

UDK: 504.06:628.515:622:681.325(045)=163.41

Primljen: 22.12.2022.

DOI: 10.5937/bakar2301023B

Prerađen: 01.03.2023.

NAUČNI RAD

Prihvaćen: 06.03.2023.

Oblast: Rudarstvo i zaštita životne sredine

**UNAPREĐENJE ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE U
OKOLINI RUDNIKA AUTOMATIZACIJOM MONITORINGA
KVALITETA TEKUĆE VODE**

**IMPROVEMENT OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION IN
THE MINE AREA BY THE MONITORING AUTOMATIZATION
OF THE FLOWING WATER QUALITY**

Krsta Brčić

Industrijski sistemi automatskog upravljanja – ISAU, Beograd

E-mail: krsta.brcic@gmail.com

Izvod

Zaštita životne sredine i obnovljivi izvori energije su prioritet svih investicija širom sveta. Sistemi za praćenje parametara životne sredine opremljeni su raznim senzorima, uređajima, mrežama i softverom za prikupljanje, obradu, praćenje i prikaz podataka o parametrima životne sredine. U tom smislu, u ovom radu se razmatra automatizacija praćenja kvaliteta vode reke na području rudnika bakra „Čukaru Peki“ u Srbiji. Za sada se kvalitet vodotoka u području prati uzimanjem uzoraka vode i analizom u nadležnoj laboratoriji. Automatizacija bi višestruko poboljšala kvalitet praćenja. Pri tome se mogu koristiti znatno jeftiniji ("low cost") uređaji. Ovi uređaji su jeftiniji, a njihov kvalitet je za konkretnu primenu u potpunosti na nivou onih koji se na tržištu nude kao komercijalni. Problem je ukratko razmatran i u pogledu troškova i benefita.

Ključne reči: oblast rudnika, zaštita životne sredine, parametri, merenje, senzori, automatizacija, telekomunikacione mreže

Abstract

The environmental protection and renewable energy sources are the priority of all investments around the world. The environmental monitoring systems are equipped with various sensors, devices, networks and software to collect, process, monitor and display data on the environmental parameters. In that sense, this paper discusses the automation of river water quality monitoring in the area of the "Čukaru Peki" copper mine in Serbia. Until now, the water quality in the area is being monitored by taking and analyzing the water samples in the competent laboratory. The automation would improve the quality of monitoring multiple times. At the same time, the significantly cheaper ("low cost") devices can be used. These devices are cheaper and their quality is for a specific application completely at the level of those offered on the market as commercial ones. The problem is briefly considered in terms of costs and benefits.

Keywords: mine area, environmental protection, parameters, measurement, sensors, automation, telecommunication networks

1. UVOD

Brzi napredak u tehnološkim inovacijama, uključujući automatizaciju, digitalizaciju i energetske efikasnosti, suštinski menjaju način na koji rudarski sektor funkcioniše. Sve se to primenjuje i na zaštitu životne sredine u okolini rudnika. Rudnici su inače veliki zagađivači životne sredine, kako vazduha tako i vode i zemljišta. Ne samo otvorene već i podzemne eksploatacije izazivaju stres koji ima za posledicu i promene na terenu. Sve to nameće neophodnost da se prate i analiziraju parametri životne sredine u okolini rudnika [1].

Pri eksploataciji rudnih resursa i preradi rude stvaraju se gomile otpada, jalovine, čvrstog otpada i drugo, tako da na terenu nastaju značajne promene. To pogađa poljoprivredno zemljište i oštećuje okruženje za uzgoj useva – što utiče na prihode od poljoprivrede i na socijalne uslove. Sledi da je ekonomski prosperitet na osnovu eksploatacije rudnog bogatstva u suprotnosti sa održavanjem životne sredine. U svetu se to razmatra kao problem koji treba hitno rešiti. Da bi se to ostvarilo, neophodno je pratiti štetni uticaj na životnu sredinu merenjem emisije i akumulacije štetnih materija u vazduhu, vodi i tlu. Danas se u celom svetu investira u zaštitu životne sredine i obnovljive izvore energije. Sistemi za praćenje parametara životne sredine se opremaju naprednim senzorima, uređajima, mrežama i softverom za prikupljanje, obradu, praćenje i prikaz podataka o parametrima životne sredine.

U ovom radu se, u smislu napred navedenog, razmatra automatizacija praćenja kvaliteta vodenog toka reke u području rudnika bakra „Čukaru Peki“ u Srbiji. Za sada se praćenje kvaliteta vodenog toka vrši uzorkovanjem vode i analizom koja se vrši u nadležnoj laboratoriji. Automatizacijom bi se kvalitet monitoringa višestruko unapredio. U svetu se za unapređenje monitoringa parametara životne sredine razmatraju rešenja primenom znatno jeftinijih uređaja („low cost“) u odnosu na klasične. Ovi uređaji su za konkretnu primenu i uslove eksploatacije u potpunosti na nivou klasičnih po kvalitetu, a cena im je znatno niža. Klasični senzori za monitoring parametara životne sredine imaju više opcija, koje u suštini nisu neophodne za konkretnu primenu. Klasični uređaji se isporučuju kalibrisani, imaju mogućnost samočišćenja i nešto duži vek trajanja u odnosu „low cost“ senzore.

U vezi monitoriga kvaliteta vazduha na području grada Bora korišćenjem „low cost“ senzora objavljeno je više radova, tako da ovaj rad predstavlja ne samo razmatranje unapređenja monitoringa kvaliteta vodenog toka reke, već teži da doprinese ukupnom unapređenju monitoriga životne sredine u okolini rudnika uopšte. Posebno ako se pri akviziciji rezultata merenja koristi „Trigger mod“ (merenje okidanjem) i druge tehnike za optimalno iskorišćavanje kapaciteta uređaja i kapaciteta raspoložive komunikacione mreže.

Pored nabrojanog, bitno je istaći da za monitoring životne sredine u okolini rudnika treba da je prvenstveno zainteresovana lokalna zajednica. Iako

korporacija promoviše korporativnu odgovornost u vezi zaštite životne sredine, ipak trka za profitom i zaštita životne sredine su dva sučeljana subjekta.

2. MATERIJAL I METODA ISTRAŽIVANJA

Parametri životne sredine u okolini rudnika su potencijalno izloženi uticaju koji nastaje aktivnostima rudnika. Ovde su korišćeni podaci i iskustva izloženi u proučenoj literaturi, stručnim i naučnim publikacijama objavljenih u svetu i kod nas, a odnose se na osnovne informacije o senzorima koji se koriste za monitoring parametara životne sredine u okolini rudnika. Deo proučene literature, koji je smatran reprezentativnim, naveden je u spisku literature ovog rada. Sumirani su i sistematizovani rezultati istraživanja, sa praktičnom primenom na konkretnom primeru.

Uticaj na životnu sredinu pri korišćenju prirodnih resursa je već davno uočen. Tako je nastala i knjiga „Granice rasta“, koju je izdao Rimski klub, tako nazvan skup od sedamdesetak naučnika iz 25 zemalja sveta [2]. Ovom knjigom se htelo ukazati u kojoj će meri do 2100. godine biti negativne posledice po životnu sredinu. Procena je izvedena na osnovu tendencija koje su ostvarene u periodu od 1900. do 1970. godine. Zaključeno je da eksploatacija mineralnih resursa ima izuzetan značaj u ekonomskom razvoju kao rezultat njihovog korišćenja za energiju tako i za industrijske sirovine, ali da to ima i veliki uticaj na životnu sredinu. To je potvrđeno i podacima iz brojnih publikacija [3] koje su objavljene.

U svetu je do sada objavljen veliki broj studija, koje se odnose na praćenje i zaštitu životne sredine, kao i o sistemima za praćenje parametara životne sredine. To se može potvrditi i naći u bazi podataka Web of Science™ Core Collection dostupnih preko interneta, što je u ovom članku uzeto za pristup izvoru materijala.

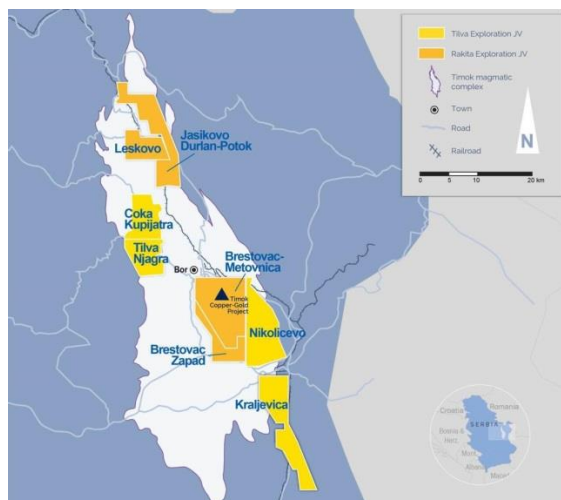
Takođe, brzo su razvijeni i različiti senzori, uređaji i sistemi za praćenje parametara životne sredine. Brojne studije i analize su pokazale, da nove sisteme i rešenja za praćenje parametara životne sredine u okolini rudnika, pored niske cene kapitalnih investicija, odlikuje i niža cena korišćenja i održavanja, a i fleksibilnost. Sistemi na bazi „low cost“ uređaja su posebno jeftiniji od komercijalnih, s tim što pri njihovom uvođenju i instaliranju sam korisnik sastavlja konfiguraciju senzora, bira komunikacionu mrežu i određuje druge detalje, a za verifikaciju angažuje nadležnu laboratoriju. Za klasična, odnosno komercijalna rešenja sve to radi isporučilac istih. Sistem za monitoring na bazi jeftinih senzora u potpunosti zadovoljava industrijske potrebe i u tom pogledu ovi uređaji ne zaostaju u odnosu na karakteristike konvencionalnih, odnosno, komercijalnih sistema. Razlika je u tome što o redovnoj proverbi i verifikaciji tačnosti jeftinijih senzora brine korisnik sistema, odnosno, brinu

zainteresovane strane, u skladu sa relevantnim standardima i propisima, kao i o samom projektovanju i kompletnoj instalaciji.

Rudarska kompanija obično ima i svoju službu tehničkog održavanja uređaja i postrojenja ili ima ugovor sa nekim preduzećem koje se time bavi, tako da te poslove može da realizuje kao deo održavanja, odnosno unapređenja procesa proizvodnje, koje se izvodi pri redovnom periodičnom remontu postrojenja.

Za monitoring životne sredine u okolini rudnika postavljaju se merne stanice (čvorovi) koje imaju merne sonde sa više senzora, računarske module, data logere, telekomunikacione module i solarne panele za napajanje uređaja električnom energijom [4]. Savremene uređaje ove vrste odlikuje pouzdanost, tačnost, mala potrošnja energije, male dimenzije modula, mogućnost programiranja, jednostavno povezivanje, jednostavno korišćenje i robustnost.

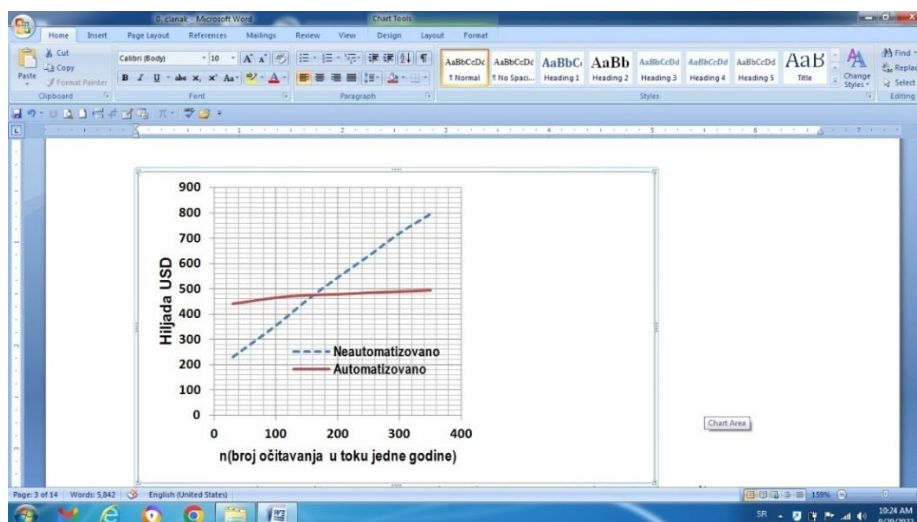
Ovde ćemo razmatrati primenu jeftinih senzora, odnosno rešenja povoljniji cena, i automatizaciju sistema za praćenje kvaliteta životne sredine u okolini rudnika bakra „Čukaru Peki“ (slika 1), a koje se odnosi na vodotok na području rudnika. Rudnik se nalazi na 5 do 6 km južno od Bora [5], a na području rudnika protiče Brestovačka reka. Reka je u planinskom delu dužine 5 km, a u preostalom toku do ulivanja u Crni Timok 10 km.



Sl. 1. Okolina rudnika „Čukaru Peki“

Mnoge su studije u svetu rađene u vezi štetnih materija koje nastaju rudarskom proizvodnjom i utiču na životnu sredinu [6]. U tom smislu su rađene i analize rizika od zagađenja otpadnom vodom i drugim štetnim materijama koje potiču od rudnika bakra „Čukaru Peki“ [7]. Monitoringom kvaliteta vodenog toka izbegao bi se u prvom redu rizik od kontaminacije kako vodenog toka tako i okoline štetnim materijama industrijskog porekla. Razmatran je

sadržaj i tehnika merenja, prikupljanja, obrade, prenosa i prikaza podataka o kvalitetu vodenog toka, na osnovu podataka publikovanih studija, analiza, članaka i konkretnih izveštaja.



Sl. 2. Dijagram troškova

Procenu ekonomskog efekta automatizacije monitoringa životne sredine možemo izvesti na osnovu dijagrama prikazanog na slici 2. Na dijagramu su prikazani troškovi kapitalnih investicija sa troškovima upotrebe za jedan konkretan sistem od 37 mernih senzora sa manuelnim prikupljanjem podataka, troškovima kapitalnih ulaganja i troškovima upotrebe mernog senzora kada je automatizovan [8]. Na samom početku troškove čine kapitalne investicije, a tokom eksploatacije imamo troškove korišćenja i održavanja. Vidi se da su troškovi investiranja u automatizovani sistem veći, ali su troškovi eksploatacije znatno niži, te automatizacija vrlo brzo pokazuje svoju isplativost. Podaci su iz perioda kada je automatizacija monitoringa parametara životne sredine bila na početku razvoja. Danas su ti troškovi znatno niži, ali je relativni odnos troškova skoro isti.

3. IZBOR SENZORA, MERNA SREDSTVA I SISTEMI

Rudarski otpad i flotaciona jalovina na otvorenom prostoru izloženi su atmosferi i atmosferskim padavinama, i tako štetne materije dospevaju u prostor oko rudnika. Kada nastanu atmosferski uslovi ili oštećenja na instalacijama, onda visok sadržaj teških metala u svim oblicima i može dospeti u životnu sredinu u okolini rudnika. Godinama su razvijane i poboljšavane metode za

pouzđano merenje parametara životne sredine [9], o čemu su urađena brojna istraživanja i postoji obimna literatura i podaci. U tom smislu, bitno je istaći dati problem, jer se tokom razvoja stalno menjaju prednosti jedne od druge tehnike merenja i korišćenja fizičko-hemijskih efekata supstanci u životnoj sredini čije se prisustvo i koncentracije mere. Danas sigurne, jeftine i efikasne metode akvizicije podataka čine da sistemi za praćenje parametara životne sredine imaju veliki potencijal u praćenju i istraživanju rudarskih aktivnosti, koje su bitne za monitoring parametara životne sredine u okolini rudnika [10], slika 3.

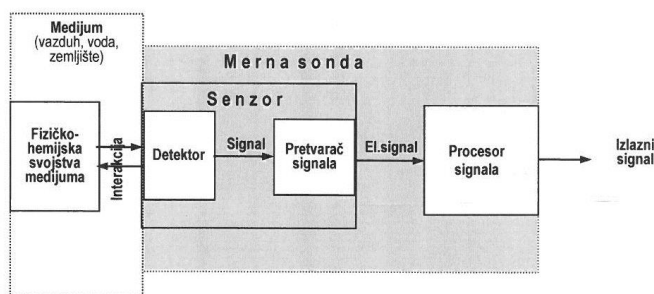
Sistemi za praćenje parametara životne sredine opremljeni su različitim sensorima, hardverom i softverom obezbeđujući efikasan način da se kontinuirano prate parametri životne sredine i vrši prevencija rizika pri eksploataciji prirodnih resursa, a moguće je planiranje rekultivacije zemljišta.

Za određivanje sadržaja neke određene supstance u medijumu koji se analizira koristi se fizičko-hemijsko svojstvo te supstance koje je najizražanije i pogodno da je senzor detektuje (optičko, elektrooptičko, itd.), prikazano u tabeli 1.

Tabela 1. *Detekcija senzora*

Princip	Karakteristike	Radni uslovi
Optički	Merni opseg	Temperature
Elektrooptički	Rezolucija	Vlažnost
Elektrolitički	Osetljivost	Mehaničko delovanje
Elektrohemijski	Tačnost	Prskajuća voda
Bioelektrohemijski	Preciznost	Potapanje
Mikrotalasni	Merna neodređenost	

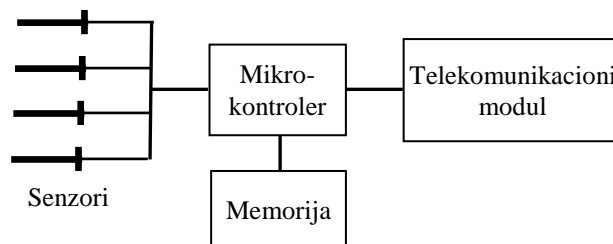
Dakle, koristi se svojstvo koje najbolje determiniše koncentraciju tragova supstance u medijumu koji se analizira i pretvara u električni signal. Pri tome, moraju biti obezbeđeni i svi metrološki uslovi: verodostojnost merenja, osetljivost, merni opseg, rezolucija, i dr. Zatim, bitno je da senzor ima, kao i svi uređaji u sistemu, kratko vreme odziva i da funkcioniše u uslovima radne sredine. Detektorski deo senzora mora da ima adekvatnu interkonekciju sa medijumom koji se analizira. Pri tome je veoma bitna geometrija prostora (komore) u kome je interakcija, kao i da stanje tog medijuma ne bude promenjeno do odgovora (potpune reakcije) senzora, tj. do dobijanja rezultata merenja. Međutim, vreme odgovora senzora mora da prati dinamiku promena u meri da se može govoriti o kontinualnom merenju. U tom smislu, konstrukciju senzora, tj. sonde sa sensorima za detekciju i merenje koncentracije teških metala u vodi možemo prikazati skicom kao na slici 3.



Sl. 3. Model merne sonde sa senzorom

Razvoj senzora je izuzetno dinamičan, tako da elementi detektora u svakoj novoj generaciji se usavršavaju na bazi novih materijala i nanotehnologija što je i razlog analize koja je prethodila. Merni signal je izuzetno niskog intenziteta u prvoj fazi, te je potrebno da se kondicionira, tj. da se pojača do intenziteta pogodnog za dalju obradu – procesiranje. Nakon obrade signal može biti analogni u nekom od standardnih formata (4 do 20 mA, 1 do 5 V, i dr.) i/ili u nekom od digitalnih formata. Prema vrsti i obliku izlaznog signala je izveden priključak ili kabl određene dužine za povezivanje sa elektronskim sklopom (uređajem) merne stanice.

Više senzora za detekciju koncentracije različitih supstanci u medijumu koji se analizira mogu biti sastavljeni kao jedan modul – merna sonda (multisensory probe). Sve napredniji senzori koriste sve manje energije za napajanje. Izlazni signal senzora se do mernog uređaja prenosi žično, a ako senzori imaju sopstveno napajanje, onda je prenos obično bežično (WiFi). Merni uređaj sadrži odgovarajući interfejs, računarsku jedinicu (mikrokontroler), memoriju (izvedena kao podrška obradi signala i/ili memorisanje podataka – dataloger) i telekomunikacioni modul (slika 4).



Sl. 4. Merni uređaj za više senzora

Za monitoring parametara životne sredine u realnom vremenu, bitno je da senzori pored metroloških zahteva zadovolje i vreme odziva, broj merenja u

jedinici vremena, potrošnju, životni vek uređaja, troškove instaliranja, korišćenja i održavanja, kao i pogodnost za integraciju u postojeći sistem. Dinamika razvoja posebnih oblasti koje se primenjuju je evidentna [11], i to ne samo prema stručnim i naučnim publikacijama koja se objavljuju, već i prema ponudi na tržištu (Libelium, Metler Toledo, Endress+Hauser, i dr.) [12,13], slike 5 i 6.



Sl. 5. *Merna stanica Libelium*



Sl. 6. *ARDUINO GSM/GPRS telekomunikacioni modul*

Na slici 7 je merna sonda sa četiri senzora za merenje parametara kvaliteta vode. Unapređenja na bazi nano tehnologija omogućavaju da su elektrode minijature i da su senzori visokih metroloških karakteristika [14], na čemu se radi već više godina [15].



Sl. 7. *Merna sonda sa četiri senzora*

Za merenja u realnom vremenu na licu mesta ključno je da senzori imaju relativno kratko vreme odziva, kako bi se merenje moglo smatrati kontinualnim, tj. da merenja verodostojno pokazuju promene vrednosti parametara koji se prate.

4. AUTOMTIZACIJA MONITORINGA

Klasični sistem monitoringa kvaliteta površinske vode podrazumeva: planiranje, izdavanje naloga za analizu, uzimanje uzoraka, odnošenje uzorka u laboratoriju na analizu, analizu, izradu i dostavljanje laboratorijskog izveštaja. Uzimanje uzoraka sa lica mesta (boca/zahvat), a zatim analiza uzorka u

laboratoriji je troškovno zahtevno (rad, transport, i dr.). To je stanje samo „snimak“ u trenutku uzimanja uzorka, a vreme od trenutka uzimanja uzorka do dobijanja rezultata analize može biti više dana. Osim toga, uzorak nije reprezentativan kada nivo kontaminacije osciluje. To je nametnulo potrebu za razvoj i primenu metoda i sredstava kojima bi se sve ovo prevazišlo [16].

Razvijeni su automatizovani sistemi za monitoring parametara životne sredine u realnom vremenu, gde su senzori postavljeni na merno mesto i povezani sa uređajem merne stanice od koje su podaci o izmerenim vrednostima dostupni preko odabrane telekomunikacione mreže [8,17].

Kao što je već u uvodnom delu istaknuto, okolina rudnika je izložena uticaju i riziku štetnih materijala koji nastaju pri rudarskoj proizvodnji. Izgradnjom mernih stanica i korišćenjem telekomunikacionih mreža, podaci o parametrima kvaliteta vodenog toka mogu se učiniti dostupnim „online“ u realnom vremenu kako je prikazano u tabeli 2.

Tabela 2. Šema rada merne stanice

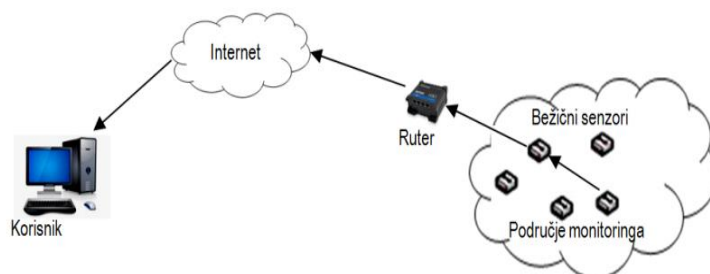
Prenos podataka sa data logera mernih stanica moguć preko SMS, LAN i Wi-Fi. Server obezbeđuje upravljanje data logerima, bazom podataka, ulaznim podacima i pristupom korisnika podacima sa mernih stanica. Prikaz u realnom vremenu: statusa uređaja, servera, i korisnika podataka. Upozorenje korisnika podataka i klijenta softvera na alarm. Upravljanje podacima sa udaljenih uređaja prema korisnicima. Centralno upravljanje bazom podataka MySQL/SQL/Orakle ili dr.			
Server	Klijent – korisnik podataka	Prikaz - ekran	Data logeri senzora
			Grafički prikaz i tabelarni prikaz. Prosečne vrednosti. Granične vrednosti. Alarmi i događaji.

Promene vrednosti parametara životne sredine, u opštem slučaju, nisu brze. Zahvaljujući tome što se ne radi o velikim brzinama obrade i prenosa signala to ni telekomunikacioni deo sistema nije finansijski zahtevan, tj. može se govoriti da se radi o rešenjima nižih cena („low cost“).

Pored ostalih i Android je, kao i drugi operativni sistemi, postao veoma popularan. Zahvaljujući tome mnoge kompanije koriste mobilne telefone za raznovrsne primene pa i za monitoring parametara životne sredine. Tako

možemo imati podatke o zagađivačima i indeksu kvaliteta vazduha, vode i zemljišta na mobilnom telefonu. Na sličan način može se organizovati monitoring vodenih tela. Naša zemlja ima razvijenu telekomunikacionu infrastrukturu i kapacitet iste da se to realizuje.

U nekim zemljama su za potrebe navodnjavanja, za domaćinstva i industriju instalirani autonomni sistemi monitoriga površinskih voda (slika 8) [18]. Mnogi rudnici već više godina imaju svoje autonomne sisteme za monitoring parametara životne sredine u okolini rudnika [19]. Permanentnom kontrolom parametara kvaliteta voda dobija se uvid u stanje kvaliteta voda koje se koriste, te se po potrebi preduzimaju i odgovarajuće mere u cilju očuvanja životne sredine.



Sl. 8. *Autonomni sistem monitoringa*

U Republici Srbiji sprovođenje monitoringa zagađujućih materija u vodama je regulisan Zakonom o vodama („Službeni glasnik RS“, br. 30/10, 93/12) i doneta je Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vodi i rokovima za njihovo dostizanje („Službeni glasnik RS“, br. 67/11, 48/12, 1/16).

Redovni monitoring parametara kvaliteta vode u području rudnika obezbeđuje da se blagovremeno eliminišu rizici i svi eventualni nedostaci nastali tokom izgradnje i eksploatacije rudničke infrastrukture [7]. Zahvaljujući dinamici fenomena životne sredine koja ne zahteva velike brzine obrade, velike količine podataka, razvijene su hardverske i softverske niskobudžetne platforme (ZigBee, Arduino, i dr.). Izrađeni su i u primeni su odgovarajući standardi. Ove mreže nisu predviđene za brzi prenos velike količine informacija, ali se efikasno koriste kao po ceni pogodna rešenja u mrežma za povezivanje senzora namenjenih za monitoring parametara životne sredine.

Za merenje parametara životne sredine je bitan i interval merenja, odnosno, učestanost uzorkovanja. Empirijski i teorijski proračuni su pokazali da efekat usrednjavanja vremena uzorkovanja zanemaruju kratkotrajne fluktuacije u koncentracijama zagađivača. Dužim vremenskim periodom uzorkovanja zanemaruje se fluktuacija izmerenih vrednosti. Kraći period uzorkovanja daje previše fine detalje koji nisu neophodni za biološki model okoline, odnosno,

životne sredine, a opterećuju se komunikacioni kanali, kao i kapacitet i memorija računarskih jedinica i modula.

Period uzorkovanja može biti odabran probabilistički ili na osnovu procene proračunom [20]. Uzorkovanje zasnovanog na zakonima verovatnoće podrazumeva primenu teorije statistike, uključujući slučajni odabir jedinica uzorkovanja. Pri tome se statistički zaključci izvode iz podataka dobijenih iz jedinica uzorkovanja. Odabir perioda uzorkovanja na osnovu procene podrazumeva izbor na osnovu svojstva parametra koji se meri, odnosno, na osnovu profesionalne procene. Vrednosti parametara životne sredine i njihova periodičnost jesu slučajne veličina $x = N(\bar{x}, \sigma)$. Za pokazivanje značaja vremena uzorkovanja t_s za neku periodičnu pojavu $x = X \sin\left(\frac{2\pi}{t_p} t\right)$ možemo posmatrati odnos standardne geometrijske devijacije s_G^2 periodično uzetih vrednosti (semplova) parametara pri monitoringu i standardne geometrijske devijacije σ_G^2 fluktuacije vrednosti parametara koji se prate (originala) [21] prema formuli:

$$\frac{s_G^2}{\sigma_G^2} = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{t_p}{t_s}\right)^2 \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{t_p} t_s\right)\right] \quad (1)$$

gde je:

s_G^2 – standardna geometrijska devijacija vrednosti periodično uzetih vrednosti

t_s – vreme uzorkovanja

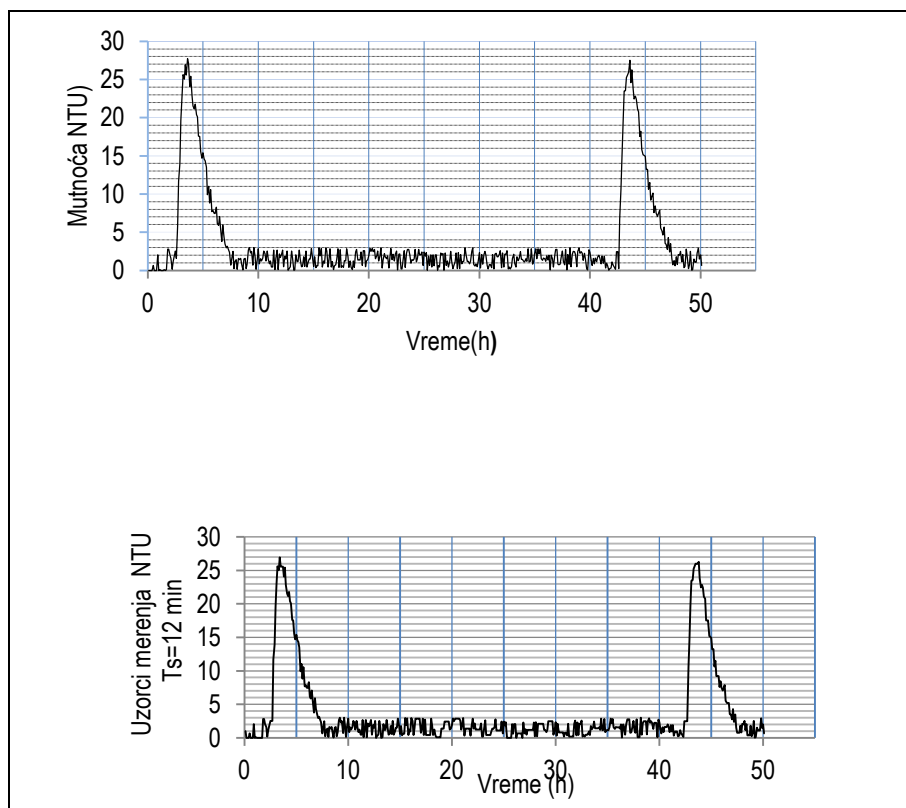
σ_G^2 – standardna geometrijska devijacija

U statističkom smislu rešenje je zadovoljavajuće, ako statistički parametri uzoraka merenja ne odstupaju značajno od statističkih parametara originala.

Za ilustraciju je na slici 9 prikazan primer merenja mutnoće vode koja u nekim trenucima ima povećanu zamućenost, što je manifestacija ukupnog sadržaja suspendovanih čestica i rastvorenih materija u vodi. Na prvom dijagramu je prikazano kontinualno merenje, a na drugom dijagramu su uzorci merenja koji se uzimaju svakih 12 minuta. U statističkom smislu nema značajne razlike standardne devijacije prikazanih podataka na prvom i na drugom dijagramu. Za vrednosti kontinualnog merenja u izuzetno malim koracima izračunata standardna devijacija je $\sigma = 6,02$ NTU, a za uzorke merenja $\sigma_{(t_s=12\text{min})} = 6,01$ NTU. Dakle, razlika je zanemarljiva. Međutim, ovo može da posluži samo kao orijentacioni podatak, inače se obrada podataka i analize rade prema onome čemu služe dobijeni podaci o vrednostima merenja (na primer za biološke modele, razne predikcije, i sl.).

Tokom poslednjih godina, uzorkovanje i praćenje parametara životne sredine zasnovanih na događajima (kad nastupe određeni uslovi) dobijaju

posebnu pažnju istraživača bežičnih senzorskih mreža [21]. Strategijom merenja zasnovanog na događajima, prikupljaju se samo podaci od interesa i nema obrade i prenosa nepotrebnih informacija između senzora i korisnika podataka u mreži sistema za monitoring.



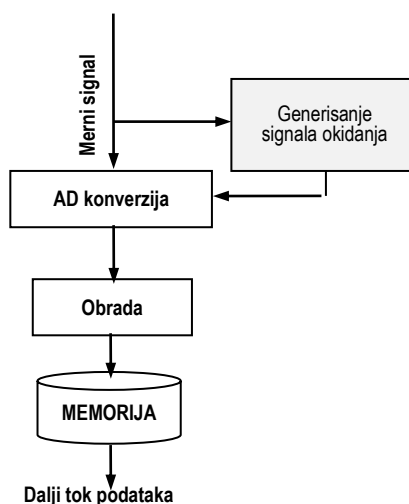
Sl. 9. Dijagrami merenja mutnoće

Ovo smanjenje količine informacija koje se generiše i razmenjuje, ima niz pogodnosti uključujući smanjenje potrošnje energije, produženje životnog veka uređaja, smanjenje računarskog opterećenja uređaja i manji propusni opseg mreže.

Sistemi zasnovani na događajima postaju sve uobičajeniji, posebno za distribuirano detektovanje i kontrolu u realnom vremenu. Softverska aplikacija čija je funkcija zasnovana na događajima je ona u kojoj se promenljive stanja ažuriraju asinhrono u vremenu, na primer kada se detektuje bitan podatak ili kašnjenja pri izračunavanjima. Na taj način se može podesiti i brzina prenosa podataka tako da se dobije kompromis performansi sistema za monitoring i broja prenosa u jedinici vremena. Tehnika uzorkovanja zasnovanog na

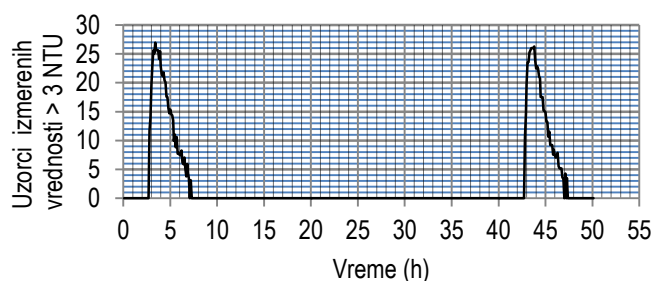
dogadjajima je pokazala dobre performanse upravljanja sistemom za monitoring. Broj komutacija je znatno smanjen u poređenju sa tradicionalnim upravljanjem zasnovanim na fiksnom vremenu uzorkovanja.

Ako je trenutak pojave veće koncentracije neke štetne materije u životnu sredinu ne tako čest i nepredvidiv, a i trajanje te pojave nepredvidljivo, kontinualno merenje nepotrebno opterećuje kapacitete uređaja i celokupne mreže. Time bi se nepotrebno trošila energija, aktivirala obrada signala i zauzimala memorija računarskih jedinica, a i komunikacioni kanali bi bili zauzeti bez potrebe. Rešenje problema je upravo da se merenje aktivira „okidanjem“ (Triggering of Measurements) što je prikazano na slici 10 [21].



Sl. 10. Princip „Trigger mod“

Signal „okidanja“ se generiše po nekom definisanom kriterijumu, na primer prema mernom signalu koji dolazi od senzora. To može biti izvedeno kako hardverski tako i softverski. Isto tako se može generisati i signal alarma. Signal „okidač“ za aktiviranje merenja, tj. započinjenja uzorkovanja i vremenskog intervala uzastopnih merenja može biti generisan i na osnovu vrednosti parametra koji se prati i/ili na osnovu promena te vrednosti, kada te vrednosti budu prekoračile zadate nivoe, slika 11. Može se generisati i kada je nivo koncentracije štetnih materija toliki da utiče na degradaciju kvaliteta životne sredine ili je u interesu za proučavanje uticaja na životnu sredinu. Ovo je najniži stepen generisanja signala „okidanja“, inače oni su aktuelni za sve nivoe obrade i prenosa podataka o parametrima životne sredine dobijenih sa prostorno raspoređenih senzora (in-situ).



Sl. 11. Prikaz izmerenih vrednosti zamućenosti vode samo koje su iznad 3 NTU

Ukupne suspedovane čestice i rastvorene materije u vodi manifestuju se mutnoćom vode. Mutnoća je značajan pokazatelj kvaliteta vode, mada nije direktna mera sadržaja ukupnih suspendovanih materija. Čestice od kojih potiče mutnoća vode takođe mogu sadržati materije koje su toksične, kao i rastvorljive toksične supstance. Ako je vrednost mutnoće vode veća od 5 NTU može se smatrati da je lošeg kvaliteta i da ima štetan uticaj na životnu sredinu. Izmerene visoke vrednosti mutnoće ili promene u izmerenim vrednostima su pokazatelji problema sa kvalitetom vode. Glavne prednosti merenja mutnoće kao indikatora kvaliteta vode se ogledaju u tome što je ovo merenje veoma jednostavno i relativno jeftino i što se može sprovoditi kontinualno. Voda se smatra da je čista, kada je vizuelno prozirna i bez boje, što odgovara mutnoći manjoj od 5 NTU. U opštem slučaju, mutnoća može biti posledica sadržaja čestica koje nisu toksične, ali i posledica koncentracije teških metala i pesticida, što utiče i na alkalitet vode (pH vrednost).

Poređenja radi u smislu polazišta ovog rada, kratko razmotrimo primer pristupa praćenju kvaliteta vode reke Pek u okolini rudnika bakra u Majdanpeku. Trenutno se to radi na klasičan način, tako što se uzimaju uzorci vode, a zatim nose u laboratoriju na analizu. Prema objavljenoj publikaciji [22], otpadna voda iz flotacije se: filtrira, zgušnjava i uvodi u taložnik, a zatim se ponovo koristi u procesu flotiranja. Periodično se ispušta u reku Pek zemljanim kanalom. Sadržaj štetnih materija u vodi se meri na tri mesta: u otpadnoj vodi neposredno posle prečišćavanja na mestu ispuštanja, onda u rečnom toku na mestu ispred ispuštanja otpadne vode u rečni tok i nizvodno u rečnom toku na određenoj udaljenosti od mesta ulivanja otpadne vode u rečni tok. Uzorkovanje je periodično i uzorci se nose u laboratoriju na analizu. Sigurno će ovaj sistem u bliskoj budućnosti biti osavremenjen uvođenjem on-line monitoringa.

U području rudnika „Čukaru Peki“ protiče Brestovačka reka. Brestovačka reka je otoka Borskog jezera, dužine je 24 km i uliva se u Crni Timok nizvodno od ušća Zlotske reke. Prosečan protok je $1,21\text{m}^3/\text{s}$.



Sl. 12. Sliv Crnog Timoka

Analize nisu pokazale povećanu zagađenost, koje bi poticale od rudničkih otpadnih voda rudnika „Čukaru Peki“ [23]. Merenja se vrše na klasičan način, a prva automatska merna stanica se nalazi u Gamzigradu na Crnom Timoku, gde je automatskim merenjem obuhvaćen samo vodostaj (slika 12, tačka 3). Ostala merenja se tu vrše po planu monitoringa na klasičan način, uzimanjem uzoraka i odnošenjem u laboratoriju na analizu.

Na slici 13 je prikazana lokacija i neposredna okolina rudnika „Čukaru Peki“. Ucrтана su merna mesta, gde bi se adekvatno ugradile merne sonde sa više senzora sistema za monitoring kvaliteta vodotoka Brestovačke reke. Time i kontinualnim praćenjem stanja stvorili bi se uslovi da se preduprede sve eventualnosti identifikovanog rizika za izgrađena postrojenja i instalacije rudnika. U okolini rudnika ima površina na kojima se gaje poljoprivredne kulture, a dalje nizvodno se nalaze male plantaže i farme koje bi tako sigurno i bezbedno koristile vodu Brestovačke reke. Do sada sprovedena klasična merenja na tim mestima nisu pokazala povećane vrednosti koncentracije teških metala u vodi. Međutim, nije isključeno da u toku rada rudnika dođe do neočekivanih događaja (kvarovi na objektima i instalacijama, jake atmosferske padavine, i sl.) [7]. Instaliranjem sistema za automatizovani monitoring kako je izloženo u ovom radu bili bi izbegnuti ti rizici i shodno tome dobili bi se i drugi relevantni benefiti.



Sl. 13. Raspored mernih mesta

Na osnovu napred izloženih razmatranja, može se uočiti da klasičan pristup monitoringa tekuće vode ima bitnih ograničenja i to:

1. uzorci vode na licu mesta odražavaju sastav vode u trenutku uzorkovanja, ali možda neće pokazati epizodnu kontaminaciju;
2. problem je kada se moraju prikupiti i izdvojiti velike količine vode za kvantifikaciju i procenu tragova zagađivača;
3. nisu uvek realno izmerene koncentracije rastvorenih zagađivača,
4. postupak je skup i dugo traje.

Prevazilaženje ovih ograničenja i verodostojna slika kvaliteta vode može se dobiti korišćenjem novih pristupa i kontinualnim monitoringom parametara kvaliteta tekuće vode u okolini rudnika. To uključuje:

1. senzore, uređaje za obradu, memorisanje i prenos podataka;
2. adekvatna učestalost uzorkovanja;
3. automatsko sekvencijalno uzorkovanje podataka;
4. rano upozorenje ako postoji alarmni stepen zagađenosti; i
5. istraživanje biološkog aspekta zagađenja.

Zahvaljujući specifičnosti u pogledu vrednosti i dinamike parametara kvaliteta životne sredine, za operativni monitoring parametara životne sredine nisu neophodni uređaji visokih performansi. Za uređaje čije performance obezbeđuju praćenje dinamike fluktuacije parametara životne sredine nije neophodan veliki budžet. Što se tiče detalja u vezi uređenja lokacije merne tačke i konstrukcije merne sonde sa senzorima cena je posebno niža ako je jednostavna konstrukcija interakcije sa supstancom koja se analizira i nisu potrebni reagensi. Zatim, da merni uređaji na koje se priključuju senzori, imaju

samo neophodne module za obradu, memorisanje i prenos podataka. Za testiranje, kalibraciju i podešavanja da na uređaju postoji priključak za test uređaj sa tastaturom i displejom, odnosno sa „touch“ monitorom ili priključak za laptop.

Poslužićemo se i kratkim razmatranjem problema sa aspekta analize troškova i doprinosa. Za potpunu analizu isplativosti rešenja kao investicije i sve doprinose (Cost Benefit Analyse – CBA) neophodno je uzeti u razmatranje sve relevantne činjenice sa svih aspekata i dodeliti im rang, numeričke vrednosti ili estimacije kao:

$R^M = \|r_i^M\|_{i=1,n}$ – vektor elemenata „cost funkcije“ i „funkcije benefita“
za klasičan monitoring

$R^A = \|r_i^A\|_{i=1,m}$ – vektor elemenata „cost funkcije“ i „funkcije benefita“
za automatizovani monitoring

Ograničimo li se na elemente troškova, tj. „cost funkciju“ C čiji se elementi mogu aproksimirati prema dijagramu sa slike 2 i drugih nabrajanja, gde je T vektor stepena ili mera uticaja, imamo:

$$C^M = R^M \cdot T^T = [r_1^M \ r_2^M] \cdot [1 \ t]^T \quad (2)$$

gde je: $T = [1 \ t]$, a t – vreme

$$C^A = R^A \cdot T^T = [r_1^A \ r_2^A] \cdot [1 \ t]^T \quad (3)$$

S obzirom da je $r_1^A > r_1^M$ i $r_2^A \ll r_2^M$, onda je za dovoljno veliko t : $C^A < C^M$.

Pored toga, za monitoring parametara životne sredine nisu neophodne velike brzine obrade i prenosa podataka, pa se rešenja mogu realizovati i nižim budžetom (upotrebom „low cost“ uređaja i instalacija).

Ovakav sistem je moguće da se izvede za jedno područje kao individualno, a uz korišćenje kompatibilnih telekomunikacionih uređaja i softvera, može da se uključi u postojeći monitoring sistem Agencije za zaštitu životne sredine Republike Srbije.

ZAKLJUČAK

Eksploatacija mineralnih sirovina ima izuzetno negativan uticaj na životnu sredinu. Monitoring parametara životne sredine je ključno u preduzimanju mera za zaštitu životne sredine u okolini rudnika. Zahvaljujući novim tehnologijama i dostupnosti istih na tržištu, danas su povoljne mogućnosti za automatizovani „online“ monitoring parametara životne sredine. Danas je brzo, tačno i jeftino praćenje parametara kvaliteta vode reke u oblasti rudnika veoma pogodno za kontinualnu sigurnost kvaliteta vode, posebno u područjima koja imaju ograničen resurs voda.

Ovaj rad je ograničen na automatizaciju sistema za monitoring parametara životne sredine, korišćenjem jeftinijih rešenja. Dat je pregled specifičnosti senzora i bežične senzorske mreže, koje su primenljive na sisteme za praćenje parametara životne sredine. Dinamika fluktuacije vrednosti parametara životne sredine ne zahteva velike brzine očitavanja, obrade i prenosa velike količine podataka. Zahvaljujući tome moguće je da se monitoring parametara životne sredine realizuje sensorima i pratećim uređajima koji imaju malu potrošnju energije, cena im je niža i pogodni su za praćenje parametara životne sredine na licu mesta u realnom vremenu. Razvijeni su i u primeni su jeftini standardizovani telekomunikacioni moduli za prenos podataka sa vrednostima parametara životne sredine.

Sve prethodno nabrojano odnosi se na razmatranje unapređenja monitoringa parametara životne sredine, zamenom konvencionalnog monitoringa automatizovanim monitoringom sensorima i pratećim uređajima nižih cena. Za ilustraciju je uzet konkretan primer primene na monitoring parametare tekuće vode u području rudnika.

Projektom postrojenja rudnika „Čukaru Peki“, ispuštanje otpadne vode u Brestovačku reku je predviđeno samo u toku izvođenja radova, ali ne i u toku normalnog odvijanja procesa proizvodnje. Međutim, rizici i neplanirani događaji su uvek mogući. Postavljanjem mernih uređaja i korišćenjem savremenih tehnologija za akviziciju podataka, kako je ovde prikazano, znatno bi se unapredio monitoring životne sredine u okolini rudnika uključujući blagovremene alarme i smanjenje faktora rizika.

Korišćenje rešenja na bazi jeftinijih senzora i telekomunikacionih uređaja koji se mogu povezati u postojeći sistem za monitoring parametara životne sredine po važećim standardima i mogućnostima postojećih mreža komunikacije, kako je prikazano u ovom radu, može obezbediti:

- Kontinualni monitoring kvaliteta tekuće vode na području rudnika.
- Rano otkrivanje mogućih neispravnosti na objektima i postrojenjima za upravljanje otpadom i otpadnom vodom rudnika.
- Blagovremeno otklanjanje rizika po životnu sredinu od nastanka havarija skladišta jalovine i instalacija usled vremenskih nepogoda.
- Sprečavanje akumulacija štetnih materija u vodi i zemljištu.
- Procena mogućnosti unapređenja korišćenja i revitalizacije zemljišta u okolini rudnika.
- Unapređenje poverenja između lokalne zajednice i rudarske kompanije.

Iz izloženih razmatranja može se uočiti da je urađen veliki broj istraživanja i prikaza kako u svetu tako i kod nas koja se odnose na konkretne sisteme za monitoring parametara životne sredine. Što se tiče količine podataka, njihove obrade i brzine prenosa između senzora i merenih uređaja, kao i od mernih uređaja do administratora monitoring parametara životne sredine i korisnika, za to nisu neophodne velike brzine i kapacitet obrade i prenosa. Zahvaljujući tome

primena jeftinijih („low cost“) uređaja je sasvim zadovoljavajuća, a doneti su i odgovarajući standardi.

Posebno je bitno da ovakav sistem ima mogućnost uklapanja i povezivanje u postojeći sistem za monitoring parametara životne sredine iz nadležnosti Agencije za zaštitu životne.

LITERATURA

- [1] F. Mao, K. Khamis, S. Krause, J. Clark, D. M. Hannah, Low-cost environmental sensor networks: Recent advances and future directions, *Frontiers in Earth Science*, 7 (2019) 221, <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00221>
- [2] D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, W. W. Behrens, *The Limits to growth: A report for the club of Rome's project on the predicament of mankind*, A Potomac Associates Book, Paperback, January 1, 1974.
- [3] O. Agboola, D. E. Babatunde, O. Sunday, Isaac Fayomi, Emmanuel Rotimi Sadiku, Patricia Popoola, Lucey Moropeng, Abdulrazaq Yahaya, Onose Angela Mamudu, A review on the impact of mining operation: Monitoring, assessment and management, *Results in Engineering*, 8 (2020) 100181, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100181>
- [4] W. Song, W. Song, H. Gu, F. Li, Progress in the remote sensing monitoring of the ecological environment in mining areas, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6) (2020) 1846, <https://doi.org/10.3390/ijerph17061846>
- [5] Z. Stojanović, Studija izvodljivosti eksploatacije ležišta masivno sulfidne rude bakra i zlata Čukaru Peki – Gornja zona, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, novembar 2019.
- [6] B. Balabanova, T. Stafilov, R. Šajn, K. Bačeva, Distribution of chemical elements in attic dust as reflection of their geogenic and anthropogenic sources in the vicinity of the Copper Mine and Flotation Plant, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 61 (2011) 173–184, <https://doi.org/10.1007/s00244-010-9603-5>
- [7] D. Nišić, Preliminary risk assessment of dam failure at the location of the Čukaru Peki deposit, Bor (Serbia), *Minerals*, 11(10) (2021) 1126, <https://doi.org/10.3390/min11101126>
- [8] C.M.K. Boldt, B.J. Scheibner, Remote sensing of mine waste, United States Department of Interior, Bureau of Mines Information Circular 9152, 1987.
- [9] G. Zhao, H. Wang, G. Liu, Recent advances in chemically modified electrodes, microfabricated devices and injection systems for the electrochemical detection of heavy metals: A review, *International Journal of Electrochemical Science*, 12 (2017) 8622-8641, doi: 10.20964/ 2017.09.39

-
- [10] J. Liu, J. Wu, W. Feng, X. Li, Ecological risk assessment of heavy metals in water bodies around typical copper mines in China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (12) (2020) 4315, <https://doi.org/10.3390/ijerph17124315>
- [11] V. Tasić, Primena low-cost senzora i sistema za monitoring aerozagadenja, 5th Internacional Conference on Renewable Electrical Power Sources, Proceedings, Vol. 5, 1 (2017) 11-19, <https://doi.org/10.24094/mkoiee.017.5.1.11>.
- [12] Libelium catalog 2022, <https://libelium.com>
- [13] Metler Toledo, InLab Sensors Electrodes, https://www.mt.com/sg/en/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/Product
- [14] Y. Wang, Y. Xu, J. Jiang, Y. Li, J. Tong, C. Bian, A portable sensor system with ultramicro electrode chip for the detection of heavy-metal ions in water, *Micromachines* 12 (12) (2021) 1468, <https://doi.org/10.3390/mi12121468>
- [15] A. Hayat, J. L. Marty, Disposable screen printed electrochemical sensors: Tools for environmental monitoring, *Sensors*, 16(6) (2014) 10432-10453, <https://doi.org/10.3390/s140610432>
- [16] S. O. Olatinwo, T.-H. Joubert, Enabling communication networks for water quality monitoring applications: A survey, *IEEE*, 7 (2019) 100332-100362, DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2904945
- [17] Z. Rasin, M. R.1 Abdullah, Water quality monitoring system using zigbee based wireless sensor network, *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 9, 10 (2013) 24-28.
- [18] I. Iliyasu, R. Mukhtar, W. D. Joseph, S. Tanko, J. Dey Nyeri, Y. S Sanda, Arduino based smart sensing platform for monitoring weather parameters, *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, Vol. 6, 7 (2021) 34-39, DOI: 10.33564/IJEAST.2021.v06i07.007
- [19] Vodoprivredna osnova Republike Srbije, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ Beograd, jun 2001., str. 319-322.
- [20] B. E. Saltzman, Significance of sampling time in air monitoring, *Journal of the Air Pollution Control Association*, Vol. 20, 10 (1970) 660-665, <https://doi.org/10.1080/00022470.1970.10469454>
- [21] R. Bartoldus, C. Bernius, D. W. Miller, Innovations in trigger and data acquisition systems for next-generation physics facilities, *Arxiv*, 2022, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.07620>
- [22] S. Šerbula, A. Ristić, S. Manasijević, N.a Dolić, Teški metali u otpadnim vodama Rudnika bakra Majdanpek, *Zaštita materijala*, 56(1) (2015) 52-58.
- [23] Izveštaj o analizi vode, Institut za zaštitu na radu ad Novi Sad, <https://bor.rs/wp-content/uploads/2022/01/v0962-1-15-Opstinska-uprava-Bor-povrsinska-voda-NOVO.pdf>