

ДОПРИНОС РАЗУМЕВАЊУ УТИЦАЈА ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ УГЉА НА ВОДНЕ РЕСУРСЕ

Тамара Маричић¹

¹ *Институт за архитектуру и урбанизам Србије, Булевар краља Александра 73/II, Београд*
e-mail: tamara@iaus.ac.rs

Извод: Угаљ представља доминантан извор електричне енергије у свету и у Србији. Рударење угља има бројне значајне негативне утицаје на водне ресурсе, који укључују: промене хидролошког режима (пресецање или измештање водотока), промене хидрогеолошког режима (снижавање нивоа подземних вода и издашности издани у окружењу) и погоршање квалитета (загађење због инфилтрације или директног уливања загађених рудничких вода) подземних и површинских вода. Ови утицаји могу бити директни и индиректни, примарни, секундарни и ванредни. Посебну пажњу треба посветити санацији и ремедијацији рудника након затварања, као и мониторингу квалитета околних водних тела.

Поред анализе различитих аспеката утицаја рударења угља на водне ресурсе, у раду ће се дискутовати и о могућим мерама заштите које је неопходно применити ради превенције или умањења очекиваних негативних утицаја експлоатације. Притом ће бити коментарисани неки примери рудника угља у Србији.

Кључне речи: рударство, угаљ, заштита, водни ресурси, Србија.

Abstract: Coal is the dominant source of electricity in the world and in Serbia. Coal mining has multiple adverse impacts on water resources including: alterations in the hydrological regime (cutoff or watercourse displacement), alterations in the hydrogeological regime (lowering of groundwater levels and yields of the surrounding aquifers) and deterioration of the underground and surface waters quality (pollution due to infiltration or direct inflow of polluted mine water). These impacts can be direct and indirect, primary, secondary and extraordinary. Special attention should be paid to rehabilitation and remediation of mines upon their closure, as well as to the monitoring of the quality of surrounding water bodies.

In addition to the analysis of various aspects of the impact of coal mining on water resources, this paper deals with the possible protection measures that need to be applied in order to prevent or reduce the expected negative impacts of exploitation. Certain examples of coal mines in Serbia have also been discussed.

Key words: : mining, coal, protection, water resources, Serbia.

УВОД

Производња и потрошња угља су, као и у прошлости, и даље неопходни за савремени развој. Међутим, оба ова процеса истовремено изазивају значајно загађење и деградацију свих елемената природне средине. Угаљ је фосилно гориво и представља најраспрострањенији енергент, који има доминантан значај за производњу електричне енергије и примену у тешкој индустрији, како на глобалном нивоу, тако и у Србији. Према Извештају Међународне агенције за енергију (IEA, 2024), светска потражња за угљем достигла је највећи рекорд од 8,70 милијарди тона (Mt) током 2023. године, чиме је надмашила рекордну 2022. годину за 2,6%. Иако је у истом периоду дошло до значајног смањења коришћења угља у земљама Европске Уније (-22,5% или -103 Mt) и Сједињеним Државама (-17,3% или -81 Mt), потражња у Кини и Индији је, ипак, била знатно већа од тога (укупно 381 Mt) (Ibid.), и очекује се даљи наставак овог тренда (IEA, 2023). На светском нивоу угаљ је током 2022. учествовао са 36% у производњи електричне енергије (Ibid.), а Међународна агенција за енергију предвиђа да ће и у наступајућим деценијама задржати доминантну улогу. Усвајање концепата и политика, попут Европског зеленог договора (European Green Deal), који ограничавају коришћење угља и других извора енергије који емитују велике количине гасова стаклене баште, донело је регионална побољшања у том погледу.

У Србији је током 2023. године потрошња угља износила 35,8 милиона тона, што је за 3,2%, односно, за 1,2 милиона тона мање него 2022. и 2021. године (РЗС, 2024а). Током 2022. године угаљ је са 61,68% учествовао у примарној производњи енергије, готово исто као и 2021, односно 61,58% (РЗС, 2024б). Према Енергетском билансу Републике Србије за 2024. годину (2024), планирана је производња око 34,3 милиона тона угља, што је 7,3% више него 2023. године (31,96 милиона тона).

Овај необновљиви енергетски ресурс може да има значајне негативне утицаје на све елементе природне средине (Bell & York, 2012; Maričić & Jokić, 2014; Goswami, 2015; Finkelman *et al.*, 2021; Nasii & Gasii, 2024). Они се јављају, како приликом производње, односно, ископавања (када се истичу измештање или пресецање водних токова и загађење водних ресурса), тако још значајније приликом његове прераде и потрошње (при чему се нарочито истиче загађење ваздуха емисијама угљен-диоксида и метана, које доприносе глобалном загађењу и стварању ефекта

стаклене баште). Експлоатација угља се најчешће одвија из површинских и подземних копова, мада се у многим деловима света одавно врши и подводна, са дна мора (детаљније нпр. у Allonby *et al.*, 1985). Од 1991. подводна експлоатација се врши у близини Ковина са дна језера које је повезано са Дунавом, и представља јединствену подводну експлоатацију угља на свету (Radunović *et al.*, 2011), што је унапред одређено геолошким условима терена и локацијом депозита. При експлоатацији долази до деградације првобитне геоморфолошке и педолошке структуре терена, ремећења или уништавања читавих екосистема, негативних утицаја на режим и квалитет водних ресурса, квалитет ваздуха, функцију околних насеља и инфраструктурних система, као и до промене микроклиме, стварања великих количина рударског отпада (откривка), буке и вибрација, ерозије земљишта и др. Ови вишедимензионални утицаји копања угља могу бити директни и индиректни; ретко су привремени и повремени (као нпр. бука), а често дуготрајног карактера.

Република Србија је богата резервама угља, и то, у највећој мери нискокалоричним лигнитом (97%). У Централној Србији и Војводини укупне (билансне и ванбилансне) резерве угља износе преко четири Mt, а у Косовско-метохијском басену око 4,5 Mt (Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године, 2015). Од европских земаља једино Немачка и Турска имају веће резерве угља.

Угаљ се у Србији тренутно копа (производи) у рудницама са подземном (дубинском) експлоатацијом, као што је „Ресавица“ (камени, мрки угаљ и лигнит), у рудницама са површинском експлоатацијом „Колубара“ и „Костолац“ (лигнит), као и у руднику са подводном експлоатацијом „Ковин“ (лигнит). Око 98% произведеног угља у Србији чини нискокалорични лигнит, а 2% мрки и камени угаљ. У току 2024. године најобимнија експлоатација се предвиђа на површинским коповима рудника „Колубара“ (23,5 милиона тона) и „Костолац“ (10,17 милиона тона), а знатно мање се очекује из подземног рудника „Ресавица“ (скоро 400 000 тона) и подводног рудника „Ковин“ (240 000 тона) (Енергетски биланс Републике Србије за 2024. годину, 2024).

Површински копови могу да заузимају изузетно велике површине, од пар десетина до неколико стотина квадратних километара, попут рудника Калтим прима у Индонезији (два копа покривају укупно 900 km²), Cerrejón у Колумбији (690 km²) и других. Експлоатационо поље површинског

копа Дрмно у Костолцу заузима око 52,5 km²; у Колубарском басену се пет експлоатационих поља простире на укупно 143 km² (Просторни план подручја експлоатације Колубарског лигнитског басена, 2017).

С обзиром на то да су процене и очекивања да ће и у следећој декади угаљ остати значајан, ако не и доминантан извор за задовољење енергетских потреба на глобалном нивоу, али и у Србији, и даље се истиче значај препознавања потенцијалних и очекиваних негативних утицаја експлоатације угља на водне ресурсе, као и начини спровођења правовремених и одговарајућих мера за њихово спречавање, ограничавање или умањивање.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Овај рад је посвећен представљању најзначајнијих утицаја експлоатације угља на деградацију и загађење водних ресурса, као и представљању могућих мера за смањење или превенцију потенцијалних негативних ефеката. Ради илустрације, биће представљени неки од примера различитих аспеката загађења у Србији. Аналитички оквир овог истраживања се заснива на примени дескриптивног метода уз метод анализе (садржаја) секундарних података доступних у релевантним извештајима, научним радовима и студијама, и на основу тога њихове систематизације и концептуализације.

У многим земљама (Индија, Кина, Колумбија и др.) је, осим тзв. корпоративног/индустријског, присутно и копање угља мањег обима (*artisan/small scale mining*), које спроводе појединци - неформални рудари или мали привредни субјекти уз никакво или минимално коришћење механизације. Овакви видови рударења могу бити илегални, било да су великог или малог обима, као нпр. у Украјини (Savitsky, 2015). Иако због недостатка регулације њихови негативни утицаји на загађење могу бити врло значајни (Metton *et al.*, 2024), у овом раду се они неће одвојено разматрати.

АСПЕКТИ ДЕГРАДАЦИЈЕ ВОДНИХ РЕСУРСА УСЛЕД КОПАЊА УГЉА

Површинско и подземно ископавање угља изазива бројне и значајне негативне утицаје на водне ресурсе на локалном и регионалном нивоу. Они су обимни, и у просторном, и у погледу дужине трајања (Finkelman *et al.*, 2021). На њихов интензитет и вероватноћу утиче и врста примењених метода откопавања. Тако, на пример, у случају примене хидрауличне методе откопавања угља, када се енергија велике количине воде под високим притиском користи за копање и транспорт угља, додатни изазов представља решавање одводњавања копа. Метода уклањања планинских врхова и затрпавања долина (*mountain top removal and valley fill*), која се спроводи у Апалачким планинама у Северној Америци нарочито је штетна за потоке, јер се уклањањем врхова планина затрпавају извори, истовремено се смањује количина дрвећа и капацитет инфилтрације, чиме се убрзава отицај у време јаких киша (Miller & Zégre, 2014). Да би се спречио доток подземних вода у радну средину копа, истовремено са започињањем експлоатације угља врши се и снижавање нивоа подземних вода у непосредној околини копа путем филтерских бунара (који могу достићи и дубину од 500 m) и подводних пумпи. С обзиром да подземне воде могу бити присутне изнад и испод угљоносног слоја (па и у њему), потребно је снижити ниво подземних вода у окружењу до најниже коте која обезбеђује коп од продора воде, што је условљено низом чинилаца – положајем и дужином копа, геологијом тла, иницијалним хидролошким режимом и др. (Spasić & Đurđević, 2010). У Рајнском лигнитском басену утицај снижавања нивоа подземних вода је приметан на површини од око 2900 km², па се, како наводи Rathsmann (1986 према Spasić & Đurđević, 2010), промена режима подземних вода прати преко 4000 мерних тачака, док око 5000 „чврстих” спојених тачака служи за мерење слегања терена. У Србији не постоје мерне станице за праћење промена које у околини копова угља настају због снижавања нивоа подземних вода, нити геодетски репери за праћење могућег слегања тла. У случају близине великих површинских токова (нпр. Дунава и Велике Мораве у близини Костолачког лигнитског басена) неопходно је за заштиту копова од продора подземних вода, поред бунара, поставити и водонепропусне екране.

Како истиче Ivković (2008), присутна је стална интеракција између рударских радова и објеката с једне стране, и површинских и подземних

вода с друге. Док површинске и подземне воде угрожавају рударске објекте и ометају рад у њима, рударским радовима и објектима се угрожавају подземне и површинске воде као есенцијални фактор животне средине. Стога је неопходно изградити објекте одводњавања за заштиту и пречишћавање отпадних рудничких вода.

Потребно је напоменути да, још и пре ископавања, транспорта и употребе, угаљ може имати негативан утицај на здравље људи. Тако Finkelman *et al.* (2021) подсећају да испирање органских једињења из угља мање горивне моћи (попут лигнита, битуменског угља, мрког угља) у водоносне слојеве може допринети фаталној болести бубрега познатој у Европи као балканска ендемска нефропатија, односно синдром лигнита и воде у САД.

Рудничке воде које се испуштају из површинских и подземних рудника угља најчешће садрже високе концентрације суспендованих и укупних растворених материја, тешке метале, сулфате, уља и масти, као и нитрате (Tiwary, 2000). Минерал пирит, који је обично присутан у слојевима изнад и испод угљених наслага, доприноси киселој загађености рудничке воде¹, угрожавајући и уништавајући акватични свет подземних и површинских токова, те ограничавајући могућност рекреације, оштећујући објекте на обали загађених водних тела, и слично (Đukanović, 1991:127, у Đukanović, 2000).

Како на основу истраживања наводе Tiwary (2000) и Miladinović (2015), **извори загађења вода** у подручјима ископавања угља укључују, пре свега:

а) Одводњавање са подручја експлоатације, укључујући дренажу киселих вода и рудничке воде – у копу се често јавља доток воде због падавина или пресецања подземних токова воде. Поменути воду је неопходно испумпавати. Она може бити контаминирана честицама, уљима и мастима, као и другим хемикалијама. Уколико слојеви угља садрже веће количине пирита, дренажна рудничка вода може бити киселог састава са потенцијалом загађења локалних водотока након испуштања.

У односу на параметре еколошког и хемијског статуса површинских вода, као и на параметре хемијског и квантитативног статуса подземних вода, Miladinović (2015) је анализирајући руднике

мрког и каменог угља у Србији издвојио руднике „Лубница“, „Аврамица“, „Штавал“, „Боговина“, „Соко“, „Сењски рудник“ и „Јарандо“, који испуштају непрерађене или недовољно прерађене воде које садрже загађујуће материје изнад прописаних граничних вредности емисије (ГВЕ) за II класу, односно за добар еколошки статус површинских вода.

б) Отицање седимента са подручја експлоатације – отицање након кише може довести до озбиљног загађења. Активна депонија откривке у близини рудника је подложна ерозији, па најчешће долази до замућења, али и транспорта других загађивача у водотоке. Понекад се материјал за депонију откривке гомила на обали реке и на тај начин повећава њено оптерећење суспендованим честицама.

в) Изливање нафте и мазива (из радионица) – на површинским коповима се због великог броја рударских машина и возила налазе и радионице, из којих може доћи до неконтролисаног изливања воде за прање машина, која садржи високе концентрације уља и масти, као и до акцидентних (случајних) изливања нафте и других токсичних реагенаса. У том случају највећи проблем представља чињеница да се ради о високим концентрацијама које се јављају у кратком временском интервалу, а немогуће их је предвидети (Institut za građevinarstvo „IG“ Banja Luka, 2016). Уз добро организовано спровођење надзора и превентивних мера могуће је контролисати ове утицаје који су локалног карактера и мањих размера.

г) Испирање загађујућих материја са депонија откривке – могуће је да због падавина вода продре у одложено земљиште на јаловиштима, раствори поједине токсичне метале и загади водотоке, а проблем се нарочито усложњава уколико јаловина садржи пирит.

д) Канализационе и санитарне отпадне воде, такође, могу бити извор загађења уколико се не прераде пре испуштања. Оне могу бити контаминирани детерџентима, суспендованим чврстим материјама и органским материјама.

ђ) Испуштање отпадних вода и муља из сепарацијских постројења – у поступку мокре сепарације, када је потребно очистити угаљ од јаловине, стварају се отпадне воде и муљ. Према Миладиновић и др. (2016), ове воде карактерише јако висок суви остатак (више хиљада mg/l), високи садржаји сулфата (SO₄), гвожђа (Fe), мангана (Mn), алуминијума (Al) и других тешких метала. Miladinović (2015) је утврдио да отпадни муљ из сепарације угља може бити сврстан у

¹ Пирит мирује у облику сулфида гвожђа, али приликом копања долази у додир са ваздухом и водом те оксидира стварајући сулфате гвожђа и сумпорну киселину. Протичући кроз земљиште, рудничка вода постаје још киселија, а спирањем у површинске токове уништава биљни и животињски свет и микроорганизме (Đukanović, 1991:127, у Đukanović, 2000).

категорију неопасног и неинертног отпада (из сепарације „Боговина”), али и да може изазвати контаминацију земљишта арсеном (As) и никлом (Ni) (како је установљено у подручју сепарације „Ибарских рудника” у Баљевцу).

И након завршетка рударења угља постоје опасности од загађења подземних и површинских вода. Davies *et al.* (1997) су спровели 1992-1994. године студију у напуштеним рудницама угља у Јужном и Северном Велсу (Уједињено краљевство) из којих је деценијама истицала вода оптерећена гвожђем и пратећим елементима (благо киселе, са алуминијумом) и загађивала речне токове. Њихов утицај је окарактерисан различито – кретао се од само естетских ефеката до погоршања квалитета воде, речног дна и статуса (бројности и разноврсности) рибљег фонда низводно од места уливања. Таложење хидроксида гвожђа изазвало је губитак станишта и смањење епилитона – све то је неопходно за разноврсну и богату фауну бескичмењака. У десет случајева, значајни губици и смањење бројности таксона су демонстрирани након испуштања у водотоке.

Према Atanacković и сар. (2013), доминантну улогу у формирању хемијског састава рудничких вода из лежишта метала и угља има оксидација пирита и других сулфата, што утиче на снижавање нивоа рН (односно повећање нивоа киселости) и повећање концентрације сулфата, метала (Fe, Cu, Pb, Zn, Cd, Co, Cr, Ni, Hg), металоида (As, Sb) и других елемената (Al, Mn, Si, B, Li). Ови аутори су спровели истраживање на регионалном нивоу анализирајући 59 напуштених рудника у Србији у којима након затварања (напуштања производње) нису примењене мере рекултивације и ремедијације. Анализа површинских вода, у које су се уливале рудничке воде, указала је на повећано присуство концентрација сулфата и метала, као и на генералну деградацију квалитета ових водотока.

Miladinović (2015) је током хидрогеолошких истраживања утврдио да се експлоатацијом и прерадом камених и мрких угљева у Србији врши емисија ефлуената изнад прописаних ГВЕ. Према хемијском саставу могуће је извршити поделу на два типа рудничких вода, и то: а) рудничке воде минерализације испод 1000 mg/l, које се јављају из стена подине или повлате угљоносне серије и б) рудничке воде високе минерализације изнад 1000 mg/l, које се јављају уз угљоносне серије седимената. У односу на параметре еколошког и хемијског статуса површинских вода, као и на параметре хемијског и квантитативног статуса подземних вода, повишене концентрације се

емитују у рудничким водама из затворених рудника: „Ушће”, „Стара јама”, „Јарандо”, „Подвис”, „Добра срећа”, „Ресава”, „Св. Ђорђе”, „Ракита”, „Козник” и „Видлич”.

Искуства из источне Србије, у ширем подручју Пирота (Миладиновић и сар., 2016), такође указују на појаву загађења околних водотока, јер након затварања рудника нису предузете мере за превенцију негативних утицаја рудничких вода које истичу из напуштених копова. Реч је о руднику „Јерма” на Руј планини где је вршена подземна експлоатација каменог угља до 1962. године, и руднику „Видлич” на Старој планини где је меки мрки угаљ подземно експлоатисан у периоду од 1955-1961. године, а затим и површинским путем. Анализе спроведене током 2010. и 2013. године (Ibid.) су показале да долази до емисије загађујућих материја изнад граничних вредности емисије за II класу површинских вода (воде доброг еколошког статуса). Повећавају се минерализација, електропроводљивост, сулфати (SO_4), амонијум јон (NH_4), нитрати (NO_3), гвожђе (Fe), манган (Mn), а незнатна прекорачења постоје за рН вредност и арсен (As). Вредности минерализације и електропроводљивости су двоструко веће од дозвољених ГВЕ. Нарочито је проблематично то што у маловодном периоду на овом подручју количине рударских вода (и преко 10 l/s) могу бити веће од протицаја водотока у које се уливају. Таквим загађењима су најугроженије Мазгошка река на Старој планини, а на Руј планини поток Козник и Вучиделски поток.

Аспекти угрожавања водних ресурса

Као најзначајнији аспекти угрожавања водних ресурса услед експлоатације угља издвајају се: промене хидролошког режима, промене хидрогеолошког режима и погоршање квалитета површинских и подземних вода.

Промене хидролошког режима односе се на измештање водотокова (скретање на други правац, усмеравање кроз пропусте и др.) или њихов прекид ради заштите рударских радова од повећаних прилива рудничких вода, или услед ширења копова. Због високих трошкова измештање корита постојећих водотока изводи се у најнужнијем обиму, па се планирају фазна (етапна) измештања усклађена са планираном динамиком отварања или ширења оређених копова (нпр. делови корита река Пештан и Колубара измештени су неколико пута током последње две деценије ради отварања површинског копа „Велики Црљени”, а затим површинског копа „Јужно поље”). У случају одводњавања лежишта у целисти, површински

токови могу да изгубе своју функцију (Miladinović, 2015) и уместо дрена подземних вода постану реке понорнице.

Промена хидрогеолошког режима – због одводњавања рударских просторија и копова јавља се директно ремећење подземних издани у подручју експлоатације, смањење нивоа подземних вода и издашности издани у окружењу копова. Ове промене изазивају индиректне проблеме: а) угрожено је водоснабдевање становништва и привреде, б) деградира се (исушује) пољопривредно земљиште што умањује приносе (нарочито у сушним периодима) и в) долази до слегања терена због повлачења подземних вода, што утиче на промене у пејзажу (у улегнућима терена долази до привременог акумулирања површинских вода и формирања мањих бара и језера), и изазива деформације/оштећења стамбених, инфраструктурних и осталих објеката. Према Spasić *et al.* (2007), слегање терена је условљено близином копа и саставом земљишта. Док се шљунак и песак слежу релативно брзо али мало, слегање код глина је знатно спорије, али количински веће. Слегање у Рајнском угљеном басену износило је просечно 2-3 mm по једном метру опадања нивоа подземних вода, док је највеће слегање у току 30 година измерено у близини Бергхајма, 240-400 cm (Ibid.).

У случају површинског копа „Дрмно” у Костолачком угљеном басену, утицај рударских радова на режим подземних вода огледа се у следећем (Ђорђевић и сар., 2011): 1) приликом копања лигнита одводњава се аквифер у области експлоатационих радова на копу; 2) због откопавања угља као изолационог слоја, водоносни слој у подини угља излаже се потенцијалној инфилтрацији загађујућих материја; 3) врши се парцијално одводњавање аквифера подземних вода у околини рудника (одводњавањем површинског копа системом дренажних бунара пијезометарски нивои биће оборени за око 50 m. Стога је велика вероватноћа да ће доћи до појаве смањења дотока подземних вода у индивидуалне бунаре са водом за пиће локалних насеља, док у неким екстремним случајевима бунари могу сасвим пресушити); и 4) након одлагања хетерогеног материјала у просторима где је експлоатација завршена или стварања великих акумулација воде, стварају се нови дугорочни хидролошки и хидрогеолошки услови на подручју експлоатационог поља.

До погоршања квалитета подземних и површинских вода може доћи због инфилтрације или уливања штетних и токсичних материја из

отпадних рудничких вода (саподручја површинског копа, одлагалишта јаловине и из радионица), које у зависности од састава подлоге и примењених поступака за припрему и прераду угља могу да садрже чврсте честице и разне соли. Откопавањем угља, као изолационог слоја, водоносни слој у подини угља излаже се поспешењу инфилтрације падавина и отпадних вода у подземље.

Атмосферске, унутрашње и провирне воде, које доспевају унутар контуре копа и одлагалишта, неопходно је контролисано испумпавати и одводити ван рударског подручја, за шта је у случају великих површинских копова (попут Костолачког и Колубарског лигнитског басена који се налазе у приобаљу великих река – Дунава, Велике Мораве, Млаве, Колубаре) неопходно развити сложен систем за одбрану од вода и посебно од великих вода. Тако је, на пример, на површинском копу „Дрмно” у Костолачком угљеном басену (Ђорђевић и сар., 2011), у циљу одбране копа, изведен систем заштите од подземних вода комбинованог типа, који се састоји од дренажних бунара постављених по контурама експлоатационог поља, водонепропусног екрана, етажних канала, водосабирника и црпних станица.

Катастрофалне поплаве у региону Босне и Херцеговине, Хрватске и Србије током маја 2014. довеле су до изливања вода из корита Колубаре, Пештана и Враничине, па су поплавлени површински копови „Тамнава Западно Поље” и „Велики Црљени”. Процењено је да је у оба копа ушло преко 215 милиона кубних метара воде, као и велика количина муља (Бабић Младеновић и Коларов, 2014 према Вељковић и сар., 2015). Ванредни мониторинг је спроведен током испумпавања поплавне воде из копова ради процене утицаја на реку Колубару као реципијента, као и због могућег угрожавања изворишта за водоснабдевање у сливу водотока Колубаре и Саве. Резултати мониторинга су показали да је на већини од 15 профила прекорачена макар једна гранична вредност прописана Уредбом о граничним вредностима приоритетних и приоритетних хазардних супстанци које загађују површинске воде и роковима за њихово достизање (2014), која дефинише граничне вредности за загађујуће материје у површинским водама, а које не смеју да буду прекорачене ради заштите животне средине и здравља људи (Вељковић и сар., 2015).

Осим загађења водних ресурса, значајан индиректан утицај може представљати исушивање терена уколико режим капиларне влаге у земљишту буде осиромашен у дужем временском периоду. То може имати велике последице на вегетацију

и угрозити пољопривредну производњу околног подручја. Исушивање земљишта ће, такође, довести до слегања терена, што ће узроковати појаве пукотина у објектима и инфраструктурним системима.

Утицаји рударских активности на откопавању угља се могу поделити на 1) *директне утицаје* који су узроковани рударством и најчешће се дешавају истовремено са одвијањем рударских активности и у непосредној близини (попут измештања водотока) и 2) *индиректне утицаје* који се најчешће дешавају са одређеним временским размаком (нпр. пресушивање бунара у околини), али су предвидиви и имају каузалну релацију.

Ђукановић (2000) истиче поделу на 1) *примарне утицаје* који се јављају, јер се експлоатацијом значајно нарушава постојећа природна равнотежа (односи се на неповратно одузимање необновљивог ресурса од природне средине, уз промене екосистема, сеизмичности, итд.); 2) *секундарне или изазване утицаје* који су знатно ређи, али и разноврснији, могу се јавити одмах или накнадно, могу бити привремени или дуготрајни, разликују се по интензитету и просторном обухвату, и за разлику од примарних не односе се на промену квантитета (количине), већ на промену квалитета животне средине; и 3) *ванредне утицаје* који су ређи, непредвидиви или тешко предвидиви, изненадни и краткотрајни, али њихове последице могу бити трајне; узроци су им природне непогоде и катастрофе (земљотреси, поплаве, клизишта, пуцања брана исл.), или антропогени (рударске несреће или ратна дејства).

Према Ђукановић М. (1991:127, у Ђукановић, 2000), најтеже еколошке последице експлоатације угља представља угрожавање квалитета површинских и подземних вода. У случају Костолачког угљеног басена, како истичу Марићич & Јокић (2014), јавља се специфичан двосмеран конфликт између рударства и ресурса површинских и подземних вода. Један конфликт се односи на потенцијалну опасност загађења површинских вода и изворишта питке воде услед рударења. Други је комплекснији и односи се на потребу одбране површинских копова од продирања подземних вода, које су у овом подручју релативно вишег нивоа и обимне због близине корита реке Дунав. Међутим, управо обимно испумпавање подземних вода из копа утиче на смањење издашности извора водоснабдевања и сушење активних сеоских бунара, уз индиректно погоршавање продуктивног потенцијала пољопривредног земљишта.

МЕРЕ ЗА СПРЕЧАВАЊЕ ИЛИ СМАЊЕЊЕ УТИЦАЈА РУДАРЕЊА УГЉА

Да би се очекивани и потенцијални негативни утицаји избегли или умањили у највећој могућој мери, неопходно је да се у процесу експлоатације угља примењују високи стандарди заштите животне средине. Различити аспекти и мере заштите водних и осталих ресурса прописују се у студијско-аналитичкој документацији, техничким и информационим подлогама, нормативно-правном оквиру пројектовања и планирања развоја рударских региона уз адекватну институционалну подршку.

Мере заштите се дефинишу на основу подробне анализе могућих врста, обима и учесталости потенцијалних и очекиваних негативних утицаја. По својој природи ове мере могу бити просторно-планске, техничко-технолошке, грађевинске, административне, организационе и нормативно-законодавне. *Просторно-планске мере* се односе на просторну диференцијацију квалитета животне средине: на основу очекиваног стања животне средине и дефинисаних зона утицаја рударског комплекса на околину предлажу се одговарајући режими коришћења простора према намени земљишта и критеријумима квалитета животне средине (Просторни план подручја посебне намене Костолачког угљеног басена, 2013). *Техничко-технолошке мере* обухватају примену нових техничких решења и увођење нових технологија у производњу и прераду угља, као и на депонијама откривке. *Организационе мере* се односе на увођење система интегралног управљања заштитом животне средине у оквиру рударског комплекса применом међународног ISO стандарда, увођењем система мониторинга квалитативних и квантитативних показатеља стања површинских и подземних вода са оптималним бројем мерних места, а нарочито: праћење квалитета површинских и подземних вода у зони утицаја рудника, као и квалитета и квантитета отпадних рудничких вода у складу са релевантним законодавством (посебно је потребно обухватити насеља која су у непосредној близини рудника), заштита постојећих и планираних изворишта водоснабдевања, израда плана реаговања на инцидентна и епизодна загађења. *Нормативно-законодавне мере* обухватају релевантну регулативу од међународног (често је у питању необавезујуће законодавство и смернице), националног, па до локалног нивоа, која обавезује рударске компаније на спровођење неопходних

активности у правцу заштите од рударских радова, али и одређене државне институције на праћење (мониторинг) и спровођење казних мера у случају потребе.

Неке од негативних утицаја могуће је ублажити применом *мера компензације*. Уколико дође до погоршања квалитета подземних вода због продора загађујућих материја из подземног или површинског копа, одлагалишта јаловине и радионица, неопходна је израда нових и дубљих бунара, или алтернативног система за водоснабдевање. Како наводе Spasić & Đurđević (2010), када је у окружењу копа „Д” у Колубарском лигнитском басену дошло до делимичног исушивања извора и бунара, привредно друштво Рударског басена Колубара компензовало је то довођењем воде из водовода угроженим насељима.

Једна од мера за спречавање исушивања земљишта, које може настати због одводњавања за потребе експлоатације угља, је подземно складиштење исцрпљених квалитетних подземних вода у водоносне хоризонте који нису у зони утицаја рудника, како би се касније користила за потребе водоснабдевања становништва, индустрије и пољопривреде. Последњих година овај приступ је нарочито развијен у Кини (Zhang *et al.*, 2021).

Од изузетног је значаја имати у виду да се брига о утицају рудника угља на загађење животне средине не завршава престанком откопавања угља и затварањем рудника. Примена адекватних мера рекултивације, нарочито великих површинских копова, је неопходна да би се спречила ерозија и омогућила стабилизација подлоге. Избор методе и врсте озелењавања, такође, је значајан. Студија Clark & Zipper (2016) бавила се ефектима вегетационог типа на површинске хидролошке процесе, и указала да се значајно већа инфилтрација јавља у пошумљеним подручјима, док затрављена површина има знатно више путева протока.

Закон о рударству и геолошким истраживањима (2015) прописује начине управљања рударским отпадом, поступке санације и рекултивације напуштених рударских објеката, као и надзор над спровођењем овог закона са циљем обезбеђивања економске, социјалне и еколошке одрживости рударских активности и пројеката. Носилац одобрења за извођење рударских радова је у обавези да спроведе санацију и рекултивацију, док ће средства за санацију и рекултивацију напуштених рудника и рударских објеката, за које није познат или више не постоји носилац одобрења за експлоатацију,

обезбедити Република Србија из буџета. Искуства из источне Србије (Миладиновић и сар., 2016) показују да након затварања рудника нису предузете мере за превенцију негативних утицаја рудничких вода које истичу из напуштених копова. Анализе (Ibid.) су показале да долази до емисије загађујућих материја изнад ГВЕ за II класу површинских вода (воде доброг еколошког статуса), односно повећавају се минерализација, електропроводљивост, SO_4 , NH_4 , NO_3 , Fe, Mn, а незнатна прекорачења постоје за рН вредност и As. Таквим загађењима су најугроженије Мазгошка река на Старој планини, а на Руј планини поток Козник и Вучиделски поток.

Осим класичних (физичких и хемијских), све више се у свету примењују и мере еколошке (био) ремедијације за уклањање сулфата и растворених метала из дренажних рудничких вода. Klein *et al.* (2014) дају преглед различитих пасивних и активних метода за уклањање гвожђа и сулфата као главних загађивача у рудничким водама, додавањем реагенса за неутрализацију и накнадном хемијском оксидацијом гвожђа и таложењем сулфатних минерала. Стратегије биолошког третмана користе предност способности микроорганизама који се јављају у водама рудника да метаболишу гвожђе и сулфат. Анализа Klein *et al.* (2014) је показала да ове методе јесу еколошки одрживе, али да су још увек економски мање исплативе од конвенционалних.

ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Најновији извештаји (РЗС, 2024а, 2024б) показују да Србија има значајне капацитете када је реч, како о производњи, тако и о потрошњи угља. Иако се планира смањење коришћења угља и повећање коришћења обновљивих извора енергије у складу са новијим концептима транзиције који теже ка већем коришћењу енергената који ослобађају мало или нимало гасова стаклене баште, извесно је да ће се и у наредним деценијама широм света, као и у Србији, копати велике количине угља, претежно из површинских копова. То укључује и неминовне негативне утицаје на режим и квалитет површинских и подземних вода. Ови утицаји су вишеструки, могу бити интензивни и дуготрајни, а индиректне последице на живи свет, благостање становништва и изграђене објекте огромне. Узимање у обзир балансирања енергетских потреба са одрживим еколошким праксама је кључно за осигурање коегзистенције рударства и глобалних водних ресурса.

Јачање еколошких покрета у многим земљама, уз подршку међународних институција и одговарајућег „меког“ (необавезног) законодавства, допринело је развоју свести о неопходности заштите природне средине од негативних утицаја рударства. Због тога су у национална законодавства укључене разноврсне мере заштите животне средине које је потребно примењивати током и након завршетка рударских радова. Досадашња истраживања указују на занемаривање превенције и мониторинга негативних утицаја рударења угља у Србији, нарочито када се ради о санацији и ремедијацији напуштених рудника угља.

Да би се поменути негативни утицаји копања угља избегли или умањили у највећој могућој мери, неопходно је да се у процесу експлоатације угља примењују високи стандарди заштите животне средине. За то је неопходно стратешко и планско усмеравање дугорочног развоја, уређивања и обнављања деградираног простора у подручјима експлоатације угља, уз примену најбољих доступних технологија за спровођење рударских активности и превентивних мера заштите од загађења.

ЗАХВАЛНИЦА

Средства за реализацију истраживања које је приказано у овом раду су обезбеђена од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије, евиденциони број: 451-03-66/2024-03/200006, као и уз подршку Фонда за науку Републике Србије, бр. пројекта 7598, Унапређење учешћа јавности у просторном планирању рударских региона - MINIPART.

РЕФЕРЕНЦЕ

- Allonby, R., Biçer, N. & Tomlin, N. (1985): Water problems associated with undersea coal mining. The 9th Scientific and Technological Mining Conference of Turkey, Ankara, 117-136. https://api.maden.org.tr/uploads/portal/resimler/ekler/2b15c75c0c389b4_ek.pdf (приступљено 18.10.2024).
- Atanacković, N., Dragišić, V., Stojković, J., Papić, P. & Živanović, V. (2013): Hydrochemical characteristics of mine waters from abandoned mining sites in Serbia and their impact on surface water quality. *Environmental Science and Pollution Research* 20: 7615-7626.
- Bell, S. E. & York, R. (2012): Coal, injustice, and environmental destruction: Introduction to the special issue on coal and the environment. *Organization & Environment* 25(4): 359-367.
- Clark, E. V. & Zipper, C. E. (2016): Vegetation influences near-surface hydrological characteristics on a surface coal mine in eastern USA. *Catena* 139: 241-249.
- Davies, G., Butler, D., Mills, M. & Williams, D. (1997): A survey of ferruginous minewater impacts in the Welsh coalfields. *Water and Environment Journal* 11(2): 140-146.
- Ђорђевић, Б., Лазић, М., Ђајић, Н. & Дашић, Т. (2011): Стратешка процена утицаја на животну средину Просторног плана подручја посебне намене Костолачког угљеног басена, Студијска основа А: Утицај рударско-енергетског система Костолачког угљеног басена на режим и квалитет површинских и подземних вода. Институт за архитектуру и урбанизам Србије, Београд.
- Ђукановић, С. (2000) Друшвени tokovi energetike zasnovani na eksploataciji uglja. *Industrija* 1-4:63-82.
- Енергетски биланс Републике Србије за 2024. годину, „Службени Гласник Републике Србије”, бр. 8/2024.
- Finkelman, R. B., Wolfe, A. & Hendryx, M. S. (2021): The future environmental and health impacts of coal. *Energy Geoscience* 2(2): 99-112.
- Goswami, S. (2015): Impact of coal mining on environment. *European Researcher* 3: 185-196.
- Hasii, O. & Gasii, G. (2024): Coal mining and water resources: impacts, challenges, and strategies for sustainable environmental management. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1348, No. 1, p. 012017. IOP Publishing.
- IEA (International Energy Agency) (2023): Coal 2023, Analysis and forecast to 2026. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/coal-2023/> (приступљено 20.10.2024).

- IEA (International Energy Agency) (2024): Coal Mid-Year Update. International Energy Agency. https://iea.blob.core.windows.net/assets/42dee289-ffa2-44a5-b050-7232b2809ce1/CoalMid-yearUpdate_July2024.pdf (приступљено 20.10.2024).
- Institut za građevinarstvo „IG” Banja Luka (2016): Studija uticaja na životnu sredinu eksploatacije uglja za površinski kop „Ugljevik – Istok 1”, Institut za građevinarstvo „IG” Banja Luka.
- Ivković, M. (2008): Odvodnjavanje u rudarstvu. Specijalno izdanje časopisa Rudarski radovi 2008/1-1: 1-156.
- Klein, R., Tischler, J. S., Mühling, M., & Schlömann, M. (2014): Bioremediation of mine water. *Geobiototechnology I: Metal-Related Issues*, 109-172.
- Maričić, T. & Jokić, B. (2014): Održivo korišćenje prirodnih resursa u Podunavlju – primer Kostolačkog ugljenog basena. U: - Održivi prostorni razvoj Podunavlja u Srbiji-Knjiga 2; Maksin, M., Krunić, N. & Nenковиć-Riznić, M. (ur.), 337-368 str., Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije, Beograd.
- Memon, M. B., Tao, M., Yang, Z., Ahmed, T. & Ibrahim, M. (2024): Life cycle assessment model for small-scale coal mining operations with equivalent coal output: a greener perspective towards coal mining. *Environment, Development and Sustainability*, 1-26.
- Миладиновић, Б., Симић, С. & Гргуровић Д. (2016): Угаљ у пиротском крају и његов утицај на животну средину. *Пиротски зборник* 41: 79-90.
- Miller, A. J., & Zégre, N. P. (2014): Mountaintop removal mining and catchment hydrology. *Water*, 6(3), 472-499.
- Просторни план подручја експлоатације Колубарског лигнитског басена, „Службени Гласник Републике Србије”, бр. 107/2017.
- Просторни план подручја посебне намене Костолачког угљеног басена, „Службени Гласник Републике Србије”, бр. 1/2013.
- Radunović, M., Kescman, O., Mihajlovic, T., Schlenstedt, J., Denke, P. & Djuric, D. (2011): The possibilities and chances of the Project Energy Complex Kovin-new coal mine and power plant. *Górnictwo i Geoinżynieria* 35, 291-305.
- РЗС (Републички завод за статистику) (2024a): Биланс угља <https://www.stat.gov.rs/sr-Latn/oblasti/energetika/tabele/> (приступљено 03.10.2024).
- РЗС (Републички завод за статистику) (2024b): Годишњи подаци статистике енергетике и енергетски биланси, ТЈ <https://data.stat.gov.rs/Home/Result/040201?languageCode=sr-Cyrl> (приступљено 05.10.2024).
- Savitsky, O. (2015): Towards the end of the coal age in Ukraine. A review of the Ukrainian coal sector in the context of Donbass crisis. Heinrich Böll Foundation, Kyiv, Ukraine, 9-58.
- Spasić N., & Đurđević, J. (2010): Površinska eksploatacija lignita i njen uticaj na prirodnu i stvorenu (antropogenu) sredinu. U: Spasić, N. & Petrić, J. (ur.) *Prostorni, socijalni i ekološki aspekti održivog razvoja u velikim ugljenim basenima*, posebna izdanja 61, Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije, Beograd: 45-68.
- Spasić, N., Petovar, K. & Jokić, V. (2007): Transformation of settlements and population in large lignite basins. *Institute of Architecture and Urban & Spatial Planning of Serbia*, Belgrade.
- Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године, „Службени Гласник Републике Србије”, бр. 101/2015.
- Tiwary, R. K. (2001): Environmental impact of coal mining on water regime and its management. *Water, Air, and Soil Pollution* 132: 185-199.
- Уредба о граничним вредностима приоритетних и приоритетних хазардних супстанци које загађују површинске воде и роковима за њихово достизање, „Службени гласник Републике Србије” бр. 24/2014.
- Вељковић, Н., Денић, Љ., Допуђа Глишић, Т., Надеждић, М., Јовичић, М., Стојановић, З., Балаћ, М., Милетић, А., Вујовић, А., Чађо, С., Ђурковић, А. & Новаковић, Б. (2015): Поплаве у Србији у мају 2014: утицај на квалитет водотокова. У: Вељковић, Н. (ур.) *Воде Србије у времену прилагођавања на климатске потребе*, Република Србија, Министарство пољопривреде и заштите животне средине, Агенција за заштиту животне средине, Београд, 84-114.
- Закон о рударству и геолошким истраживањима, „Службени Гласник Републике Србије”, бр. 101/2015, 95/2018 - др. закон и 40/2021.
- Zhang, C., Wang, F. & Bai, Q. (2021): Underground space utilization of coalmines in China: A review of underground water reservoir construction. *Tunnelling and Underground Space Technology* 107, 103657.

CONTRIBUTION TO THE UNDERSTANDING OF THE IMPACT OF COAL MINING ON WATER RESOURCES

Tamara Maričić

Summary

Coal is currently the largest source of electricity on the global scale and has remained the dominant source in many countries, including the Republic of Serbia. Both coal production and consumption cause significant pollution and degradation of all elements of the environment. This paper concentrates on presenting and analysing the impacts of coal mining on the water resources. The major negative impacts include: alterations in the hydrological regime (cutoff or diversion of watercourses), alterations in the hydrogeological regime (lowering of groundwater levels and discharges into the environment) and

deterioration of the underground and surface waters quality (pollution due to infiltration or direct inflow of polluted mine water). These impacts can be direct and indirect, primary, secondary and extraordinary. Special attention should be paid to rehabilitation and remediation of mines upon their closure, as well as to the monitoring of the quality of surrounding water bodies. In this paper the possible protection measures that need to be applied in order to prevent or reduce the expected negative impacts of exploitation have also been discussed and further explained on the illustrative examples of the impact of quarries and underground coal mining in Serbia.