



Верица С. Јовановић^[1]
Институт за јавно здравље Србије
„Милан Јовановић Батут“
Београд (Србија)



Игор Л. Драгичевић^[2]
Завод за јавно здравље Шабац
Шабац (Србија)

УДК 338.23:622(497.11)
502.175
Прегледни научни рад
Примљен: 17.12.2024.
Прихваћен: 24.12.2024.
doi: 10.5937/napredak5-55502

Јавноздравствени значај мониторинга површинских вода, земљишта, ваздуха и биолошког мониторинга и одрживо рударство

Сажетак: Савремени технолошки напредак у рударству укључује увођење еколошких стандарда и мера заштите, које значајно доприносе очувању природних ресурса и спречавању потенцијално штетних утицаја на животну средину омогућавајући рану идентификацију и минимизацију ризика. Рударска индустрија има значајну улогу у економском развоју друштва, док у исто време рударство подразумева примену стратегија за очување стања животне средине и здравља као императив очувања јавног здравља кроз примену савремених метода мониторинга параметара животне средине и здравственог стања становништва. Рударењем и геолошким истраживањима могу настати потенцијално токсични елементи (ПТЕ), који у одређеним концентрацијама, у различитим медијумима животне средине, представљају изазове како за животну средину, тако и за здравље људи. Мониторинг животне средине је кључна и обавезна стратегија за постизање одрживог рударства. Одрживи развој рударства кроз ефективан мониторинг воде, земљишта, ваздуха и биолошких индикатора у рударским подручјима омогућава очување еколошке равнотеже и здравља људи на територији експлоатације руда.

Кључне речи: рударство, мониторинг, површинске воде, земљиште, ваздух, биомониторинг

Увод

Рударство представља кључну индустријску грану, која значајно доприноси развоју друштва,

економије и технологије. Експлоатација минерала и метала обезбеђује неопходне ресурсе за бројне секторе, укључујући грађевинарство, производњу електронске опреме, саобраћај и

[1] verica_jovanovic@batut.org.rs ; <https://orcid.org/0000-0002-9650-0709>

[2] igordragicevic@yahoo.com ; <https://orcid.org/0000-0003-4895-3399>

обновљиве изворе енергије. Ова индустрија такође подстиче технолошке иновације и развој инфраструктуре, чиме доприноси модернизацији друштва. С обзиром на значај очувања природних ресурса и заштите животне средине, активности у рударству одвијају се уз примену најсавременијих регулатива и мера које осигуравају одрживост, а укључују мере заштите животне средине, здравља популације и безбедности и здравља запослених у овој индустрији. Надлежне институције и различити сектори, укључујући различита министарства, активно доприносе интеграцији еколошки одговорних пракси у свим фазама рударских процеса. Овим приступом тежи се постизању баланса између економског развоја и очувања природних еко-система, што доприноси дугорочном очувању здравља становништва и животне средине. Захваљујући оваквом приступу, рударство остаје незаменљиво за дугорочни економски и технолошки напредак, али захтева континуирани мониторинг животне средине.

Јавноздравствени аспект у рударству односи се на идентификацију, праћење и управљање здравственим ризицима повезаним с рударским активностима да би се очували животна средина и здравље људи. Ово обухвата процену утицаја рударских процеса на квалитет површинских вода, земљишта и ваздуха применом интегрисаних система мониторинга. У ширем смислу, мониторинг је неопходан у многим дисциплинама, од заштите животне средине и индустрије до здравства и јавних политика, јер омогућава доношење одлука на основу поузданих података. Мониторинг се дефинише као континуирани процес надгледања, посматрања и прикупља-

ња података о одређеном процесу или стању са циљем доношења релевантних закључака (Кнежевић, et al., 2015). Неки од начина контролisaња утицаја рударства на животну средину, значајни за јавно здравље, јесу мониторинг животне средине у ширем смислу, мониторинг земљишта, мониторинг вода, мониторинг ваздуха и биолошки мониторинг.

Мониторинг животне средине у ширем смислу јесте систематски процес који укључује прикупљање и анализу података о одабраним параметрима који карактеришу стање животне средине са циљем благовремене детекције промена, доношења одлука и спречавања негативних утицаја на животну средину (Ehlers & Kastler, 2009; European Comission [EC] 2003). Јавноздравствени значај као приоритет на територији Републике Србије заснива се на мониторингу параметара животне средине као што су квалитет воде, земљишта, ваздуха и мониторингу биолошких параметара. Приликом планирања мониторинга животне средине и одабира параметара за праћење треба узети у обзир својства животне средине и потенцијалне хазарде, извор, простирање и промене хазарда у животној средини и потенцијалне рецепијенте. Приликом експлоатације руде, а посебно металних руда, један од предвиђених хазарда јесте ослобађање метала и металоида који спадају у групу потенцијално токсичних елемената (potentially toxic elements – PTE). Методе и параметри у мониторингу потенцијално токсичних елемената биће условљени пре свега медијумом (земљиште, вода, ваздух или биолошки материјал) у којем се прате потенцијално загађујуће супстанце. При томе треба имати у виду да се

одвија стална размена супстанци између воде, седимената, земљишта, ваздуха и живих организама, те се у план мониторинга мора укључити сваки од споменутих медијума (Nieder, 2024).

Мониторинг квалитета вода, земљишта и ваздуха у рударским подручјима значајан је елемент јавноздравствених стратегија, које утичу на очување животне средине и здравља становништва у оквиру мултидисциплинарног приступа праћења фактора ризика по људско здравље. Осим наведених врста мониторинга, издваја се биолошки мониторинг, који је као додатна метода значајан за оцену кумулативног потенцијалног дејства ризика пореклом из процеса експлоатације руда на животну средину и евентуалних утицаја на људско здравље.

Циљ овог рада је сагледавање кључних елемената и метода мониторинга животне средине (површинских вода, ваздуха, земљишта) са циљем очувања јавног здравља у Србији, укључујући и евентуално методе биолошког мониторинга у рударским подручјима и њихову примену у процени ризика по људско здравље.

Прописи који уређују процес мониторинга животне средине у контексту рударских активности

Процес мониторинга животне средине у Републици Србији у контексту рударских активности уређен је низом закона, подзаконских аката и

Јавноздравствени аспект у рударству односи се на идентификацију, праћење и управљање здравственим ризицима повезаним с рударским активностима да би се очували животна средина и здравље људи.

правилника, који су усклађени с међународним стандардима и директивама Европске уније (ЕУ). Кључни прописи укључују Закон о заштити животне средине („Службени гласник РС“, бр. 135/04, 36/09, 36/09 – др. закон, 72/09 – др. закон, 43/11 – УС, 14/16, 76/18, 95/18 – др. закон, 94/24 – др. закон), који дефинише обавезе мониторинга квалитета ваздуха, воде, земљишта и биодиверзитета, као и поступке процене утицаја на животну средину и стратешке процене утицаја. Закон о рударству и геолошким истраживањима („Службени гласник РС“, бр.

101/15, 95/18 – др. закон и 40/21) обавезује на надзор и санацију животне средине током и након експлоатације минералних сировина, уз израду студија о утицају на животну средину. Закон о

водама („Службени гласник РС“, бр. 30/10, 93/12, 101/16, 95/18, 95/18 – др. закон) регулише заштиту и одрживо коришћење водних ресурса, укључујући редовно праћење квалитета површинских и подземних вода у близини рударских објеката.

Закон о процени утицаја на животну средину („Службени гласник РС“, број 94/24) прописује поступке процене утицаја пројеката на животну средину, укључујући примену јавних расправа, закључке стручних тела и континуирани мониторинг током реализације пројеката. Закон о управљању отпадом („Службени гласник РС“, бр. 36/09, 88/10, 14/16, 95/18 – др. закон и 35/23) уређује управљање рударским отпадом и мониторинг потенцијалног загађења из јаловишта и других отпадних материјала.

Република Србија хармонизује своје прописе у овој области с директивама ЕУ, што омогућава примену највиших стандарда заштите животне средине у области рударства. Кључне институције које налажу спровођење мониторинга јесу Агенција за заштиту животне средине, Министарство заштите животне средине и Инспекција за заштиту животне средине уколико прописи Републике Србије то налажу.

Примена законских одредаба у области мониторинга доприноси смањењу потенцијално негативног утицаја рударских активности на животну средину и здравље становништва, омогућава правовремену идентификацију и отклањање потенцијалних ризика и подржава одрживи развој и заштиту природних ресурса.

Закон о јавном здрављу РС („Службени гласник РС“, број 15/16) дефинише као кључну обавезу државе очување јавног здравља и примену свих стратегија мониторинга животне средине ради њеног очувања.

Елементи мониторинга животне средине

Мониторинг животне средине заснива се на праћењу задатих параметара, који могу бити квалитативни или чешће квантитативни. У мониторингу животне средине најчешће се прате, хемијски, физичко-хемијски и биолошки параметри. Претходно дефинисани параметри могу се мерити или одређивати *in situ* или узорковањем и накнадним одређивањем. У зависности од природе параметара, њихова вредност се може мерити континуирано или интермитентно

(Rupren, 2021). У плану мониторинга неопходно је дефинисати: географско подручје на којем се врши мониторинг; параметре који се прате и средину (медијум); план и начин директног мерења или узорковања; услове чувања и транспорта узорака; обраду узорака; анализу узорака; план обраде података; план анализе података, начин приказивања и дисеминације резултата.

У процесу мониторинга животне средине треба обезбедити и планом предвидети израду стандардних протокола за сваку фазу мониторинга; обуку особља које ће изводити мониторинг; логистичке услове за примену мониторинга, као и одговарајућу акредитацију и сертификацију институција које спроводе мониторинг (ЕС, 2003; Modoi, 2014).

Мониторинг површинских вода, земљишта и ваздуха

Наведене врсте мониторинга кључне су за очување јавног здравља. Очување јавног здравља подразумева заштиту животне средине, али и очување здравља становништва. Прецизно дефинисање испитиваног подручја и његових карактеристика неопходно је за ефикасно спровођење наведених мониторинга (Lored et al., 2010). Дефинисање географског подручја подразумева познавање његове величине и тачног положаја. Такође, за мониторинг површинских вода потребно је мапирање читавог слива, укључујући и притоке водних тела која се налазе на рударском подручју (Wei et al., 2018). Осим тога, треба одредити положај делова водних тела у односу на места/подручја вађења и пре-

раде руде, као и одлагања отпада, и дефинисати који се делови налазе узводно, а који низводно од ових места (Modoi, 2014, Jiménez-Oyola et al., 2023; Ruppen, et al., 2021).

За стручно спроведен мониторинг вода веома је значајно познавање састава и структуре стена и земљишта, као и јаловина, пре свега због њихове потенцијалне интеракције с површинским водама. Јаловине су споредни производ процеса рударства, тј. експлоатације и прераде руда у облику течног муља, односно суспензија. Треба истаћи да хемијски састав суспендованих честица зависи од састава руде, стена и земљишта, као и хемикалија коришћених за прераду руде. Из наведеног разлога особине јаловине зависе од њиховог састава, киселости, салинитета, расподеле величине честица, садржаја чврсте материје и конзистенције (Gorakhki & Bareither, 2016; Wang et al., 2014). Пратећи ток експлоатације руде јесте одговорно управљање генерисаним отпадом. Веома значајна превентивна пракса у заштити животне средине јесте правилно управљање отпадом насталим током експлоатације руде што је императивна радња у одрживом рударству.

Треба истаћи, такође, да у опис карактеристика испитиваног подручја рударства улазе и климатолошки подаци, пре свега просечна годишња температура, количина падавина и сезонски распоред падавина (Loredo et al., 2010). Количина падавина утиче на биогеохемијске процесе у земљишту и током дужих сушних периода може доћи до снижавања киселости земљишта и додатне мобилизације ПТЕ и њиховог преласка у воду (Modoi et al., 2014). За квалитетно спровођење мониторинга вода значајан

параметар је и брзина протока у текућим водама која је такође уско повезана с климатским параметрима (Nordstrom, 2011).

У мониторингу квалитета површинских вода у рударским подручјима прати се, пре свега, концентрација супстанци од интереса за одређену врсту рудника. Дефинисани параметри прате се интермитентно, узорковањем воде и накнадном анализом узорака. Такође, параметри, као што су рН и електрична проводљивост, прате се *in situ*, односно директним мерењем, при чему се могу пратити или интермитентно или континуирано, постављањем одговарајућих сензора и система за аутоматско бележење резултата мерења (Ruppen et al., 2021). За процес мониторинга површинских вода увек треба дефинисати тачна места узорковања (мрежу места узорковања), време и учесталост узимања узорака (календар узорковања) као и контролу квалитета узорковања (Behmel et al., 2016; Jiang et al., 2020).

Приликом израде плана за мониторинг земљишта треба одредити тип земљишта према величини честица (песковито, муљевито или глиновито), што представља први корак у анализи. Такође, изузетно значајно за мониторинг земљишта јесте и праћење киселости земљишта, уз истовремено испитивање хемијског састава, укључујући садржај органских материја које значајно утичу на особине земљишта у спровођењу мониторинга земљишта. Посебну пажњу треба посветити садржају и облицима елемената као што су алуминијум (Al), гвожђе (Fe) и манган (Mn), јер њихови оксиди често служе као центри за копреципитацију других елемената, што може указати на њихово понашање у

земљишту (Rinklebe et al., 2019). Важно је знати да на токсичност, мобилност и биолошку расположивост ПТЕ утиче и њихов облик, односно специјација, која зависи од биогеохемијских процеса у земљишту који, осим од рН вредности, зависе од бројних параметара, укључујући и неке елементе који потичу од активности микроорганизама (Frohne et al., 2014; Ponting et al., 2021).

Према Ринклебе и сарадницима, приликом планирања узорковања, осим дефинисања места и времена, неопходно је познавање профила земљишта и дефинисање дубине с које се узима узорак (Rinklebe et al., 2019). Такође, Нидер и Бенби наводе да су концентрације елемената у честицама земљишта у сталној равнотежи с водом која се налази у порама земљишта, чиме постају доступни живим организмима (Nieder & Benbi, 2023). Због овакве динамике ПТЕ између земљишта и воде треба мапирати хидролошке карактеристике подручја, као и евидентирати потенцијално плавна подручја (Ponting et al., 2021). Према доступној литератури иновације у мониторингу земљишта условљене су све бржим развојем сензора и њиховом применом. Међутим, тренутно су узорковање и накнадна анализа узорака и даље методе које се рутински примењују.

Главни изазови повезани с рударском индустријом односе се на депоније рударског отпада које могу утицати на животну средину. Због своје хемијске природе, која укључује недостатак хранљивих материја и високу концентрацију метала и металоида, рударска одлагалишта (депонија) могу потенцијално негативно утицати на животну средину због чега су безбедносне мере у процесу управљања отпадом изузетно значајне.

Један од ефеката рударских активности јесте деградација земљишта, која се посебно испољава у близини рударских локација (Ali et al., 2021). У овим подручјима тло може потенцијално бити контаминирано тешким металима и металоидима, па се овакве појаве обавезно превенирају. Савремене методе одлагања рударског отпада укључују раздвајање фракција, као и згушњавање, исушивање и компримовање јаловине (отпада), чиме се могу смањити потенцијални утицаји рударског отпада на животну средину (Furnell et al., 2022; Onifade et al., 2024).

Према Закону о заштити ваздуха („Службени гласник РС“, бр. 36/09, 10/13 и 26/21 – др. закон) да би се обезбедило ефикасно управљање квалитетом ваздуха, успоставља се интегрисани систем за праћење и контролу нивоа загађења, као и за вођење базе података о стању квалитета ваздуха, познат као мониторинг квалитета ваздуха.

Мониторинг квалитета ваздуха представља један од кључних инструмената, чија примена доприноси очувању здравља становништва и заштити животне средине. Ова пракса је посебно важна у рударским подручјима где индустријске активности могу значајно утицати на концентрацију загађујућих материја у ваздуху. Системом мониторинга квалитета ваздуха успоставља се државна и локална мрежа мерних станица и/или мерних места за фиксна мерења квалитета ваздуха. Рударске активности сврставају се међу најзначајније људске делатности које могу допринети емисији прашине и аеросола у зависности од типа рудника, захватају велике површине на глобалном нивоу и укључују присуство потенцијално токсичних елемената

(ПТЕ) (Csavina et al., 2012). Значај мониторинга ваздуха огледа се у правовременом откривању повећаних концентрација загађујућих супстанци, што омогућава брзе интервенције и доношење мера за заштиту становништва. Посебно је важно нагласити да редовно праћење квалитета ваздуха омогућава процену дугорочних трендова, чиме се доприноси стратешком планирању и унапређењу јавног здравља у Србији.

Биолошки мониторинг и рударство

Биолошки мониторинг представља метод праћења концентрације одређених параметара и важан је приступ за процену утицаја загађивача, као што су потенцијално токсични метали и металоиди, на људско здравље и животну средину у рударским областима. Рударске активности често доводе до ослобађања потенцијално токсичних елемената (ПТЕ), као што су арсен (As), кадмијум (Cd), олово (Pb), али и сребро (Ag), жива (Hg) и цинк (Zn) (Rakete et al., 2021). Коришћење биолошког мониторинга омогућава идентификацију присутности метала и металоида и процену нивоа изложености живих организама.

Биомониторинг представља трајно, дугорочно или периодично праћење, процену биолошких и еколошких промена (параметара) уз коришћење специфичних методолошких

Данас, у Републици Србији, у складу с прописима, наведене врсте мониторинга у рударским подручјима јесу кључне заштитне стратегије за очување животне средине и јавног здравља у целини.

приступа (Hirvonen, 2008). Такође, биолошки мониторинг је примена живих организама као биоиндикатора промена у животној средини

у простору и времену. Појам „биоиндикатори“ први пут је увео Клементс 1920. године да би означио организме који својим присуством на одређеном станишту указују на еколошке ус-

лове тог станишта. Биолошки мониторинг се из методолошких разлога дели на различите категорије у зависности од типа животне средине у којој се прате промене, а то су: мониторинг ваздуха (где се као биоиндикатори користе лишјајеви и маховине); мониторинг водене средине (с биоиндикаторима као што су алге, бактерије, рибе и други организми који указују на промене у стању воде); и мониторинг земљишта (где се као биоиндикатори користе више биљке, односно вегетација) (Metcalf, 1989).

Такође, повремено и најчешће пројектног типа, спроводе се и анализе биолошких узорака у хуманој популацији. За овакве методе потребне су посебне сагласности испитаника или постојање законске регулативе. У тим случајевима на основу анализираних биолошких узорака као што су крв, урин, коса или пљувачка у хуманој популацији могуће је пратити кумулативни утицај ових контаминаната на здравље популације, али и на еко-системе који се налазе у непосредној близини рударских подручја (Molina-Villalba et al., 2015; Rakete et al., 2021).

Према Нагајоти, тешки метали и металоиди присутни у земљи не могу се разградити због

своје постојаности и стабилности, већ се биоакумулирају и тиме постепено доспевају у биљке, животиње и људе преко ваздуха, воде и ланца исхране (Nagajyoti, 2010). Арсен, кадмијум, шестовалентни хром, бакар, олово, метил-жива, никл, цинк јесу тешки метали који имају способност биоаккумуляције (U. S. Environmental Protection Agency [EPA], 2000). Такође, према подацима Агенције за заштиту животне средине (ЕПА) процес биоаккумуляције праћен је и процесом биомагнификације, где се концентрације штетних супстанци повећавају како се крећу ка врху ланаца исхране, а најугроженији су предатори на врху ланца због конзумирања великих количина згађених организама (ЕПА, 2021). Фактори биомагнификације представљају однос концентрације метала у телу предатора у поређењу с пленом, чиме се јасно прати како метали пролазе кроз ланац исхране и повећавају концентрације у организму предатора (Ciesielski et al., 2006).

У контексту површинских вода и земљишта у рударским регионима, биолошки мониторинг се користи за идентификацију извора загађења и процену његових дугорочних ефеката (Costa & Teixeira, 2014). Специфични организми, као што су рибе, биљке и микроорганизми, познати као биоиндикатори, омогућавају рано препознавање загађења у води и присуства загађујућих супстанци, што помаже у процени његових последица на стабилност еко-система (Сакај et al., 2024; Chovanec et al., 2003).

Биолошки мониторинг се такође, али веома ретко, користи и за процену изложености локалног становништва, нарочито у подручјима где се обављају рударске активности, које потенцијално могу довести до повећане концентрације ПТЕ

у околину, за процену здравствених ризика како за раднике у рудницама, тако и за локално становништво (Michalak & Chojnaska, 2014). Коришћење биолошког мониторинга у рударским областима доприноси бољем разумевању еколошких и здравствених ризика повезаних с потенцијално токсичним елементима, чиме се омогућава ефикаснији мониторинг животне средине (ЕПА, 2022). Оваква примена наведеног мониторинга спроводи се спорадично.

Одрживи развој рударства и мере заштите животне средине и здравља становништва

Према литератури, са аспекта јавноздравствене анализе постоје две основне методе експлоатације руда: површинска и подземна.

Површинска експлоатација руда, према литератури, даје већу ефикасност и безбедност, али потенцијално може да наруши балансе у животnoj средини. Подземна експлоатација руде еколошки је прихватљивија (Sahu et al., 2015).

Имајући у виду до сада наведене чињенице у вези с мониторингом у различитим медијима, већина аутора дефинише одрживо рударство или одрживи развој рударства као праксу која постиже равнотежу између економских, еколошких и друштвених фактора (Laurence, 2011). Закључује се да одрживи развој рударства подразумева постизање баланса између економске исплативости, техничке изводљивости, еколошке одговорности и друштвеног утицаја, уз фокус на интеграцију концепта одрживости у стратегије доношења одлука (Pavan Kumar, 2014). Минимизирање утицаја

на животну средину у свим фазама животног циклуса рудника кључно је за подршку одрживом развоју рударства, што се постиже ефикасним управљањем животном средином (Hilson & Murck, 2000). Према Лоренсу, безбедност се у рударству постиже кроз одговорно управљање ризицима, ефикасне системе мониторинга и извештавања, сталну едукацију, обуку и унапређење капацитета људства запосленог у рударству, али и опреме и радних процеса (Laurence, 2005). Све наведене активности представљају мере које доприносе заштити животне средине и здравља становништва, чиме се обезбеђује дугорочна одрживост рударских пројеката.

Пре почетка рада рудника, као прва и најзначајнија мера, спроводи се студија процене утицаја на животну средину која се примењује на пројекте у индустрији, рударству, енергетици, саобраћају, туризму, пољопривреди, шумарству, водопривреди, управљању отпадом, комуналним делатностима, као и за пројекте у заштићеним природним и културним добрима. Према Закону о процени утицаја на животну средину („Службени гласник РС“, бр. 135/04 и 36/09), студија о процени утицаја на животну средину анализира квалитет животне средине, осетљивост на одређеном простору, утицаје постојећих и планираних активности, као и мере за спречавање штетних ефеката на животну средину и људско здравље. Пре отварања рудника, примењује се пракса да је компанија која иницира отварање и рад рудника у обавези да осигура да ће у наведеној студији бити детаљно обрађени и приказани сви потенцијални кумулативни утицаји пројекта на животну средину. Још важније, за сваки од детектованих потенцијалних утицаја неопходно

је таксативно навести мере за њихову минимизацију, као и планове мониторинга за различите медијуме. Мониторинг како животне средине, тако и здравственог стања становништва представља кључне аспекте у одрживом рударству, где треба обезбедити редовност спровођења, континуитет како би се благовремено идентификовали и минимизирали потенцијални негативни утицаји на животну средину и здравље људи.

Унапређење безбедности и одрживости у рударству – савремене праксе

| 103

Током последњих година глобално пажња у рударству усмерена је на унапређење правних оквира, који регулишу безбедност у рударском сектору. Овај напредак је резултат сарадње влада и међународних организација, које су свесне потреба за модерним приступом решавању нових изазова и смањењу негативних последица рударских активности на животну средину и људско здравље.

Међународни савет за рударство и метале (ICMM) представља једну од важних иницијатива и окупља водеће светске компаније у сектору рударства и металургије. Њихов сет основних принципа пословања промовише одговорно пословање у рударству, еколошку одрживост и сигурност радника (International Council on Mining & Metals [ICMM], 2024). Последњих година тренд у свету јесте унапређење законодавства у области рударства. Евидентира се да се на националном нивоу бројне земље унапређују законодавство да би одговориле на локалне специфичности и изазове унутар рударске индустрије.

У пракси, компаније у рударском сектору примењују различите мере за обезбеђивање безбедног радног окружења. Наведено обухвата квалитетне програме обуке за едуковање радника о ризицима посла у рударству и заштитним и превентивним мерама, примену савремених технологија за аутоматизацију и мониторинг услова рада у рудницима, као и употребу личне заштитне опреме (Arbak, 2015; Agboola et al., 2020; Kursunoglu et al., 2022). Осим наведеног, креирање ефикасних планова за реаговање у хитним ситуацијама и континуирано праћење здравственог стања радника помажу у превенцији и правовременом лечењу уколико је потребно. Веома значајна карактеристика одговорног пословања у области рударства јесте и унапређење информисања заједнице. Укључивање локалне заједнице у процесе доношења одлука такође има велики значај и овакво поступање компанија које управљају рудником ствара поверење и развија могућности сарадње између компанија и заједница.

Пратећи развој рударства, али и метода мониторинга различитих параметара животне средине, континуирани напредак технологија које се у наведеној индустрији примењују, интеграција напредних технологија, попут вештачке интелигенције и роботике, заједно смањује степен излагања радника опасностима и оптимизује безбедносне стандарде (Hyder et al., 2019). Истовремено, глобални тренд ка одрживим праксама у рударству захтева смањење потенцијално негативних утицаја на животну средину (Gorman & Dzombak, 2018). У светлу све веће потражње за ресурсима, рударска индустрија имаће обавезе да балансира између одрживости ове гране, заштите здравља радника и тржишних потреба.

Закључак

Одговорно управљање рударским активностима, посебно у контексту потенцијалних пројеката који се спроводе у свету, али и на територији Републике Србије, захтева свеобухватан приступ који укључује примену најсавременијих одрживих технолошких решења у рударству, примену мера заштите животне средине и транспарентно учешће свих заинтересованих страна у постизању одговорног управљања рударским активностима. Свеобухватан приступ подразумева примену модерних технологија, унапређење регулативе и јачање сарадње између држава и компанија које изводе послове у наведеној индустрији. Овакав приступ је кључ за постизање одговорног рударства, које је безбедно за раднике, становништво и животну средину. Примена најбољих доступних техника за управљање отпадом, пречишћавање воде и контролу емисија ПТЕ у подручјима рада рудника омогућава минимизацију њиховог потенцијално негативног утицаја на животну средину и здравље становништва. Континуирани мониторинг животне средине и укључивање локалних заједница у праћење информација у вези с радом рудника доприноси унапређењу информисаности становништва о примењеним технологијама и безбедносним мерама.

Интеграција мултисекторске сарадње између државних институција, научних организација и цивилног сектора и локалних самоуправа доприноси ефикаснијем решавању изазова или непредвиђених догађаја у вези с рударством, уз придржавање домаћих и европских стандарда

у рударству и заштити животне средине. Осим техничких мера, подизање степена информисаности и свести становништва, али и информисаности запослених у овој индустрији, има

значајну улогу у постизању одрживости рударства и очувању природних ресурса и безбедне животне средине.

References/Литература

- Agboola, O., Babatunde, D. E., Isaac Fayomi, O. S., Sadiku, E. R., Popoola, P., Moropeng, L., Yahaya, A., & Mamudu, O. A. (2020). A review on the impact of mining operation: Monitoring, assessment and management. *Results in Engineering*, 8, 100181. doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100181
- Ali, B., Loubna, B., & Leila, B. (2021). Impacts of mining activities on soil properties: case studies from Morocco mine sites. *Soil Science Annual*, 71 (4), 395–407. doi.org/10.37501/soilsa/133011
- Arbak, P. (2015). Precautions for the Prevention of Mine Accidents and Related Respiratory Emergencies. *Turkish Thoracic Journal / Türk Toraks Dergisi*, 16 (1), 25–26. doi.org/10.5152/ttd.2015.007
- Behmel, S., Damour, M., Ludwig, R., & Rodriguez, M. J. (2016). Water quality monitoring strategies - A review and future perspectives. *The Science of the total environment*, 571, 1312–1329. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.235
- Cakaj, A., Drzewiecka, K., Hanć, A., Lisiak-Zielińska, M., Ciszewska, L., & Drapikowska, M. (2024). Plants as effective bioindicators for heavy metal pollution monitoring. *Environmental Research*, 256, 119222. doi.org/10.1016/j.envres.2024.119222
- Chovanec, A., Hofer, R., & Schiemer, F. (2003). Chapter 18 Fish as bioindicators. *Trace Metals and Other Contaminants in the Environment*, 639–676. doi.org/10.1016/s0927-5215(03)80148-0
- Ciesielski, T., Pastukhov, M. V., Fodor, P., Bertenyi, Z., Namieśnik, J., & Szefer, P. (2006). Relationships and bioaccumulation of chemical elements in the Baikal seal (*Phoca sibirica*). *Environmental Pollution*, 139 (2), 372–384. doi.org/10.1016/j.envpol.2004.12.040
- Costa, C., Teixeira, J. P. (2014). Biomonitoring. *Encyclopedia of Toxicology*. doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.01000-9
- Csavina, J., Field, J., Taylor, M. P., Gao, S., Landázuri, A., Betterton, E. A., & Sáez, A. E. (2012). A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations. *Science of the Total Environment*, 433, 58–73. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.013
- Ehlers, M., Kastler, T. (2009). Environmental monitoring. In: Bullinger, H. J. (ed.), *Technology Guide*. Berlin, Heidelberg: Springer. doi.org/10.1007/978-3-540-88546-7_71
- European Commision. (2003). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on the General Principles of Monitoring. Available at: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-03/superseded_mon_bref_0703.pdf

- Frohne, T., Rinklebe, J., & Diaz-Bone, R. A. (2014). Contamination of Floodplain Soils along the Wupper River, Germany, with As, Co, Cu, Ni, Sb, and Zn and the Impact of Pre-definite Redox Variations on the Mobility of These Elements. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 23 (7), 779–799. doi.org/10.1080/15320383.2014.872597
- Furnell, E., Bilaniuk, K., Goldbaum, M., Shoaib, M., Wani, O., Tian, X., Chen, Z., Boucher, D., & Bobicki E.R. (2022). Dewatered and Stacked Mine Tailings: A Review. *ACS ES & T Engineering*, 2 (5), 728–745. doi.org/10.1021/acsestengg.1c00480
- Gorakhki, M. R. H., & Bareither, C. A. (2016). Effects of Salinity on the Geotechnical Characterization of Fine-Grained Soils and Mine Tailings. *Geotechnical Testing Journal*, 39 (1), 45–58. doi.org/10.1520/GTJ20140283
- Gorman, M. R., & Dzombak, D. A. (2018). A review of sustainable mining and resource management: Transitioning from the life cycle of the mine to the life cycle of the mineral. *Resources, Conservation and Recycling*, 137, 281–291. doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.001
- Hilson, G., & Murck, B. (2000). Sustainable development in the mining industry: clarifying the corporate perspective. *Resources Policy*, 26 (4), 227–238. doi.org/10.1016/s0301-4207(00)00041-6
- Hirvonen, A. (2008). *Biomonitoring*. Springer EBooks, 355–58. doi.org/10.1007/978-3-540-47648-1_643
- Hyder, Z., Siau, K., & Nah, F. (2019). Artificial Intelligence, Machine Learning, and Autonomous Technologies in Mining Industry. *Journal of Database Management*, 30 (2), 67–79. doi.org/10.4018/jdm.2019040104
- International Council on Mining & Metals. (2024). Mining principles: Performance expectations for environmental, social and governance practices. Available at: <https://pimcore.icmm.com/website/publications/pdfs/mining-principles/mining-principles.pdf?cb=59962>
- Jiménez-Oyola, S., Valverde-Armas, P.E., Romero-Crespo, P. et al. (2023). Heavy metal(loid)s contamination in water and sediments in a mining area in Ecuador: a comprehensive assessment for drinking water quality and human health risk. *Environ Geochem Health*, 45, 4929–4949. doi.org/10.1007/s10653-023-01546-3
- Jiang, J., Tang, S., Han, D., Fu, G., Solomatine, D., & Zheng, Y. A. (2020). Comprehensive review on the design and optimization of surface water quality monitoring networks. *Environmental Modelling & Software*, 132, 104792
- Knežević, D., Nišić, D., Cvjetić, A., Randelović, D., Sekulić, Z. (2015). *Monitoring in the environment - Selected chapters*. Beograd: Univerzitet u Beogradu – Rudarsko geološki fakultet. [In Serbian]
- Kursunoglu, N., Onder, S., & Onder, M. (2022). Evaluation of Personal Protective Equipment Usage Habit of Mining Employees Using Structural Equation Modeling. *Safety and Health at Work*, 13 (2). doi.org/10.1016/j.shaw.2022.03.004
- Laurence, D. (2005). Safety rules and regulations on mine sites – The problem and a solution. *Journal of Safety Research*, 36(1), 39–50. doi.org/10.1016/j.jsr.2004.11.004
- Laurence, D. (2011). Establishing a sustainable mining operation: an overview. *Journal of Cleaner Production*, 19 (2–3), 278–284. doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.08.019
- Loredo, J., Petit-Domínguez, M. D., Ordóñez, A., Galán M. P., Fernández-Martínez, R., Alvarez, R., & Rucandio M. I. (2010). Surface water monitoring in the mercury mining district of Asturias (Spain). *Journal of Hazardous Materials*, 176, 323–332. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.11.031
- Metcalf, J. L. (1989). Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe. *Environmental Pollution*, 60 (1–2), 101–139. doi.org/10.1016/0269-7491(89)90223-6

- Michalak, I., Chojnacka, K. (2014). Effluent Biomonitoring. *Encyclopedia of Toxicology*. doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.01008-3
- Modoi, O.-C., Roba, C., Török Z., & Ozunu A. (2014). Environmental risks due to heavy metal pollution of water resulted from mining wastes in northwest Romania. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13 (9), 2325–2336. <http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/>
- Molina-Villalba, I., Lacasaña, M., Rodríguez-Barranco, M., Hernández, A. F., Gonzalez-Alzaga, B., Aguilar-Garduño, C., & Gil, F. (2015). Biomonitoring of arsenic, cadmium, lead, manganese and mercury in urine and hair of children living near mining and industrial areas. *Chemosphere*, 124, 83–91. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.11.016
- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 8 (3), 199–216. doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8
- Nieder, R., & Benbi, D. (2024). Potentially toxic elements in the environment – a review of sources, sinks, pathways and mitigation measures. *Reviews on Environmental Health*, 39 (3), 561–575. doi.org/10.1515/reveh-2022-0161
- Nordstrom, D.K. (2011). Hydrogeochemical processes governing the origin, transport and fate of major and trace elements from mine wastes and mineralized rock to surface water. *Applied Geochemistry*, 26, 1777–179. doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.06.002
- Onifade, M., Zvarivadza, T., Adebisi, J. A., Said, K. O., Dayo-Olupona, O., Lawal, A. I., & Khandelwal, M. (2004). Advancing toward sustainability: The emergence of green mining technologies and practices. *Green and Smart Mining Engineering*, 1 (2), 157–174. doi.org/10.1016/j.gsme.2024.05.005
- Pavan Kumar, N. (2014). Review on Sustainable Mining Practices. International Research. *Journal of Earth Sciences*, 2 (10), 26–29. Available at: https://www.isca.me/EARTH_SCI/Archive/v2/i10/4.ISCA-IRJES-2014-030.pdf
- Ponting, J., Kelly, T.J., Verhoef, A., Watts, M.J., Sizmur, T. (2021). The impact of increased flooding occurrence on the mobility of potentially toxic elements in floodplain soil – A review. *Science of The Total Environment*, 754, 142040
- Rakete, S., Moonga, G., Wahl, A.-M., Mambrey, V., Shoko, D., Moyo, D., Muteti-Fana, S., Tobollik, M., Steckling-Muschack, N., & Bose-O'Reilly, S. (2021). Biomonitoring of arsenic, cadmium and lead in two artisanal and small-scale gold mining areas in Zimbabwe. *Environmental Science and Pollution Research*. doi.org/10.1007/s11356-021-15940-w
- Rinklebe, J., Antoniadis, V., Shaheen, S. M., Rosche, O., & Altermann, M. (2019). Health risk assessment of potentially toxic elements in soils along the Central Elbe River, Germany. *Environment international*, 126, 76–88. doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.011
- Ruppen, D., Chituri Owen, A., Meck Maideyi, L., Pfenninge, N., & Wehrli, B. (2021). Community-Based Monitoring Detects Sources and Risks of Mining-Related Water Pollution in Zimbabwe. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 754540. doi.org/10.3389/fenvs.2021.754540
- Sahu, H. B., Prakash, N., & Jayanthu, S. (2015). Underground Mining for Meeting Environmental Concerns – A Strategic Approach for Sustainable Mining in Future. *Procedia Earth and Planetary Science*, 11, 232–241. doi.org/10.1016/j.proeps.2015.06.030
- U.S. Environmental Protection Agency. (2000, February). Bioaccumulation testing and interpretation for the purpose of sediment quality assessment: Status and needs (Table 4-2). Available at: <https://archive.epa.gov/water/archive/polwaste/web/pdf/bioaccum.pdf>

- U. S. Environmental Protection Agency. (2021). Toxics in the food web. Available at: <https://www.epa.gov/salish-sea/toxics-food-web>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2022). Introduction to biomonitoring topics. Available at: https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-10/biomonitoring_intro.pdf
- Wang, C., Harbottle, D., Liu, Q., & Xu, Z. (2014). Current state of fine mineral tailings treatment: A critical review on theory and practice. *Minerals Engineering*, 58, 113–131. doi.org/10.1016/j.mineng.2014.01.018
- Wei, W., Ma, R., Sun, Z., Zhou, A., Bu, J., Long, X., & Liu, Y. (2018). Effects of Mining Activities on the Release of Heavy Metals (HMs) in a Typical Mountain Headwater Region, the Qinghai-Tibet Plateau in China. *International journal of environmental research and public health*, 15 (9): 1987. doi.org/10.3390/ijerph15091987
-

Verica S. Jovanović

Institute of Public Health of Serbia “Milan Jovanović Batut”
Belgrade (Serbia)

Igor L. Dragičević

Public Health Institute of Šabac
Šabac (Serbia)

The Public Health Importance of Monitoring Surface Water, Soil, Air, and Biological Monitoring, and Sustainable Mining

Summary

Modern technological advancements in mining involve the implementation of environmental standards and protective measures that significantly contribute to preserving natural resources and preventing potentially harmful impacts on the environment. These advancements enable early identification and minimisation of risks. The mining industry plays a vital role in the economic development of society while simultaneously adhering to strategies for environmental preservation and public health protection. This is achieved through modern methods for monitoring environmental parameters and population health. Mining and geological exploration may lead to the presence of potentially toxic elements (PTEs), which in certain concentrations across various environmental media pose challenges to both the environment and human health. Environmental monitoring is a crucial strategy for achieving sustainable mining. Sustainable mining development through effective monitoring of water, soil, air, and biological indicators in mining areas ensures the preservation of ecological balance and public health in regions where mineral exploitation occurs.

Keywords: mining, monitoring, surface water, soil, air, bio-monitoring