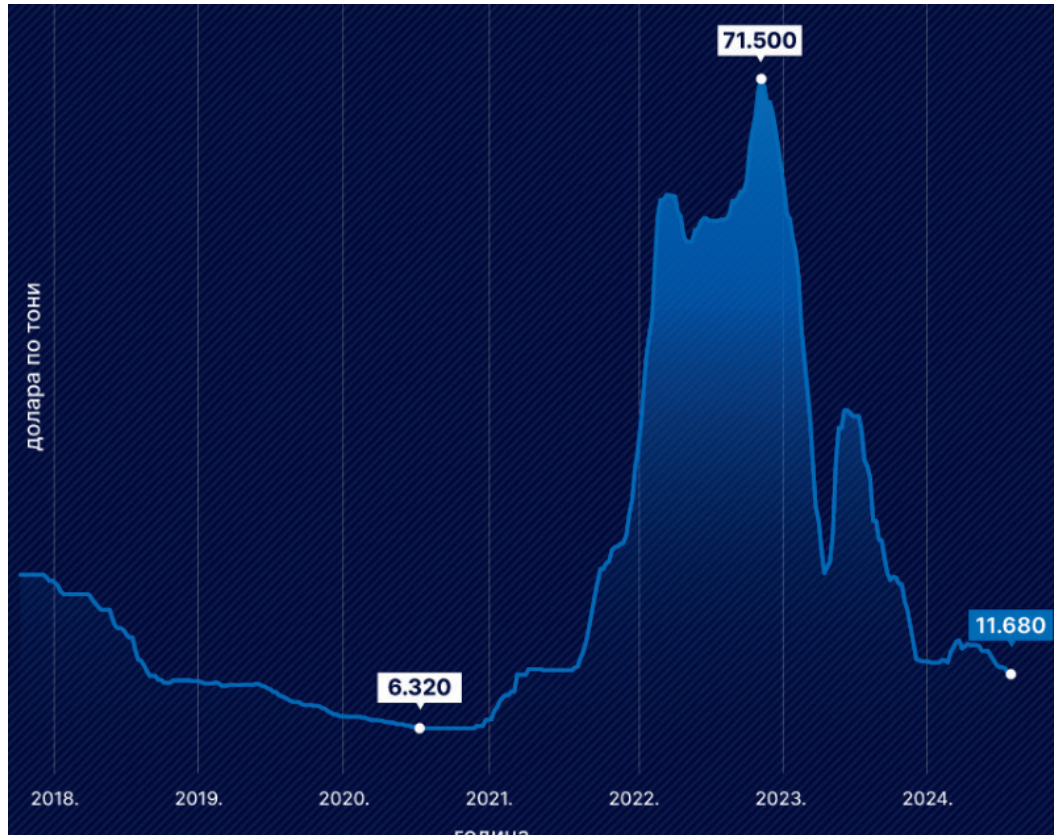
Економска зависност и нестабилност

Економска зависност од рударства представља дугорочни ризик за многе земље које се ослањају на извоз руде литијума. Волатилност цена на светском тржишту чини економије које зависе од минералних ресурса осетљивим на промене. Пример су Чиле и Кина, где су велике флукуације цене литијума утицале на државни буџет и економску стабилност.

Цене литијума на светском тржишту показују значајну волатилност, што директно утиче на економију земаља које се ослањају на извоз овог метала. На пример, у периоду од 2020. до 2022. цена литијума је порасла са 6.320 долара на 71.500 долара по тони, да би потом уследио пад од око 80% од краја 2022. године. (RTBalkan, 2024)

На пример, ако цена литијума данас нагло порасте због повећане потражње за електричним возилима, а сутра нагло падне због открића нових резерви, то је пример високе волатилности.

Да би се овај ризик смањио, потребна је диверзификација економских активности. У Србији, у оквиру пројекта „Јадар“, планирано је улагање у локалне високотехнолошке индустрије које би могле смањити економску зависност од рударства. Да би се то постигло, планира се изградња фабрике литијум-јонских батерија, а касније и производња електричних возила. Поред тога, део прихода од рударства може се



Слика 2. Графикон цене литијума на кинеској берзи (RTBalkan, 2024)

уложити у развој образовних и истраживачких центара који ће подстаћи иновације и обезбедити одрживу економију у будућности.

Конфликти око права на земљиште

Чести су у рударским регионима посебно када локалне заједнице немају јасну правну документацију о својој имовини. У неким случајевима, ово доводи до дуготрајних правних спорова који могу зауставити или одложити рударске про-

јекте. У пројекту „Јадар“ компанија је посветила пажњу откупу земљишта по фер тржишним ценама како би се избегли правни и социјални конфликти.

Социјални програми као решење

Да би се ублажили социјални ризици, многе компаније уводе програме друштвене одговорности. Ови програми укључују улагање у образовање, здравство и развој локалних предузећа.

У пројекту „Јадар“ један од циљева јесте улагање у еколошку едукацију локалног становништва, као и пружање обука за раднике који ће бити ангажовани у рударском и производном сектору.

Здравствени ризици

Радници и локално становништво могу бити изложени здравственим ризицима услед рударских активности.

Изложеност токсичним супстанцама: контакт с хемикалијама које се користе у процесу екстракције може довести до здравствених проблема запослених у производњи.

Респираторни проблеми: прашина и емисије из рудника могу изазвати болести дисајних путева.

Несреће на раду: рударство је по природи опасно занимање с високим ризиком од повреда.

4. Мере за ублажавање ризика

Еколошке мере

Рециклажа воде смањује потрошњу за 40% (Marković, 2009). Употреба мање токсичних хемикалија, као што су биолошки разградиве супстанце (RenovablesVerdes, 2024). Инсталација система за пречишћавање ваздуха и воде.



Слика 3. Поглед из ваздуха на поља литијума у пустињи Атакама у Чилеу, Јужна Америка – надреални пејзаж где се рађају батерије

Фото: Shutterstock

Социјалне мере

Укључивање локалних заједница у процес доношења одлука. Компензациони програми за погођене породице. Улагање у локалну инфраструктуру, укључујући школе и болнице.

Технолошке мере

Системи за праћење ризика, попут сензора за гасове и система раног упозорења, смањују ризике у подземним рудницима. Коришћење напредних алгоритама и ГИС технологија омогућава ефикасније планирање рударских радова (Rudarstvo.org, 2024).

5. Рекултивација терена након експлоатације

Представља кључни корак у смањењу негативних ефеката рударских активности. Основна сврха рекултивације јесте враћање земљишта у стање које омогућава његово поновно коришћење, било за природне еко-системе, пољопривреду или рекреативне сврхе. У рударству литијума, где је често реч о осетљивим еколошким регионима, овај процес добија још већи значај. (Envirotis Holding)

Примена рекултивације у пројекту „Јадар“

Овај пројекат у Србији пример је планираног приступа рекултивацији. Након завршетка рударских активности, планирано је да се део терена оспособи за пољопривреду, док ће други

делови бити пошумљени локалним врстама биљака, као што су храст и багрем. Тиме се обезбеђује не само еколошка одрживост већ и економска добит за локално становништво (Rio Tinto, 2019).

Примери успешне рекултивације

Рурска област, Немачка:

Бивши рудници угља у Руру трансформисани су у јавне паркове и језера, која данас представљају туристичке атракције. Рекултивација је укључивала уклањање токсичних материја, изградњу нове инфраструктуре и стварање станишта за локалне животињске врсте.

Пустинија Атакама, Чиле:

У овој области делови напуштених рудника претворени су у центре за посматрање птица. Коришћењем природних техника рекултивације, попут поновног пуњења водоносних слојева, рударске компаније успеле су да обнове делове еко-система.

Гринбушес, Аустралија:

Овај рудник литијума спровео је биолошку рекултивацију у сарадњи с локалним научним тимовима. Садња еукалиптуса и успостављање нових природних станишта допринели су брзом опоравку земљишта.

Технички аспекти рекултивације

Процес рекултивације често укључује:

Техничку санацију: стабилизација терена, уклањање токсичних материја и нивелисање



Слика 4. Минерал Јадарит, Природњачки центар Србије Свилајнац.

Фото: Shutterstock

земљишта; биолошку санацију: садња локалних биљних врста ради враћања природног еко-система; еколошки мониторинг: праћење резултата рекултивације током дужег периода како би се осигурала стабилност нових еко-система.

Изазови и трошкови

Рекултивација је веома скуп процес. Процењује се да трошкови рекултивације могу чинити до 20% укупних трошкова рударског пројекта. Упркос томе, дугорочне користи, укључујући смањење еколошких ризика и повећање квалитета живота локалних заједница, оправдавају ове трошкове.

6. Закључак

Откопавање литијума представља изазов, али и могућност за значајан економски и технолошки напредак. Уз примену одрживих пракси и поштовање свих домаћих и ЕУ прописа о заштити животне средине, као и IRMA стандарда о одговорном рударству, могуће је минимизовати еколошке, друштвене и здравствене ризике. Пројекат „Јадар“ у Србији служи као пример одговорног приступа који укључује

савремене технологије, транспарентност и сарадњу с локалним заједницама. Кроз рециклажу воде, употребу мање токсичних хемикалија, модерне вентилационе системе и рекултивацију терена, рударство литијума може постати модел за одрживи развој у индустрији. Међутим, неопходно је наставити с иновацијама и улагањем у истраживање како би се створиле нове технологије које додатно унапређују ову делатност.

References / Литература

- BIZLife (2023). Available at: <https://bizlife.rs/zemlja-sa-najvise-litijuma-na-svetu/> [In Serbian]
Envirotis Holding. Available at: <https://envirotis.eu/sr/sanacija-i-rekultivacija/napu-teni-rudnik> [In Serbian]
Marković, N. (2009). *Household waste: from problem to solution*. Beograd: OSCE [In Serbian]
RenovablesVerdes (2024). Available at: <https://sr.renovablesverdes.com/биоразградиви-материјали/> [In Serbian]
Rio Tinto (2019). Sustainable development: our approach to the „Jadar” Project. Available at: <https://www.riotinto.com/-/media/Content/Documents/Operations/Jadar/RT-Jadar-Environmental-sustainability-SR.pdf>
RTBalkan (2024). Available at: <https://rt.rs/ekonomija/101365-litijum-cene-svetske-berze-pad/> [In Serbian]
Rudarstvo.org (2024). Available at: <https://rudarstvo.org/inovacije-u-rudarstvu-kako-illumineation-menja-industriju-u-evropi/> [In Serbian]

Saša M. Jovanović

University of Priština with temporary Head Office in Kosovska Mitrovica
Faculty of Technical Sciences
Kosovska Mitrovica (Serbia)

Miloš M. Čolović

University of Priština with temporary Head Office in Kosovska Mitrovica
Faculty of Technical Sciences
Kosovska Mitrovica (Serbia)

Milica P. Tomović

University of Priština with temporary Head Office in Kosovska Mitrovica
Faculty of Technical Sciences
Kosovska Mitrovica (Serbia)

Mirsad R. Tarić

University of Priština with temporary Head Office in Kosovska Mitrovica
Faculty of Technical Sciences
Kosovska Mitrovica (Serbia)

Ognjen D. Popović

Mining institute Belgrade
Belgrade (Serbia)

Miroslav M. Majstorović

MBV Mineros d. o. o.
Paskovac (Serbia)

Risks of Lithium Ore Mining and Their Mitigation

Summary

Lithium is a key mineral for modern technology and the global energy transition. Its use in batteries for electric vehicles, smart devices, and renewable energy storage systems makes it an indispensable resource. However, the extraction process poses significant risks to the environment, local communities, and worker health. Water consumption, land degradation, pollution, and displacement of populations are among the most common challenges. The Jadar Project in Serbia represents a potential positive example of sustainable mining practices. This paper analyses the main risks and mitigation measures, including technological innovations, land reclamation, and community involvement.

Keywords: lithium, mining, mitigation measures, reclamation, environmental risks