

PODZEMNI RESURSI I ODRŽIVOST - KONFLIKT IZMEĐU EKSPLOATACIJE MINERALNIH SIROVINA I ZAŠTITE IZVORIŠTA VODA

Kasim Bajramović¹

Irhad Bajramović²

Irfan Bajramović³

Ključne riječi: podzemna eksploatacija, zaštita izvorišta, hidrogeološki rizik, održivi razvoj, odvodnjavanje.

Sažetak: U savremenom rudarstvu, podzemna eksploatacija mineralnih sirovina predstavlja ključni oslonac ekonomskog i tehnološkog razvoja, ali istovremeno nosi ozbiljne ekološke izazove, prvenstveno u pogledu očuvanja hidrogeološke ravnoteže. Ovaj rad analizira intenzivan konflikt koji nastaje između rudarskih aktivnosti i potrebe za zaštitom vitalnih izvorišta pitke vode. Primarni problem istraživanja fokusiran je na procese odvodnjavanja podzemnih objekata, koji uzrokuju formiranje depresionih lijevaka, spuštanje nivoa vodonosnika, te potencijalno presušivanje ili kvalitativno zagađenje lokalnih vodnih resursa kiselim rudničkim vodama i teškim metalima. U radu su primijenjene metode analize domaće i međunarodne zakonske regulative, komparativna metoda kroz studije slučaja dubokih jama, te kvalitativne metode procjene hidrogeološkog rizika u zonama sanitarne zaštite. Rezultati istraživanja ukazuju na to da se tehničko-tehnološkim mjerama – kao što su izrada nepropusnih injekcionih zavjesa, kontrolisano prečišćavanje rudničkih voda i uspostavljanje kontinuiranog pijezometarskog monitoringa – rizik od ekoloških akcidenata može svesti na minimum. U diskusiji se kritički ocjenjuje balans između ekonomskih interesa eksploatacije i javnog interesa zaštite voda, uz naglašavanje važnosti tačnih hidrogeoloških podloga prije početka rudarskih radova. Zaključak rada nudi smjernice za preventivno djelovanje i održivo upravljanje resursima u cilju dugoročne zaštite životne sredine.

UNDERGROUND RESOURCES AND SUSTAINABILITY - THE CONFLICT BETWEEN MINERAL EXPLOITATION AND WATER SOURCE PROTECTION

Keywords: underground mining, water source protection, hydrogeological risk, sustainable development, mine dewatering

1 IUT, Fakultet politehničkih nauka, kasimbajramovic@gmail.com

2 JP Elektroprivreda B i H d.d. – Sarajevo; Termoelektrana “Kakanj”, bajramovicirhadbajra@gmail.com

3 JP Elektroprivreda B i H d.d. – Sarajevo; Termoelektrana “Kakanj”, bajramovicirfan95@gmail.com

Abstract: *In modern mining, underground exploitation of mineral resources represents a key pillar of economic and technological development; however, it also poses significant environmental challenges, particularly with regard to preserving hydrogeological balance. This paper analyzes the growing conflict between mining activities and the need to protect vital drinking water sources. The primary focus of the research is on the dewatering processes associated with underground mining operations, which can lead to the formation of depression cones, lowering of groundwater levels, and the potential depletion or contamination of local water resources by acid mine drainage and heavy metals. The study applies methods of analyzing domestic and international legal regulations, a comparative approach through case studies of deep underground mines, and qualitative methods for assessing hydrogeological risks within sanitary protection zones. The research findings indicate that the risk of environmental incidents can be minimized through the implementation of technical and technological measures such as impermeable grout curtains, controlled treatment of mine water, and the establishment of continuous piezometric monitoring systems. The discussion critically evaluates the balance between the economic benefits of mineral exploitation and the public interest in water resource protection, emphasizing the importance of accurate hydrogeological investigations prior to the commencement of mining activities. The conclusion provides guidelines for preventive action and sustainable resource management aimed at ensuring long-term environmental protection.*

1. Uvod

Podzemni resursi predstavljaju jedan od najznačajnijih prirodnih potencijala koji imaju ključnu ulogu u razvoju savremenog društva, industrije i privrede. Mineralne sirovine, kao dio geoloških resursa Zemlje, predstavljaju osnovu za proizvodnju energije, građevinskih materijala, metala i drugih proizvoda neophodnih za tehnološki i ekonomski razvoj. Međutim, intenzivna eksploatacija ovih resursa istovremeno izaziva značajne promjene u prirodnim sistemima, posebno u pogledu narušavanja hidrogeološke ravnoteže i ugrožavanja kvaliteta podzemnih voda.

Voda predstavlja jedan od najvažnijih prirodnih resursa i osnovni uslov za opstanak ekosistema i ljudskih zajednica. Izvorišta podzemnih voda imaju poseban značaj jer predstavljaju osnovni izvor snabdijevanja stanovništva pitkom vodom. Zbog toga zaštita izvorišta zahtijeva poseban pristup u planiranju i upravljanju prostorom, naročito u područjima gdje dolazi do preklapanja interesa između eksploatacije mineralnih sirovina i očuvanja vodnih resursa.

Konflikt između rudarskih aktivnosti i zaštite izvorišta voda nastaje kao posljedica različitih uticaja eksploatacije, među kojima se posebno izdvajaju promjene režima podzemnih voda, snižavanje nivoa podzemne vode usljed dreniranja rudarskih prostora, mogućnost zagađenja voda procjednim vodama sa odlagališta i jalovišta, kao i promjene prirodnih hidrogeoloških tokova. Ovi procesi mogu dugoročno uticati na dostupnost i kvalitet vodnih resursa, što predstavlja ozbiljan izazov za principe održivog razvoja.

Savremeni pristup upravljanju prirodnim resursima zahtijeva pronalaženje ravnoteže između ekonomskih potreba za korištenjem mineralnih sirovina i potrebe za očuvanjem životne sredine. Održiva eksploatacija podrazumijeva primjenu odgovarajućih tehničkih, ekoloških i pravnih mjera kojima se smanjuju negativni uticaji rudarskih aktivnosti, uz istovremeno očuvanje prirodnih resursa za buduće generacije.

Cilj ovog rada je analizirati odnos između eksploatacije mineralnih sirovina i zaštite izvorišta voda, ukazati na ključne uzroke nastanka konflikta, razmotriti moguće posljedice rudarskih aktivnosti na hidrogeološki sistem te prikazati značaj primjene principa održivog

upravljanja podzemnim resursima. Posebna pažnja bit će posvećena potrebi integrisanog pristupa koji povezuje razvoj privrednih aktivnosti sa zaštitom prirodnih vrijednosti i očuvanjem kvaliteta vodnih resursa.

2. Metodologija istraživanja

U ovom radu primijenjen je multimetodološki pristup zasnovan na kvalitativnoj i komparativnoj analizi tehničkih, geoloških i pravnih parametara koji definišu konfliktni prostor između rudarskih aktivnosti i hidrogeoloških sistema. Metodologija istraživanja strukturirana je kroz tri ključne faze:

1. Metoda komparativne i deskriptivne analize: Primijenjena je za definisanje pojmovnog okvira podzemnih resursa i njihove kategorizacije. Kroz analizu postojeće stručne literature (Ignjatović & Miljković, 2004; Jovičić & Čović, 1985) i važeće zakonske regulative u Federaciji Bosne i Hercegovine (Zakon o rudarstvu FBiH, 2010; Zakon o vodama FBiH, 2006), izvršena je uporedna analiza prava na eksploataciju i prava na zaštitu resursa.
2. Metoda analize studije slučaja (Case Study Method): Za potrebe empirijskog dijela istraživanja analizirani su tehnički i ekološki parametri na kritičnim lokalitetima u Bosni i Hercegovini – rudarskom bazenu Vareš (eksploatacija polimetalčnih sirovina) i vodosnabdijevnom sistemu Kakanj. Fokus analize bio je na praćenju kretanja podzemnih voda, formiranju depresionih lijevaka i uticaju jalovišta na kvalitet akvifera.
3. Kvalitativna procjena rizika i matrica konflikta: Na osnovu dostupne stručne literature, javno dostupnih tehničkih podataka i analize odabranih lokaliteta i tehničkih specifikacija rudarskih projekata, formirana je matrica ekološko-ekonomskog konflikta. Ova matrica vizuelno i strukturno povezuje nivo intenziteta rudarskih radova sa stepenom ugroženosti hidrogeoloških struktura (akvifera), što je poslužilo kao osnova za predlaganje održivih inženjerskih mjera.

3. Rezultati i diskusija

3.1. Podzemni resursi i njihov značaj

3.1.1. Pojam i podjela podzemnih resursa

Podzemni resursi predstavljaju prirodne resurse koji se nalaze ispod površine Zemlje i koji imaju određenu ekonomsku, ekološku i društvenu vrijednost. Nastali su dugotrajnim geološkim procesima, a njihova dostupnost i način korištenja zavise od geološke građe terena, hidrogeoloških karakteristika i tehnoloških mogućnosti eksploatacije. Podzemni resursi predstavljaju važan element razvoja savremenog društva jer obuhvataju sirovine i prirodne zalihe koje se koriste u energetici, industriji, građevinarstvu, poljoprivredi i snabdijevanju stanovništva.

U širem smislu, podzemni resursi obuhvataju sve prirodne materijale i pojave koje se nalaze u Zemljinoj kori, a koje čovjek može koristiti za različite potrebe. Njihovo korištenje zahtijeva odgovorno upravljanje, jer prekomjerna ili neadekvatna eksploatacija može

izazvati negativne posljedice na životnu sredinu, posebno na stanje podzemnih voda, stabilnost tla i prirodne ekosisteme.

Podzemni resursi mogu se podijeliti prema njihovoj prirodi i načinu korištenja na nekoliko osnovnih grupa:

1. Mineralni resursi

Mineralni resursi predstavljaju prirodne koncentracije minerala i stijena koje imaju ekonomsku vrijednost i koje se mogu koristiti nakon procesa eksploatacije i prerade. U ovu grupu spadaju:

- metalne mineralne sirovine (željezna ruda, boksit, bakar, olovo, cink i drugi metali);
- nemetalne mineralne sirovine (krečnjak, glina, gips, kvarcni pijesak i druge sirovine);
- energetske mineralne sirovine (ugalj, nafta, prirodni gas i geotermalni resursi).

2. Hidrogeološki resursi (podzemne vode)

Podzemne vode predstavljaju vodu koja se nalazi u porama, pukotinama i šupljinama stijenskih masa. One imaju poseban značaj jer predstavljaju jedan od najvažnijih izvora pitke vode. Prema hidrogeološkim karakteristikama mogu se razlikovati:

- slobodni vodonosni slojevi;
- zatvoreni (arteški) vodonosni slojevi;
- kraški vodonosnici, karakteristični za područja sa krečnjačkim stijenama.

3. Geotermalni resursi

Geotermalni resursi predstavljaju prirodnu toplotnu energiju Zemljine unutrašnjosti koja se može koristiti za proizvodnju energije, grijanje objekata i druge namjene. Njihova upotreba može predstavljati značajan obnovljivi energetske potencijal.

4. Geološki prostor i stijenske mase

Stijenske mase i geološke strukture predstavljaju resurs koji se koristi u građevinarstvu, infrastrukturi i industriji. Njihova svojstva utiču na stabilnost terena, izgradnju objekata i način izvođenja rudarskih radova.

Poseban značaj u okviru podzemnih resursa imaju mineralne sirovine i podzemne vode, jer se njihovo korištenje često odvija na istom prostoru. Upravo zbog toga dolazi do pojave konflikta između potreba za eksploatacijom mineralnih resursa i potrebe za zaštitom izvorišta voda. Održivo upravljanje ovim resursima zahtijeva usklađivanje ekonomskih interesa sa principima zaštite okoliša i očuvanja prirodnih sistema.

3.1.2. Mineralne sirovine kao strateški prirodni resurs

Mineralne sirovine predstavljaju jedan od najvažnijih prirodnih resursa savremenog društva, jer čine osnovu industrijskog razvoja, energetske stabilnosti i ukupnog ekonomskog napretka jedne države. One obuhvataju prirodne koncentracije mineralnih materijala u Zemljinoj kori koji se, uz odgovarajuće tehnološke procese, mogu koristiti u različitim

granama privrede. Zbog svoje ograničenosti i neravnomjerne raspodjele, mineralne sirovine imaju karakter strateškog resursa.

Strateški značaj mineralnih sirovina proizlazi iz njihove neophodnosti za funkcionisanje ključnih sektora privrede, kao što su građevinarstvo, metalurgija, hemijska industrija, energetika i saobraćajna infrastruktura. Bez adekvatnog pristupa ovim sirovinama, teško je obezbijediti stabilan ekonomski razvoj i tehnološki napredak.

Mineralne sirovine se, prema stepenu njihove upotrebljivosti i namjeni, mogu podijeliti na:

- energetske mineralne sirovine, koje obuhvataju ugalj, naftu, prirodni gas i uranij;
- metalne mineralne sirovine, koje uključuju rude željeza, bakra, olova, cinka, aluminijuma i drugih metala;
- nemetalne mineralne sirovine, kao što su krečnjak, dolomit, glina, gips, kvarcni pijesak i druge industrijske sirovine.

Posebna karakteristika mineralnih sirovina jeste njihova neobnovljivost, što znači da se one formiraju kroz geološke procese koji traju milione godina, dok se eksploatacijom relativno brzo troše. Ova činjenica dodatno naglašava potrebu za racionalnim i održivim upravljanjem ovim resursima.

U savremenim uslovima, mineralne sirovine imaju i geopolitički značaj, jer dostupnost i kontrola nad određenim resursima može uticati na ekonomske odnose između država. Zemlje bogate strateškim sirovinama često imaju značajnu prednost u međunarodnoj trgovini i industrijskoj proizvodnji.

Međutim, eksploatacija mineralnih sirovina nosi i određene rizike po životnu sredinu, posebno u pogledu degradacije zemljišta, narušavanja pejzaža, emisije zagađujućih materija i uticaja na hidrogeološke sisteme. Zbog toga se savremeni pristup upravljanju ovim resursima zasniva na principima održivog razvoja, koji podrazumijevaju balans između ekonomskih koristi i zaštite prirodne sredine.

U kontekstu odnosa prema podzemnim vodama, mineralne sirovine imaju poseban značaj jer se njihova eksploatacija često odvija u istim geološkim formacijama gdje se nalaze vodonosni slojevi. Zbog toga je neophodno pažljivo planiranje rudarskih aktivnosti kako bi se spriječilo zagađenje i degradacija izvorišta voda, što predstavlja jedan od ključnih izazova savremenog rudarstva.

3.1.3. Sistematizacija i ekonomska vrijednost podzemnih resursa

Podzemni resursi predstavljaju fundamentalni stub privrednog razvoja, ali i najranjiviji dio ekosistema. Detaljna kategorizacija i ekonomsko-ekološki značaj pojedinih podzemnih resursa, dobijeni kroz proces autorske sistematizacije i analize geoloških podataka, prikazani su u Tabeli 1.

Kategorija	Opis	Podjela / vrste	Značaj
Podzemni resursi	Prirodni resursi koji se nalaze ispod površine Zemlje, nastali geološkim procesima kroz dugi vremenski period	Mineralni resursi, podzemne vode, geotermalni resursi, geološki prostor	Osnova za privredni razvoj, industriju i snabdjevanje stanovništva

Kategorija	Opis	Podjela / vrste	Značaj
Mineralni resursi (općenito)	Prirodne koncentracije minerala i stijena koje imaju ekonomsku vrijednost	Metalne, nemetalne i energetske mineralne sirovine	Ključni input za industriju, energetiku i građevinarstvo
Metalne sirovine	Rude koje sadrže metale u iskoristivim količinama	Željezo, bakar, olovo, cink, aluminijum	Osnova metalurgije i proizvodne industrije
Nemetalne sirovine	Mineralne sirovine koje se ne koriste za dobijanje metala	Krečnjak, dolomit, glina, gips, kvarc	Građevinarstvo, hemijska i cementna industrija
Energetske sirovine	Sirovine koje služe za proizvodnju energije	Ugalj, nafta, prirodni gas, uranij	Energetska sigurnost i proizvodnja električne energije
Podzemne vode	Voda u porama i pukotinama stijena	Slobodni, zatvoreni i kraški vodonosnici	Snabdijevanje pitkom vodom i ekološka stabilnost
Geotermalni resursi	Toplotna energija iz unutrašnjosti Zemlje	Plitki i duboki geotermalni izvori	Obnovljivi izvor energije i grijanje
Strateški značaj mineralnih sirovina	Sirovine ključne za funkcionisanje ekonomije i industrije	Energetske, metalne i industrijske sirovine	Ekonomska stabilnost, industrijski razvoj i geopolitički uticaj
Karakteristike mineralnih sirovina	Osnovne osobine koje određuju njihov značaj	Neobnovljivost, ograničena dostupnost, neujednačena raspodjela	Potreba za racionalnom i održivom eksploatacijom

Tabela 1. Kategorizacija i ekonomsko-ekološki značaj podzemnih resursa

Izvor: Autorska sistematizacija prema zvaničnim klasifikacijama

3.1.4. Značaj podzemnih voda za životnu sredinu i društvo

Podzemne vode predstavljaju jedan od najvažnijih prirodnih resursa jer obezbjeđuju osnovni izvor pitke vode za stanovništvo. Njihov značaj ogleda se u tome što su često kvalitetnije i zaštićenije od površinskih voda zbog prirodne filtracije kroz tlo i stijene. Podzemne vode imaju ključnu ulogu u održavanju ekosistema, jer utiču na biljni i životinjski svijet te stabilnost zemljišta. One su važne i za poljoprivredu i industriju, gdje se koriste za navodnjavanje i tehnološke procese. Zbog svoje ograničenosti i osjetljivosti na zagađenje, podzemne vode zahtijevaju posebne mjere zaštite i racionalnog korištenja.

3.2. Eksploatacija mineralnih sirovina

3.2.1. Metode eksploatacije mineralnih sirovina

Eksploatacija mineralnih sirovina predstavlja skup tehničko-tehnoloških procesa kojima se mineralne sirovine izdvajaju iz Zemljine kore radi dalje prerade i korištenja. Osnovne metode eksploatacije dijele se na površinsku i podzemnu eksploataciju, u zavisnosti od položaja ležišta i geoloških uslova. Površinska eksploatacija se primjenjuje kada se mineralne sirovine nalaze blizu površine i uključuje metode kao što su kopanje u površinskim kopovima i kamenolomima. Podzemna eksploatacija se koristi za dublja ležišta i obuhvata

izradu jamskih prostorija i sistema transporta rude. Izbor metode zavisi od ekonomskih, geoloških i ekoloških faktora.

3.2.2. Uticaj rudarskih aktivnosti na prirodne sisteme

Rudarske aktivnosti imaju značajan uticaj na prirodne sisteme, posebno na tlo, vodu, zrak i biodiverzitet. Tokom eksploatacije dolazi do narušavanja strukture zemljišta, ukla-njanja vegetacije i promjene prirodnog pejzaža. Jedan od najvažnijih uticaja odnosi se na hidrogeološke sisteme, gdje rudarski radovi mogu promijeniti prirodni tok i nivo podzemnih voda. Također, može doći do zagađenja voda usljed procjednih voda iz rudnika i jalovišta koje sadrže štetne materije. Sve ove promjene dugoročno utiču na ekološku ravnotežu i stabilnost okoliša.

3.2.3. Promjene hidrogeoloških uslova usljed eksploatacije

Eksploatacija mineralnih sirovina može značajno uticati na promjenu hidrogeoloških uslova u području rudarskih radova. Najčešća promjena odnosi se na sniženje nivoa podzemnih voda usljed stalnog odvodnjavanja rudarskih prostora. Ovaj proces može dovesti do poremećaja prirodnih tokova podzemnih voda i smanjenja izdašnosti izvorišta u okolini. Također, dolazi do promjene pritiska u vodonosnim slojevima, što može izazvati destabilizaciju hidrogeološkog sistema. U određenim slučajevima može doći i do presijecanja ili izmjene prirodnih vodonosnih horizonata, što dugoročno utiče na raspoloživost vodnih resursa.

3.3. Izvorišta voda i njihova zaštita

3.3.1. Značaj zaštite izvorišta podzemnih voda

Zaštita izvorišta podzemnih voda ima ključan značaj za očuvanje kvaliteta i dostupnosti pitke vode. Podzemne vode predstavljaju glavni izvor snabdijevanja stanovništva u mnogim područjima, zbog čega je njihova zaštita od zagađenja od izuzetne važnosti. Ova zaštita obuhvata sprečavanje unošenja štetnih materija u vodonosne slojeve, kao i kontrolu aktivnosti u njihovoj neposrednoj blizini. Poseban značaj ima uspostavljanje zona sanitarne zaštite koje ograničavaju ili zabranjuju određene djelatnosti u blizini izvorišta. Time se smanjuje rizik od hemijskog, biološkog i fizičkog zagađenja vode. Zaštita izvorišta doprinosi i očuvanju ekosistema koji zavise od podzemnih voda. Također, ona ima dugoročan značaj za održivi razvoj i sigurnost vodosnabdijevanja budućih generacija. Efikasno upravljanje i monitoring izvorišta predstavljaju osnovu njihove uspješne zaštite.

3.3.2. Zone sanitarne zaštite izvorišta

Zone sanitarne zaštite izvorišta predstavljaju posebno definisana područja oko izvorišta podzemnih i površinskih voda u kojima se sprovode mjere zaštite radi očuvanja kvaliteta vode. Ove zone se uspostavljaju kako bi se spriječilo zagađenje i ugrožavanje izvorišta različitim ljudskim aktivnostima. Uobičajeno se dijele na užu (prva), širu (druga) i zaštitnu zonu (treća zona), pri čemu svaka ima različit stepen zabrana i ograničenja. Prva zona sanitarne zaštite je najstrožija i u njoj su zabranjene gotovo sve aktivnosti osim onih koje su direktno vezane za održavanje izvorišta. Druga zona obuhvata šire područje gdje su dozvoljene samo kontrolisane aktivnosti uz stroge mjere zaštite. Treća zona predstavlja

šire slivno područje gdje se sprovodi opća kontrola i monitoring potencijalnih zagađivača. Uspostavljanje ovih zona ima ključnu ulogu u prevenciji kontaminacije podzemnih voda. Time se dugoročno osigurava stabilno i sigurno vodosnabdijevanje stanovništva.

3.3.3. Rizici zagađenja podzemnih voda

Rizici zagađenja podzemnih voda predstavljaju jedan od najvažnijih ekoloških problema u područjima gdje se intenzivno odvijaju ljudske aktivnosti, posebno rudarstvo, industrija i poljoprivreda. Podzemne vode su relativno zaštićene prirodnim slojevima tla i stijena, ali kada dođe do njihovog zagađenja, proces sanacije je dug, skup i često neizvjestan. Zagađenje može nastati kroz infiltraciju štetnih materija sa površine, curenje iz industrijskih postrojenja, deponija ili rudarskih jalovišta. Posebno opasni izvori zagađenja u rudarskim područjima su kisele rudničke vode koje nastaju oksidacijom sulfida i mogu značajno promijeniti hemijski sastav podzemnih voda.

Jedan od glavnih rizika predstavlja hemijsko zagađenje, koje uključuje prisustvo teških metala poput olova, žive, kadmija i arsena. Ove materije mogu imati dugoročne negativne posljedice po ljudsko zdravlje i ekosisteme. Pored hemijskog, prisutno je i mikrobiološko zagađenje, koje nastaje usljed prodora nepročišćenih otpadnih voda u vodonosne slojeve. Također, postoji rizik fizičkog zagađenja, koje se ogleda u zamućenju i promjeni strukture vode.

Rudarske aktivnosti dodatno povećavaju rizik zagađenja jer narušavaju prirodnu zaštitnu barijeru tla i stijena, čime se olakšava prodor zagađivača u dublje slojeve. Odvodnjavanje rudnika može promijeniti prirodne tokove podzemnih voda, što dovodi do širenja zagađenja na veće područje. Usljed toga može doći do kontaminacije izvorišta pitke vode, što direktno ugrožava vodosnabdijevanje stanovništva.

Zbog svega navedenog, zaštita podzemnih voda zahtijeva stroge preventivne mjere, kontinuiran monitoring i primjenu savremenih tehnologija za smanjenje emisija zagađujućih materija. Poseban značaj ima planiranje rudarskih aktivnosti u skladu sa hidrogeološkim uslovima terena, kako bi se rizici sveli na minimum.

3.4 Konflikt između rudarstva i zaštite vodnih resursa

3.4.1. Uzroci konflikta između eksploatacije i zaštite voda

Konflikt između rudarstva i zaštite vodnih resursa nastaje zbog istovremenog korištenja istog prostora za dvije različite namjene – eksploataciju mineralnih sirovina i očuvanje podzemnih i površinskih voda. Osnovni uzrok ovog konflikta je činjenica da se mnogi rudarski zahvati izvode u geološkim formacijama koje ujedno predstavljaju i vodonosnike ili se nalaze u njihovoj neposrednoj blizini. Intenzivna eksploatacija često zahtijeva odvodnjavanje rudnika, što dovodi do sniženja nivoa podzemnih voda i promjene prirodnog hidrološkog režima. Time se direktno ugrožava stabilnost izvorišta koja se koriste za snabdijevanje pitkom vodom.

Drugi važan uzrok konflikta je mogućnost zagađenja voda usljed rudarskih otpadnih materijala, jalovišta i industrijskih procesa. Štetne materije mogu infiltrirati u tlo i dospjeti u vodonosne slojeve, što dugoročno narušava kvalitet vode. Također, nedovoljno planiranje i slab nadzor nad rudarskim aktivnostima povećavaju rizik od ekoloških šteta.

Dodatni uzrok konflikta predstavlja različit prioritet korištenja prostora, gdje ekonomski interesi eksploatacije često dolaze u sukob sa ekološkim zahtjevima zaštite voda. Ovaj sukob interesa zahtijeva pažljivo planiranje i primjenu principa održivog razvoja kako bi se obezbijedila ravnoteža između privrednog razvoja i zaštite prirodnih resursa (Ignjatović & Miljković, 2004; Simić et al., 1984).

Tip eksploatacije / Sirovina	Primarni hidrogeološki uzročnik	Manifestacija konflikta i ekološki rizik	Karakteristični lokaliteti (BiH)
Podzemna eksploatacija uglja	Kontinuirano tehničko odvodnjavanje i drenaža rudarskih horizonata.	Formiranje depresionog lijevka, inverzija hidrauličkog gradijenta, gubitak izdašnosti vodonosnika.	Srednjobosanski bazen (Zenica, Kakanj)
Površinski kopovi (Krečnjak/Kras)	Mehanička destrukcija stijenske mase i krovin-skih izolatorskih slojeva.	Gubitak prirodne filtracije, ubrzan transport zagađenja kroz pukotinski sistem, presušivanje plitkih akvifera.	Kraške i perikraške zone
Eksploatacija metalnih sirovina	Generisanje velikih količina tehnološkog otpada i formiranje jalovišta.	Kisela rudnička drenaža , ispi-ranje teških metala (SAs, Pb, Cd, ZnS) u podzemne recipijente.	Šire područje Vareša
Eksploatacija soli (Podzemno luženje)	Nekontrolisana hidrogeološka destrukcija i narušavanje ravnoteže masiva.	Slijeganje terena, salinizacija i trajna degradacija režima plitkih podzemnih voda.	Tuzlanski bazen
Eksploatacija riječnog agregata	Antropogeno produblji-vanje korita i uklanjanje aluvijalnih sedimenata.	Izmjena hidrodinamičkog režima, intenziviranje erozionih procesa, ugrožavanje obalnih filtra-cionih izvorišta.	Aluvij rijeke Bosne i pritoka

*Tabela 2. Matrica konflikta između rudarstva i vodnih resursa
Izvor: Autorska sistematizacija na osnovu analiziranih podataka*

3.4.2. Uticaj odvodnjavanja rudnika na režim podzemnih voda

Odvodnjavanje rudnika predstavlja neophodnu tehničku mjeru u podzemnoj i dijelom površinskoj eksploataciji, ali istovremeno ima značajan uticaj na režim podzemnih voda. Njegov osnovni cilj je sniženje nivoa podzemne vode u rudarskim prostorima kako bi se omogućilo sigurno i stabilno izvođenje rudarskih radova. Međutim, kontinuirano ispumpavanje vode dovodi do formiranja depresionog lijevka oko rudnika, što mijenja prirodni hidraulički gradijent i smjer kretanja podzemnih voda.

Kao posljedica toga dolazi do sniženja nivoa podzemnih voda u širem području, što može uticati na izdašnost bunara i prirodnih izvorišta u okolini. U nekim slučajevima, ovaj proces može izazvati isušivanje plitkih vodonosnih slojeva i smanjenje dostupnosti vode za lokalno stanovništvo i ekosisteme. Promjene u režimu podzemnih voda mogu biti dugotrajne, čak i nakon prestanka rudarskih aktivnosti, jer je potrebno vrijeme za prirodnu obnovu hidrogeološke ravnoteže.

Dodatno, odvodnjavanje može dovesti do miješanja voda različitog kvaliteta iz različitih vodonosnih horizonata, što utiče na hemijski sastav podzemnih voda. Zbog toga se odvodnjavanje rudnika mora pažljivo planirati i kontrolisati, uz stalni hidrogeološki mo-

monitoring kako bi se negativni uticaji sveli na minimum (Jovićić & Čović, 1985; Ljubić & Stojković, 2006).

3.4.3. Zagađenje voda rudarskim otpadom i jalovištima

Zagađenje voda rudarskim otpadom i jalovištima predstavlja jedan od najznačajnijih ekoloških problema koji prate eksploataciju mineralnih sirovina. Jalovišta i rudarski otpad sadrže različite hemijske supstance koje nastaju tokom procesa vađenja i prerade rude, a koje mogu imati štetan uticaj na kvalitet podzemnih i površinskih voda. Posebno su opasne pojave kisele rudničke drenaže, koja nastaje oksidacijom sulfida u prisustvu vode i kiseonika, pri čemu se oslobađaju kiseline i teški metali.

Ove zagađujuće materije, kao što su arsen, olovo, živa, kadmij i cink, mogu se ispirati iz jalovišta i putem infiltracije dospjeti u podzemne vodonosnike. Na taj način dolazi do dugotrajnog zagađenja voda, koje može ugroziti izvorišta pitke vode i ekosisteme koji zavise od njih. Poseban problem predstavlja činjenica da se teški metali ne razgrađuju u prirodi, već se akumuliraju u zemljištu i vodi, što povećava rizik po zdravlje ljudi.

Kisela rudnička drenaža predstavlja jedan od najznačajnijih problema savremenog rudarstva jer može dovesti do povećanja kiselosti vode i mobilizacije teških metala, zbog čega su neophodne dugoročne mjere kontrole i tretmana rudničkih voda (Simate et al., 2020).

Pored hemijskog zagađenja, jalovišta mogu izazvati i fizičko zagađenje voda kroz povećanu zamućenost i prisustvo suspendovanih čestica. Usled lošeg projektovanja ili neadekvatnog održavanja jalovišta, može doći do curenja ili probijanja zaštitnih barijera, što dodatno povećava rizik od širenja zagađenja.

Zbog svega navedenog, upravljanje rudarskim otpadom i jalovištima zahtijeva stroge tehničke mjere, kao što su izolacija, drenažni sistemi i kontinuirani monitoring kvaliteta voda. Primjena savremenih tehnologija i ekoloških standarda predstavlja ključni faktor u smanjenju negativnih uticaja rudarske industrije na vodne resurse (Ignjatović & Miljković, 2004; Simić et al., 1984).

3.4.4. Primjeri konflikta eksploatacije mineralnih sirovina i izvorišta voda

Primjeri konflikta između eksploatacije mineralnih sirovina i zaštite izvorišta voda najčešće se javljaju u područjima gdje se rudarske aktivnosti odvijaju u neposrednoj blizini ili unutar hidrogeološki osjetljivih zona. U takvim uslovima dolazi do preklapanja prostora eksploatacije i zona podzemnih vodonosnika, što rezultira značajnim pritiscima na hidrogeološki sistem.

Jedan od tipičnih primjera odnosi se na eksploataciju uglja u podzemnim rudnicima, gdje se rudarski radovi često izvode ispod ili u blizini izvorišta pitke vode. Intenzivno odvodnjavanje rudarskih prostorija dovodi do sniženja nivoa podzemnih voda, promjene prirodnog hidrauličkog režima i smanjenja izdašnosti izvorišta u okolini.

Drugi primjer predstavlja površinska eksploatacija krečnjaka i drugih građevinskih materijala u kraškim područjima. Zbog visoke propusnosti kraških sredina, podzemne vode cirkulišu kroz pukotine i kanale, pa svaka intervencija u stijenskoj masi može značajno izmijeniti prirodne tokove voda i ugroziti izvorišta koja se koriste za vodosnabdijevanje. Istovremeno, povećava se rizik brzog transporta zagađujućih materija u vodonosne sisteme.

Eksploatacija metalnih mineralnih sirovina dodatno doprinosi ovom konfliktu, prije svega zbog formiranja rudarskog otpada i jalovišta. Proces oksidacije sulfida mogu do-

vesti do pojave kisele rudničke drenaže, pri čemu se u vodu oslobađaju teški metali, što uzrokuje dugoročno hemijsko zagađenje podzemnih i površinskih voda. Dodatni primjer predstavlja eksploatacija šljunka i pijeska iz riječnih korita, gdje dolazi do izmjene hidrodinamičkih uslova, erozionih procesa i potencijalnog uticaja na režim podzemnih voda u aluvijalnim vodonosnicima. Ove promjene mogu indirektno uticati na stabilnost i izdašnost obližnjih izvorišta.

U kontekstu Federacije Bosne i Hercegovine, posebno se izdvaja područje Tuzlanskog basena, gdje je dugogodišnja podzemna eksploatacija soli dovela do narušavanja hidrogeološke ravnoteže, pojave slijeganja terena i izmjene režima podzemnih voda. Također, u području Zenice, kombinacija rudarske i industrijske aktivnosti, uključujući eksploataciju uglja i metaluršku proizvodnju, značajno je uticala na kvalitet podzemnih i površinskih voda rijeke Bosne i njenih pritoka. U širem području Vareša, gdje se razvijaju projekti eksploatacije olova, cinka i drugih metala, prisutan je potencijalni rizik konflikta između rudarskih aktivnosti i lokalnih izvorišta pitke vode, prvenstveno zbog mogućeg uticaja jalovišta i promjena u hidrogeološkoj strukturi terena. Svi navedeni primjeri ukazuju da je konflikt između eksploatacije mineralnih sirovina i zaštite izvorišta voda izražen u različitim geološkim i rudarskim sredinama, te da njegovo ublažavanje zahtijeva primjenu detaljnih hidrogeoloških istraživanja, kontinuirani monitoring i dosljednu primjenu mjera zaštite okoliša u skladu sa principima održivog razvoja.

3.4.5. Analiza studija slučaja: Vareš i Kakanj

Ukrštanjem podataka sa konkretnih terena u Federaciji Bosne i Hercegovine, uočene su specifične zakonitosti ekološko-ekonomskog konflikta u zavisnosti od geološke građe, vrste mineralne sirovine i primijenjene metode eksploatacije. Za potrebe ovog istraživanja detaljno su razmotrena dva primjera lokaliteta sa različitim hidrogeološkim i rudarskim karakteristikama: rudarski bazen Vareš (eksploatacija polimetalčnih sirovina) i vodosnabdijevni sistem Kakanj (višedecenijska podzemna eksploatacija mrkog uglja).

Lokalitet Vareš (Eksploatacija polimetalčnih sirovina i zaštita kraških akvifera)

Ponovno pokretanje i intenziviranje eksploatacije polimetalčnih sirovina (olovo, cink, barit, srebro) na području Vareša (lokaliteti Veovača i Rupice) donosi značajan ekonomski benefit i privredni preporod regije, ali istovremeno generiše visoke ekološke rizike za slivna područja i površinske vodotoke. Glavni problemi na ovom lokalitetu proističu iz specifične geološko-strukturne građe i blizine primarnih zona sanitarne zaštite izvorišta pitke vode.

- Ranjivost kraškog i pukotinskog sistema: Područje Vareša karakteriše intenzivna tektonska oštećenost i prisustvo trijaskih krečnjačkih blokova koji funkcionišu kao kraški akviferi sa brzim i privilegovanim podzemnim tokovima. Otvaranje podzemnih hodnika na projektu "Rupice" može uticati na pukotinske sisteme, što dovodi do nekontrolisanog drenažnog efekta. To može uzrokovati trajno obaranje nivoa podzemnih voda u okolnom masivu i smanjenje izdašnosti lokalnih gravitacionih izvora.
- Rizik od kisele rudničke drenaže (ARD) i teških metala: Budući da se radi o sulfidnim rudama (galenit, sfalerit, pirit), primarni ekološki rizik predstavlja oksidacija sulfida u kontaktu sa zrakom i vodom. Ovaj proces generiše kisele rudničke vode koje sa sobom nose visoke koncentracije toksičnih teških metala kao što su arsen

(As), olovo (Pb), kadmij (Cd), cink (Zn) i živa (Hg). Infiltracija ovih voda kroz porozne kraške kanale bez adekvatnog prečišćavanja predstavlja potencijalni rizik za kvalitet podzemnih akvifera i sliv rijeke Stavnje.

- Lokacija jalovišta u zoni konflikta: Odlaganje tehnološkog otpada i flotacijskog jalovišta zahtijeva rigorozne inženjerske mjere (postavljanje višeslojnih nepropusnih HDPE folija, drenažnih cijevi i bentonitnih jastuka). Najmanje oštećenje zaštitnog ekrana na jalovini, usljed seizmičkih aktivnosti uzrokovanih miniranjem, može dovesti do trenutnog prodiranja kontaminirane vode u podzemne recipijente.

Lokalitet Kakanj (Uticaj dugotrajnog odvodnjavanja na aluvijalne i neogene vodonosnike)

Za razliku od Vareša, Kakanj predstavlja školski primjer dugotrajnog, višedecenijskog antropogenog pritiska podzemne eksploatacije mrkog uglja na hidrogeološki režim. Fokus problema ovdje je pomjeren na procese masovnog tehničkog odvodnjavanja i stabilnost vodosnabdijevnih horizonata u aluviju rijeke Bosne.

- Formiranje regionalnog depresionog lijevka: Da bi se omogućio siguran rad u podzemnim revirima (poput jame "Haljinići"), konstantno se vrši isumpavanje enormnih količina tehnoloških podzemnih voda. Ovaj proces traje decenijama, što je rezultiralo formiranjem prostranog, regionalnog depresionog lijevka. Posljedica toga je permanentna inverzija hidrauličkog gradijenta: podzemne vode iz viših horizonata i površinski tokovi (poput rijeke Maruše i Ribnice) bježe i dreniraju se prema rudarskim radovima, umjesto da prihranjuju plitke vodosnabdijevne akvifere.
- Gubitak kapaciteta obalnih filtracionih izvorišta: Vodosnabdijevanje Kaknja u velikoj mjeri se oslanja na bunare sa obalno-filtracionim samonivelisanjem u aluvijalnim sedimentima rijeke Bosne. S obzirom na to da podzemni rudarski radovi narušavaju strukturni integritet krovinskih izolatorskih slojeva (miocenski laporci i gline), dolazi do stvaranja vještačkih naprslina i hidrauličkog povezivanja aluvija i rudarskih horizonata. Ovo direktno ugrožava izdašnost i statičke zalihe bunara, ostavljajući lokalnu zajednicu u stalnom riziku od restrikcija vode.
- Slijeganje terena i promjena površinske hidrografije: Dugotrajno otkopavanje uglja i drenaža izazvali su ulegnuća i slijeganje terena na površini. Ova ulegnuća mijenjaju prirodnu konfiguraciju terena, stvarajući močvarne zone i bare na površini u kojima se skupljaju procjedne vode sa odlagališta uglja i jalovine, čime se stvara sekundarni izvor površinskog i podzemnog zagađenja.

Sinergija ekonomskih interesa i ekoloških pritisaka u zonama eksploatacije, koja vodi do opisanog konflikta u prostoru na primjerima Vareša i Kaknja, slikovito je vizualizovana na Slici 1.

Principi održivog razvoja u rudarstvu zasnivaju se na ravnoteži između ekonomskih koristi, zaštite životne sredine i društvene odgovornosti. To znači da se pri planiranju rudarskih aktivnosti mora voditi računa o minimiziranju negativnih uticaja na okoliš, posebno na tlo, vode i zrak, kao i na zdravlje ljudi. Posebna pažnja posvećuje se zaštiti podzemnih voda i izvorišta, koja su često direktno ugrožena rudarskim zahvatima.

Održivo korištenje mineralnih resursa podrazumijeva primjenu savremenih tehnologija eksploatacije koje omogućavaju veću efikasnost uz manji stepen degradacije okoliša. Također, važnu ulogu imaju rekultivacija i sanacija rudarskih površina nakon završetka eksploatacije, čime se smanjuje dugoročni negativni uticaj na prostor.

U savremenom pristupu, sve veći značaj ima i princip predostrožnosti, koji zahtijeva da se potencijalni rizici po okoliš procjenjuju unaprijed i da se preduzimaju mjere za njihovo sprječavanje. Na taj način se nastoji uspostaviti balans između potrebe za korištenjem mineralnih sirovina i očuvanja prirodnih ekosistema.

3.5.2. Tehničke i ekološke mjere za smanjenje negativnih uticaja

Tehničke i ekološke mjere za smanjenje negativnih uticaja eksploatacije mineralnih sirovina imaju ključnu ulogu u zaštiti podzemnih voda i očuvanju okoliša. Njihov osnovni cilj je smanjenje zagađenja, kontrola hidrogeoloških promjena i minimiziranje degradacije zemljišta tokom i nakon rudarskih aktivnosti.

Jedna od najvažnijih tehničkih mjera je pravilno projektovanje rudarskih radova uz prethodna detaljna hidrogeološka istraživanja. Na taj način se izbjegava eksploatacija u osjetljivim zonama i smanjuje rizik od narušavanja vodonosnih slojeva. Također, primjena sistema kontrolisanog odvodnjavanja rudnika omogućava stabilizaciju nivoa podzemnih voda i smanjenje negativnog uticaja na okolne izvore. U okviru ekoloških mjera značajnu ulogu ima pravilno upravljanje rudarskim otpadom i jalovištima. To podrazumijeva njihovo izolovanje, izgradnju nepropusnih barijera i sistema za prikupljanje procjednih voda kako bi se spriječilo zagađenje podzemnih i površinskih voda. Dodatno, primjenjuju se sistemi za prečišćavanje voda prije njihovog ispuštanja u prirodne recipijente.

Održivo upravljanje rudarskim otpadom zahtijeva kontrolu procesa oksidacije, smanjenje migracije zagađujućih materija i primjenu odgovarajućih hidrogeokemijskih mjera zaštite (Parbhakar-Fox et al., 2020).

Važna mjera je i kontinuirani monitoring kvaliteta voda, tla i zraka u zoni uticaja rudarskih aktivnosti. Monitoring omogućava pravovremeno otkrivanje promjena i preduzimanje korektivnih mjera prije nego što dođe do ozbiljnijih posljedica. Na kraju, rekultivacija i sanacija degradiranih površina nakon završetka eksploatacije predstavlja neizostavan dio ekološkog upravljanja. Ove mjere uključuju vraćanje zemljišta u funkcionalno stanje, pošumljavanje i obnovu prirodnog pejzaža, čime se dugoročno smanjuje negativan uticaj rudarstva na životnu sredinu.

3.5.3. Monitoring i upravljanje rizicima za zaštitu voda

Monitoring i upravljanje rizicima za zaštitu voda predstavljaju ključne elemente savremenog sistema zaštite podzemnih i površinskih vodnih resursa, posebno u područjima gdje se odvijaju rudarske aktivnosti. Monitoring podrazumijeva kontinuirano praćenje fizičko-hemijskih i bioloških parametara vode, tla i hidrogeoloških uslova kako bi se na vrijeme uočile promjene koje mogu ukazivati na zagađenje ili narušavanje prirodne ravnoteže.

U okviru hidrogeološkog monitoringa prati se nivo podzemnih voda, pravci njihovog kretanja, kao i promjene u izdašnosti izvorišta. Pored toga, analiziraju se i hemijski parametri kao što su pH vrijednost, sadržaj teških metala, sulfata i drugih potencijalno štetnih supstanci. Ovi podaci omogućavaju procjenu uticaja rudarskih aktivnosti na kvalitet i režim voda.

Upravljanje rizicima podrazumijeva identifikaciju potencijalnih izvora zagađenja i hidrogeoloških poremećaja, kao i procjenu njihove vjerovatnoće i mogućih posljedica. Na osnovu toga se definišu preventivne i korektivne mjere, koje mogu uključivati izmještanje rudarskih radova, dodatnu zaštitu jalovišta, poboljšanje sistema odvodnjavanja ili uvođenje naprednih tehnologija prečišćavanja voda.

Poseban značaj ima izrada planova upravljanja rizicima koji integrišu tehničke, ekološke i institucionalne mjere zaštite. Takvi planovi omogućavaju koordinisan pristup i brzu reakciju u slučaju incidentnih situacija, kao što su curenja zagađujućih materija ili nagle promjene u hidrogeološkom režimu.

Savremeni pristupi zaštiti podzemnih voda posebno naglašavaju značaj kontinuiranog hidrogeološkog monitoringa, naročito u kraškim sredinama gdje promjene u režimu voda mogu brzo uticati na kvalitet i raspoloživost izvorišta (Stevanović & Maran Stevanović, 2021).



Slika 2. Prikaz održivog razvoja, tehničkih mjera i monitoringa u eksploataciji mineralnih sirovina
Izvor: Izrada autora prema dostupnoj literaturi

3.6. Pravni i institucionalni okvir zaštite resursa

3.6.1. Zakonska regulativa u oblasti rudarstva i zaštite voda u FBiH

Pravni i institucionalni okvir zaštite resursa u Federaciji Bosne i Hercegovine zasniva se na nizu zakona koji uređuju oblast rudarstva, voda i zaštite okoliša. Zakon o rudarstvu Federacije BiH propisuje uslove za eksploataciju mineralnih sirovina uz obavezno poštivanje mjera zaštite životne sredine. Zakonom o vodama uređuje se upravljanje, korištenje i zaštita vodnih resursa s ciljem očuvanja njihovog kvaliteta i dostupnosti. Nadležne institucije, uključujući Federalno ministarstvo energije, rudarstva i industrije te Federalno ministarstvo okoliša i turizma, imaju ključnu ulogu u nadzoru i provođenju propisa. Također, kantonalni organi uprave učestvuju u implementaciji zakonskih odredbi na lokalnom nivou. Ovaj okvir ima za cilj usklađivanje ekonomskog razvoja s principima održivog upravljanja prirodnim resursima (Zakon o rudarstvu FBiH, 2010; Zakon o vodama FBiH, 2006).

Iako Zakon o rudarstvu omogućava korištenje mineralnih resursa, Zakon o vodama postavlja ograničenja u zonama zaštite izvorišta, što u praksi može dovesti do konflikta nadležnosti.

3.6.2. Procjena uticaja na okoliš kod rudarskih projekata

Procjena uticaja na okoliš kod rudarskih projekata predstavlja zakonom propisani postupak kojim se analiziraju i predviđaju potencijalni negativni i pozitivni uticaji planirane eksploatacije na okoliš. Ovaj postupak obuhvata identifikaciju uticaja na zrak, vode, zemljište, biodiverzitet i zdravlje ljudi. Posebna pažnja posvećuje se uticaju na podzemne i površinske vode, s obzirom na rizik od kontaminacije i promjene hidrološkog režima. Investitor je obavezan izraditi Studiju uticaja na okoliš, koju izrađuju ovlaštene stručne institucije. Na osnovu te studije nadležni organ donosi odluku o izdavanju okolinske dozvole, uz definisanje mjera zaštite i monitoringa. Cilj procjene uticaja na okoliš je da se negativni efekti rudarskih aktivnosti svedu na najmanju moguću mjeru i obezbijedi održivo korištenje prirodnih resursa.

3.6.3. Uloga institucija u zaštiti prirodnih resursa

Institucije imaju ključnu ulogu u zaštiti prirodnih resursa kroz donošenje propisa, nadzor i sprovođenje zakona. Nadležna ministarstva na federalnom i kantonalnom nivou definišu politike upravljanja vodama, šumama i mineralnim resursima. Inspeksijski organi vrše kontrolu terenskih aktivnosti i osiguravaju da se rudarski i drugi projekti realizuju u skladu sa zakonskim standardima. Javne agencije i zavodi prikupljaju podatke o stanju okoliša i provode monitoring kvaliteta vode, zraka i zemljišta. Sudske institucije imaju ulogu u sankcionisanju nelegalnih aktivnosti i zaštiti javnog interesa u slučaju narušavanja okoliša. Saradnja između državnih institucija, lokalnih zajednica i stručnih organizacija doprinosi efikasnijoj i održivoj zaštiti prirodnih resursa.

U Bosni i Hercegovini zaštita prirodnih resursa je podijeljena između državnog, entitetskog i kantonalnog nivoa, pa postoji više nadležnih institucija. Na državnom nivou djeluje Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa BiH, koje ima koordinacijsku ulogu u oblasti okoliša i međunarodnih sporazuma. Također, važnu ulogu ima i Državna regulatorna komisija i Agencija za statistiku BiH u dijelu praćenja i izvještavanja. U Federaciji

BiH ključne institucije su Federalno ministarstvo okoliša i turizma i Federalno ministarstvo energije, rudarstva i industrije, koja regulišu okoliš i eksploataciju mineralnih sirovina. Uz njih djeluje i Federalna uprava za inspekcijske poslove, posebno rudarska, vodna i ekološka inspekcija. Značajnu ulogu imaju i stručne institucije poput Agencije za vodno područje rijeke Save i Agencije za vodno područje Jadranskog mora, koje upravljaju vodnim resursima i zaštitom voda. Na kantonalnom nivou postoje kantonalna ministarstva za okoliš i prostorno uređenje te kantonalne inspekcije koje provode zakone u praksi na terenu. Također, jedinice lokalne samouprave učestvuju u izdavanju dozvola i kontroli manjih projekata.

4. Zaključak

Eksploatacija mineralnih sirovina predstavlja značajan faktor ekonomskog razvoja, ali istovremeno može imati ozbiljne posljedice na prirodne sisteme, posebno na režim i kvalitet podzemnih voda. Analiza provedena u ovom radu pokazala je da se osnovni konflikt između rudarstva i zaštite izvorišta voda javlja zbog prostornog preklapanja rudarskih aktivnosti sa hidrogeološki osjetljivim područjima, kao i zbog promjena koje nastaju usljed odvodnjavanja rudnika, formiranja depresionih lijevaka i mogućeg prodora zagađujućih materija u vodonosne slojeve.

Poseban rizik predstavljaju podzemne rudarske aktivnosti koje mogu dovesti do promjene prirodnog režima podzemnih voda, smanjenja izdašnosti izvorišta i narušavanja hidrogeološke ravnoteže. Pored kvantitativnih promjena, značajan problem predstavlja i mogućnost kvalitativnog zagađenja voda usljed pojave kisele rudničke drenaže, ispiranja jalovišta i prisustva teških metala. Primjeri analizirani kroz područja Vareša i Kaknja ukazuju da intenzitet uticaja zavisi od vrste mineralne sirovine, geoloških karakteristika terena, načina eksploatacije i efikasnosti primijenjenih mjera zaštite.

Rezultati rada potvrđuju da održivo upravljanje podzemnim resursima zahtijeva usklađivanje ekonomskih interesa rudarske industrije sa principima zaštite okoliša i sigurnosti vodosnabdijevanja. Pri tome posebnu važnost imaju detaljna hidrogeološka istraživanja prije početka eksploatacije, kvalitetna procjena uticaja na okoliš, kontrolisano upravljanje rudničkim vodama, odgovarajuće zbrinjavanje rudarskog otpada i kontinuirani monitoring stanja podzemnih voda.

Zakonski i institucionalni okvir predstavlja važan element zaštite resursa, ali njegova efikasnost zavisi od stvarne primjene propisa, koordinacije nadležnih institucija i dosljednog nadzora nad rudarskim projektima. U zonama gdje postoji mogućnost ugrožavanja izvorišta pitke vode, zaštita vodnih resursa mora imati prioritet u odnosu na kratkoročne ekonomske koristi.

Može se zaključiti da održivo korištenje mineralnih resursa nije moguće bez integrisanog pristupa koji povezuje rudarsko inženjerstvo, hidrogeologiju, zaštitu okoliša i pravnu regulativu. Samo pravovremenim planiranjem, primjenom savremenih tehnologija zaštite i kontinuiranim praćenjem stanja okoliša moguće je ostvariti ravnotežu između korištenja mineralnih resursa i očuvanja izvorišta voda za buduće generacije.

Literatura

- Federalno ministarstvo okoliša i turizma. (2022). Pravilnik o postupku procjene uticaja na okoliš i izdavanju okolinske dozvole. Vlada Federacije BiH.
- Federalno ministarstvo energije, rudarstva i industrije. (2025). Strateška procjena uticaja na okoliš (SPUO) – Netechnički rezime. Vlada Federacije BiH. Pristupljeno 28. juna 2026. sa https://fmeri.gov.ba/media/3493/spuo_netechnicki_06092025_cl.pdf
- Europe House BiH. (2023). Ekopedija. Europe House. Pristupljeno 28. juna 2026. sa <https://europehouse.ba/en/ekopedija-90-en/>
- Ignjatović, M., i Miljković, M. (2004). Rudarska hidrotehnika. Institut za bakar Bor.
- Jovičić, V., i Čović, A. (1975). Odvodnjavanje rudnika. Rudarsko-geološki fakultet Beograd.
- Jovičić, V., i Čović, A. (1985). Odvodnjavanje rudnika (2. izd.). Rudarsko-geološki fakultet Beograd.
- Ljubić, Z., i Stojković, Z. (2006). Odvodnjavanje rudnika. Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu.
- Pajkić, S., i Ljubojev, M. (2004). Istražno bušenje - tehnika i tehnologija. Institut za bakar Bor.
- Parbhakar-Fox, A., Edraki, M., Walters, S., et al. (2020). Mine Waste Rock: Insights for Sustainable Hydrogeochemical Management. *Minerals*, 10(9), 728. <https://doi.org/10.3390/min10090728>
- Projekt "Procjena stanja prirode i ekosistema u BiH". (2023). Pritisci na prirodu u Bosni i Hercegovini. Pristupljeno 28. juna 2026. sa <https://www.procjenaprirode.ba/wp-content/uploads/2023/06/pritisci-na-prirodu-u-bih.pdf>
- Simate, G. S., Ndlovu, S., i Mhlanga, S. D. (2020). Sustainable resolutions for environmental threat of the acid mine drainage. *Science of The Total Environment*, 717, 137211. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137211>
- Simić, R., Mršović, D., i Pavlović, V. (1984). Odvodnjavanje površinskih kopova. Rudarski institut Zemun.
- Scribd. (2013). Odvodnjavanje u rudarstvu [Stručni dokument]. Scribd. Pristupljeno 28. juna 2026. sa <https://www.scribd.com/document/181244405/Odvodnjavanje-u-Rudarstvu>
- Stevanović, Z., & Maran Stevanović, A. (2021). Monitoring as the Key Factor for Sustainable Use and Protection of Groundwater in Karst Environments—An Overview. *Sustainability*, 13(10), 5468. <https://doi.org/10.3390/su13105468>
- Vlada Federacije Bosne i Hercegovine. (2010). Strategija upravljanja vodama Federacije BiH 2010–2022. Agencija za vodno područje rijeke Save. Pristupljeno 28. juna 2026. sa https://www.voda.ba/doc/Strategija_upravljanja_vodama_FBiH_2010-2022.pdf
- Zakon o rudarstvu Federacije Bosne i Hercegovine. ("Službene novine FBiH", broj 26/10 i 44/11).
- Zakon o vodama Federacije Bosne i Hercegovine. ("Službene novine FBiH", broj 70/06).
- Zakon o zaštiti okoliša Federacije Bosne i Hercegovine. ("Službene novine FBiH", broj 15/21).