

# IZVORI TEŠKIH MATERIJALA U OKOLIŠU

---

**Matasović, Ira**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:128:577976>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**



**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 REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij Sigurnosti i zaštite

Ira Matasović

# **IZVORI TEŠKIH METALA U OKOLIŠU**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2023.

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

Ira Matasović

# **Sources of heavy metals in the environment**

Final paper

Karlovac, 2023.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Ira Matasović

# **IZVORI TEŠKIH METALA U OKOLIŠU**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr.sc. Jasna Halambek v.pred

Karlovac, 2023

## PREDGOVOR

Izjavljujem da sam završni rad pod nazivom **Izvori teških metala u okolišu** napisala samostalno te da se temelji isključivo na mojim istraživanjima. Niti jedan dio ovog rada nije prepisan kako ne bih kršila ničija autorska prava.

Zahvaljujem se svim profesorima Veleučilišta u Karlovcu na prenesenim znanjima i iskustvima kojima su dodatno obogatili moje iskustvo studiranja. Posebno se zahvaljujem svojoj mentorici dr.sc. Jasni Halambek za svu pomoć i uloženi trud.

Također, zahvaljujem se dečku, prijateljima i obitelji na podršci tijekom ove tri godine studija, no posebna zahvala ide mojim roditeljima jer bez njih sve ovo ne bi bilo moguće ostvariti.

Ira Matasović

## SAŽETAK

Zagađenje okoliša teškim metalima postaje sve veći problem, što uzrokuje veliku zabrinutost zbog njihovih potencijalnih štetnih posljedica ne samo na okoliš, već i na zdravlje ljudi. Jednom kad teški metali uđu u okoliš, mogu se akumulirati u tlu, vodi i biljkama te se postepeno prenose kroz prehrambeni lanac. Metali kao anorganski onečišćivači dopijevaju u okoliš zbog naglog rasta poljoprivrede, posebice uslijed korištenja gnojiva i pesticida, kao i metaloprerađivačke industrije, ali i nepropisnog odlaganja otpada.

Ovaj rad prikazuje na koji način teški metali ulaze u okoliš i što se s njima događa. Neke vrste teških metala utječu na biološke funkcije i rast organizama, dok se drugi metali nakupljaju u jednom ili više organa, što može prouzročiti ozbiljne bolesti. Teški metali mogu izazvati različite zdravstvene probleme kod ljudi, uključujući oštećenje jetre, bubrega, živčanog sustava, pluća i kardiovaskularnog sustava. Oni također mogu biti kancerogeni i imati negativan utjecaj na reproduktivni sustav. Glavni cilj rada je opisati esencijalne i neesencijalne teške metale i njihove ključne osobine te izvore iz kojih oni dopijevaju u okoliš.

**Ključne riječi:** teški metali, okoliš, zdravlje, zagađenje

## SUMMARY

Environmental pollution with heavy metals is becoming a growing problem, which causes great concern about their potential harmful effects not only on the environment, but also on human health. Once heavy metals enter the environment, they can accumulate in soil, water and plants and are gradually transferred through the food chain. Metals as inorganic pollutants reach the environment due to the rapid growth of agriculture, especially due to the use of fertilizers and pesticides, as well as the metal processing industry, as well as improper disposal of waste.

This paper shows how heavy metals enter the environment and what happens to them. Some types of heavy metals affect the biological functions and growth of organisms, while other metals accumulate in one or more organs, which can cause serious diseases. Heavy metals can cause a variety of health problems in humans, including damage to the liver, kidneys, nervous system, lungs and cardiovascular system. They can also be carcinogenic and have a negative impact on the reproductive system.

The main goal of the work is to describe essential and non-essential heavy metals and their key properties and the sources from which they reach the environment.

**Keywords:** heavy metals, environment, health, pollution

# SADRŽAJ

|  |  |
|--|--|
| ZADATAK ZAVRŠNOG .....                                       | <b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b> |
| PREDGOVOR.....   | I  |
| SAŽETAK .....  | III  |
| SUMMARY .....  | IV   |
| SADRŽAJ.....   | V  |
| <br>   |  |
| 1. UVOD .....  | 1  |
| 1.1. Predmet i cilj rada .....                               | 1  |
| 1.2. Struktura i sadržaj .....                               | 2  |
| 2. KEMIJA .....  | 3  |
| 3. TEŠKI METALI.....   | 4  |
| 3.1. Izvori onečišćenja teškim metalima.....                 | 6  |
| 3.2. Svojstva teških metala .....                            | 7  |
| 4. ULAZAK, UČINCI I TRANSPORT ONEČIŠĆIVAČA U EKOSUSTAV ..... | 8  |
| 4.1. Zagađenje tla.....                                      | 8  |
| 4.2. Zagađenje vode .....                                    | 9  |
| 4.3. Zagađenje zraka .....                                   | 11   |
| 5. SUDBINA TEŠKIH METALA U EKOSUSTAVU .....                  | 13   |
| 6. ESENCIJALNI TEŠKI METALI.....                             | 15   |
| 6.1. Bakar .....   | 15   |
| 6.2. Cink.....   | 17   |
| 6.3. Mangan .....  | 19   |
| 6.4. Željezo .....   | 21   |



|      |                                  |    |
|------|----------------------------------|----|
| 6.5. | Molibden.....                    | 23 |
| 6.6. | Krom.....                        | 25 |
| 6.7. | Selen.....                       | 27 |
| 7.   | NEESENCIJALNI TEŠKI METALI ..... | 29 |
| 7.1. | Olovo .....                      | 29 |
| 7.2. | Živa .....                       | 31 |
| 7.3. | Kadmij .....                     | 32 |
| 7.4. | Arsen.....                       | 34 |
| 7.5. | Aluminij.....                    | 36 |
| 7.6. | Kositar.....                     | 38 |
| 7.7. | Kobalt.....                      | 40 |
| 7.8. | Platina .....                    | 42 |
| 7.9. | Paladij .....                    | 44 |
| 8.   | ZAKLJUČAK .....                  | 46 |
| 9.   | LITERATURA .....                 | 47 |
| 10.  | POPIS PRILOGA.....               | 50 |

# 1. UVOD

## 1.1. Predmet i cilj rada

Cilj ovog rada je pojasniti osnovne činjenice i utjecaje teških metala na ekosustav i čovječanstvo. Pod pojmom teški metali se podrazumijevaju metali čija je gustoća veća od  $5 \text{ g/cm}^3$ . No, u teške metale se svrstavaju i metali s manjom gustoćom koji imaju izražena toksična svojstva. Industrijalizacija, urbanizacija i brzi gospodarski razvoj diljem svijeta doveli su do intenziviranja industrijskih i poljoprivrednih aktivnosti. Takve aktivnosti mogu uzrokovati onečišćenje vode, zraka i tla teškim metalima. Uzgoj ljudske hrane u medijima kontaminiranim teškim metalima dovodi do bioakumulacije ovih elemenata u ljudskim hranidbenim lancima odakle ti elementi u konačnici dospijevaju u ljudsko tijelo. Teški metali ubrajaju se u grupu najopasnijih anorganskih zagađivača, prvenstveno zbog svoje nerazgradivosti u okolišu i sklonosti bioakumulaciji, ali i toksičnom efektu čak i pri niskim koncentracijama. Upravo zbog navedenog svojstva bioakumulacije, mogu imati negativan utjecaj na sve sastavnice okoliša.

Glavni cilj rada je opisati esencijalne i neesencijalne teške metale i njihove ključne osobine te izvore iz kojih oni dospijevaju u okoliš. Koristeći se literaturom uvidjeti koje sve bolesti i opasnosti donose pojedini metali, te u kojim su količinama štetni za ljude i okoliš.

## **1.2. Struktura i sadržaj**

Prvo poglavlje uvodi u problematiku koja se obrađuje u radu. Ukratko opisuje temu i glavni cilj ovog rada. Navedene su metode i načini prikupljanja svih potrebnih informacija za završni rad. U završnom dijelu prvog poglavlja opisuje se struktura i sadržaj svakog poglavlja.

U drugom poglavlju navode se osnovne informacije o kemiji kao znanosti radi lakšeg razumijevanja samog rada.

Treće poglavlje opisuje osnovne činjenice o teškim metalima, izvore onečišćenja teškim metalima te njihova svojstva.

Četvrto poglavlje nam ukazuje na to kako teški metali ulaze u ekosustav i koje učinke ostavljaju, govori nam o onečišćenju vode, tla i zraka.

U petom poglavlju govorimo o sudbini teških metala u okolišu, njihovom kretanju i zadržavanju.

Šesto poglavlje nam opisuje поближе svaki esencijalni teški metal, ključne činjenice o svakom navedenom.

U sedmom poglavlju navodimo ključne činjenice o neesencijalnim teškim metalima.

Na samom završetku rada nalazi se literatura i prilozi koji su korišteni kao podloga za pisanje rada.

## 2. KEMIJA

*„Ja sam od onih koji razmišljaju poput Nobela da će čovječanstvo iz novih otkrića izvući više dobra nego zla.“*

Marie Curie

Kemija je prirodna znanost koja se bavi kemijskim elementima i spojevima, njihovim svojstvima, sastavom i strukturom, njihovim promjenama (kemijskim reakcijama) i mehanizmom tih promjena, te s time povezanim zakonitostima. Do sada je poznato 118 elemenata, od čega su 93 metala, koji u različitim kombinacijama tvore milijune kemijskih spojeva. Molekula je najmanja čestica nekog spoja. Sastoji se od najmanje dvaju (istovrsnih ili različitih) atoma, pa sve do nekoliko milijuna atoma, koliko ih sadrže molekule živih organizama. Nema ljudske djelatnosti u kojoj se kemija ne primjenjuje. I sam se život temelji na kemijskim procesima.

Tradicionalne, su grane kemije anorganska, organska, analitička, fizikalna kemija, biokemija, a u novije doba razvile su se kemijska fizika, teorijska kemija (u koju se ubrajaju kvantna, matematička i računalna ili kompjutorska kemija i kemija materijala. [1]

Kemija je znanstvena disciplina koja se bavi proučavanjem svojstava, strukture, sastava i promjena tvari. Ona se bavi i proučavanjem interakcija između tvari, kao i energetske promjene koje se javljaju tijekom kemijskih reakcija. Kemija je široko prisutna u svakodnevnom životu i igra ključnu ulogu u različitim područjima, uključujući medicinu, farmaciju, prehrambenu industriju, poljoprivredu, okolišnu znanost, materijalnu znanost i mnoge druge. Ova znanstvena disciplina pruža temelje za razumijevanje i razvoj novih materijala, lijekova, katalizatora, energetskih sustava i mnogih drugih tehnoloških inovacija. [2]

### 3. TEŠKI METALI

Teški metali su grupa kemijskih elemenata koji imaju visoku gustoću i relativno veliku atomsku masu. Uključuju metale poput olova, žive, kadmija, arsena, bakra, cinka, nikla, kobalta i drugih. Ovi metali su poznati po svojoj toksičnosti i mogu biti štetni za ljude, životinje i okoliš.

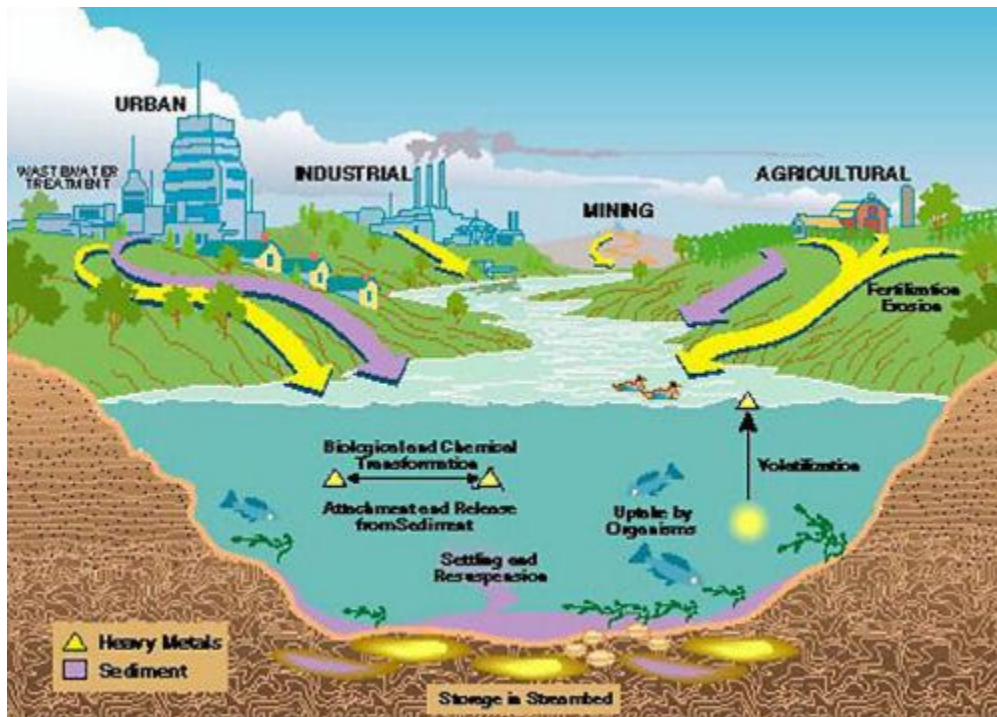
Pojam teških metala se različito definira u znanosti, no uglavnom se njihova definicija bazira na vrijednostima njihovih relativnih gustoća. Ovo su vrijednosti koje se navode kod pojedinih teoretičara: gustoća iznad  $7 \text{ g/cm}^3$ , gustoća iznad  $3,5 \text{ g/cm}^3$ , veća od  $5 \text{ g/cm}^3$  itd. U Republici Hrvatskoj ih definiramo kao elemente s gustoćom većom od  $5 \text{ g/cm}^3$ . Neke od definicija su te da su teški metali oni čija je atomska masa veća od 23 do 40 te elementi s protonskim brojem većim od 20. Oni su važni i neophodni za okoliš i čovječanstvo, ali isto tako mogu imati i štetan učinak. [3]

Teški metali mogu ući u okoliš na različite načine, kao rezultat industrijskih procesa, otpadnih voda, poljoprivrednih aktivnosti, fosilnih goriva, rudarstva i drugih antropogenih izvora. Također se mogu prirodno pojavljivati u tlu.

Jednom kad teški metali uđu u okoliš, mogu se akumulirati u tlu, vodi i biljkama te se postepeno prenose kroz prehrambeni lanac. To može dovesti do povećanja koncentracije tih metala u organizmima, što može imati štetne učinke na njihovo zdravlje.

Teški metali mogu izazvati različite zdravstvene probleme kod ljudi, uključujući oštećenje jetre, bubrega, živčanog sustava, pluća i kardiovaskularnog sustava. Oni također mogu biti kancerogeni i imati negativan utjecaj na reproduktivni sustav. [3]

Teški metali su metali koje pronalazimo u vodi, tlu, biljkama, životinjskom i ljudskom organizmu dospijevaju u njega kod ispuštanja plinova i zagađenja raznih industrija (slika 1.) Oni predstavljaju velik problem za okoliš.



Slika 1. Izvori zagađenja teškim metalima

Izvor: [http://bib.irb.hr/datoteka/743709.Tahir\\_Sofilic\\_EKOTOKSIKOLOGIJA.pdf](http://bib.irb.hr/datoteka/743709.Tahir_Sofilic_EKOTOKSIKOLOGIJA.pdf)

Teški metali se dijele na dvije vrste esencijalne i neesencijalne. U esencijalne ubrajamo bakar, cink, mangan, željezo, molibden, krom i selen a u neesencijalne: olovo, živa, kadmij, arsen, aluminij, kositar, kobalt, platina i paladij.

Esencijalni teški metali neophodni su za obavljanje bioloških procesa u organizmu, a njihovim izostankom, smanjenjem ili prekomjernom količinom može doći do poremećaja u tijelu. Toksičnost ovisi o koncentraciji u organizmu.

Neesencijalni se nalaze u Zemljinoj biosferi i kruže u prirodi u različitim oksidacijskim i kemijskim oblicima. Ljudi svojim načinom života mogu utjecati na povećanje koncentracije tih elemenata u prirodi. [3]

### **3.1. Izvori onečišćenja teškim metalima**

Teški metali prirodno se nalaze na Zemljinoj kori od njenog nastanka. Zbog iznenađujućeg porasta upotrebe teških metala, rezultiralo je neposrednim povećanjem metalnih tvari kako na kopnu, tako i u vodenom svijetu. Onečišćenje teškim metalima nastalo je zbog antropogenih aktivnosti, koje su glavni uzrok onečišćenja, prvenstveno zbog rudarenja metala, ljevaonica i drugih industrija baziranih na metalima, ispuštanja metala iz različitih izvora poput odlagališta otpada, gnojiva od stoke i peradi, cestovnog prometa odnosno automobila i radova na cestama.

Upotreba teških metala u poljoprivrednom sektoru drugi je izvor onečišćenja teškim metalima, poput korištenja pesticida, umjetnih i prirodnih gnojiva i drugih. Prirodni uzroci također mogu povećati onečišćenje teškim metalima, poput vulkanske aktivnosti, korozije metala, isparavanja metala iz tla i vode te ponovne suspenzije sedimenta, erozije tla i geološkog vremenskog trošenja. [4]

## 3.2. Svojstva teških metala

Metali i metaloidi imaju tendenciju formiranja kovalentnih veza, što ih čini toksičnima. Dvije najvažnije posljedice ove osobine su sposobnost kovalentnog vezivanja s organskim grupama. Stoga tvore lipofilne ione i spojeve, te mogu izazvati toksične učinke kada se vežu na nemetalne elemente staničnih makromolekula. Zbog postajanja lipofilnim, raspodjela metaloida u biosferi i njihov toksični odgovor razlikuje se od djelovanja jednostavnih ionskih oblika istog elementa. Primjeri lipofilnih spojeva su tributiltin-oksidi i metilirani oblici arsena koji su izrazito toksični. Primjeri vezivanja za nemetalne elemente su vezivanje olova i žive za sumpornim grupama proteina. Teški metali mogu ući u ljudski organizam na četiri načina: putem unosa kontaminirane hrane; inhalacijom iz atmosfere; konzumacijom kontaminirane vode; te putem direktnog kontakta kroz kožu, iz pripravaka koji se koriste u poljoprivredi, farmaceutskim proizvodima itd.

Svi teški metali nemaju isti način i mehanizam djelovanja, a njihova toksičnost ovisi o nekoliko parametara kao što je njihova koncentracija, ionski oblik, temperatura, koncentraciji ostalih tvari s kojima su u kontaktu i sl.

Metali se ne mogu razgraditi i nisu biološki razgradivi. Organizmi mogu detoksificirati metalne ione skrivanjem aktivnog elementa unutar proteina ili deponiranjem u intracelularne granule u netopivom obliku, koje se izlučuju iz organizma putem mokraće i fecesa ili se pohranjuju dugoročno. Kada teški metali dospiju u naše tijelo putem gutanja ili udisanja, oni se nakupljaju u našem organizmu. Zbog toga se klasificiraju kao opasni. Ta bioakumulacija uzrokuje biološke i fiziološke komplikacije. Neki teški metali su nužni za život i nazivaju se esencijalni elementi koji su potrebni za razne biokemijske i fiziološke funkcije. Međutim, oni mogu biti toksični kada su prisutni u velikim količinama. [4]



## **4. ULAZAK, UČINCI I TRANSPORT ONEČIŠĆIVAČA U EKOSUSTAV**

Onečišćivači mogu ući u ekosustav na različite načine i dospjeti u hidrosferu, litosferu i atmosferu. Osim što ulaze i na prirodan način, kroz vulkansku aktivnost i eroziju stijena, antropogeni utjecaj je veliki uzrok ulaska onečišćivača u ekosustav. Mogu dospjeti u okoliš nenamjernim otpuštanjem, kao što je slučaj kod brodoloma, izlivanja nafte, rudarenja i požara; namjernim poput primjene biocida; i odlaganje otpada kao što su industrijske otpadne vode i kućanske otpadne vode. Kretanje teških metala ili bilo kojih drugih onečišćivača u okolišu ovisi o temperaturi, kretanju i smjeru površinskih voda, cirkulaciji zračnih masa i brzini vjetrova. Osim toga, postoje i drugi faktori koji utječu na distribuciju i kretanje onečišćivača, kao što su koeficijent podjele, polaritet, tlak pare i molekularna stabilnost. [5]

### **4.1. Zagađenje tla**

Zagađenje tla može biti namjerno ili nenamjerno. Namjerno zagađenje uključuje djelatnosti poput navodnjavanja otpadnim vodama, korištenja pesticida, upotrebe stajskog i umjetnog gnojiva; boja koje sadrže olovo; otpadne materijale iz rudnika (rudarski otpad); talog otpadnih voda, izlivanje naftnih derivata, ostaci izgaranja ugljena, odlaganje otpada. Korištenje neobrađenih otpadnih voda i kanalizacija dovela je do taloženja teških metala na našim poljoprivrednim zemljištima, što je rezultiralo njihovom apsorpcijom u usjevima koji se često konzumiraju. Nenamjerno zagađenje može se dogoditi poplavljenim morima i rijekama koje donose kanalizaciju i onečišćenu vodu na kopno te nesrećama koje uključuju vozila koja prevoze toksične kemikalije. Budući da su teški metali neobnovljivi i ne podliježu mikrobnom ni kemijskoj razgradnji, dugo vremena ostaju u tlu.

Dokazano je da onečišćenje tla olovom i cinkom posljedica atmosferske depozicije, gnojivo doprinosi povećanju količine kroma i vanadija, dok atmosferska depozicija i gnojidba imaju podjednaki utjecaj u povećanju količine arsena, kadmija i nikla u tlu. Metali poput bakra, cinka, željeza, mangana, pa čak i arsena mogu se pronaći kao sastavni dio mnogih pesticida,

a najveća količina kadmija koji dopijeva u tlo direktno je povezana sa korištenjem fosfatnih gnojiva.

Ekosustav je uništen činjenicom da teški metali ulaze u prehrambeni lanac. Teški metali također utječu na biodegradabilnost organskih onečišćivača, čineći ih manje razgradivima i time uzrokujući dvostruki učinak zagađenja okoliša.

Ti metali prisutni u tlu predstavljaju rizik za cijelu biosferu jer se mogu unijeti izravnom konzumacijom, apsorbirati u tkivu biljke, što može biti opasno kako za biljku, tako i za sudionike prehrambenog lanca koji se hrane tom biljkom, mijenjajući svojstva tla poput pH vrijednosti, boje, poroznosti i kemijskog sastava tla, čime se utječe na kvalitetu tla, a samim time i direktno onečišćuje vodu. [5]

## **4.2. Zagađenje vode**

Dva glavna krivca za zagađenje vode su urbanizacija i industrijalizacija. Metali se prenose putem voda koje protječu kroz sela, gradove i industrije, koji se nakupljaju u sedimentima vodenih tijela. Čak i ako se metali u tragovima prenesu u vodena tijela, mogu biti vrlo toksični za ljude i druge ekosustave. Toksičnost teških metala ovisi o mnogim čimbenicima kao što su priroda metala, biološka uloga metala, organizam koji je izložen metalu, te razdoblje života organizma kada je izložen. Ako je jedan organizam pogođen, to će utjecati na cijeli prehrambeni lanac. Budući da su ljudi obično na kraju prehrambenog lanca, to će na nas više utjecati jer možemo akumulirati više teških metala kako se koncentracija povećava duž prehrambenog lanca.

Teški metali se nalaze u visokim koncentracijama u kanalizaciji i ne razgrađuju se u postrojenjima za obradu otpadnih voda. Uklanjaju se ili u konačnom ispuštanju ili u proizvedenom mulju. Svojstva i onečišćivači otpadnih voda koji ulaze u vodu ovise o obradi otpadnih voda. Postavljene su stroge regulacije zbog problema uzrokovanih ispuštanjem kanalizacije u rijeke i mora bez obrade, a razvijena je i bolja tehnologija kako bi se smanjila količina onečišćivača koji se ispuštaju u vode.

Obrada otpadnih voda podijeljena je u tri faze: primarnu, sekundarnu i tercijarnu. Primarna faza uključuje taloženje čvrstih otpadnih tvari koje se nalaze u otpadnim vodama nakon filtriranja većih onečišćivača. Voda se usmjerava kroz različite spremnike i filtre koji odvajaju onečišćivače od vode, što rezultira muljem koji se dalje obrađuje. Mulj u ovoj fazi sadrži otprilike polovicu suspendiranih tvari prisutnih u vodi. Sekundarna obrada uključuje upotrebu oksidacije koja pomaže pročišćavanju otpadnih voda i može se obaviti na tri načina: biološkim filtracijom, aeracijom ili oksidacijskim ribnjacima.

Tercijarna obrada je posljednji korak i sastoji se od uklanjanja fosfata i nitrata iz izvora vode. U ovom procesu obično se koriste aktivni ugljen i pijesak za uklanjanje onečišćivača. To su osnovni koraci koji se koriste u obradi otpadnih voda, ovisno o tome što otpadna voda sadrži i gdje se obrađuje. Mnoge kontrole su postavljene zbog problema koje uzrokuje ispuštanje kanalizacije u rijeke i mora bez obrade.

Onečišćivači mogu postojati u različitim stanjima: u površinskim vodama, u obliku otopine ili suspenzije. Mogu se transportirati na velike udaljenosti vodom, pri čemu se često mogu taložiti na dno. Put kojim se onečišćivači kreću rijekama ovisi o strujanju, stabilnosti i fizičkom stanju onečišćivača. Kad se transportiraju u more i oceane, vjetar i struje dalje prenose onečišćivač. Razlika u gustoći morske vode igra još jedan faktor u prijenosu do veće koncentracije soli ili zbog pada temperature. Postojani onečišćivači poput teških metala tada mogu ući u prehrambeni lanac putem morskih organizama poput riba, što može utjecati na grabežljivce poput većih riba, ptica i sisavaca, uključujući ljude, koji migriraju i prenose onečišćivače u različite ekosustave. [5]

### 4.3. Zagađenje zraka

Poput zagađenja vode, zagađenje zraka uzrokovano je urbanizacijom i industrijalizacijom. Onečišćivači ulaze u atmosferu u različitim oblicima. Mogu ući kao krute čestice, kapljice ili u plinovitom obliku. Krute čestice i kapljice ne putuju dugim udaljenostima i obično padaju na tlo nakon kratke udaljenosti, iako ako su malih dimenzija mogu putovati dalje. Čestice u plinovitom stanju mogu se prenositi na velike udaljenosti zbog zračnih masa.

Prirodne i antropogene aktivnosti uzrokovale su oslobađanje krutih čestica i prašine, posebno finih čestica. Čestice koje su prisutne zbog prirodnih aktivnosti oslobađaju se tijekom pijavica, vulkanske aktivnosti, erozije tla i vremenskog raspadanja stijena. Dok su čestice koje su prisutne zbog ljudske aktivnosti oslobađaju tijekom industrijskih procesa, izgaranja fosilnih goriva, ispušnih plinova vozila, ljevaonica i drugih izvora.

Čestice mogu uzrokovati teške zdravstvene probleme, oštećenje infrastrukture, stvaranje kiselih kiša, koroziju, eutrofikaciju zbog taloženja čestica u vodi tijekom kiše te mogu uzrokovati maglu.

Dimnjaci, posebice tvornički su jedan od glavnih izvora atmosferskog zagađenja gdje se oslobađa niz štetnih plinova. Visina dimnjaka i vremenski uvjeti utječu na udaljenost kojom onečišćivač putuje. Što je dimnjak viši, to onečišćivač putuje dalje. Toplija klima i vjetar omogućuju dalje putovanje onečišćivača jer se javljaju konvekcijske struje i bočne struje koje pomažu u daljnjem širenju. U hladnom i maglovitom vremenu onečišćivači putuju vrlo kratkim udaljenostima.

Drugi izvori atmosferskog zagađenja su unutarnje sagorijevanje u dizelskim i benzinskim motorima i mlazni motori. Katalizatori i bezolovno gorivo pomogli su u smanjenju onečišćenja teškim metalima putem cestovnog prometa, iako dizelski motori, stari automobili i previše vozila još uvijek predstavljaju problem. Primjena pesticida još je jedan izvor onečišćenja zajedno s hladnjacima, aerosolima i radioaktivnim onečišćenjem.

Atmosfera je podijeljena na pet glavnih slojeva, iako su troposfera i stratosfera ključni za prijenos onečišćenja. Troposfera je prvi sloj najbliži Zemlji, a iznad njega se nalazi stratosfera gdje se na vrhu nalazi ozonski sloj. U troposferi se događa snažno vertikalno miješanje, sa stalnim zračnim obrascem cirkulacije, te se onečišćenja mogu prenositi u kratkom vremenskom razdoblju. U stratosferi ima malo vertikalnog miješanja. Onečišćenja koja se oslobađaju blizu Zemlje obično ne putuju daleko zbog turbulencije i ograničenog protoka zraka. Međutim, onečišćenja koja se uklone na većoj udaljenosti mogu putovati dalje zbog cirkulirajućeg zraka. Zagađivači zraka mogu stoga putovati daleko kad uđu u cirkulaciju zraka i uzrokovati globalne probleme. Topive čestice mogu reagirati s kišom i padati u vode i na kopno. [5]

## 5. SUDBINA TEŠKIH METALA U EKOSUSTAVU

Povećanje toksičnosti teških metala uzrokovano je lokalizacijom visoke koncentracije metala. Teški metali prisutni u tlu i sedimentima ostaju prisutni tijekom dugog vremenskog razdoblja sve dok se ne prenose u druge komponente. Također mogu reagirati s drugim elementima u tlu ili sedimentu i formirati se ili raspadati kako bi postali toksičniji. Primjer toga je formiranje otrovne metil-žive iz anorganske žive pod utjecajem bakterija koje se nalaze u vodi, sedimentu i tlu. Osnovni problem onečišćenja okoliša živom je u tome da se nastali organometalni spojevi žive nakupljaju u biosferi, a najpoznatiji takav slučaj je trovanje spojevima žive u zaljevu Minamata u Japanu.

Antropogene aktivnosti ostavile su vrlo visoku koncentraciju metala na zagađenim područjima poput napuštenih rudarskih lokaliteta ili područja gdje su se ranije koristili pesticidi koji sadrže metale. Na tim područjima vegetacija je rijetka, a rastu samo biljne vrste otporne na metale. Ponekad se na tim područjima primjenjuje pokrivanje, što znači da se na zagađenom području postavlja nepropusni sloj, a na njega se dodaje nova zemlja. Pokrivanje će pomoći da biljke ne apsorbiraju metale i spriječiti ulazak teških metala u podzemne vode i hranidbeni lanac. Pesticidi koji sadrže metale kao što su arsen, bakar, olovo i krom još uvijek se mogu pronaći na nekim područjima gdje su korišteni.

Poljoprivrednici ponekad koriste mulj iz otpadnih voda i miješaju ga s tlom, iako on može sadržavati teške metale, pogotovo ako je mulj dobiven u pogonima industrije koja u svojoj otpadnoj vodi ima veliku količinu teških metala. Teški metali poput bakra, cinka, olova, kadmija i kroma pronađeni su u tlu tih poljoprivrednih zemljištima u visokim koncentracijama.

Taljenje metala uzrokuje lokalizirano onečišćenje putem onečišćenja atmosfere, koje se zatim taloži na tlu. Na područjima gdje se vrši taljenje, vegetacija je uginula, a nema ni života poput glista i slično što pomaže u razgradnji vegetacije. Benzin s olovom, olovno streljivo i olovni utezi za ribolov doprinijeli su prisutnosti olova u našem okolišu. Neki od njih su zabranjeni u određenim dijelovima svijeta. Olovno streljivo pokupe ptice, koje zatim prenose olovo u lancu prehrane, a upotreba olovnih utega za ribolov dovodi do prisutnosti olova i u vlažnim

područjima. Metali se više vežu za tlo kada je sadržaj gline, organske tvari i pH vrijednost veća. Što je tlo kiselije, to se manje nalazi elemenata u tlu jer postaju topljivi i ispiru se dublje u tlo gdje korijeni ne dosežu, što uzrokuje nedostatak hranjivih tvari u biljkama.

Poznato je da neke biljke imaju mogućnost akumuliranja onih metala iz tla koji su neophodni za njihov rast i razvoj, a to su željezo, mangan, cink, bakar, magnezij, molibden i nikal. Druge pak često akumuliraju teške metale poput kadmija, kroma, olova, kobalta, srebra, selena i žive. Na toj sposobnosti biljaka da mogu akumulirati velike količine teških toksičnih metala razvila se zelena tehnologija sanacije onečišćenog tla, odnosno postupak fitoremedijacije.

Većina rijeka je zagađena, posebno one koje prolaze blizu industrijskih područja i rudnika. Te vode zatim teku prema moru gdje većinom padaju na dno jer se strujanje usporava. Topljivost metala uglavnom ovisi o pH vrijednosti vode. Kada vodotoci koji sadrže teške metale teku u more, pH vrijednost se povećava, a topivost metala se smanjuje, pa se oni talože u morskome sedimentu. [5]

## 6. ESENCIJALNI TEŠKI METALI

### 6.1. Bakar

Bakar je kemijski element sa simbolom Cu i atomskim brojem 29 (slika 2). To je metal koji se široko koristi u različitim industrijama i ima važnu ulogu u mnogim aspektima našeg svakodnevnog života.

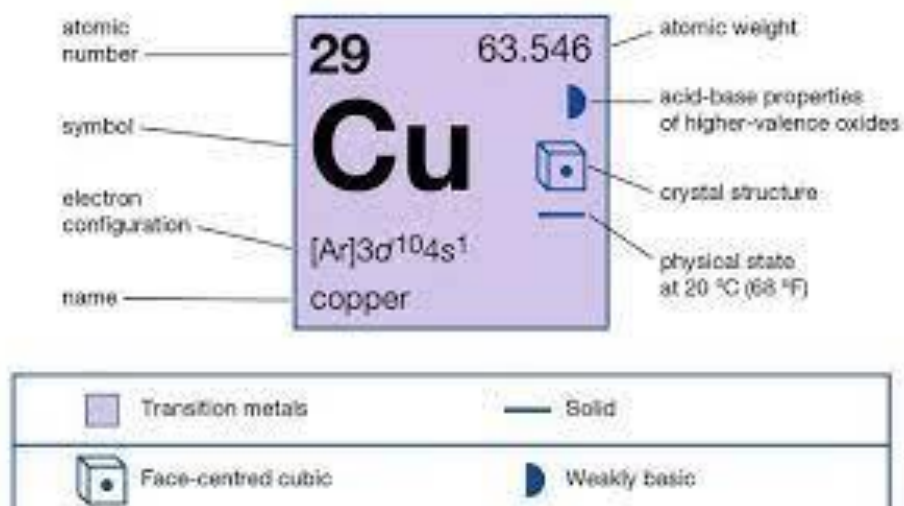
Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Bakar je mekan metal, sjajne crvenkaste boje. Ima visoku toplinsku i električnu provodljivost te dobru otpornost na koroziju.
2. Upotreba: Bakar se koristi u raznim područjima. Najpoznatija primjena je u električnoj industriji, gdje se koristi za izradu žica i kabela zbog svoje visoke električne provodljivosti. Također se koristi u proizvodnji cijevi, limova, elektroničkih komponenti, novca, umjetničkih predmeta i mnogih drugih proizvoda.
3. Biološka uloga: Bakar je esencijalni mineral potreban za normalno funkcioniranje ljudskog tijela. Igra važnu ulogu u procesima poput stvaranja crvenih krvnih stanica, održavanja zdravlja kostiju, metabolizma željeza i antioksidativne zaštite.
4. Zdravstveni aspekti: Prekomjerna izloženost bakru može imati negativne učinke na zdravlje. Duže izlaganje visokim razinama bakra može izazvati toksičnost i dovesti do simptoma poput mučnine, glavobolje, poremećaja jetre i bubrega. Međutim, normalne razine bakra u tijelu su važne za pravilno funkcioniranje. [6]

Bakar je neophodan za normalno funkcioniranje organizma. Neki metali se mogu izlučiti i putem kose, a jedan od takvih je i bakar. Izlučivanje toksičnih tvari u svim drugim tjelesnim sekretima ili tkivima (uključujući slinu, znoj, suze, kosu i kožu) je od manje važnosti, osim u uvjetima proizvodnje velike količine znoja, kada izlučivanje toksičnih tvari u znoju može postati značajno. [20]



Bakar je potreban mnogim enzimima da normalno funkcioniraju te se stoga svrstava među esencijalne elemente. Može mijenjati stanje iz  $\text{Cu}^{2+}$  u  $\text{Cu}^+$ . Ova promjena stanja može također postati toksična jer se mogu stvarati superoksidni i hidroksilni radikali. Različiti homeostatski mehanizmi u normalnim okolnostima održavaju fiziološki bitnu količinu bakra. Homeostaza bakra uključuje kontrolu apsorpcije, intracelularnog transporta, staničnog unosa i izlučivanja, sekvenciranja/pohranjivanja i izlučivanja bakra iz tijela. Pokazalo se da je apsorpcija bakra putem gastrointestinalnog trakta obrnuto proporcionalna prehranbenom unosu metala. Studije su pokazale da je unos zasićen, a unos ili izlučivanje su pod utjecajem intracelularnih količina bakra. [21]



Slika 2. Kemijski element bakar

Izvor: <https://hr.gov-civ-guarda.pt/copper>

## 6.2. Cink

Cink je kemijski element sa simbolom Zn i atomskim brojem 30 (slika 3). To je srebrnobijeli metal koji se često koristi u različitim industrijskim i svakodnevnim aplikacijama.

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Cink je mekan, blago plastičan metal s plavkastim odsjajem. Ima nisku topljivost u vodi i visoku topljivost u kiselinama i lužinama.
2. Upotreba: Cink se koristi u raznim područjima. Najpoznatija primjena je u galvanskim premazima, gdje se koristi za zaštitu drugih metala od korozije. Također se koristi u proizvodnji baterija, legura (poput mesinga), u građevinskoj industriji, kao dodatak gnojivima i kao prehrambeni dodatak.
3. Biološka uloga: Cink je esencijalni nutrijent za životinje i ljude. Igra ključnu ulogu u mnogim enzimskim reakcijama u tijelu, potiče normalan rast i razvoj, sudjeluje u imunološkom sustavu, održava zdravlje kože i kose te sudjeluje u sintezi proteina i DNA.
4. Zdravstveni aspekti: Cink je važan za održavanje zdravlja, a nedostatak cinka može dovesti do različitih problema poput slabog imuniteta, usporenog rasta, gubitka kose, problema sa kožom i oštećenja vida. Međutim, prekomjerni unos cinka također može biti štetan za zdravlje.[7]

Cink se svrstava među esencijalne elemente jer je potreban za funkcioniranje više od 300 enzima.

Funkcija cinka u tim metaloenzimima je sudjelovanje u katalitičkim funkcijama, regulacijskim funkcijama i održavanju stabilnosti strukture. Cink je uključen u sintezu DNA i RNA te u proliferaciju stanica.

Osim što je uključen u proliferaciju stanica kao strukturni element proteina, cink također sudjeluje u regulaciji rasta. Ako nedostaje cinka, stanice umiru, što rezultira apoptozom u različitim tipovima stanica. Ako je cink prisutan u visokim koncentracijama izvanstanično i premašuje sposobnost homeostaze cinka, dolazi do apoptoze jer se aktiviraju povišene intracelularne razine cinka zbog citotoksičnosti. Nekroza stanica javlja se pri vrlo visokim koncentracijama cinka. [21]



*Slika 3. Kemijski element cink*

Izvor: [http://ss-tehnicka-kt.skole.hr/nastava/2god/racunalstvo\\_2d/ana\\_vlahek](http://ss-tehnicka-kt.skole.hr/nastava/2god/racunalstvo_2d/ana_vlahek)

### 6.3. Mangan

Mangan je kemijski element s simbolom Mn i atomskim brojem 25 (slika 4). To je sivkasto-bijeli metal koji se nalazi u prirodi u obliku minerala.

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Mangan je tvrd metal s visokom točkom taljenja. Može postojati u nekoliko alotropskih oblika, uključujući alfa-mangan, beta-mangan i gama-mangan.
2. Upotreba: Mangan ima široku primjenu u industriji. Koristi se u proizvodnji čelika kao legura, gdje poboljšava tvrdoću i čvrstoću čelika. Također se koristi u proizvodnji baterija, boja i lakova, kao katalizator u kemijskim reakcijama i u proizvodnji gnojiva.
3. Biološka uloga: Mangan je esencijalni nutrijent potreban za normalno funkcioniranje tijela. Igra važnu ulogu u metabolizmu ugljikohidrata, lipida i aminokiselinama. Također je važan za pravilan razvoj kostiju i vezivnog tkiva.
4. Zdravstveni aspekti: Mangan je potreban u umjerenim količinama, ali prekomjerni unos može biti štetan. Duže izlaganje visokim razinama mangana može dovesti do toksičnosti i uzrokovati neurološke probleme, poput Parkinsonove bolesti. [8]

Iako mangana ima u zraku i vodi urbanih naselja, u organizam se uglavnom unosi hranom (povrće, voćem, čajem i dr.) pri čemu se apsorbira obično manje od 5% (prosječno 3-4%) od unijete količine.

Akutno trovanje manganom nastaje ingestijom manganovih soli ili inhalacijom para ili prašine manganova (IV) oksida i to najčešće u rudnicima mangana ili u talionicama mangana, kao i radnika izloženih visokoj koncentraciji mangana u prašini.

Najviše koncentracije Mn prisutne su u kostima, jetri, bubrezima, gušterači i nadbubrežnoj žlijezdi. Normalna koncentracija Mn u ljudskom tkivu je 1 mg/kg u kosti, 1,04 mg/kg u gušterači i 0,98 mg/kg u bubrežnoj kori. Mangan ne prolazi kroz metabolizam tj. apsorbira se i izlučuje iz organizma nepromijenjen pri čemu jetra kontrolira i održava normalnu količinu mangana odraslog organizma od oko 20 mg, a višak se iz žuči izlučuje u crijevo. [20]



*Slika 4. Kemijski element mangan*

Izvor: <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/mn/index.html>

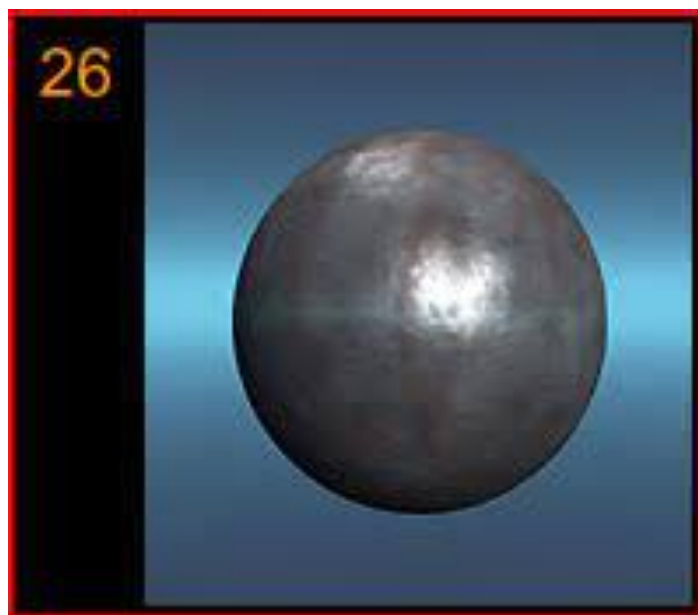
## 6.4. Željezo

Željezo je kemijski element s simbolom Fe i atomskim brojem 26 (slika 5). To je metal koji se često koristi u različitim industrijskim i svakodnevnim primjenama.

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Željezo je srebrnosivi metal s visokom topljivosti. Ima veliku gustoću, dobru toplinsku i električnu provodljivost te magnetska svojstva.
2. Upotreba: Željezo se koristi u raznim područjima. Najpoznatija primjena je u proizvodnji čelika, legure željeza s ugljikom. Čelik se koristi u izgradnji mostova, zgrada, vozila, alata i brojnih drugih industrijskih i konstrukcijskih materijala. Željezo se također koristi u proizvodnji elektromagneta, elektroda, željezničkih tračnica i mnogih drugih proizvoda.
3. Biološka uloga: Željezo je esencijalni nutrijent za ljudski organizam. Igra ključnu ulogu u transportu kisika u krvi kao sastavni dio hemoglobina. Također je potreban za normalno funkcioniranje enzima i metabolizma.
4. Zdravstveni aspekti: Nedostatak željeza može dovesti do anemije, što rezultira umorom, slabim imunitetom i drugim simptomima. Prekomjerni unos željeza također može biti štetan za zdravlje i povezan je s oksidativnim stresom. [9]

Željezo (Fe) pripada u skupinu prijelaznih metala tj. nalazi se u 8. skupini periodnog sustava elemenata. Najzastupljeniji je prijelazni metal na Zemlji te je neophodan za gotovo sve žive vrste. Pripada esencijalnim metalima, sastavni je dio svih staničnih odvijanja: disanja, redoks procesa, energetskog metabolizma, sinteze DNA i genske regulacije. U prirodi se pojavljuje u oksidacijskim stanjima: željezo (II)  $\text{Fe}^{2+}$  i željezo (III)  $\text{Fe}^{3+}$ . Željezo i njegovi spojevi prisutni su i kao onečišćivači u atmosferi i mogu štetno utjecati na zdravlje. [22]



*Slika 5. Kemijski element željezo*

Izvor: <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/fe/index.html>

## 6.5. Molibden

Molibden je kemijski element sa simbolom Mo i atomskim brojem 42 (slika 6).

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Molibden je srebrnobijeli metal koji je visoko rastopljiv i ima visoku tvrdoću. Ima visoku topljivost u kiselinama i lužinama.
2. Upotreba: Molibden se koristi u raznim industrijama. Najznačajnija primjena je u proizvodnji legura, posebno čelika i superlegura, gdje poboljšava tvrdoću i čvrstoću materijala. Također se koristi u elektronici, katalizatorima, mazivima i drugim industrijskim potrebama.
3. Biološka uloga: Molibden je esencijalni nutrijent za biljke, životinje i ljude. Igra važnu ulogu u metabolizmu tijela, posebno u procesima sinteze aminokiselina.
4. Zdravstveni aspekti: Molibden se obično smatra neškodljivim za ljude i rijetko uzrokuje toksičnost. U malim količinama, molibden je važan za normalno funkcioniranje organizma. Međutim, izloženost visokim razinama molibdena može imati štetne učinke na zdravlje. [10]

Mehanizmi toksičnosti molibdena nisu pravilno utvrđeni. Podaci o toksičnosti molibdena kod životinja i ljudi su ograničeni. S obzirom da nema podataka koji bi to opovrgli, pretpostavlja se da je toksičnost molibdena slična kod svih vrsta, osim preživača. Preživači su skloniji toksičnosti molibdena.



Način djelovanja može uključivati promjenu iskorištavanja bakra, iako su vjerojatno uključeni i drugi mehanizmi kao što su izravne promjene molibdena. Kod dijeta s nedostatkom bakra, molibden je uzrokovao promjene u razini bakra u jetri, bubrezima i plazmi. Nepoželjni učinci su se mogli preokrenuti primjenom visokih doza bakra. Visoke doze molibdena uzrokovale su anemiju i smanjenje tjelesne težine u studijama na životinjama, a simptomi su slični onima kod životinja s nedostatkom bakra. Visoke doze bakra su preokrenule taj učinak. Štakori s redovitom prehranom izloženi visokim količinama molibdena pokazivali su visoku razinu bakra u plazmi, koja se većinom nalazi u "čvrsto vezanom obliku" i nije povezana s ceruloplazminom jer se ne bilježi povećanje ove bjelančevine koja veže bakar. Koncentracije bakra su se povećavale u jetri i bubrezima nakon izloženosti visokoj razini molibdena. [21]



*Slika 6. Kemijski element molibden*

Izvor: <http://www.koval.hr/blodgeky/minerali/minerali/molibden.html>

## 6.6. Krom

Krom je kemijski element koji ima atomski broj 24 i kemijski simbol Cr (slika 7).

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Krom je srebrnobijeli, tvrdi i lomljivi metal. Ima visoku točku taljenja i vrelišta te je dobro provodi struju i toplinu.
2. Kemijska reaktivnost: Krom je kemijski stabilan metal koji ne reagira s vodom ili zrakom na sobnoj temperaturi. Međutim, u prisutnosti kisika može stvarati tanki sloj oksida na površini metala koji ga štiti od daljnje korozije.
3. Upotreba: Krom se koristi u raznim industrijskim sektorima. Najpoznatija primjena je u proizvodnji čelika, gdje se krom dodaje kako bi poboljšao čvrstoću i otpornost na koroziju materijala. Također se koristi u proizvodnji legura, katalizatora, boja i pigmenta, elektroplatingu i ukrasnoj industriji.
4. Biološka uloga: Krom je esencijalni element za organizme, ali u vrlo malim količinama. Njegova glavna funkcija u tijelu je sudjelovanje u metabolizmu ugljikohidrata kao kofaktor enzima koji reguliraju razinu šećera u krvi.
5. Toksičnost: Veća izloženost kromu (VI) može biti toksična i karcinogena. Krom (VI) spojevi su posebno štetni za pluća i mogu uzrokovati respiratorne probleme poput astme i raka pluća. Krom (III) spojevi su manje toksični i manje se apsorbiraju u organizam. [26]

Najznačajniji izvori kroma u okolišu su emisija kroma ili njegovih spojeva iz industrijskih procesa kao što su proizvodnja predlegura željezo-krom (kromove ferolegure), čelika legiranih kromom uz koji se obično dodaju nikal i molibden, legura kroma i kobalta, galvanizacijskih postupaka kromiranja metalnih površina, postrojenja za štavljenje kože, proizvodnje kromovih soli kromata, proizvodnje kromovih pigmenata itd.

Osim ovih izvora kroma koji mogu imati štetan utjecaj na zdravlje čovjeka zbog unosa kroma inhalacijom, treba spomenuti unos kroma u organizam uzimanjem hrane i pitkom vodom koja sadrži krom. Nadalje, postoji mogućnost i perkutanog izlaganja kromu koje može nastati kontaktima s određenim potrošačkim proizvodima ili pak tlima kontaminiranim kromom. Najznačajnija ne profesionalna izloženost kroma je izlaganje ingestijom. Sadržaj kroma u živežnim namirnicama uvelike varira i ovisi o njihovoj obradi i pripremi.

Profesionalna izloženost kromu identificirana je kao važan čimbenik rizika za rak pluća.  
[20]



*Slika 7 Kemijski element krom*

Izvor: <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/ct/>

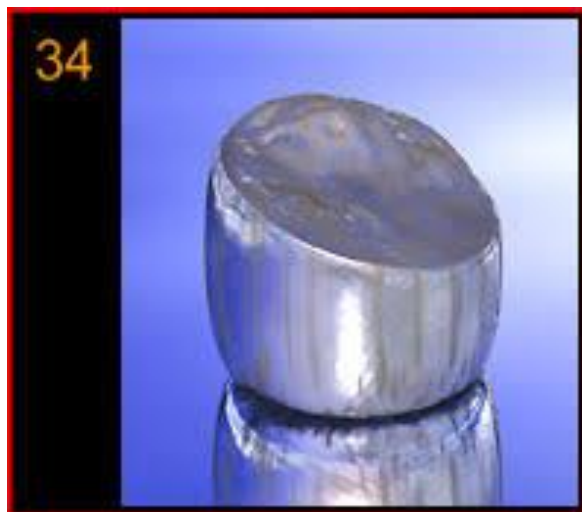
## 6.7. Selen

Selen je kemijski element koji ima simbol Se i atomski broj 34 (slika 8). Selen je esencijalni mikronutrijent za ljude, životinje i neke mikroorganizme.

Ključne činjenice:

1. Antioksidacijska funkcija: Selen djeluje kao kofaktor za enzime koji su važni za neutralizaciju slobodnih radikala i zaštitu stanica od oksidativnog stresa.
2. Sudjelovanje u sintezi proteina: Selen je ključan za formiranje selenoproteina, posebnih proteina koji obavljaju različite funkcije u tijelu, uključujući regulaciju imunološkog odgovora, metabolizam štitnjače i održavanje zdravlja kardiovaskularnog sustava.
3. Utjecaj na imunološki sustav: Selen ima važnu ulogu u podršci imunološkom sustavu i funkciji bijelih krvnih stanica.
4. Utjecaj na štitnjaču: Selen je ključan za pretvorbu hormona štitnjače u aktivni oblik i održavanje optimalne funkcije štitnjače.
5. Zaštita od karcinogena: Studije su pokazale da selen može imati zaštitni učinak protiv određenih vrsta karcinoma, iako je potrebno daljnje istraživanje kako bi se razumjelo njegovo točno djelovanje.

Selen se nalazi u različitim prehrambenim izvorima, kao što su orašasti plodovi (npr. brazilski orah), riba, meso, žitarice i povrće. Međutim, unos selena treba biti umjeren, jer prevelike količine mogu biti toksične. [27]



*Slika 8 Kemijski element selen*

Izvor: <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/se/index.html>

## 7. NEESENCIJALNI TEŠKI METALI

### 7.1. Olovo

Olovo je kemijski element s simbolom Pb i atomskim brojem 82 (slika 9).

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Olovo je sivkasto-bijeli metal koji je mekan i lako se oblikuje. Ima nisku točku taljenja i točku ključanja te je dobar električni i toplinski provodnik.
2. Upotreba: Olovo se tradicionalno koristilo u raznim industrijama. Bilo je široko korišteno u proizvodnji baterija, stolarije, cijevi, teških metala za stabilizaciju, u bojama i tintama. Međutim, zbog svoje toksičnosti, upotreba olova u mnogim proizvodima je smanjena ili zabranjena.
3. Zdravstveni aspekti: Olovo je vrlo otrovan metal koji može imati ozbiljne negativne učinke na zdravlje ljudi. Izloženost olovu može uzrokovati oštećenje živčanog sustava, smanjenje kognitivnih funkcija, probleme s reprodukcijom, oštećenje bubrega, anemiju i druge zdravstvene probleme. Djeca su posebno osjetljiva na olovo.
4. Okolišni aspekti: Olovo može zagađivati okoliš putem industrijskih ispušnih plinova, otpada, odlagališta olovnih baterija i drugih izvora. Zagađenje olovom može negativno utjecati na tla, vode i biljni i životinjski svijet. [11]

Olovo je vrlo opasan metal zbog svoje otrovnosti, kao i njegovi spojevi, posebice zbog kumulativnog učinka. Iako olovo tvori i četverovalentne, ne previše stabilne spojeve, najvažniji su njegovi dvovalentni spojevi. Olovo i njegovi spojevi uzrokuju jedno od najčešćih profesionalnih otrovanja koje se naziva i saturnizam ili plumbizam.

Najčešća otrovanja olovom povezana su s radnim okolišem koji je obično onečišćen olovom zbog nedovoljnih mjera zaštite. Otrovanju olovom izloženi su radnici u naftnoj industriji, rudnicima, ljevaonicama, u proizvodnji olovnih akumulatora, boja, keramike i stakla, jer u tom radnom okolišu dolaze u dodir s prašinom i parama koje sadrže olovo i/ili njegove spojeve.

Otrovanje olovom je tipično kronično otrovanje, jer za promjene u organizmu koje nastaju zbog metabolizma i nakupljanja olova, treba određeno vrijeme koje ovisi o njegovoj koncentraciji u zraku i vremenu izloženosti. Tako npr. pri izloženosti ljudskog organizma niskim koncentracijama olova, ponekad, do pojave prvih simptoma otrovanja tj. štetnog učinka, može proći i po nekoliko mjeseci ili čak godina.

Olovo se iz organizma izlučuje prvenstveno urinom i fekalijama i to bez obzira na način unosa u organizam, dok se samo manji dio može izlučivati znojenjem, slinom, u kosi, noktima, majčinim mlijekom i sjemenom tekućinom. Vrijeme poluraspada odnosno vrijeme potrebno za izlučivanje Pb iz organizma može biti različito i ovisi o mjestu na kojem je olovo odloženo. [20]



*Slika 9. Kemijski element olovo*

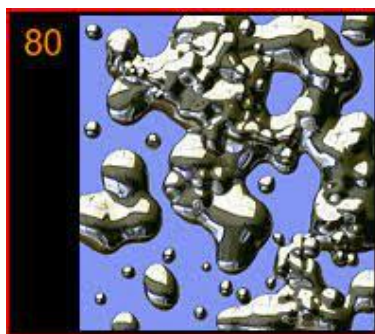
Izvor: <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/pb/index.html>

## 7.2. Živa

Živa je kemijski element sa simbolom Hg i atomskim brojem 80 (slika 10).

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Živa je jedini metal koji je tekući pri sobnoj temperaturi. Ima srebrnobijelu boju i visoku gustoću. Živa je izuzetno toksična i može isparavati u plinovitom obliku pri sobnoj temperaturi.
2. Upotreba: Živa se koristi u različitim industrijama. Nekada se široko koristila u termometrima, barometrima, fluorescentnim svjetilkama, električnim prekidačima i drugim električnim uređajima. Također se koristi u kemijskim procesima, proizvodnji metala i dr.
3. Zdravstveni aspekti: Živa je vrlo otrovan metal koji može uzrokovati ozbiljne zdravstvene probleme. Izloženost živi može uzrokovati oštećenje mozga, živčanog sustava, bubrega i drugih organa. Simptomi trovanja živom uključuju tremor, gubitak pamćenja, umor, probleme s vidom i sluhom te probleme s reprodukcijom.
4. Okolišni aspekti: Živa je snažno zagađujući metal koji može imati ozbiljne posljedice po okoliš. Zagađenje živom može se dogoditi kroz industrijske otpadne vode, ispušne plinove, odlaganje otpada i nepravilno rukovanje živom. [12]



Slika 10. Kemijski element živa

Izvor: <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/hg/index.html>



### 7.3. Kadmij

Kadmij je kemijski element s simbolom Cd i atomskim brojem 48(slika 11).

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Kadmij je srebrnobijeli metal koji je mekan, duktilan i ima nisku točku taljenja. Kadmij također dobro provodi električnu energiju.
2. Upotreba: Kadmij se koristi u raznim industrijskim aplikacijama. Nekada se široko koristio u baterijama, premazima, legurama, solarnim stanicama, elektronici, bojama i drugim proizvodima. Međutim, zbog svoje visoke toksičnosti, upotreba kadmija je sve više ograničena.
3. Zdravstveni aspekti: Kadmij je izuzetno otrovan metal koji može imati ozbiljne negativne učinke na zdravlje ljudi. Izloženost kadmiju može uzrokovati oštećenje bubrega, pluća, kostiju i drugih organa. Također je povezan s povećanim rizikom od razvoja raka, posebno plućnog i prostate.
4. Okolišni aspekti: Kadmij je zagađujući metal koji može zagađivati okoliš putem industrijskog otpada, ispušnih plinova, odlagališta otpada i drugih izvora. Kadmij se može akumulirati u tlu, vodi i biljnim i životinjskim organizmima, što može imati štetne posljedice za ekosustav. [13]

Do sada još nije ustanovljeno da postoji bilo kakva biološka funkcija kadmija u ljudskom organizmu pa njegovo prisustvo u organizmu isključivo može imati samo toksične učinke, iako se, u nekim uvjetima, manja količina kadmija apsorbira i kroz kožu, glavni putovi njegovog ulaska u organizam su respiratorni i gastrointestinalni sustav.

Sluznica probavnog trakta predstavlja prilično dobru barijeru za njegov ulaz u organizam i apsorpcija u prosjeku ne prelazi nekoliko postotaka od ukupno oralno unesene količine tog metala, dok se iz respiratornog trakta, apsorbira znatno više kadmija, pri čemu oblik, veličina čestica i opće stanje pluća ima vrlo važnu ulogu. Zbog toga se apsorpcija kreće u rasponu između 20 i 40% od ukupno inhaliranih čestica kadmija, dok apsorpcija kadmijevih para može biti veća i od 60%.

Izlučivanje kadmija iz ljudskog organizma je relativno slabo i dnevno se urinom izlučuje oko 0,02% od ukupne količine u tijelu, dok se još manje izlučuje fekalijama. Iz ovih razloga kadmij ima dugo vrijeme poluraspada koje može biti od 7 do 30 godina. U tijelu čovjeka koji nije profesionalno izložen kadmiju, kadmija obično ima oko 30 mg, od čega se 50-75% nalazi u bubrezima i jetri, manje u plućima, sluznici probavnog sustava i gušterači. [20]



*Slika 11. Kemijski element kadmij*

Izvor: <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/cd/index.html>

## 7.4. Arsen

Arsen je kemijski element sa simbolom As i atomskim brojem 33 (slika 12).

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Arsen je sivi metalloid koji može imati različite alotropske oblike. On je krhak i nema određen oblik. Arsen može biti prisutan u obliku plinovitog, tekućeg ili čvrstog stanja, ovisno o uvjetima temperature i tlaka.
2. Upotreba: Arsen se koristi u različitim industrijskim i komercijalnim svrhama. Nekada se široko koristio u proizvodnji pesticida, drvenih konzervansa, legura, elektroničkih uređaja i lijekova. Međutim, zbog svoje toksičnosti, upotreba arsena je smanjena.
3. Zdravstveni aspekti: Arsen je izuzetno otrovan element koji može imati ozbiljne negativne učinke na zdravlje ljudi. Izloženost arsenu može dovesti do akutnih trovanja, oštećenja živčanog sustava, kože, pluća, bubrega i jetre. Dugotrajna izloženost arsenu može povećati rizik od razvoja raka, posebno raka pluća, kože, mokraćnog mjehura i drugih organa.
4. Okolišni aspekti: Arsen se može naći u prirodi i može zagađivati okoliš zbog industrijskih aktivnosti, rudarstva, pesticida i drugih izvora. [14]

Većina arsenovih spojeva jaki su otrovi, pa je tako npr. spoj arsena s vodikom, arsin,  $\text{AsH}_3$ , izvanredno otrovan plin, a nastaje često pri radu sa sirovinama koje sadrže arsen. Arsenov (III) oksid  $\text{As}_2\text{O}_3$ , bijeli je prah bez mirisa, slabo topljiv u vodi, jak otrov, služi za pripravu drugih arsenovih spojeva, koristi se i u medicini, u bojadisarstvu, za konzerviranje drva i kože itd.

Iako arsen nije esencijalni element u ljudskom organizmu, on se, zbog svoje raširenosti u prirodi, neprekidno ingestijom unosi u organizam (voda, proizvodi) i to u vrlo malim količinama. Iz gastrointestinalnog sustava se vrlo dobro apsorbira. Apsorpcija arsena je vrlo dobra i putem respiratornog sustava, dok mu je perkutana apsorpcija puno slabija.

Otrovanje arsenom može biti perakutno, akutno i kronično, može biti lokalno i unos u organizam se može dogoditi inhalacijom i ingestijom. Razvoj i pojava simptoma otrovanja arsenom ovisi o unesenoj količini, o tome je li unošenje jednokratno ili ponavljano, obujmu apsorpcije, metabolizmu i načinu izlučivanja iz organizma. Kod profesionalne izloženosti arsenu obično se javljaju promjene lokalnog karaktera na koži, iako se unos može odvijati i inhalacijom arsenovih spojeva. [20]



*Slika 12. Kemijski element arsen*

Izvor: [http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/\\_elementi/as/index.html](http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/_elementi/as/index.html)

## 7.5. Aluminij

Aluminij je kemijski element sa simbolom Al i atomskim brojem 13 (slika 13).

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Aluminij je srebrnobijeli metal koji je lagan, mekan, ali istovremeno čvrst i izuzetno otporan na koroziju. Ima nisku gustoću i visoku vodljivost topline i električne struje.
2. Upotreba: Aluminij se široko koristi u mnogim industrijskim i svakodnevnim aplikacijama. Njegova lakoća, čvrstoća i otpornost na koroziju čine ga idealnim materijalom za izradu aviona, automobila, konstrukcija, ambalaže, elektronike i mnogih drugih proizvoda.
3. Zdravstveni aspekti: Aluminij je relativno siguran metal za ljude i većina ljudi ga unosi kroz hranu, vodu i druge izvore. Međutim, izloženost visokim koncentracijama aluminija može biti povezana s neurološkim poremećajima kao što je Alzheimerova bolest. Međutim, veza između aluminija i neuroloških poremećaja još uvijek nije u potpunosti razjašnjena.
4. Okolišni aspekti: Aluminij se obično nalazi u obliku spojeva u prirodi. Industrijska proizvodnja aluminija može rezultirati otpadnim materijalima koji mogu zagađivati okoliš. Međutim, aluminij ima mogućnost recikliranja, što smanjuje potrebu za vađenjem novih sirovina i negativan utjecaj na okoliš. [15]

Organi koji su ciljano pogođeni trovanjem aluminijem su pluća, središnji živčani sustav i kosti. Primijećeno je da izlaganje aluminiju uzrokuje dva tipa osteomalacije. Prvi tip osteomalacije primjećuje se kod zdravih osoba koje koriste antacide. Aluminij prisutan u antacidima veže se na fosfor iz hrane, što onemogućuje apsorpciju fosfora u probavnom traktu. Smanjenje fosfora dovodi do osteomalacije i rahitisa. Uremični pacijenti na dijalizi pokazali su osteomalaciju zbog izloženosti aluminiju prisutnom u tekućini za dijalizu. Aluminij u kostima povećan je kod tih pacijenata, a aluminij se nalazi između spoja nekalcificiranih i kalcificiranih kostiju. Pacijenti s hiperfosfatemijom također mogu pokazati osteomalaciju jer im se oralno daje aluminij za njeno kontroliranje. Bit će povećano vrijeme mineralizacije, osteoidno područje, površina osteoida, blago povišene razine kalcija u serumu i niske razine paratiroidnog hormona zbog osteomalacije. [21]



*Slika 13. Kemijski element aluminij*

Izvor: <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/al/index.html>

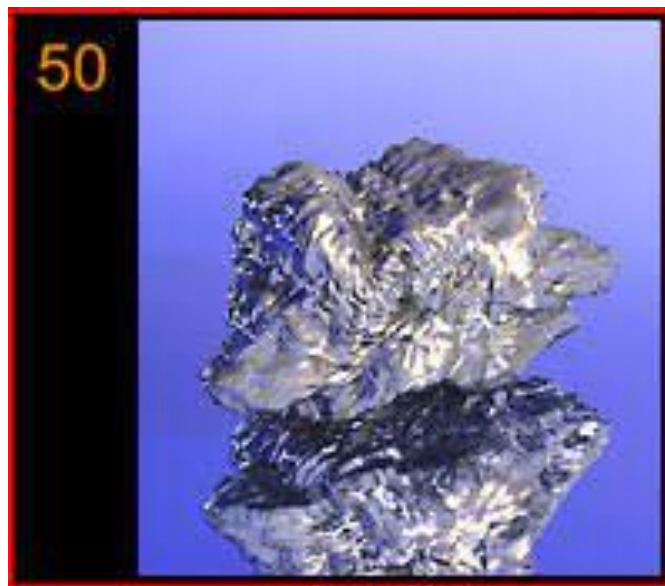
## 7.6. Kositar

Kositar je kemijski element s simbolom Sn i atomskim brojem 50 (slika 14).

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Kositar je srebrnobijeli metal koji je mekan i savitljiv. Ima nisku točku taljenja i visoku točku vrenja. Kositar je kemijski stabilan i otporan na koroziju.
2. Upotreba: Kositar se koristi za razne industrijske i tehničke potrebe. Najpoznatija primjena kositara je u proizvodnji lima, cijevi i drugih proizvoda od kositrenog čelika. Također se koristi u elektroničkoj industriji za lemljenje elektroničkih komponenti, izradi lemljive žice i kalupa. Kositar se također koristi u proizvodnji kositrenog oksida, koji se koristi u proizvodnji stakla, keramike i boja.
3. Zdravstveni aspekti: Kositar je relativno siguran metal za ljude. U normalnim uvjetima izloženosti, kositar ne pokazuje značajne toksične učinke na ljudsko zdravlje. Međutim, dugotrajna izloženost visokim razinama kositra može imati štetne učinke na plodnost i razvoj ploda.
4. Okolišni aspekti: Kositar se obično nalazi u prirodi u obliku ruda, poput kositrovog oksida. Vađenje i obrada kositra mogu dovesti do ekoloških problema, uključujući zagađenje tla, voda i zraka. Međutim, s obzirom na relativno nisku upotrebu kositara u usporedbi s drugim metalima, utjecaj na okoliš smatra se manjim. [16]

Kositar je važan element za normalan rast i razvoj koštanog tkiva. Sudjeluje u stvaranju i održavanju kostiju te ima ulogu u mišićnoj funkciji. Prisutan je u tijelu u tragovima i igra ulogu u održavanju normalne funkcije srca i krvnih žila. Kositar je važan za normalnu funkciju štitnjače i proizvodnju hormona. Sudjeluje u enzimskim reakcijama koje su bitne za proizvodnju i regulaciju hormona u tijelu. Ima važnu ulogu u održavanju normalnog imunološkog odgovora tijela. Sudjeluje u funkciji imunoloških stanica i procesima koji su ključni za obranu tijela od infekcija i bolesti. Prisutan je u živčanim stanicama i sudjeluje u normalnom funkcioniranju živčanog sustava. Ima ulogu u prijenosu živčanih impulsa i neurotransmisiji. [23]



*Slika 14. Kemijski element kositar*

Izvor: <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/sn/index.html>



## 7.7. Kobalt

Kobalt je kemijski element sa simbolom Co i atomskim brojem 27 (slika 15).

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Kobalt je tvrdi, srebrnobijeli metal koji je magnetan i ima visoku točku taljenja. On je stabilan pod normalnim uvjetima, ali može biti osjetljiv na oksidaciju u prisutnosti zraka.
2. Upotreba: Kobalt se koristi u raznim industrijama. Najpoznatija upotreba kobalta je u proizvodnji superlegura koje se koriste u zrakoplovstvu i industriji turbina. Kobalt se također koristi u proizvodnji litij-ionskih baterija, magneta, boja, keramike, katalizatora i medicinskih implanta.
3. Zdravstveni aspekti: Kobalt je esencijalni element za ljudski organizam u tragovima i potreban je za normalno funkcioniranje. Međutim, izlaganje visokim razinama kobalta može biti toksično i izazvati ozbiljne zdravstvene probleme poput plućnih bolesti, kožnih reakcija i potencijalno karcinogenih učinaka.
4. Okolišni aspekti: Kobalt se prirodno nalazi u zemlji, vodi i zraku. Ljudska aktivnost, poput rudarstva i industrijske proizvodnje, može povećati razinu kobalta u okolišu. Kobaltne soli i spojevi također mogu biti toksični za biljni i životinjski svijet. [17]

Primijećeno je da kobalt ima visok afinitet prema sulfhidrilnoj skupini, što uzrokuje inhibiciju važnih enzima. To može utjecati na mitohondrijsko disanje, prijenos divalentnih kationa u metalno aktiviranim ionskim centrima enzima, učinke na antagonist kalcijevog kanala, inhibiciju ulaska kalcija, kalcijevog signaliziranja i natjecanje za kalcijev ion za intracelularna vezna mjesta, te stvaranje ROS u stanicama putem Fentonove reakcije, što dovodi do oksidativnog stresa koji rezultira oksidativnim oštećenjem proteina, DNA i lipida.

Kobalt ometa proces popravka DNA i može izazvati izravno induciranje križanja DNA-proteina, oštećenja DNA i razmjene sestrinskih kromatida. Karcinogeni učinci su primijećeni kod životinja uslijed izlaganja  $\text{Co}^{2+}$ . Stvaranje kobaltom posredovanih slobodnih radikala doprinosi toksičnosti i karcinogenosti kobalta. [21]



*Slika 15. Kemijski element kobalt*

Izvor: <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/co/index.html>

## 7.8. Platina

Platina je kemijski element sa simbolom Pt i atomskim brojem 78 (slika 16).

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Platina je sjajan, srebrnobijeli metal. Ona je velike gustoće, otporna na koroziju i ima visoku točku taljenja. Platina je jedan od najtežih metala i jedan je od najrjeđih elemenata na Zemlji.
2. Upotreba: Platina se koristi u raznim industrijama. Najpoznatija primjena platine je u automobilskoj industriji, gdje se koristi u katalizatorima za kontrolu emisija. Također se koristi u proizvodnji nakita, elektronike, kemikalija, medicinskih uređaja, termoelektričnih pretvarača i mnogim drugim područjima.
3. Zdravstveni aspekti: Platina se smatra vrlo inertnim metalom i ima nisku toksičnost. Općenito, platina se ne smatra štetnom za ljudsko zdravlje. Međutim, neki ljudi mogu razviti alergijske reakcije na platinske spojeve.
4. Okolišni aspekti: Platina se prirodno nalazi u zemlji, rijekama i sedimentima. Ljudska aktivnost, kao što je rudarstvo i industrijska proizvodnja, može rezultirati otpuštanjem platine u okoliš. Međutim, budući da se platina koristi u malim količinama i visoko se cijeni, njezin utjecaj na okoliš smatra se relativno niskim. [18]

Platina djeluje na različite dijelove tijela i ima širok spektar bioloških učinaka. Koristi se kao antitumorski lijek u kemoterapiji za liječenje različitih vrsta raka. Djeluje na inhibiciju diobe stanica i izaziva njihovu smrt. Platina može utjecati na staničnu proliferaciju i diferencijaciju stanica u koštanoj srži. Izlučuje se uglavnom putem bubrega. Međutim, dugotrajna izloženost platini može uzrokovati oštećenje bubrega. Platina može imati toksične učinke na živčani sustav. Može uzrokovati neuropatiju, perifernu neuropatiju i neurotoksičnost. Može utjecati na proizvodnju krvnih stanica, uključujući crvene krvne stanice, bijele krvne stanice i trombocite. Platina se također može akumulirati u jetri i utjecati na njezinu funkciju. [24]



*Slika 16. Kemijski element platina*

Izvor: <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/pt/index.html>

## 7.9. Paladij

Paladij je kemijski element sa simbolom Pd i atomskim brojem 46 (slika 17).

Ključne činjenice:

1. Fizička svojstva: Paladij je srebrnobijeli metal s visokim sjajem. On je mekaniji od platine, ali i dalje je vrlo čvrst i ima visoku točku taljenja. Paladij je kemijski stabilan i otporan na koroziju i oksidaciju.
2. Upotreba: Paladij se koristi u raznim industrijskim primjenama. Najpoznatija primjena paladija je u katalitičkim pretvaračima za automobile, koji pomažu u smanjenju emisija štetnih plinova. Također se koristi u proizvodnji nakita, elektronike, kemikalija, medicinskih uređaja i zubne tehnike. Paladij se također koristi kao katalizator u kemijskim reakcijama.
3. Zdravstveni aspekti: Paladij je relativno inertan metal i ima nisku toksičnost. U općem smislu, paladij se ne smatra štetnim za ljudsko zdravlje. Međutim, kao i kod svih metala, izloženost visokim koncentracijama paladija može izazvati alergijske reakcije kod osjetljivih pojedinaca.
4. Okolišni aspekti: Paladij se prirodno nalazi u zemlji i rijetko se javlja u čistom obliku. Zbog relativno malih količina koje se koriste i visoke cijene paladija, njegov utjecaj na okoliš smatra se relativno niskim. [19]

Paladij ima sposobnost djelovanja kao antioksidans, što znači da može neutralizirati štetne slobodne radikale u tijelu i smanjiti oksidativni stres. Može modulirati imunološki sustav organizma, potičući imunološki odgovor ili regulirajući aktivnost imunoloških stanica. Također može imati protuupalne učinke, smanjujući upalne procese u tijelu i olakšavajući simptome upalnih bolesti. Paladij se koristi u raznim biokatalitičkim reakcijama u organizmu. On može djelovati kao katalizator za određene enzimske reakcije i potaknuti metaboličke procese. Paladij može interagirati s proteinima u tijelu, što može utjecati na njihovu strukturu i funkciju. To može imati različite učinke na organizam, ovisno o specifičnim proteinima s kojima se veže. [25]



*Slika 17. Kemijski element paladij*

Izvor: <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/pd/index.html>

## 8. ZAKLJUČAK

Teški metali prirodno se nalaze u okolišu i vitalni su za preživljavanje, ali mogu postati opasni kada se akumuliraju u organizmima. Intenzivan razvoj industrije, poljoprivrede i urbanizacije doveo je do pretjerane emisije teških metala u okoliš. Zbog svoje nerazgradivosti u okolišu i sklonosti bioakumulaciji, ali i toksičnom efektu čak i pri niskim koncentracijama, teški metali ubrajaju se u grupu najopasnijih anorganskih zagađivača. Neki od najčešćih teških metala koji zagađuju okoliš uključuju živu, kadmij, arsen, krom, nikal, bakar i olovo. Teški metali mogu ući u ljudski organizam na četiri načina: putem unosa kontaminirane hrane; inhalacijom iz atmosfere; konzumacijom kontaminirane vode; te putem direktnog kontakta kroz kožu, iz pripravaka koji se koriste u poljoprivredi, farmaceutskim proizvodima itd.

Mehanizmi kojima teški metali utječu na različite organe, tkiva i sustave u različitim organizmima vrlo su složeni, a neki od njih još nisu do kraja istraženi. Razine potencijalno toksičnih teških metala i metaloida u vodi, sedimentima, tlu i lokalnoj bioti treba redovito procjenjivati i pratiti.

## 9. LITERATURA

- [1] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 10.svibnja 2023. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=31148>
- [2] Chemical Education, The American Chemical Society. "Chemistry Essentials." Pristupljeno 10.svibnja 2023. <https://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/chemistryessentials.html>
- [3] World Health Organization. "Heavy Metals." Pristupljeno 10.svibnja 2023. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/heavy-metal>
- [4] P.K. Gautam, R.K. Gautam, M.C. Chattopadhyaya, S. Banerjee, M.C. Chattopadhyaya, J.D. Pandey: Heavy metals in the environment: fate, transport, toxicity and remediation technologies Thermodynamic profiling of pollutants View project Materials for Solid oxide fuel cells View project Heavy Metals in the Environment: Fate Transport, Toxicity And Rem (2016)
- [5] C.H. Walker, R.M. Sibly, S.P. Hopkin, D.B.P.: Principles of Ecotoxicology; Group, T. And F., Ed.; 4th Edition, CRC Press (2012)
- [6] Chemical Elements. "Copper - Cu." Pristupljeno 20.svibnja 2023. <https://www.chemicool.com/elements/copper.html>
- [7] Chemical Elements. "Zinc - Zn." Pristupljeno 22. svibnja 2023. <https://www.chemicool.com/elements/zinc.html>
- [8] Chemical Elements. "Manganese - Mn." Pristupljeno 22. svibnja 2023. <https://www.chemicool.com/elements/manganese.html>
- [9] Chemical Elements. "Iron - Fe." Pristupljeno 22. svibnja 2023. <https://www.chemicool.com/elements/iron.html>
- [10] Chemical Elements. "Molybdenum - Mo." Pristupljeno 23. svibnja 2023. <https://www.chemicool.com/elements/molybdenum.html>



- [11] Chemical Elements. "Lead - Pb." Pristupljeno 23.svibnja 2023.  
<https://www.chemicool.com/elements/lead.html>
- [12] Chemical Elements. "Mercury - Hg." Pristupljeno 30.svibnja 2023.  
<https://www.chemicool.com/elements/mercury.html>
- [13] Chemical Elements. "Cadmium - Cd." Pristupljeno 30.svibnja 2023.  
<https://www.chemicool.com/elements/cadmium.html>
- [14] Chemical Elements. "Arsenic - As." Pristupljeno 30.svibnja 2023.  
<https://www.chemicool.com/elements/arsenic.html>
- [15] Chemical Elements. "Aluminum - Al." Pristupljeno 30.svibnja 2023.  
<https://www.chemicool.com/elements/aluminum.html>
- [16] Chemical Elements. "Tin - Sn." Pristupljeno 10.lipnja 2023.  
<https://www.chemicool.com/elements/tin.html>
- [17] Chemical Elements. "Cobalt - Co." Pristupljeno 10.lipnja 2023.  
<https://www.chemicool.com/elements/cobalt.htm>
- [18] Chemical Elements. "Platinum - Pt." Pristupljeno 10.lipnja 2023.  
<https://www.chemicool.com/elements/platinum.html>
- [19] Chemical Elements. "Palladium - Pd." Pristupljeno 10. lipnja 2023.  
<https://www.chemicool.com/elements/palladium.html>
- [20] T.Sofilić, H.Makić, Toksikologija, Metalurški fakultet, studij Sigurnost, zdravlje na radu i radni okoliš, Sisak 2019. Pristupljeno 29.lipnja 2023.
- [21] Heavy metal pollution in the environment. Pristupljeno 29. lipnja 2023.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020315346#sec6>
- [22] Đokić M, Bilandžić N, Željezo-toksikološki i nutritivni aspekti u organizmu, Meso 14 (2012) 232-237.

[23] Hunt, J. R. (2003). Bioavailability of tin, gold, and silicon from the diet. *The Journal of nutrition*, 133(5), 1543S-1547S

[24] Kelland, L. (2007). The resurgence of platinum-based cancer chemotherapy. *Nature Reviews Cancer*, 7(8), 573-584

[25] Vallée, A., Lecellier, A. (2014). Palladium in medicine. *Coordination Chemistry Reviews*, 275, 11-23

[26] Nriagu, J. O. (1988). *Chromium in the natural and human environments*. John Wiley & Sons

[27] Rayman, M. P. (2000). The importance of selenium to human health. *The Lancet*, 356(9225), 233-241

## 10. POPIS PRILOGA

### POPIS SLIKA:

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Izvori zagađenja teškim metalima..... | 5  |
| Slika 2. Kemijski element bakar.....           | 16 |
| Slika 3. Kemijski element cink.....            | 18 |
| Slika 4. Kemijski element mangan.....          | 20 |
| Slika 5. Kemijski element željezo.....         | 22 |
| Slika 6. Kemijski element molibden.....        | 24 |
| Slika 7 Kemijski element krom.....             | 26 |
| Slika 8 Kemijski element selen.....            | 28 |
| Slika 9. Kemijski element olovo.....           | 30 |
| Slika 10. Kemijski element živa.....           | 31 |
| Slika 11. Kemijski element kadmij.....         | 33 |
| Slika 12. Kemijski element arsen.....          | 35 |
| Slika 13. Kemijski element aluminij.....       | 37 |
| Slika 14. Kemijski element kositar.....        | 39 |
| Slika 15. Kemijski element kobalt.....         | 41 |
| Slika 16. Kemijski element platina.....        | 43 |
| Slika 17. Kemijski element paladij.....        | 45 |