

UTJECAJ TEŠKIH METALA NA OKOLIŠ-SLUČAJ RIJEKE NERETVE

Marković, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:384825>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite na radu
Stručni prijediplomski studij sigurnosti i zaštite

Ivan Marković

**UTJECAJ TEŠKIH METALA NA OKOLIŠ –
SLUČAJ RIJEKE NERETVE**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2024.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and protection department
Professional undergraduate study of Safety and Protection

Ivan Marković

**THE IMPACT OF HEAVY METALS ON THE
ENVIRONMENT- THE CASE OF RIVER
NERETVA**

Final paper

Karlovac, 2024.

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite na radu
Stručni prijediplomski studij sigurnosti i zaštite

Ivan Marković

**UTJECAJ TEŠKIH METALA NA OKOLIŠ-
SLUČAJ RIJEKE NERETVE**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:
Dr.sc. Jasna Halambek, v.pred

Karlovac, 2024.



**VELEUČILIŠTE
U KARLOVCU**
Karlovac University
of Applied Sciences

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Trg J.J.Strossmayera 9
HR-47000, Karlovac, Croatia
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni/specijalistički studij: Stručni prijediplomski studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 2024.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: IVAN MARKOVIĆ

Matični broj: 0248077086

Naslov: UTJECAJ TEŠKIH METALA NA OKOLIŠ-SLUČAJ RIJEKE NERETVE

Opis zadatka:

Cilj završnog rada je istražiti utjecaj teških metala na okoliš i zdravlje ljudi. Posebna pažnja bit će posvećena industrijskom onečišćenju i otpadu kao glavnim izvorima teških metala. U ovome radu naglasak će se dati važnostima primjene mjera kako bi se smanjio utjecaj teških metala na okoliš i zaštitilo zdravlje ljudi. Na kraju rada, istražiti će se utjecaj teških metala na određeno područje, rijeku Neretvu u Bosni i Hercegovini, koju je pogodilo jako onečišćenje teškim metalima.

Zadatak zadan:

03/2023.

Rok predaje rada:

03/2024

Predviđeni datum obrane:

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva

Dr.sc. Jasna Halambek, v.pred.

Lidija Jakšić, mag.ing.cheming., pred.

PREDGOVOR

Izjavljujem da sam svoj završni rad pod naslovom „Utjecaj teških metala na okoliš-slučaj rijeke Neretve“ napisao samostalno, koristeći navedenu stručnu i znanstvenu literaturu, kao i stečeno znanje tijekom studija.

Ovom prilikom bih se zahvalio svim profesorima i djelatnicima Veleučilišta u Karlovcu te mentorici dr.sc. Jasni Halambek na uloženom strpljenju i prenesenom znanju.

Također, želio bih se zahvaliti svojoj obitelji na podršci tokom studiranja kao i svim prijateljima i kolegama koji su mi ove tri godine studiranja olakšali i bili uz mene.

Ivan Marković

SAŽETAK

Teški metali, visoko toksični kemijski elementi, prirodno se javljaju u zemlji, ali i nastaju kao posljedica ljudskih aktivnosti. Njihova prisutnost u okolišu predstavlja ozbiljan problem za okoliš i zdravlje ljudi. Putovi unosa teških metala u okoliš uključuju industrijsko onečišćenje, otpad, rudarstvo, promet, poljoprivredu te unos kroz hranu, vodu i zrak. Oni se akumuliraju u tlu, vodi i biljkama te štetno djeluju na ekosustave i lanac prehrane. Izloženost teškim metalima može uzrokovati neurološka oštećenja, karcinogene učinke, reproduktivne poremećaje i oštećenja organa i sustava kod ljudi.

Mjere za smanjenje utjecaja teških metala uključuju regulacije i zakonodavstvo, filtriranje vode i zraka, recikliranje i učinkovito zbrinjavanje otpada, kontrolu poljoprivrednih aktivnosti, monitoring teških metala u okolišu i testiranje ljudi te sigurne postupke rukovanja i odlaganja. Analizom utjecaja teških metala na određeno područje identificiraju se visoke razine kontaminacije i provode mjere za smanjenje utjecaja na lokalnoj razini.

Razumijevanje utjecaja teških metala na okoliš i zdravlje ljudi ključno je za razvoj održivih strategija zaštite. Primjena adekvatnih mjera za smanjenje kontaminacije teškim metalima, kontrola izvora onečišćenja, poboljšanje infrastrukture za zbrinjavanje otpada i edukacija javnosti o rizicima povezanim s teškim metalima su od iznimne važnosti. Suradnjom vlada, industrije, znanstvenika i građana moguće je ostvariti napredak u zaštiti okoliša i osigurati zdraviju budućnost za sve.

Cilj završnog rada je analizirati definiciju, karakteristike i izvore teških metala te istaknuti njihovu štetnost za okoliš, ekosustave i zdravlje. Također, cilj je naglasiti potrebu za primjenom održivih pristupa u industriji i svakodnevnim aktivnostima.

Ključne riječi: ekosustavi, industrijsko onečišćenje, okoliš, teški metali, zdravlje.

SUMMARY

Heavy metals, highly toxic chemical elements, occur naturally in the earth, but also arise as a result of human activities. Their presence in the environment represents a serious problem for the environment and human health. Pathways of heavy metal entry into the environment include industrial pollution, waste, mining, transport, agriculture and intake through food, water and air. They accumulate in soil, water and plants and have a harmful effect on ecosystems and the food chain. Exposure to heavy metals can cause neurological damage, carcinogenic effects, reproductive disorders and organ and system damage in humans.

Measures to reduce the impact of heavy metals include regulations and legislation, water and air filtration, recycling and efficient waste disposal, control of agricultural activities, monitoring of heavy metals in the environment and human testing, and safe handling and disposal procedures. By analyzing the impact of heavy metals on a specific area, high levels of contamination are identified and measures are implemented to reduce the impact at the local level.

Understanding the impact of heavy metals on the environment and human health is essential for the development of sustainable protection strategies. Application of adequate measures to reduce contamination with heavy metals, control of pollution sources, improvement of infrastructure for waste disposal and education of the public about the risks associated with heavy metals are extremely important. With the cooperation of governments, industry, scientists and citizens, it is possible to achieve progress in environmental protection and ensure a healthier future for everyone.

The aim of the final paper is to analyze the definition, characteristics and sources of heavy metals and highlight their harmfulness for the environment, ecosystems and health. Also, the goal is to emphasize the need to apply sustainable approaches in industry and daily activities.

Keywords: ecosystems, industrial pollution, environment, heavy metals, health.

SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA	I
PREDGOVOR	II
SAŽETAK	III
SUMMARY	IV
1. UVOD	1
2. TEŠKI METALI	2
2.1. Definicija i karakteristike	2
2.2. Prirodni izvori teških metala	3
2.3. Antropogeni izvori teških metala	3
3. PUTEVI UNOSA TEŠKIH METALA U OKOLIŠ I ORGANIZME	4
3.1. Putevi unosa teških metala u tlo, vodu i zrak	5
3.2. Industrijsko onečišćenje i otpad	5
3.3. Utjecaj rudarstva, prometa i poljoprivrede na prisutnost teških metala	6
3.3. Unos teških metala u ljudski organizam putem hrane, vode i zraka	7
4. UTJECAJ TEŠKIH METALA NA OKOLIŠ	8
4.1. Akumulacija teških metala u tlo, vodu i biljke	9
4.2. Utjecaj teških metala na ekosustave i lanac prehrane	10
5. UTJECAJ TEŠKIH METALA NA ZDRAVLJE LJUDI	11
5.1. Neurološki učinci teških metala	12
5.2. Karcinogeni potencijal teških metala	14
5.3. Reproductivni poremećaji	14
5.4. Oštećenje organa i sustava	15
6. METODE ANALIZE TEŠKIH METALA	15
7. MJERE ZA SMANJENJE UTJECAJA TEŠKIH METALA	17
7.1. Zakoni i regulative	18
7.2. Filtriranje vode i zraka	18
7.3. Recikliranje i zbrinjavanje otpada	20
7.4. Kontrola poljoprivredne djelatnosti i gnojidba	21
7.5. Monitoring teških metala u okolišu i testiranja ljudi	22

7.6. Sigurni postupci rukovanja i odlaganja teških metala	24
8. UTJECAJ TEŠKIH METALA NA ODREĐENO PODRUČJE – RIJEKA NERETVA, BOSNA I HERCEGOVINA.....	28
9. ZAKLJUČAK.....	32
10. LITERATURA	33
11. POPIS PRILOGA	35

1. UVOD

Teški metali predstavljaju skupinu kemijskih elemenata koji se mogu naći u prirodi, ali i biti rezultat antropogenih aktivnosti. Ovi toksični spojevi imaju značajan utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje te predstavljaju ozbiljan izazov za održivost i kvalitetu života. Razumijevanje definicije, karakteristika i izvora teških metala ključno je za procjenu njihovog utjecaja na okoliš i razvoj adekvatnih mjera zaštite. Ovaj rad ima za cilj istražiti utjecaj teških metala na okoliš i zdravlje ljudi. Analizirati će se definicija teških metala i razmotriti njihove karakteristike. Također će se navesti prirodni izvori teških metala, kao i antropogene izvore koji su posljedica ljudskih aktivnosti poput industrijskog onečišćenja, otpada, rudarstva, prometa i poljoprivrede. Posebna pažnja bit će posvećena industrijskom onečišćenju i otpadu kao glavnim izvorima teških metala, te ulozi rudarstva, prometa i poljoprivrede u prisutnosti tih metala. Također će se istražiti kako se teški metali unose u tlo, vodu i zrak te putem hrane, vode i zraka dospijevaju u ljudski organizam. Razmotrit će se i akumulacija teških metala u tlu, vodi i biljkama te njihov utjecaj na ekosustave i lanac prehrane. Posebna pažnja bit će posvećena zagađenju vodnih ekosustava te njihovim posljedicama. Također, istražiti će se utjecaj teških metala na zdravlje ljudi, kao što su neurološki učinci, karcinogeni potencijal, reproduktivni poremećaji te oštećenje organa i sustava uzrokovano izloženošću teškim metalima. U posljednjem dijelu rada, proučit će se mjere za smanjenje utjecaja teških metala. To uključuje regulacije i zakonodavstvo, filtriranje vode i zraka, recikliranje i učinkovito zbrinjavanje otpada, kontrolu poljoprivrednih aktivnosti, monitoring teških metala u okolišu i testiranje ljudi te sigurne postupke rukovanja i odlaganja teških metala. U ovome radu naglasak će se dati važnostima primjene mjera kako bi se smanjio utjecaj teških metala na okoliš i zaštitilo zdravlje ljudi. Na kraju rada, istražiti će se utjecaj teških metala na određeno područje, rijeku Neretvu u Bosni i Hercegovini, koju je pogodilo jako onečišćenje teškim metalima.

Cilj ovog istraživanja je povećati svijest o utjecaju teških metala na okoliš i zdravlje te istaknuti važnost primjene adekvatnih mjera zaštite. Razumijevanje izvora, putova unosa, utjecaja i mjera za smanjenje teških metala ključno je za očuvanje okoliša i osiguranje zdravijeg životnog prostora za buduće generacije.

2. TEŠKI METALI

2.1. Definicija i karakteristike

Teški metali su skupina kemijskih elemenata s visokom gustoćom i toksičnošću. Teški metali definirani su kao metali sa specifičnom težinom većom od 5 g/cm^3 , koji izazivaju ozbiljne toksikološke simptome i u manjim koncentracijama [1]. Oni se odlikuju specifičnim svojstvima kao što su visoka atomska masa, visoko talište i sposobnost zadržavanja u okolišu. Neki od poznatih teških metala uključuju olovo, živu, kadmij, arsen, bakar, cink i krom. Njihova prisutnost u prirodi je uobičajena, ali ljudske djelatnosti, poput rudarstva, industrije i poljoprivrede, značajno su povećale njihovu koncentraciju u okolišu. Teški metali imaju sposobnost akumulacije u tlu, vodi i biljkama, što može rezultirati ozbiljnim ekološkim i zdravstvenim problemima. Njihova otrovnost može izazvati različite negativne učinke na životinje, biljke i ljude, uključujući neurološka oštećenja, karcinogene učinke, reproduktivne poremećaje i oštećenje organa i sustava. Praćenje koncentracija toksičnih metala u okolišu je važno zbog kontaminacije mesa divljači. Ti metali, poput kadmija, olova i metaloida arsena, akumuliraju se u tkivima divljači putem prehrambenog lanca. Stoga je od velike važnosti pratiti njihovu prisutnost i količinu u okolišu. Postoje dvije glavne skupine teških metala: esencijalni (bakar, cink, mangan, željezo, molibden, selen) i neesencijalni (olovo, živa, kadmij, arsen, aluminij, kositar, kobalt, paladij, platina, slika 1) [2]. Esencijalni teški metali su važni za pravilno funkcioniranje bioloških procesa u tijelu, ali nedostatak ili višak tih metala može dovesti do poremećaja. Toksičnost neesencijalnih metala ovisi o njihovoj koncentraciji u organizmu. Olovo, kadmij, arsen i živa su primjeri toksičnih metala koji se prirodno nalaze u Zemljinoj biosferi, a ljudski utjecaj povećava njihovu koncentraciju u prirodi.



Slika 1: Teški metali [3].

2.2. Prirodni izvori teških metala

Prirodni izvori teških metala su:

- Geološki procesi (teški metali se prirodno nalaze u Zemljinom tlu i stijenama kroz koje se ti metali mogu otpuštati u okoliš)
- Erozija (erozija tla oslobađa teške metale, koji su prethodno bili vezani za tlo, vjetrovima i vodenim strujama)
- Vulkani (izbacivanje pepela i plinova koji sadrže teške metale)
- Prirodne mineralne formacije
- Biološki procesi (neke vrste biljaka i mikroorganizama imaju sposobnost akumulacije teških metala iz tla ili vode te se koriste za proces uklanjanja teških metala iz okoliša) [4].

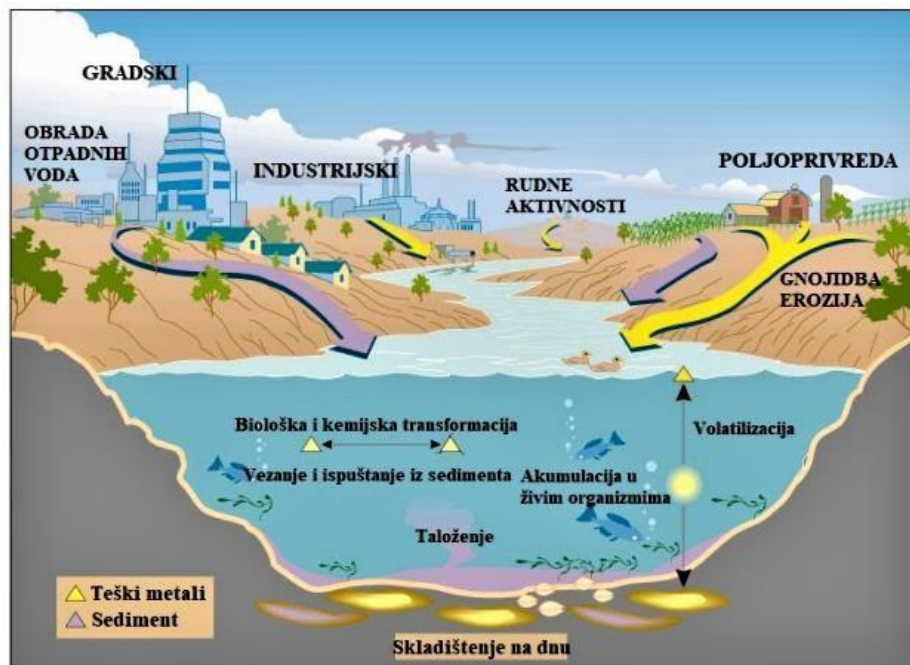
Iako su ovi izvori prirodni, ljudski faktor može dodatno povećati koncentraciju teških metala u okolišu i izložiti ljude i ekosustave većem riziku.

2.3. Antropogeni izvori teških metala

Antropogeni izvori teških metala su oni koji proizlaze iz ljudskih aktivnosti i doprinose povećanju koncentracije tih metala u okolišu. Neki od glavnih antropogenih izvora teških metala uključuju:

- **Industrijsko onečišćenje** - industrijske aktivnosti poput proizvodnje metala, elektronike, kemikalija, rafinerija nafte i termoelektrana rezultiraju ispuštanjem teških metala u zrak, vodu i tlo.
- **Rudarstvo** - rudarske aktivnosti, vađenje metala i minerala iz tla, oslobađaju velike količine teških metala. Otpadne vode i odlagališta iz rudnika često sadrže visoke koncentracije teških metala, što predstavlja prijetnju za okoliš.
- **Poljoprivreda** - korištenje pesticida, fungicida i mineralnih gnojiva u poljoprivrednoj proizvodnji. Kada se teški metali akumuliraju u tlu, mogu se prenijeti u biljke i životinje koje konzumiraju te proizvode.
- **Promet** - vozila koja koriste fosilna goriva sadržavaju teške metale poput olova iz ispušnih plinova. Ti metali se talože na površinama tla i otpuštaju se u okoliš kroz eroziju i ispiranje kišnicom.

- **Otpad** - nepravilno odlaganje i zbrinjavanje otpada [4].



Slika 2. Antropogeni izvori teških metala u okolišu i njihova akumulacija u okolišu [5].

3. PUTEVI UNOSA TEŠKIH METALA U OKOLIŠ I ORGANIZME

Industrijska djelatnost koje je danas najviše raširena od svih djelatnosti rezultira otpuštanjem teških metala u okoliš, uključujući zrak, vodu i tlo. Da bi se spriječilo njihovo daljnje širenje, ključno je pravilno zbrinjavanje industrijskog otpada. Također, veliki utjecaj imaju rudarske operacije i vozila pri doprinosu emisija teških metala u okoliš. U poljoprivredi, upotreba pesticida, mineralnih gnojiva i stočne hrane koja sadrži teške metale u velikoj mjeri pridonosi kontaminaciji tla, vode i biljaka. Ljudi mogu biti izloženi teškim metalima putem hrane, konzumacijom onečišćene vode ili udisanjem zraka koji sadrži čestice teških metala. Ovi putevi unosa rezultiraju nakupljanjem teških metala u tkivima i organima ljudskog tijela. Pravilan i odgovoran pristup načinima unosa teških metala važno je za planiranje mjera za smanjenje kontaminacije i zaštitu okoliša i zdravlja ljudi. Neke od mjera uključuju kontrolu industrijskog onečišćenja, pravilno zbrinjavanje otpada, smanjenje upotrebe teških metala u poljoprivredi, filtriranje vode i zraka te edukaciju o sigurnoj konzumaciji hrane i vode.

3.1. Putevi unosa teških metala u tlo, vodu i zrak

Ključni putevi unosa teških metala u okoliš :

1. **Taloženje iz zraka** - čestice se talože na tlu, biljkama i vodenim površinama kroz procese taloženje s padalinama ili taloženje iz zraka na površine.
2. **Ispiranje i infiltracija u tlo** - teški metali koji se nalaze na površini tla ispiraju se kišnicom ili drugim oblicima vodenog otjecanja i infiltriraju se u tlo.
3. **Ispuštanje industrijskih otpadnih voda** - industrijska postrojenja ispuštaju otpadne vode koje sadrže visoke koncentracije teških metala. Otpadne vode mogu dospjeti u rijeke, jezera ili druge vodene tijela, što rezultira kontaminacijom vode.
4. **Unos kroz poljoprivredne aktivnosti**- upotreba pesticida i mineralnih gnojiva
5. **Ispuštanje industrijskih emisija u zrak** - emisije iz dimnjaka i dimovodnih cijevi, sadržavaju teške metale u plinovitom obliku. Ovi plinovi se miješaju s atmosferskim zrakom i šire na veće udaljenosti [5].

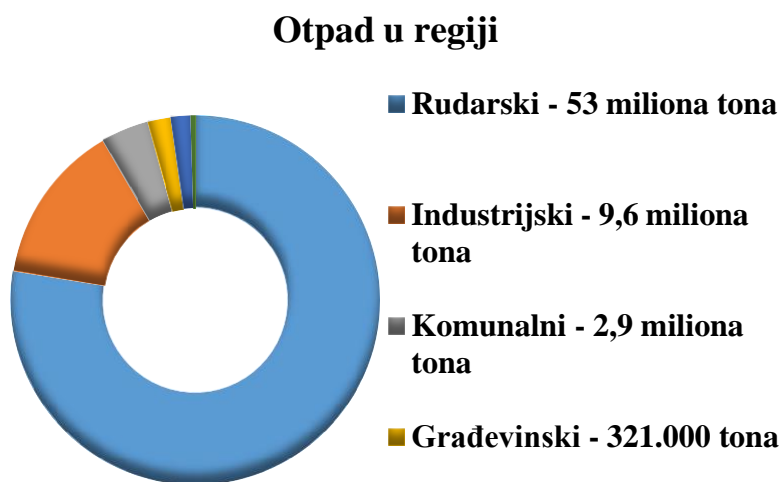
3.2. Industrijsko onečišćenje i otpad

Industrijske aktivnosti poput proizvodnje metala, elektronike, kemikalija, rafinerije nafte i termoelektrane dovode do ispuštanja teških metala u zrak, vodu i tlo. Ova ispuštanja najčešće se događaju tijekom proizvodnih procesa, ali i kroz nepravilno zbrinjavanje industrijskog otpada. Ispuštanje industrijskih otpadnih voda, posebno iz postrojenja za metalurgiju ili kemijske industrije, značajno povećava koncentraciju teških metala u rijekama, jezerima i drugim vodama. Ovi metali se talože na sedimentima ili su prisutni u otopljenom obliku.

Nepravilno zbrinjavanje industrijskog otpada također je jedan od izvora i načina ispuštanja teških metala u okolišu. Kada se otpad odlaže na neprikladnim mjestima, kao što su ne-sanitarni deponiji ili nezaštićene septičke jame, teški metali se ispuštaju u tlo i podzemne vode. Ovo dovodi do kontaminacije okoliša i potencijalne izloženosti ljudi tim metalima [5].

Kako bi se smanjio utjecaj industrijskog onečišćenja i otpada na prihvatljivu koncentraciju, ključno je primijeniti stroge regulacije i zakone koje reguliraju ispuštanje tih metala. Također je važno promovirati odgovorno zbrinjavanje industrijskog otpada, uključujući recikliranje, smanjenje otpada i sigurno odlaganje. Edukacija radnika, u industrijskim postrojenjima, o

važnosti smanjenja emisija i primjeni čistih tehnologija od iznimne je važnosti za zaštitu okoliša od teških metala proizašlih iz industrijskog onečišćenja i otpada.



Slika 3. Količina industrijskog i ostalog otpada u regiji.

Izvor : <https://balkangreenenergynews.com/rs/smetlista-srbije-tihi-trovaci-naseg-zdravlja/>

3.3. Utjecaj rudarstva, prometa i poljoprivrede na prisutnost teških metala

Rudarstvo pripada među veće izvore teških metala. Prilikom procesa vađenja metala iz zemlje oslobađaju se velike količine metala koji su prethodno bili zakopani ili se nalazili u mineralnim formacijama. Ispuštanje otpadnih voda iz rudnika moguće je zbog nepravilnog rukovanja otpadom, curenja ili ispiranja materijala.

Promet također doprinosi prisutnosti teških metala u okolišu pogotovo razvojem prometne infrastrukture i napućenosti gradova. Emisije iz vozila koja koriste fosilna goriva, poput benzina i dizela, sadržavaju teške metale poput olova i kadmija. Ti metali se otpuštaju u zrak kroz ispušne plinove vozila. Zatim se talože na površinama tla i voda kroz taloženje čestica iz zraka ili ispiranja kišnicom.

Poljoprivreda u manjoj mjeri doprinosi prisutnosti teških metala, no rizik od doticaja i malih količina je vrlo velik. Upotreba pesticida i mineralnih gnojiva u poljoprivrednoj proizvodnji rezultira unošenjem teških metala u tlo. Kada se ti metali akumuliraju u tlu, mogu se prenijeti u

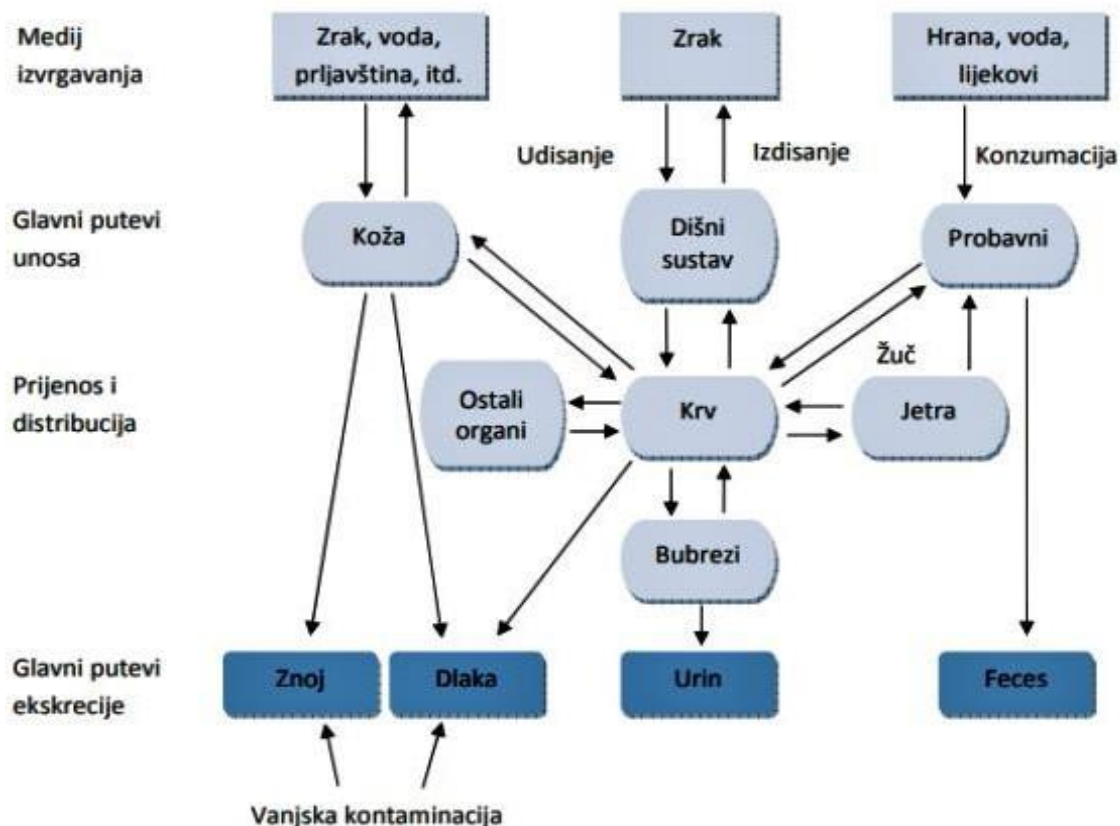
biljke koje se uzgajaju i životinje koje ih konzumiraju. Ovo predstavlja veliki rizik za ljudsko zdravlje i ekosustave [5].

3.3. Unos teških metala u ljudski organizam putem hrane, vode i zraka

Unos teških metala u ljudski organizam putem hrane, vode i zraka predstavlja veliki rizik od izloženosti tim opasnim tvarima. Jedan od glavnih načina unošenja teških metala u organizam je kroz hranu. Zagađeno tlo i voda mogu uzrokovati akumulaciju teških metala u biljkama i usjevima koje konzumiramo. Povrće, voće, žitarice, riba i morski plodovi posebno su osjetljivi na kontaminaciju teškim metalima. Također, kontaminacija hrane može se dogoditi i tijekom prerade, pakiranja i skladištenja. Voda za piće također u sebi može imati velike udjele teških metala. Ako su izvori vode zagađeni teškim metalima, ti metali prisutni su i u vodi koja se koristi za konzumaciju. Zagađena voda može imati posebno visoku koncentraciju olova, žive i arsena, što predstavlja ozbiljan rizik za zdravlje ljudi. Teški metali talože se na tlu, biljkama i drugim površinama te se mogu inhalirati putem zraka. Ova inhalacija rezultirati apsorpcijom u plućima i prelaskom u krvotok.

Izloženost teškim metalima je velik rizik koji uzrokuje ozbiljne posljedice za zdravlje ljudi. Teški metali se nakupljaju u tkivima i organima, uzrokujući toksične učinke. Oni mogu izazvati oštećenje živčanog sustava, bubrega, jetre, pluća i drugih organa. Također, neki teški metali, poput olova i kadmija, imaju karcinogeni potencijal. Slika 4. prikazuje put teških metala u organizmu od izvora izlaganja do izlučivanja metala iz organizma. Ovisno u vremenu izlaganja i dozi, različiti su učinci teških metala na organizam [6].

Važno je provoditi kontrole i regulacije kako bi se osigurala sigurnost hrane, vode i zraka od teških metala. Redovito testiranje hrane i vode na prisutnost tih metala, poboljšanje metoda obrade hrane i filtriranje vode te smanjenje emisija industrijskog onečišćenja ključni su koraci u smanjenju unošenja teških metala u ljudski organizam. Kontinuirani monitoring prisutnosti teških metala u okolišu i istraživanje njihovih učinaka na zdravlje ključni su za razumijevanje i upravljanje ovim problemom te osiguravaju očuvanje zdravlja i dobrobiti ljudi.



Slika 4. Kretanje teških metala u organizmu [6].

4. UTJECAJ TEŠKIH METALA NA OKOLIŠ

Utjecaj teških metala može imati ozbiljne posljedice na ekosustave i biološku raznolikost. Akumulacija teških metala u tlu može rezultirati dugotrajnom kontaminacijom i smanjenjem plodnosti tla. To može utjecati na rast i razvoj biljaka te ometati prirodne ekosustave. Biljke koje rastu u zemlji zagađenoj teškim metalima mogu preuzeti te metale iz tla i akumulirati ih u svojim tkivima. To može imati negativan utjecaj na biljne vrste, posebno na poljoprivredne usjeve. Također, teški metali mogu se prenositi kroz hranidbeni lanac, što može dovesti do njihove akumulacije u vrhovima lanca prehrane i povećanog rizika za organizme koji se hrane drugim organizmima. Zagađenje tla i voda teškim metalima može imati dalekosežne posljedice na cijele ekosustave. To može dovesti do smanjenja biološke raznolikosti, promjena u populacijama organizama i poremećaja u prirodnim procesima ekosustava.

4.1. Akumulacija teških metala u tlu, vodu i biljke

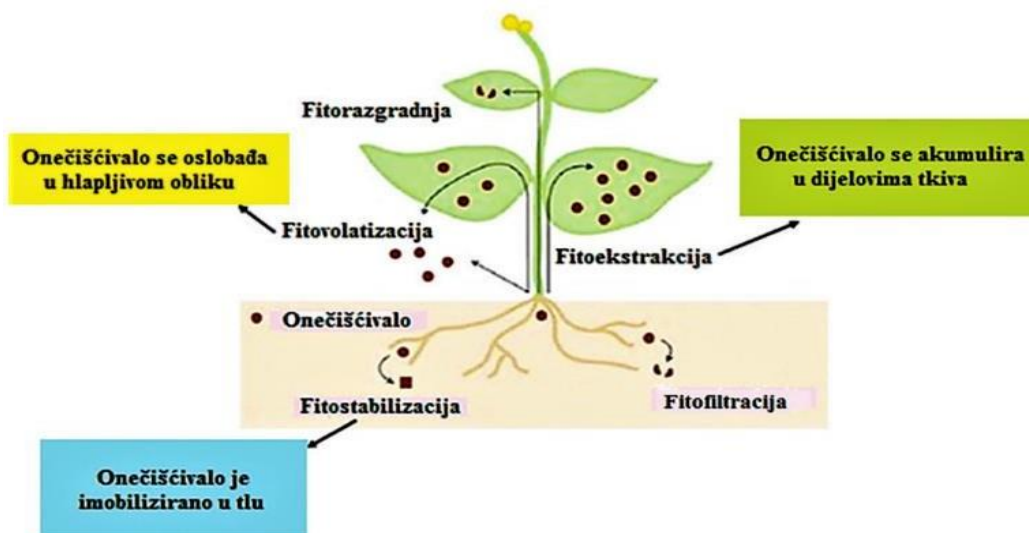
Akumulacija teških metala u tlu, vodi i biljkama predstavlja ozbiljan ekološki problem. Kada teški metali dospiju u okoliš, oni se zadržavaju i nakupljaju u različitim komponentama ekosustava.

Tlo može postati značajan rezervoar teških metala jer se oni vežu za čestice tla i apsorbiraju u tlo. Ovisno o svojstvima tla i kemijskim svojstvima teških metala, oni mogu ostati u tlu dugi vremenski period. Akumulacija teških metala u tlu može biti posebno problematična jer mogući izvor kontaminacije utječe na biljke [7].

Teški metali često se mogu naći u rijekama, jezerima i podzemnim vodama, predstavljajući ozbiljan ekološki i zdravstveni problem. Kada teški metali dospiju u vode, mogu se javiti na dva načina - taloženjem na sedimentima ili otapanjem u vodi. Kada su prisutni u sedimentima, teški metali mogu predstavljati dugotrajni izvor onečišćenja. Oni se talože na dnu rijeka ili jezera i nakupljaju tijekom vremena. Ovo nakupljanje može rezultirati visokim koncentracijama teških metala u sedimentima, što predstavlja opasnost za vodeni ekosustav. Osim taloženja na sedimentima, teški metali mogu biti i otopljeni u vodi. Kada se otope, postaju dostupni vodenim organizmima i mogu imati štetan utjecaj na njihov rast, reprodukciju, imunološki sustav i opću dobrobit. Vodeni organizmi, uključujući mikroorganizme, alge, vodene biljke i životinje, mogu biti osjetljivi na teške metale i iskusiti negativne učinke na svoje zdravlje i preživljavanje.

Biljke igraju važnu ulogu u ciklusu teških metala u prirodi. One imaju sposobnost apsorbirati teške metale iz tla i vode putem svojih korijena. Kroz proces poznat kao fitoakumulacija, biljke akumuliraju te metale unutar svojih tkiva. Međutim, visoke koncentracije teških metala u biljkama mogu imati štetne posljedice na njihov rast, razvoj i reprodukciju. To može rezultirati manjom proizvodnjom usjeva, smanjenjem prinosa i kvalitete plodova, te čak dovesti do odumiranja biljaka u teško onečišćenim područjima. Osim toga, neki teški metali, poput kadmija i olova, mogu biti toksični za biljke i inhibirati njihovu fotosintetsku aktivnost i metaboličke procese [7].

Važno je pratiti i kontrolirati akumulaciju teških metala u tlu, vodi i biljkama kako bi se očuvala zdrava okolina poput praćenja kvalitete tla i vode, primjenu metoda fitoremedijacije za uklanjanje teških metala iz tla te uspostavu sustava za kontrolu i regulaciju otpadnih voda.



Slika 5. Shematski prikaz procesa fitoremedijacije [8].

4.2. Utjecaj teških metala na ekosustave i lanac prehrane

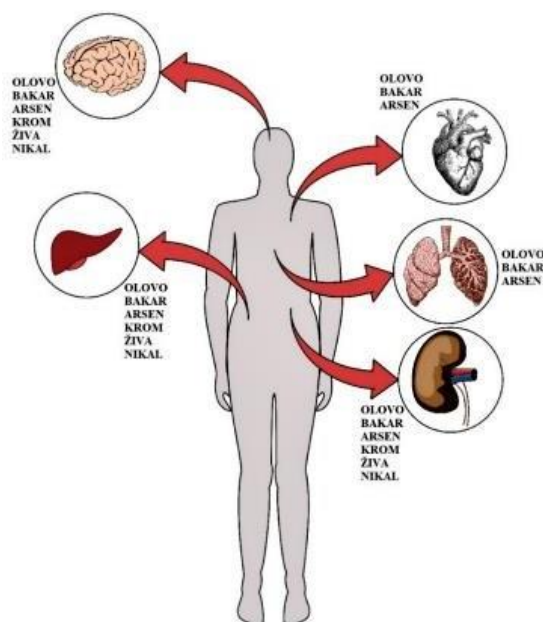
Utjecaj teških metala na ekosustave i lanac prehrane je važna tema u istraživanju okoliša i očuvanju bioraznolikosti. Teški metali prouzrokuju promjene u ekosustavima, uključujući smanjenje biološke raznolikosti, populaciju biljaka i životinja, mijenjajući njihovu strukturu i funkciju. To dovodi do smanjenja stabilnosti ekosustava.

Utjecaj teških metala posebno je izražen u vodenim ekosustavima. Teški metali koji se nakupljaju u vodi imaju štetne učinke na ribe, vodozemce, vodene insekte i druge organizme. Oni mogu uzrokovati oštećenje reproduktivnih sposobnosti, povećanu smrtnost, promjene u ponašanju i morfološke promjene kod vodenih organizama. Na primjer, akumulacija teških metala u ribama može rezultirati smanjenjem broja predatora i promjenom populacija drugih organizama koji ovise o tim ribama kao izvoru hrane. Lanac prehrane je od velikog značaja za prenošenjem teških metala kroz ekosustav. Kada biljke apsorbiraju teške metale iz tla, one se mogu prenijeti na biljojede koji ih konzumiraju. Zatim se ti metali nakupljaju u organizmima

višeg reda, kao što su mesožderi. Ovo rezultira visokim koncentracijama teških metala u vrhovima lanca prehrane, uključujući ljude koji konzumiraju meso i ribu [7].

5. UTJECAJ TEŠKIH METALA NA ZDRAVLJE LJUDI

Utjecaj teških metala na zdravlje ljudi je tema od velike važnosti zbog njihove toksičnosti i dugoročnih štetnih učinaka. Izloženost teškim metalima može rezultirati raznim zdravstvenim problemima. Neurološko oštećenje je jedan od glavnih utjecaja, uz kognitivne poremećaje i promjene u ponašanju. Karcinogeni potencijal teških metala uzrokuje razvoj raka, dok reproduktivni poremećaji mogu utjecati na plodnost i razvoj djece. Teški metali mogu oštetiti organe i sustave poput kostiju, jetre, bubrega i pluća [9]. Mjere za smanjenje izloženosti teškim metalima uključuju kontrolu emisija, sigurnu proizvodnju i uporabu, edukaciju o sigurnoj konzumaciji hrane i vode te testiranje razine teških metala u organizmu. Osiguranje sigurnog radnog okruženja također je važno za smanjenje izloženosti na radnim mjestima.



Slika 6. Najčešći teški metali u okolišu i njihovi utjecaji na ljudski organizam.

Izvor : <https://www.detoksikacija.maticne-stanice.biz/Toksicni-teski-metali.html>

5.1. Neurološki učinci teških metala

Teški metali, poput olova, žive, kadmija i arsena, dokazano uzrokuju ozbiljne neurološke učinke na zdravlje ljudi. Izloženost tim metalima dovodi do različitih neuroloških poremećaja i oštećenja živčanog sustava.

Olovo je najpoznatiji teški metal koji uzrokuje neurološke probleme. Djeca su posebno osjetljiva na olovo, a izloženost može rezultirati trajnim oštećenjem mozga i smanjenjem kognitivnih funkcija. Olovo ometa razvoj mozga kod djece, što uzrokuje gubitak inteligencije, smanjenje pažnje, probleme s učenjem i promjene ponašanja. Iznutrice i šumske gljive su velik izvor olova. Velike količine takvih namirnica ne bi se trebale konzumirati. Stare olovne cijevi za vodu još uvijek predstavljaju veliki problem mnogim domaćinstvima. Preporučljivo je testirati vodu u kućama koje imaju takve instalacije. Depresija, nesanica, glavobolja i umor su neki od simptoma trovanja. Mlijeko se dokazalo kao efikasan tretman kod kroničnog i akutnog trovanja, jer proteini prisutni u mlijeku vežu olovo i sprječavaju njegovo daljnje širenje [6].

Organski spojevi **žive** se otapaju u mastima, a apsorbiraju se iz gastrointestinalnog trakta. Najopasniji oblik žive je metilživa, koja se nakuplja u ribama i drugim morskim organizmima. Metil-živa se potpuno apsorbira u tijelo i ima štetan utjecaj na periferni živčani sustav. Manifestira se simptomima kao što su slabost, gubitak sluha i vida te grčevi. U najtežim slučajevima može dovesti do komatoznog stanja i smrti. Posebno je zabrinjavajući njen utjecaj na trudnice, jer negativno utječe na razvoj fetusa i rezultirati rođenjem djece s ozbiljnim malformacijama [6].



Slika 7. Minamata sindrom izazvan otrovanjem majke oboljelog djeteta živom

Izvor: <http://dihaibrahimunisel.blogspot.com/2015/04/minamata-diseases-and-water-borne.html>

Arsen iako najpoznatiji po svojoj izrazitoj toksičnosti, dokazano je i da utječe i na živčani sustav. Efekti na živčani sustav mnogi su i raznoliki, a najčešća je periferna neuropatija nalik Gullian-Barreovom sindromu. Kod otrovanja arsenom ljudsko tijelo prolazi kroz dvije faze: prva faza se očituje s povećanim udjelom arsena u krvi, urinu, kosi i noktima, a druga faza pojavom kožnih lezija. U tijelo se arsen može unijeti udisanjem, apsorpcijom kroz kožu i širenjem na ostale unutarnje organe (jetra, bubrezi, pluća itd.) [9]. Anorganski arsen, ovisno o količini, može imati kronične ili akutne učinke na ljudski organizam. Kronično trovanje arsenom povezano je primarno sa karcinomom jetre, pluća, kože, bubrega i mokraćnog mjehura. Kronično trovanje arsenom može uzrokovati melanoze i bolest poznatu kao "crna koža", koja se manifestira specifičnim keratozama i krvčicama na šakama i stopalima.



Slika 8. Bolest „crne kože“

Izvor : <http://www.slideshare.net/nina255/arsenppt> (05.07.2023.)

5.2. Karcinogeni potencijal teških metala

Teški metali poput arsena, kadmija, nikla i olova imaju potencijal da budu karcinogeni, tj. da izazovu razvoj raka kod ljudi. Izloženost tim metalima može povećati rizik od različitih vrsta karcinoma.

- Arsen - dugotrajna izloženost može dovesti do razvoja raka pluća, mjehura, kože, bubrega i jetre. Udisanje arsena iz zraka i konzumacija kontaminirane vode ili hrane koja je uzgojena u zagađenim područjima glavni su putevi izloženosti.
- Kadmij - najčešće se povezuje s rakom pluća, posebno kod pušača. Izloženost kadmiju također povećava rizik od raka prostate, bubrega i mjehura.
- Nikal - izloženost niklu povećava rizik od razvoja raka pluća i nosa, osobito kod radnika koji su izloženi niklu na radnom mjestu, poput radnika u metalnoj industriji ili rudarstvu.
- Olovo - rizik od razvoja raka mozga, bubrega, pluća i crijeva.

Redovito testiranje razine teških metala u organizmu također je važno za ranu dijagnozu i prevenciju raka uzrokovanog tim metalima.

5.3. Reproductivni poremećaji

Brojnim istraživanjima utvrđeno je da izloženost teškim metalima dovodi do negativnog utjecaja na reproduktivno zdravlje muškaraca i žena, te može uzrokovati različite reproduktivne poremećaje. Kod muškaraca, teški metali poput olova, žive i kadmija utječu na kvalitetu sperme. Ovi metali imaju sposobnosti smanjenja broja spermija, pokretljivost spermija i uzrokovanja morfološke promjene u spermi što dovodi do smanjenja plodnosti i poteškoća u začeću. Kod žena, izloženost teškim metalima može poremetiti hormonsku ravnotežu i menstrualni ciklus. Može rezultirati poteškoćama u začeću, nepravilnim ciklusima, povećanim rizikom od pobačaja i komplikacija tijekom trudnoće. Također, teški metali mogu prelaziti na fetus tijekom trudnoće i utjecati na razvoj fetusa. Posebno zabrinjavajući su učinci teških metala na razvoj djece. Izloženost teškim metalima tijekom trudnoće dovodi do poremećaja razvoja mozga i živčanog sustava kod fetusa što rezultirati kognitivnim poremećajima, smanjenom pažnjom, poteškoćama u učenju i ponašajnim problemima kod djece.

5.4. Oštećenje organa i sustava

Teški metali svojim djelovanjem i velikom koncentracijom u ljudskom tijelu mogu uzrokovati oštećenje različitih organa. Izloženost tim metalima rezultira oštećenjem funkcije organa, što dovodi do raznih zdravstvenih problema.

Jetra je jedan od organa koji može biti pogođen izloženošću teškim metalima. Na primjer, izloženost olovu i živi uzrokuje oštećenje jetre, što može dovesti do povećane razine jetrenih enzima, upale jetre i ciroze. Bubrezi su također vrlo osjetljivi na djelovanje teških metala. Kadmij i olovo se nakupljaju u bubrezima i uzrokuju oštećenje njihovih struktura i funkcija što dovodi do smanjene funkcije bubrega, povećanim rizikom od bubrežnih bolesti i povećanjem razine kreatinina u krvi. Utjecaj teških metala na kardiovaskularni sustav povećava rizik od razvoja hipertenzije, srčanih bolesti, moždanog udara i srčanog udara. Također se povezuje s povećanim rizikom od ateroskleroze i povećanjem razine kolesterola u krvi. Živčani sustav je izuzetno osjetljiv na djelovanje teških metala. Živa i olovo posebno mogu uzrokovati neurološka oštećenja, što rezultira simptomima poput glavobolje, umora, gubitka pamćenja, poremećaja spavanja i promjena raspoloženja [10].

Osim toga, teški metali mogu utjecati na imunološki sustav, uzrokujući smanjenje imunološkog odgovora i povećanu osjetljivost na infekcije. Također se povezuju s povećanim rizikom od autoimunih bolesti.

6. METODE ANALIZE TEŠKIH METALA

Metode analize teških metala omogućuju nam praćenje i procjenu razine kontaminacije u okolišu, identifikaciju izvora onečišćenja i provedbu mjera zaštite. Kako teški metali u uzorcima za analizu dolaze u tragovima, postoji nekoliko metoda kojima se mogu napraviti kvantitativne analize teških metala [10]. Analiza teških metala ovisi o materijalu i količini uzorka te se može provesti različitim metodama:

1) Gravimetrijska analiza

Ova metoda temelji se na mjerenju mase taloga koji se formira nakon taloženja teških metala iz uzorka. Precizno određivanje mase taloga omogućuje izračunavanje koncentracije teških metala u uzorku.

2) Kolorimetrijska analiza

Metoda prilikom koje se koristi promjena boje uzrokovana interakcijom teških metala s određenim reagensima. Promjena boje može se kvantitativno izmjeriti i koristiti za određivanje koncentracije teških metala u uzorku.

3) Kromatografska analiza

Kromatografija je tehnika koja se temelji na razdvajanju i identifikaciji kemijskih komponenti u uzorku. Postoje različite vrste kromatografije, kao što su tekućinska kromatografija (HPLC) i plinska kromatografija (GC), koje se mogu koristiti za analizu teških metala.

4) Mikrobiološka analiza

Korištenje mikroorganizama za detekciju i kvantifikaciju teških metala. Mikrobiološki testovi temelje se na specifičnim reakcijama mikroorganizama na prisutnost teških metala u uzorku.

5) Potenciometrijska analiza

Potenciometrija je tehnika koja koristi mjerenje električnog potencijala za određivanje koncentracije teških metala. Ova metoda se temelji na promjeni električnog potencijala između elektrode i uzorka tijekom kemijske reakcije.

6) Polarografska analiza

Polarografija je tehnika koja mjeri struju koja prolazi kroz elektrodu uronjenu u elektrolit s teškim metalima. Promjene u struji povezane su s koncentracijom teških metala u uzorku.

7) Titrimetrijska analiza

Titrimetrija je metoda koja koristi dodavanje reagensa poznate koncentracije u uzorak kako bi se postigla reakcija s teškim metalima. Promjena boje ili drugi indikatori koriste se za određivanje točke ekvivalentnosti, što omogućuje kvantitativno određivanje koncentracije teških metala.



Slika 9. Detektor teških metala u hrani

Izvor : <http://ba.biolabequipments.com/food-and-agriculture-testing/food-safety-tester/heavy-metal-analysis.html> (05.07.2023.)

Svaka od ovih metoda ima svoje prednosti i ograničenja te se odabire prema vrsti uzorka, cilju analize i raspoloživim resursima. Važno je naglasiti da pravilna priprema uzorka, kalibracija instrumenata i kontrola kvalitete ključni su koraci u analizi teških metala. Također, analitički laboratoriji često se pridržavaju standardiziranih protokola i metoda, kao što su metode preporučene od strane Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO) ili Američke agencije za zaštitu okoliša (EPA), kako bi osigurali pouzdane rezultate analiza [10].

7. MJERE ZA SMANJENJE UTJECAJA TEŠKIH METALA

U cilju smanjenja utjecaja teških metala na okoliš i zdravlje ljudi, važno je poduzeti odgovarajuće mjere koje će smanjiti njihovu emisiju i kontaminaciju. Provođenje mjera može značajno smanjiti utjecaj teških metala na okoliš i zdravlje ljudi. Svijest, suradnja i angažman vlade, industrije, znanstvenika i građana ključni su faktori za uspješnu primjenu mjera.

Mjere koje su se pokazale najučinkovitijima su ažurno zakonodavstvo i primjena strogih regulativa kojima se kontrolira emisija teških metala u okoliš, primjena filtracijskih sustava za pročišćavanje vode i zraka, poticanje recikliranja teških metala iz otpada, siguran i odgovarajući tretman otpada koji sadrži teške metale, kontrola poljoprivrednih aktivnosti i gnojidba, redovito praćenje i testiranje razine teških metala u okolišu i ljudskom tijelu kako bi se identificirala područja s visokom razinom kontaminacije i pravodobno poduzele potrebne mjere zaštite te

osiguravanje sigurnih postupaka rukovanja, skladištenja i odlaganja teških metala kako bi se minimizirala izloženost radnika i spriječilo onečišćenje okoliša.

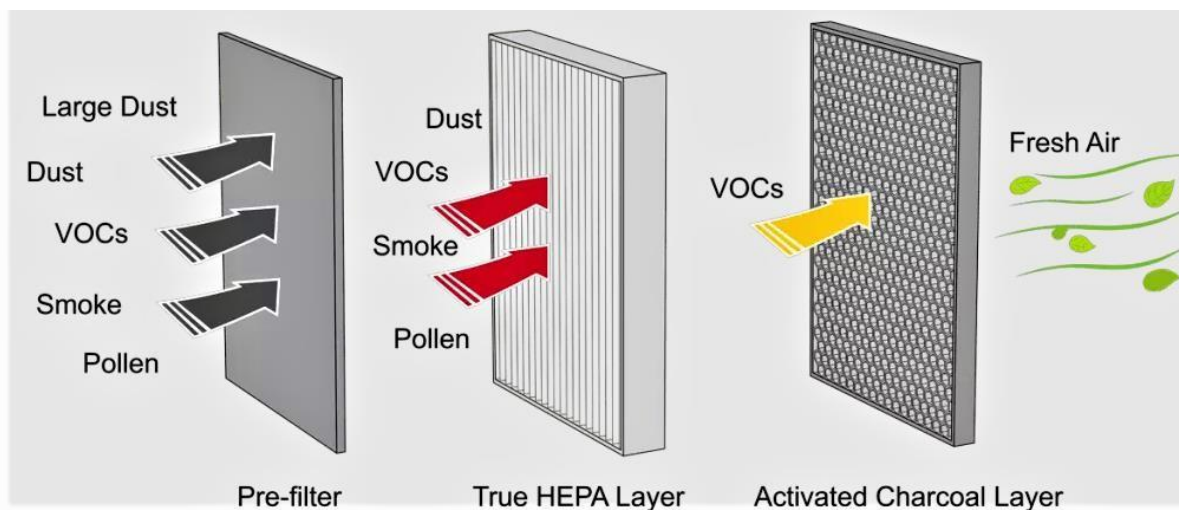
7.1. Zakoni i regulative

Primjena stroge regulative i zakonskih propisa usmjerenih na kontrolu emisije i upotrebe teških metala ključna je za postizanje održivog i sigurnog okruženja. Zakonodavstvo obuhvaća uspostavljanje standarda i ograničenja emisije teških metala za industrijska postrojenja, rudnike i druge izvore onečišćenja. Ova regulativa ima za cilj smanjenje ispuštanja teških metala u zrak, vodu i tlo, te sprječavanje daljnje kontaminacije okoliša. Također se propisuju sigurnosni standardi za radnike koji dolaze u kontakt s teškim metalima kako bi se osigurala njihova zaštita na radnom mjestu. Zakoni reguliraju upotrebu teških metala u proizvodima i materijalima. Postoje ograničenja za sadržaj teških metala u proizvodima poput igračaka, elektronike, boja, kozmetike i drugih predmeta koji mogu biti izvor izloženosti teškim metalima. Ove regulative imaju za cilj zaštititi potrošače od štetnih učinaka teških metala i osigurati sigurnu uporabu proizvoda. Zakoni propisuju siguran postupak rukovanja, skladištenja i odlaganja teških metala kako bi se minimizirao njihov negativni utjecaj na okoliš. Propisuje se pravilno označavanje i upravljanje otpadom koji sadrži teške metale kako bi se spriječilo njihovo širenje i onečišćenje tla, vode i zraka [11]. Uz zakonodavstvo, važno je provoditi strogo praćenje i inspekcije kako bi se osigurala usklađenost s propisima. Ovlaštene institucije provode kontrole emisije teških metala i provjeravaju usklađenost s ograničenjima. Ove inspekcije igraju ključnu ulogu u održavanju sigurnog okoliša i poticanju odgovornosti svih dionika. Kontinuirano poboljšanje i usklađivanje propisa s najnovijim znanstvenim saznanjima ključno je za smanjenje negativnih utjecaja teških metala i ostvarivanje održivog razvoja i bolje zaštite svih živih bića.

7.2. Filtriranje vode i zraka

Metode filtracije i adsorpcije, poput korištenja aktivnog ugljena, obrnute osmoze i ionizacije, mogu ukloniti teške metale poput olova, žive, kadmija i arsena iz pitke vode. Ovo je od posebnog značaja u područjima s visokom razinom kontaminacije teškim metalima ili gdje postoji sumnja u kvalitetu vode iz vodovodne mreže. Filtriranje zraka također je važno za smanjenje prisutnosti teških metala u zraku koje udišemo. Sustavi filtriranja zraka, poput

visokoučinkovitih HEPA filtera, mogu ukloniti sitne čestice koje sadrže teške metale iz unutarnjeg i vanjskog zraka. HEPA je vrsta nabranog mehaničkog filtra za zrak. Ova vrsta zračnog filtra teoretski može ukloniti najmanje 99,97% čestica u zraku veličine 0,3 mikrona (μm). Čestice koje su veće ili manje hvataju se s još većom učinkovitošću [12].



Slika 10. Način na koji HEPA filter djeluje

Izvor : <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/what-hepa-filter>

Ovo je posebice važno u područjima s industrijskim onečišćenjem, prometnim gužvama ili drugim izvorima zagađenja zraka. Filtriranje vode i zraka pruža efikasan način za smanjenje izloženosti teškim metalima. Ovaj postupak može se primijeniti kod kuće, u industrijskim postrojenjima, uredima i drugim okruženjima kako bi se osigurala čista i zdrava voda za piće te čisti zrak za udisanje.

Važno je pravilno održavati i redovito mijenjati filtre kako bi se osigurala njihova optimalna učinkovitost. Također, potrebno je pratiti kvalitetu vode i zraka te provoditi redovite testove kako bi se osigurala njihova sigurnost i usklađenost s propisanim standardima. Filtriranje vode i zraka pristupačna je i učinkovita metoda za smanjenje prisutnosti teških metala i poboljšanje kvalitete životnog okoliša. Ova mjera može pridonijeti smanjenju zdravstvenih rizika povezanih s izloženošću teškim metalima i promovirati održiviji način života.

7.3. Recikliranje i zbrinjavanje otpada

Recikliranje teških metala omogućuje njihovu ponovnu upotrebu i smanjuje potrebu za ekstrakcijom novih sirovina. Postupci poput recikliranja elektroničkog otpada, baterija i drugih proizvoda koji sadrže teške metale omogućuju izdvajanje vrijednih metala iz otpada i njihovu upotrebu u novim proizvodima. Ovo smanjuje količinu otpada koji završava na odlagalištima i smanjuje potrebu za rudarenjem teških metala. Učinkovito zbrinjavanje otpada važno je kako bi se spriječilo onečišćenje okoliša teškim metalima. Otpad koji sadrži teške metale treba pravilno odlagati na posebnim deponijama ili postrojenjima za tretman otpada. Ove lokacije moraju biti opremljene sustavima za sigurno skladištenje i obradu otpada koji minimiziraju rizik od otpuštanja teških metala u okoliš.

Pored recikliranja i zbrinjavanja otpada, važno je poticati svijest o važnosti odgovornog postupanja s teškim metalima. Edukacija javnosti o pravilnom odlaganju otpada, posebno onog koji sadrži teške metale, ključna je za promjenu ponašanja i promicanje održivog pristupa. Također je važno poticati razvoj inovativnih tehnologija za recikliranje teških metala i poboljšanje postupaka zbrinjavanja otpada. Ovo uključuje istraživanje novih metoda i materijala koji olakšavaju razdvajanje i ponovnu upotrebu teških metala te unaprjeđenje postupaka tretmana otpada kako bi se maksimalno smanjio negativni utjecaj na okoliš.

Recikliranje i učinkovito zbrinjavanje otpada su ključni koraci u održivom upravljanju teškim metalima. Ove mjere smanjuju potrošnju sirovina, sprječavaju onečišćenje okoliša i promiču kružno gospodarstvo. Potrebno je kontinuirano poticati ove prakse kako bismo ostvarili značajan napredak u očuvanju okoliša i smanjenju negativnih utjecaja teških metala.



Slika 11. Zagađenje rijeke Neretve teškim metalima, uzrokovano otpadom

Izvor : <https://tip.ba/2019/03/12/foto-slike-uzasa-na-bh-rijekama-ribe-pune-teskih-metala-zavrsavaju-na-nasem-tanjiru-spreca-brana-od-smeca/>

7.4. Kontrola poljoprivredne djelatnosti i gnojidba

Jedan od glavnih izvora teških metala u poljoprivredi je uporaba gnojiva koja sadrže teške metale. Nekontrolirana upotreba ovih gnojiva može rezultirati nakupljanjem teških metala u tlu i biljkama. Stoga je važno uspostaviti kontrolu nad poljoprivrednim praksama i pravilno dozirati gnojiva kako bi se smanjila kontaminacija tla.

Ovo su neki pesticidi i gnojiva koje sadrže veliku količinu teških metala u sebi, a korištena su u poljoprivredi :

- Aldrin – pesticid koje je zabranjen za korištenje u Republici Hrvatskoj 1972.g.
- Klordan – pesticid s vremenom razgradnje do 4 godine. Zabranjen 1971.g.
- DDT – insekticid koji se prvobitno koristio u II. Svjetskom ratu protiv malarije i tifusa a nakon toga u borbi protiv komaraca. Vrijeme razgradnje do 15 godina.
- Dieldrin – protiv bolesti i štetočina, zabranjen 1972.g.
- Endrin – insekticid zabranjen 1989.g.
- Heptaktor – insekticid zabranjen 1973.g.

- Heksaklorbenzen – sredstvo za tretiranje sjemena
- Mireks – insekticid [13].

Jedna od metoda za kontrolu je usvajanje preciznih tehnologija i podataka za pravilno doziranje gnojiva. Korištenje senzora, satelitskog praćenja ili druge tehnologije omogućuje poljoprivrednicima da točno odrede potrebe tla i biljaka, što rezultira smanjenom upotrebom gnojiva i smanjenim rizikom od kontaminacije teškim metalima. Ograničavanje sadržaja teških metala u gnojivima i postavljanje standarda za sigurnu primjenu može pomoći u smanjenju rizika od kontaminacije tla i biljaka.

Osim kontrole gnojidbe, važno je pratiti kvalitetu tla i biljaka te provoditi analize kako bi se identificirala područja s visokom koncentracijom teških metala. Na temelju tih rezultata mogu se poduzeti odgovarajuće mjere, poput izbjegavanja uzgoja osjetljivih kultura na zagađenim područjima ili primjene metoda za čišćenje tla od teških metala. Edukacija poljoprivrednika o rizicima vezanim uz upotrebu gnojiva i pravilno rukovanje otpadom također je ključna. Poljoprivrednici bi trebali biti svjesni potencijalnih posljedica upotrebe gnojiva koja sadrže teške metale i trebali bi se educirati o sigurnim praksama kako bi minimizirali rizik od kontaminacije.

Kontinuirana suradnja između poljoprivrednih sektora, znanstvenika i regulatornih tijela ključna je za postizanje održive poljoprivrede koja minimizira utjecaj teških metala na okoliš. U cilju zaštite poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja provodi se ispitivanje i trajno praćenje stanja onečišćenosti poljoprivrednog zemljišta. Ispitivanje onečišćenosti poljoprivrednog zemljišta obavlja Agencija za poljoprivredno zemljište, te drugi laboratoriji ovlašteni od Ministarstva poljoprivrede. Trajno praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta u cilju zaštite od onečišćenja obavlja Agencija za poljoprivredno zemljište [14].

7.5. Monitoring teških metala u okolišu i testiranja ljudi

Monitoring teških metala u okolišu uključuje sustavno praćenje njihove prisutnosti i koncentracije u zraku, vodi, tlu i biljkama. Ovo praćenje omogućuje identifikaciju područja s visokom razinom kontaminacije teškim metalima, kao i praćenje trendova i promjena tijekom vremena. Metode za monitoring uključuju uzorkovanje i analizu uzoraka iz različitih okolišnih medija te korištenje naprednih laboratorijskih tehnika za određivanje koncentracije teških metala.

Testiranje ljudi na prisutnost teških metala provodi se kako bi se procijenila njihova izloženost i mogući rizici za zdravlje. To se može postići analizom bioloških uzoraka, poput krvi, urina ili kose, kako bi se odredila koncentracija teških metala u tijelu. Za analizu teških metala se koristi „Oligo test“. Oligo test je metoda analize koja se koristi za određivanje razine različitih minerala, uključujući i teške metale, u tijelu. Ova testiranja često se provode kako bi se utvrdile eventualne nedostatke ili neravnoteže minerala u organizmu. Oko 70% izmjerenih koncentracija, otkriva se unutar same stanice, što znači da se ovakvim ranim otkrivanjem mineralnih deficita, sprječava slabljenje organizma i degenerativne promjene. Na temelju rezultata oligo testa, mogu se preporučiti dodaci prehrani, promjene u prehrani ili druge intervencije kako bi se poboljšalo stanje minerala i općenito zdravlje organizma [15].

Monitoring teških metala u okolišu i testiranje ljudi omogućuju procjenu rizika i pravovremenu intervenciju u slučaju izloženosti teškim metalima.



Slika 12. Uređaj za „Oligo test“

Izvor : <http://www.oligoscan.fr/>

7.6. Sigurni postupci rukovanja i odlaganja teških metala

Pravilno rukovanje teškim metalima uključuje primjenu sigurnosnih mjera tijekom njihovog transporta, skladištenja i korištenja. Ovo podrazumijeva korištenje osobne zaštitne opreme kako bi se smanjila izloženost teškim metalima i spriječila njihova apsorpcija putem kože, inhalacija ili gutanjem. Odlaganje teških metala treba biti u skladu s propisima i regulativama. Otpad koji sadrži teške metale treba odgovarajuće označiti, pripremiti i zbrinuti na način koji minimizira rizik od onečišćenja okoliša. Postoje posebne deponije i postrojenja za tretman opasnog otpada koja su opremljena za sigurno rukovanje i odlaganje teških metala. Važno je educirati radnike o sigurnim postupcima rukovanja teškim metalima i pridržavanju protokola zaštite okoliša. Obuka treba uključivati prepoznavanje rizika, pravilno rukovanje, pravilno skladištenje i postupke za hitne situacije. Redovita provjera i nadzor osiguravaju da se sigurnosni standardi poštuju i da se smanjuje mogućnost izloženosti teškim metalima. Održavanje sigurnih postupaka rukovanja i odlaganja teških metala ključno je za zaštitu radnika, okoliša i zajednice od potencijalnih štetnih učinaka. Stalna poboljšanja u sigurnosti i upravljanju teškim metalima trebaju biti prioritet kako bi se minimizirali rizici i osigurala održiva praksa.

U ovom dijelu rada koji se odnosi na sigurnosne postupke rukovanja i odlaganja teških metala, uzeti ćemo za primjer olovo i voditi se po smjernica navedenim u sigurnosno-tehničkom listu. Sigurnosno-tehnički list je dokument koji pruža detaljne informacije o sigurnom rukovanju, skladištenju, transportu i odlaganju tvari, u ovom slučaju olova [16].

▪ Mjere prve pomoći

Opće napomene	
Nakon udisanja	Osigurati svježi zrak. U nedoumici ili ako simptomi ne prolaze, zatražiti savjet liječnika.
Nakon dodira s kožom	Isprati kožu vodom/tuširanjem.
Nakon dodira s očima	Oprezno ispirati vodom nekoliko minuta. U nedoumici ili ako simptomi ne prolaze, zatražiti savjet liječnika.
Nakon gutanja	U slučaju nezgode ili ako se osoba ne osjeća dobro, odmah pozvati liječnika (po mogućnosti pokazati upute za rad ili letak s sigurnosnim podacima).

- **Mjere gašenja požara**

Prikladna sredstva za gašenje	Neprikladna sredstva za gašenje
mjere gašenja požara uskladiti s uvjetima okoline	voda u punom mlazu
voda, pjena, suhi prah za gašenje požara, prah ABC	

U slučaju požara ili eksplozije, važno je izbjegavati udisanje dima. Također, treba spriječiti da voda koja se koristi za gašenje požara ne dospije u kanalizaciju ili vodne izvore. Preporučuje se nošenje samostalnog uređaja za disanje kako bi se osigurala vlastita zaštita.

- **Mjere kod slučajnog ispuštanja**

Nositi propisanu osobnu zaštitnu opremu. Izbjeći kontakt s kožom, očima i odjećom. Ne udisati prašinu.

- **Mjere zaštite okoliša**

Važno je držati se podalje od kanalizacijskih odvoda, površinskih i podzemnih voda radi izbjegavanja kontaminacije. Potrebno je spriječiti otjecanje onečišćene vode za ispiranje.

Kako spriječiti širenje prolivenog materijala	Prekrivanje odvoda. Primati/podizati mehaničkim putem.
Kako očistiti proliveni materijal	Primati/podizati mehaničkim putem. Nadzor nad prašenjem.
Informacije u vezi s ispuštanjem	Zbrinjavati u odgovarajućim spremnicima.

- **Rukovanje i skladištenje**

Spriječiti izloženost. Izbjegavati dizanje prašine.
Uklanjanje naslaga prašine
Izbjegavati ispuštanje u okoliš.
Skladištiti na suhom mjestu.
Uzeti u obzir napomene o kombiniranom skladištenju.
Koristiti lokalnu ispušnu ventilaciju i centralni sustav ventilacije.
Preporučena temperatura skladištenja: 15 – 25 °C

- **Metode obrade otpada**



Slika 13. Piktogram za sakupljanje spremnika i obradu otpada opasne tvari

Izvor : <https://www.hzjz.hr/sluzba-za-toksikologiju/stl/>

Ostaci kemikalije i spremnici moraju biti odloženi kao opasan otpad. Odložiti sadržaj u skladu s lokalnim, regionalnim, nacionalnim, međunarodnim propisima.

Osobne mjere zaštite (osobna zaštitna oprema)

- **Zaštita za oči i lice**

Koristiti zaštitne naočale s bočnom zaštitom.



Slika 14. Piktogram zaštite lica i očiju

Izvor: <https://www.hzjz.hr/sluzba-za-toksikologiju/stl/>

Nositi odgovarajuće zaštitne rukavice. Prikladne su rukavice za zaštitu od kemikalija ispitane prema EN 374. Povišene temperature zbog zagrijavanja tvari, tjelesne topline itd., mogu dovesti do značajnog smanjenja vremena probijanja. Uzeti razdoblja oporavka za regeneraciju kože. Preporuča se primjena preventivnih mjera zaštite kože (zaštitne kreme/masti).

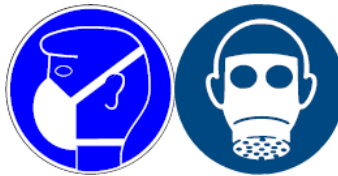


Slika 15. Zaštita kože

Izvor: <https://www.hzjz.hr/sluzba-za-toksikologiju/stl/>

- **Zaštita dišnih puteva**

Zaštita dišnih puteva je potrebna pri: Dizanje prašine. Filter za lebdeće čestice (EN 143).



Slika 16. Piktogram zaštite dišnih puteva

Izvor: <https://www.hzjz.hr/sluzba-za-toksikologiju/stl/>

8. UTJECAJ TEŠKIH METALA NA ODREĐENO PODRUČJE – RIJEKA NERETVA, BOSNA I HERCEGOVINA

Rijeka Neretva u Bosni i Hercegovini, suočava se s ozbiljnim problemom onečišćenja teškim metalima. Donji tok rijeke Neretve trpi značajno onečišćenje od industrijskih postrojenja od Čapljine do Konjica, gdje se otpadne vode ispuštaju direktno u rijeku. Također, poznato je da kanalizacija grada Mostara završava u koritu Neretve. Nedavna istraživanja Agencije za vodno područje Jadranskog mora iz Mostara izazvala su zabrinutost jer su pronađene visoke koncentracije teških metala, poput bakra, cinka i nikla, koje su deset puta veće od dopuštenih vrijednosti.



Slika 17. Obala Neretve nizvodno od industrijske zone je poprimila crvenkastu boju hrđe. 90% zagađenja rijeka Jadranskog sliva teškim metalima je zabilježeno na ovoj lokaciji

Izvor : <https://www.fokus.ba/vijesti/bih/na-neretvi-traje-nova-bitka-ovaj-put-protiv-teskih-metalu/2610252/>

Utjecaj teških metala dugoročno može utjecati na kvalitetu vode i ekosustava. Osim toga, autohtone vrste riba poput jegulja i žaba, kao i stonske kamenice, su ugrožene zbog prisutnosti tih metala. Važno je napomenuti da voda iz rijeke Neretve dopire do Malostonskog zaljeva, gdje igra ključnu ulogu u razmnožavanju i uzgoju kamenica i mušula [17]. Stručnjaci se slažu da su takvi rezultati vrlo nepovoljni, a posebno zabrinjavajuće je taloženje teških metala u sedimentu riječnog korita, što je rezultat ispuštanja otpadnih voda iz obližnjih industrijskih postrojenja metalne industrije. Dodatni izazov leži u činjenici da se rijetko provode analize vode iz rijeke

Neretve kako bi se utvrdila prisutnost teških metala koji dolaze iz različitih izvora, uključujući pretjeranu upotrebu pesticida, industrijski otpad i intenzivan promet vozila.

Pored toga, prisutnost nitrata i fosfata u rijeci potiče rast invazivnih biljnih vrsta koje do sada nisu bile prisutne. Ovaj fenomen naziva se sindrom obrastanja invazivnim vrstama, a poseban problem predstavlja pojava vodene kuge koja narušava prirodnu ravnotežu u riječnom koritu jer prekriva alge koje su osnova prehrane riba, što rezultira oštećenjem lanca ishrane. Vodena kuga je prirodna vrsta koja se pronalazi u vodama sjeverne Amerike i Kanade, no u posljednjim godinama pojavljuje se u Jablaničkom i Uloškom jezeru te se širi i u korito rijeke Neretve [18].



Slika 18. Zagađenje Neretve u centru Konjica, nizvodno od industrijske zone

Izvor : <https://www.fokus.ba/vijesti/bih/na-neretvi-traje-nova-bitka-ovaj-put-protiv-teskih-metala/2610252/>

Nedavno provedena analiza sedimenta korita rijeke Neretve na području Konjica, koju je naručilo Udruženje "Zeleni Neretva" i provela je Institut za kvalitetu, standardizaciju i ekologiju TQM d.o.o. Lukavac, otkrila je prekoračenje dozvoljenih vrijednosti za ispuštanje tehnoloških otpadnih voda. Rezultati analize su prosljeđeni nadležnim institucijama kako bi se poduzele zakonske mjere i riješio problem industrijskog onečišćenja.

Prema izvještaju, analiza uzoraka prikupljenih na lokaciji 1 (ušće rijeke Ljute u Neretvu, desna obala) i lokaciji 2 (Crni vir, 250 metara nizvodno od ispušne cijevi za tehnološke otpadne vode namjenske industrije) ukazala je na prekoračenje graničnih vrijednosti za željezo i krom. Na

trećoj lokaciji, koja se nalazi preko puta ušća Tuščice (oko 200 metara nizvodno od glavne ispušne cijevi za tehnološke otpadne vode industrijskog kompleksa u zoni bivših tvornica), primijećeno je odstupanje u kemijskoj potrošnji kisika te prisustvo teških metala [19].

"Koncentracije ispitivanih teških metala (Fe, Zn, Ni, Cr) u uzorku uzetom na lokaciji 3, također su premašile dozvoljene granice za ispuštanje tehnoloških otpadnih voda u površinske vode"



Slika 19. Prikaz količine teškim metalima izmjerenih u rijeci Neretvi

Izvor : <https://www.fokus.ba/vijesti/bih/na-neretvi-traje-nova-bitka-ovaj-put-protiv-teskih-metalu/2610252/>

Aktivisti su odlučili provesti ispitivanje pješčanih nanosa u rijeci, potaknuti čestim ispuštanjem otpadnih tehnoloških voda iz industrijskih zona. Naime, nisu bili u mogućnosti prikupiti uzorke vode izravno prilikom ispuštanja tvari iz industrijskih postrojenja koja se nalaze na obali Neretve.

"Razlog ispitivanja sedimenta korita leži u nemogućnosti pravovremenog uzimanja uzoraka vode tijekom incidentnih ispuštanja potencijalno opasnih tvari iz industrije, jer za taj čin je potrebno prisustvo ovlaštenog lica (federalnog inspektora). Ta poteškoća proizlazi iz činjenice da je rijeka Neretva brzog toka, što zahtijeva uzorkovanje koje se doslovno mora obaviti u nekoliko minuta."

Iz Federalne uprave za inspekcijske poslove (FUZIP) ističe se da je zabilježeno ispuštanje neprečišćenih otpadnih voda iz industrijske zone u Konjicu u rijeku Neretvu, ali nije moguće utvrditi odgovornu tvrtku. Prema navodima, sve tri sumnjive tvrtke posjeduju postrojenja za tretman otpadnih voda koja su očito neučinkovita. Trenutno važeća Uredba o ispuštanju otpadnih voda omogućuje tim tvrtkama da do prosinca 2023. godine ne moraju pročistiti svoje otpadne vode u skladu s propisima. Također, zapaženo je zamućivanje vode u Neretvi u Mostaru, a ribari su o tome obavijestili nadležne institucije. Službeni nalazi policije i inspekcije su još u tijeku kako bi se utvrdio izvor tog onečišćenja [19].

9. ZAKLJUČAK

Teški metali imaju ozbiljan utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje, prisutni su u vodi, tlu, zraku i hrani. Onečišćenje teškim metalima može prouzročiti štetne posljedice u ekosustavima i utjecati na zdravlje ljudi. Akumulacija tih metala u tlu i vodi može dovesti do smanjenja plodnosti i narušavanja lanca prehrane. Izlaganje tim metalima može uzrokovati ozbiljne zdravstvene probleme, posebno kod djece, uključujući neurološke poremećaje, oštećenje organa i povećani rizik od karcinoma. Ključno je poduzeti mjere za smanjenje izloženosti teškim metalima, poput strože regulacije industrije, poboljšanja obrade otpadnih voda i edukacije javnosti. Suradnja između vlade, industrije i građana od vitalnog je značaja za zaštitu okoliša i zdravlja. Promoviranje održivih praksi i primjena strožih regulativa također su nužni. Kontinuirano praćenje koncentracija teških metala u okolišu također je važno radi rane detekcije i djelotvornih intervencija.

Analize vode i sedimenta rijeke Neretve otkrile su prekoračenje dozvoljenih granica za ispuštanje tehnoloških otpadnih voda iz industrijskih postrojenja, što upućuje na potrebu za hitnim poduzimanjem mjera kako bi se smanjilo onečišćenje. Također, prisutnost nitrata i fosfata potiče razvoj invazivnih biljnih vrsta koje ugrožavaju prirodnu ravnotežu i hranidbeni lanac.

Izvješća i rezultati istraživanja poslani su nadležnim institucijama s ciljem rješavanja problema industrijskog onečišćenja i očuvanja rijeku Neretvu. Važno je da se propisi o ispuštanju otpadnih voda strogo primjenjuju i da se poduzmu odgovarajuće mjere zaštite okoliša kako bi se osigurala čistoća i kvaliteta vode u rijeci Neretvi. Suradnja lokalnih vlasti, industrije, znanstvenih institucija i građana ključna je za postizanje napretka u smanjenju onečišćenja teškim metalima i očuvanju ovog važnog vodnog resursa za buduće generacije.

10. LITERATURA

- [1] *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje: Kemija*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 10. 6. 2023. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=31148>>
- [2] *Chemical Laboratory Safety and Security: A Guide to Prudent Chemical Management*, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. Pristupljeno 10. 6. 2023. <<https://nap.nationalacademies.org/catalog/21918/chemical-laboratory-safety-and-security-a-guide-to-developing-standard>>
- [3] Stavek, M.M.: *Pravila i mjere sigurnosti za rad u kemijskom laboratoriju, Materijali za predavanja*, Sveučilište u Rijeci. Pristupljeno 10.06.2023. <https://www.biotech.uniri.hr/files/Pravila_i_mjere_sigurnosti_za_rad_u_kemijskom_laboratoriju_2019.pdf>
- [4] Plavšić, F., Lovrić, Z., Wolf Čoporda, A., Ježić Vidović, I.Z., Čepelak Dodig, D., Gretić, D., Đurašević, S.: *Siguran rad s kemikalijama*, O-tisak d.o.o. – Zagreb, 2014. ISBN 978-953-97205-6-6.
- [5] Narodne novine: *Zakon o zaštiti na radu*, NN 71/14, 118/14, 154/14, 94/18, 96/18. Pristupljeno 15.05.2023. <<https://www.zakon.hr/z/167/Zakon-o-za%C5%A1titi-na-radu>>
- [6] Povjerenstvo za radni okoliš i održivo upravljanje otpadom: *Kratki vodič za održive laboratorije*, Sveučilište u Zagrebu, Farmaceutsko biokemijski fakultet, 2021. Pristupljeno 07.06. 2023.
- [7] Duplančić, D.: *Siguran rad u laboratoriju*, Pristupljeno 07.06.2023. <<https://duplex-control.hr/zastita-na-radu/rad-u-laboratoriju/>>
- [8] Kašaj, Ž.: *Kvaliteta analitičkih mjerenja*, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, 2016. Pristupljeno 10.06.2023.

<<https://repozitorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit%3A463/datastream/PDF/view>>

[9] Opća sigurnosna pravila u laboratoriju, Pristupljeno 10.06.2023.

<<https://www.labmanager.com/science-laboratory-safety-rules-guidelines-5727>>

[10] Zakonske odredbe i smjernice koje reguliraju laboratorijsku okolinu. Pristupljeno

08.06.2023. <<https://www.iusinfo.hr/>>

[11] Zakon o zaštiti na radu (pročišćeni tekst), (Narodne novine, br. 71/14, 118/14, 94/18 i 96/18), Pristupljeno 07.06.2023.

<<https://www.zakon.hr/z/167/Zakon-o-za%C5%A1titi-na-radu>>

[12] Pravilnik o zaštiti radnika od rizika zbog izloženosti kemijskim tvarima na radu

(Narodne novine, NN 155/2008) Pristupljeno 10.06.2023.

<https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_12_155_4249.html>

[13] Pravilnik o dobroj laboratorijskoj praksi (Narodne novine, 71/07, 45/09 i 124/11)

Pristupljeno 10.06.2023.

<https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012_07_73_1709.html>

[14] HRN EN ISO/IEC 17025:2017 Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih

laboratorija (ISO/IEC 17025:2017; EN ISO/IEC 17025:2017) Pristupljeno 10.06.2023.

<<https://www.svijet-kvalitete.com/index.php/norme-za-akreditaciju/iso-iec-17025>>

11. POPIS PRILOGA

POPIS SLIKA:

Slika 1. Primjer Sigurnosno- tehničkog lista.....	8
Slika 2. Označavanje otrova.....	23
Slika 3. Znakovi opasnosti	23
Slika 4. Znakovi opasnosti	24
Slika 5. Znakovi obveza.....	24
Slika 6. Znakovi informacija.....	25
Slika 7. Znakovi i piktogrami opasnosti.....	26
Slika 8. Osobna zaštitna oprema	30
Slika 9. Zaštitne rukavice	32
Slika 10. Zaštita očiju.....	33
Slika 11. Zaštita glave	34

POPIS TABLICA:

Tablica 1.- Objašnjenje znakova opasnosti	27
---	----