

# Akumulacija teških metala u proizvodima životinjskog porijekla

---

Rovati, Juri

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:145538>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-19**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

JURI ROVATI

AKUMULACIJA TEŠKIH METALA U PROIZVODIMA  
ŽIVOTINJSKOG PORIJEKLA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2022

Sazivam članove ispitnog povjerenstva  
za 19.09.2022. u 9 sa  
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred  
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu  
Varaždin, 01.09.2022.

Predsjednik  
ispitnog povjerenstva:  
izr. prof. dr. sc. Saša Korou

**Članovi povjerenstva**

- 1) Doc. dr. sc. Jelena Lobjarec
- 2) Prof. dr. sc. Saša Kopeck
- 3) Doc. dr. sc. Ivana Grčić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

## ZAVRŠNI RAD

# AKUMULACIJA TEŠKIH METALA U PROIZVODIMA ŽIVOTINJSKOG PORIJEKLA

KANDIDAT:

Juri Rovati



MENTOR:

doc. dr. sc. Jelena Loborec

VARAŽDIN, 2022.

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

### **Akumulacija teških metala u proizvodima životinjskog porijekla**

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **doc.dr.sc. Jelene Loborec**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 31.08.2022.

**Juri Rovati**

(Ime i prezime)

(Vlastoručni potpis)

## **IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA**


Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

### **Akumulacija teških metala u proizvodima životinjskog porijekla**

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 31.08.2022.

**doc.dr.sc. Jelena Loborec**  
(Mentor)

  
\_\_\_\_\_  
(Vlastoručni potpis)

**Naziv rada:** Akumulacija teških metala u proizvodima životinjskog porijekla

**Autor:** Juri Rovati

### **Sažetak**

Ovaj rad objašnjava akumulaciju teških metala u proizvodima životinjskog porijekla. Opisuje način na koji se teški metali akumuliraju od njihovih izvora kroz hranidbeni lanac do konačnog proizvoda i kako utječu na ljudsko zdravlje. Napredak u industriji uzrokovao je povećanu uporabu teških metala koji lako ulaze u okoliš i onečišćuju njegove komponente. Zrak, voda i tlo poznati su rezervoari teških metala iz kojih mogu ući u hranidbeni lanac i akumulirati se prema višim razredima. Nakon što su životinje kontaminirane, kontaminirani su i njihovi proizvodi, što predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje.

**Ključne riječi:** teški metali, bioakumulacija, hranidbeni lanac, zdravlje.

**Title:** Accumulation of heavy metals in the products of animal origin

**Author:** Juri Rovati

### **Abstract**

This paper presents the accumulation of heavy metals in animal products. It describes the way heavy metals accumulate from their source through a food chain to a final animal product and how they affect human health. Advancements in industry have caused an increase in the usage of heavy metals which can easily enter the environment and pollute its components. Air, water, and soil are all known reservoirs of heavy metals from which they can enter food chain and accumulate toward higher ranks. After animals get contaminated so do the products derived from them which poses a threat to human health.

**Keywords:** heavy metals, bioaccumulation, food chain, health.

## Sadržaj

1.Uvod .....	1
2.Teški metali .....	2
2.1 Izvori teških metala .....	3
3. Akumulacija teških metala .....	5
3.2 Akumulacija teških metala u zraku .....	5
3.3 Akumulacija teških metala u vodi .....	6
3.4 Akumulacija teških metala u tlu .....	6
3.3 Akumulacija teških metala u biljkama.....	7
4. Teški metali u proizvodima životinjskog porijekla .....	9
4.1 Meso.....	10
4.2 Jaja.....	11
4.3 Mlijeko i mliječni proizvodi .....	12
4.4 Med .....	13
4.5 Riba i morski plodovi .....	14
4.6 Teški metali u gnojivima.....	15
5. Utjecaj teških metala na ljude .....	17
5.1 Olovo .....	18
5.2 Arsen .....	19
5.3 Kadmij .....	19
5.4 Krom .....	20
5.5 Živa .....	21
6. Zaključak.....	22
Literatura.....	23
Popis slika.....	30



## 1.Uvod

Ljudi su u proteklih 11 000 godina pripitomili razne vrste životinja kao kućne ljubimce, radne životinje, te primarno za prehranu. U modernom svijetu one predstavljaju važan i velik udio u ljudskoj prehrani [1]. Danas je prepoznat trend velikog porasta proizvodnje stočarskih proizvoda i očekuje se da će se to nastaviti i u budućnosti. To je osobito slučaj kod zemalja u razvoju. Najveći porast je u proizvodnji peradi, svinja, jaja i mlijeka, što ukazuje da današnja populacija konzumira sve veće količine proizvoda životinjskog porijekla pa njihovo onečišćenje postaje sve većim problemom [2].

Tijekom posljednjih stotinu godina industrijalizacija je rasla velikom brzinom. Time se povećala potreba za iskorištavanjem prirodnih resursa Zemlje, što je pogoršalo svjetski problem onečišćenja okoliša brojnim štetnim tvarima, među njima i teškim metalima poput arsena, mangana, žive, aluminija, olova, kadmija, željeza i drugih [3]. Visoko su reaktivni i često toksični pri niskim koncentracijama, danas se nalaze u tlu, atmosferi i vodama odakle ulaze u hranidbene lance te se tamo bioakumuliraju i štetno utječu na okoliš i ljude [4].

U ovom radu cilj je opisati kako teški metali dopijevaju u proizvode životinjskog porijekla. Opisuje način na koji se teški metali akumuliraju od njihovih izvora kroz hranidbeni lanac do različitih tkiva životinja poput iznutrica, mišića, mlijeka i jaja, čijom konzumacijom ljudi u svoje tijelo unose i teške metale koji ovisno o koncentraciji u određenom vremenskom periodu mogu uzrokovati zdravstvene probleme.

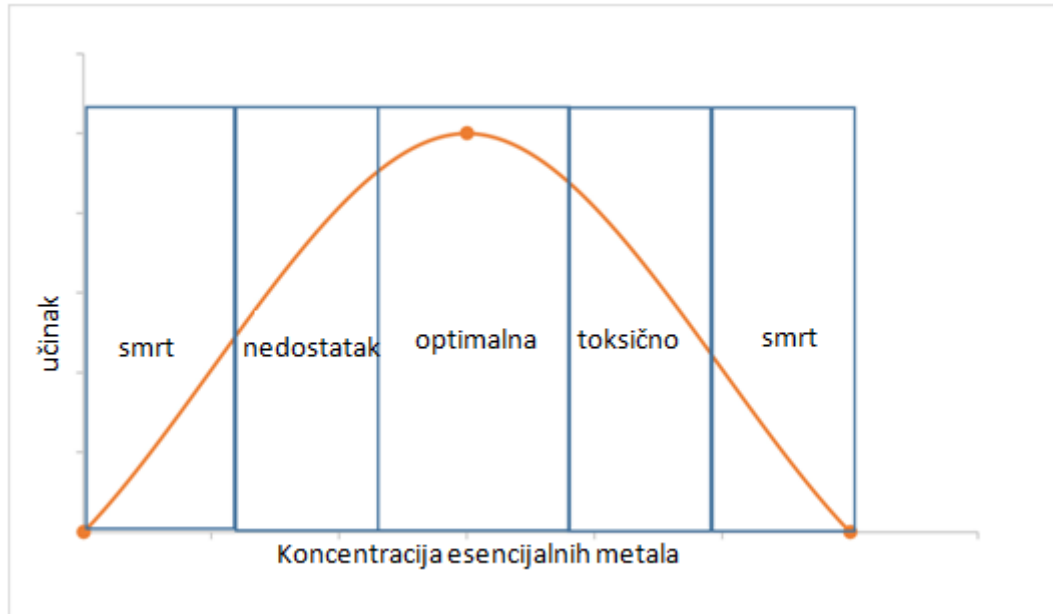
## 2. Teški metali

Teškim metalima smatraju se prirodni anorganski elementi relativno velike gustoće i atomske mase. Trenutno ne postoje točno određeni kriteriji kojima bi se definirali elementi koji se smatraju teškim metalima pa se često kao uvjet koristi gustoća od minimalno  $5 \text{ g/cm}^3$ . Takva definicija osim metala uključuje i polumetale poput arsena i antimona. Pojedini literaturni izvori termin teški metali koriste za opis elemenata koji su u određenim koncentracijama toksični za okoliš i ljude, uslijed takve definicije u teške metale se ubrajaju primjerice aluminij, selen, itd. Teški metali se prirodno nalaze u Zemljinoj kori od nastanka Zemlje [5]. Uslijed različitih definicija u ovom radu se pod teške metale ubrajaju i metaloidi te nemetali poput arsena, antimona, selena i drugih. Pojedini su u određenim količinama potrebni za normalan rast, razvoj i život flore i faune te takve nazivamo esencijalnim teškim metalima dok pojedini nisu potrebni i mogu biti toksični već pri malim količinama te ih nazivamo neesencijalnim [6,7].

Teški metali mogu biti vezani ili sorbirani s određenim prirodnim tvarima, koje mogu povećati ili smanjiti njihovu mobilnost. Kad jednom stignu u okoliš, teški metali se na različite načine mogu proširiti na brojne komponente okoliša. Kemijski ili fizički stupaju u interakciju s prirodnim spojevima, uslijed čega se u okolišu mogu pronaći u različitim oblicima [8]. Teški metali imaju tendenciju stvaranja kovalentnih veza, zbog čega pokazuju toksikološka svojstva. Posljedice te tendencije su da se kovalentno vežu s organskim skupinama te stoga tvore lipofilne spojeve, a mogu izazvati toksične učinke vezujući se na nemetalne elemente staničnih makromolekula [5].

**Esencijalnim teškim metalima** smatraju se elementi koji su u određenim koncentracijama kao mikronutrijenti neophodni za rast, razvoj i funkciju biljaka i životinja, te postaju toksični tek kad unesena količina premašuje potrebu. Oni imaju fiziološke i biokemijske funkcije u biljkama i životinjama. Važni su elementi u proizvodnji enzima i igraju važnu ulogu u različitim oksidacijsko-redukcijskim reakcijama u tijelu. Njihov manjak uzrokuje zdravstvene probleme uslijed nemogućnosti obavljanja nekih tjelesnih funkcija isto kao i višak koji može uzrokovati zdravstvene posljedice akutnog ili kroničnog trovanja te u ekstremnim slučajevima i

smrt kao što je prikazano na Slici 1. Esencijalnim teškim metalima smatraju se bakar, cink, željezo, mangan, molibden, nikal, kobalti drugi [6].



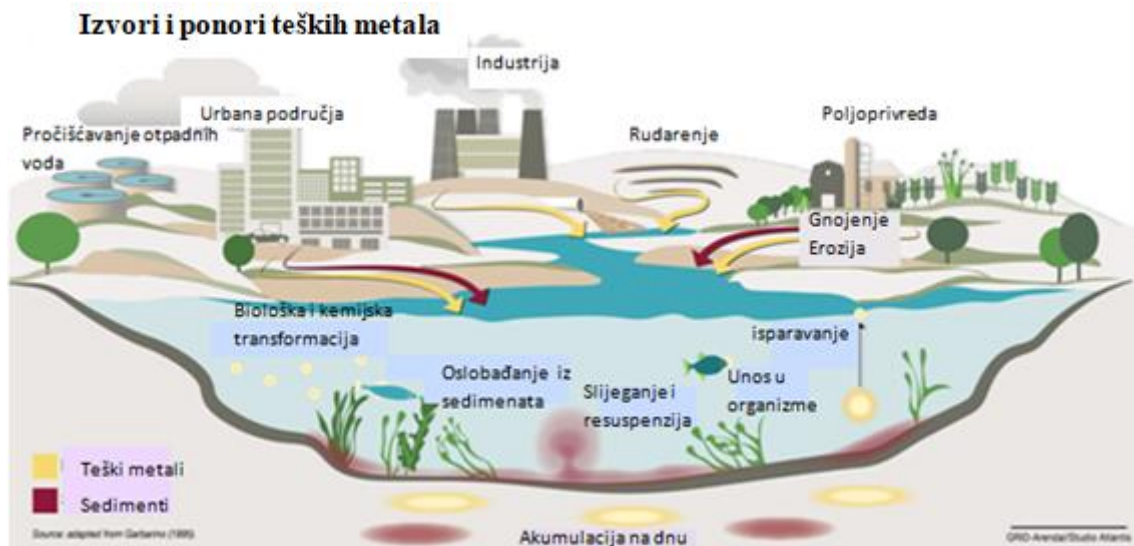
Slika 1 Graf potrebe za esencijalnim teškim metalima

Druga skupina su takozvani **neesencijalni teški metali** kojima se smatraju elementi koji biljkama i životinjama nisu potrebni za normalne biokemijske i fiziološke funkcije. Utjecaj nekih na organizam je gotovo zanemariv poput zlata i srebra dok su neki toksični već i u malim količinama poput žive [6].

## 2.1 Izvori teških metala

Teški metali su sastavni dio okoliša te se u najvećoj mjeri nalaze u Zemljinoj kori. Različita tla sadrže širok raspon teških metala u različitim koncentracija ovisno o geološkim uvjetima te antropogenim i prirodnim aktivnostima koje se događaju ili su se dogodili [8]. Uslijed sve veće uporabe teških metala dolazi do sve većeg onečišćenja u tlu, vodama i zraku. Danas je antropogena aktivnost najveći izvor teških metala u

okolišu, najviše uslijed rudarenja, poljoprivrede, metalne industrije, odlagališta otpada, otpadnih voda, vozila i gradnja cesta. Poljoprivreda se smatra drugim najvećim antropogenim izvorom onečišćenja teškim metalima koji se nalaze u pesticidima, insekticidima, mineralnim i organskim gnojivima, životinjskom izmetu, itd. [6,7]. Nakon njihovog ispuštanja u okoliš prolaze kemijske i biološke transformacije, mogu biti uneseni u žive organizme ili se talože u sedimentima kao što je prikazano na Slici 2.



Slika 2 Antropogeni izvori teških metala

Prirodni izvori kao što su vulkanska aktivnost, korozija metala, isparavanje metala iz tla i vode, ponovna suspenzija sedimenta, erozija tla, geološko trošenje također mogu izazvati onečišćenje teškim metalima [5].

### 3. Akumulacija teških metala

Teški metali su otrovni jer se bioakumuliraju, što podrazumijeva povećanje razine neke tvari u biološkom organizmu tijekom vremena, u usporedbi s razinom te iste tvari tvari u okolišu. Do nakupljanja onečišćivala u živim organizmima dolazi neposrednom adsorpcijom ili putem prehrambenih lanaca. Teški metali se nakupljaju u živim organizmima kada se unose i spremaju brže nego što se mogu metabolizirati ili izlučiti [9]. Nakupljaju se u atmosferi, vodama i tlu gdje se dugo zadržavaju uslijed slabe reaktivnosti i dobre stabilnosti. Također, teški metali iz okoliša prelaze u trofičke razine prehrambenih lanaca. Oni pokazuju toksične učinke ako uđu u organizam i tamo se bioakumuliraju [10].

#### 3.2 Akumulacija teških metala u zraku

Onečišćenje zraka primarno je uzrokovano urbanizacijom i industrijalizacijom. Štetne tvari ulaze u atmosferu u različitim oblicima kao čestice, kapljice ili u plinovitom obliku. Nakon emisije, teški metali se mogu vezati s raznim atmosferskim česticama. Na primjer, dokazano je da većina teških metala koegzistira s česticama zbog integracije tih metala tijekom procesa spaljivanja ili adsorpcije na površini feri-magnetika pronađenih u atmosferi [12]. Čestice i kapljice ne putuju daleko i obično padaju na tlo već pri kratkim prijeđenim udaljenostima, iako ukoliko su male veličine, mogu prijeći veću udaljenost. Onečišćivala u plinovitom stanju se mogu prenositi na velike udaljenosti. Topljive čestice mogu reagirati s vlagom u zraku i pasti u vodu i na kopno u obliku kiše [5]. Utjecaj kiselih kiša na tla znanstvenici su opsežno proučavali te je u gotovo svim slučajevima otkriveno da one smanjuju sposobnost vezivanja teških metala s česticama tla [8]. Teški metali iz atmosfere mogu pasti na tlo i vegetaciju u obliku prašine gdje se mogu apsorbirati u biljke ili biti konzumirani od strane biljojeda [11].

### 3.3 Akumulacija teških metala u vodi

Dva glavna uzroka za onečišćenje vode su urbanizacija i industrijalizacija. Teški metali transportiraju se otjecanjem otpadnih voda industrije i iz urbanih područja. Većina tih metala akumulira se u tlu i sedimentima vodenih tijela [5]. Teški metali koji se nalaze u vodenim izvorima već u tragovima predstavljaju potencijalnu opasnost za ljudsko zdravlje i ekosustav uslijed činjenice da toksičnost metala ovisi o faktorima poput vrste organizma, te uloge tih organizama u prirodi. Hranidbeni lanac predstavlja odnos među organizmima. Onečišćena voda koja doprije u njega utječe na sve organizme pa tako i ljude koji se nalaze na njegovom vrhu gdje je opasnost još veća jer se koncentracija teških metala povećava prema vrhu hranidbenog lanca [13].

Onečišćujuće tvari u vodi postoje u obliku otopine ili suspenzije. Mogu se transportirati na velike udaljenosti i taložiti na dno. Mogućnost prijelaza velike udaljenost ovisi o strujama, stabilnosti i fizičkom stanju onečišćivača [5]. Teški metali su vrlo postojani, ne podliježu bakterijskoj degradaciji i stoga se jako dugo zadržavaju u morskom okolišu, te već i u tragovima potencijalno mogu izazvati ozbiljni oksidativni stres u vodenim organizmima. Teški metali otpušteni u vodene sustave općenito su vezani za čestice, koje se na kraju uklope u sedimentima. Površinski sediment je stoga važan rezervoar teških metala i drugih onečišćujućih tvari u vodenom okolišu. Vezani u sedimentima teške metale mogu preuzeti ukorijenjeni vodeni makrofiti i drugi vodeni organizmi uključujući ribe i ljude na vrhu hranidbenog lanca. Konzumacija ribe koja sadrži povišene razine metala je zabrinjavajuća jer dugoročna izloženost teškim metalima može uzrokovati zdravstvene probleme [14].

### 3.4 Akumulacija teških metala u tlu

Tlo je glavni rezervoar onečišćivala jer posjeduje sposobnost vezanja raznih kemikalija. Ove kemikalije mogu postojati u različitim oblicima u tlu i različite sile ih drže vezane za čestice tla, a proučavanje tih sila je bitno jer toksičnost teških metala jako ovisi o obliku u kojem postoje u okolišu [8]. Tlo je prepoznato kao medij u kojem se teški

metali najviše i najduže zadržavaju. Većina ih ne podliježe mikrobiološkoj ili kemijskoj degradaciji zbog čega koncentracija neprestano raste [13]. Transport metala uglavnom ovisi o fizikalno-kemijskim svojstvima tla kao što su: sadržaj organske tvari u tlu, sadržaj frakcije gline, mineraloški sastav, pH tla i drugim čimbenicima [8].

Izvori onečišćenja uključuju navodnjavanje otpadnim vodama, uporabu pesticida, životinjskog gnoja, mineralnih gnojiva, olovnih boja, odlaganje rudarskog otpada (jalovište rudnika), kanalizacijski mulj, izlivanje naftnih destilata, ostatke izgaranja ugljena te odlagališta otpada. Korištenje otpadnih voda koje se ne pročišćavaju ili mulja nastalog pročišćavanjem otpadnih voda uzrokovalo je porast količine teških metala u našim poljoprivrednim zemljištima pa ih apsorbiraju usjevi kojima se hrane domaće životinje i ljudi [5]. Prisustvo teških metala u tlu predstavlja veliku opasnost za cijeli ekosustav zbog jednostavnog ulaska u hranidbeni lanac, vodu i zrak [13]. Ovi metali prisutni u tlu uzrokuju rizik za cijelu biosferu i preuzimaju se izravnim gutanjem, ili ih apsorbiraju biljke koje predstavljaju najnižu razinu hranidbenog lanca pa tako utječu i na životinje koje su na njegovom vrhu [5].

Mikrobi u tlu imaju geoaktivnu ulogu u biosferi i odgovorni su za biotransformacije elemenata, razgradnju tvari, biološko djelovanje i stvaranje sedimenata. Prisutnost teških metala u tlu može negativno utjecati na procese u tlu posredovanjem mikroba. Neki teški metali, kao što su bakar, kobalt, željezo, mangan i cink, bitni su mikronutrijenti za mikrobe i samim time za biološke procese u tlu i plodnost tla [4]. Raspodjela teških metala unutar profila tla ovisi o vrsti minerala gline, postotku organske tvari, ispiranju, eroziji, biološkim i mikrobiološkim procesima. Teški metali se obično nalaze unutar gornjih 25 cm tla u kultiviranim tlima [15].

### **3.3 Akumulacija teških metala u biljkama**

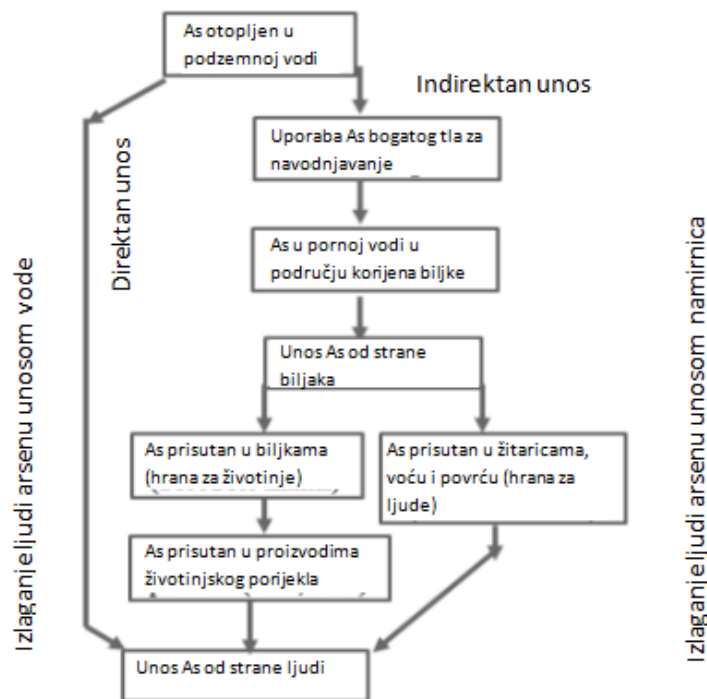
Unos teških metala u biljke i naknadno nakupljanje duž hranidbenog lanca je potencijalna prijetnja zdravlju životinja i ljudi [16]. Biljke imaju ključnu funkciju u biotransformaciji kemikalija iz tla, vode i zraka [19]. Apsorpcija korijenjem biljaka jedan je od glavnih načina na koji teški metali ulaze u hranidbeni lanac [17]. Apsorpcija

i akumulacija teških metala u tkivu biljaka ovisi o mnogim čimbenicima koji uključuju temperaturu, vlagu, količinu organske tvari, pH i dostupnost hranjivih tvari [14]. U tlu su metalni kationi vezani za negativno nabijene čestice poput gline i organske tvari. Kada se metali odvoje od tih čestica tla i uđu u otopinu tla, postaju bioraspoloživi s potencijalom da se akumuliraju u biljkama. Bakterije u tlu, uključujući one u rizosferi, također mogu otpuštati spojeve u tlo, kao što su antibiotici, antifungici, organske kiseline, hormoni i kelatori metala, što može povećati ili smanjiti bioraspoloživost metala biljnim organizmima [4]. Akumulacija teških metala u biljkama ovisi o biljnoj vrsti i učinkovitosti apsorpcije metala. Povišena koncentracija olova u tlima može smanjiti plodnost tla, a vrlo niska koncentracija olova može inhibirati neke vitalne biljne procese, kao što su fotosinteza, mitoza i upijanje vode te izazvati simptome poput tamnozeleno boje i uvenuća starijeg lišća, zakržljalog lišća i smeđeg kratkog korijena. Teški metali su potencijalno fitotoksični za biljke što rezultira klorozom i slabim rastom biljaka [14]. Smanjenje broja korisnih mikroorganizama u tlu zbog visoke koncentracije metala može dovesti do smanjenja razgradnje organske tvari što neposredno dovodi do manje plodnosti tla. Enzimske aktivnosti potrebne su za metabolizam biljaka, a mogu biti poremećene zbog utjecaja teških metala na mikrobiološku aktivnost u tlu. Ovi toksični učinci (izravni i neizravni) dovode do smanjenja rasta biljaka što u konačnici rezultira odumiranjem biljke [18]. Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) uspostavila je smjernice za zdravstveni rizik od teških metala u okolnom zraku. Ti metali se mogu akumulirati u listovima biljke kroz folijarni prijenos nakon taloženja atmosferskih čestica na površini listova. Potencijal lisnih dijelova biljaka za apsorpciju hranjivih tvari, vode i metala dokumentiran je prije tristo godina [12]. Bez obzira na razlog akumulacije metala u biljkama, biljojedi i svejedi koji se hrane tim biljkama mogu biti izloženi teškim metalima, što može dovesti do toksičnosti i bioakumulacije [4].



## 4. Teški metali u proizvodima životinjskog porijekla

Trenutni brzi tempo industrijskog razvoja rezultira ozbiljnim ekološkim problemima. Tla oko industrijskih područja često su kontaminirana teškim metalima. Povećani unos takvih metala od strane biljaka u koncentracijama ispod fitotoksičnih razina može predstavljati potencijalni rizik za prehrambene lance u kojima se uzgajaju domaće životinje na kontaminiranom tlu. Odavno je poznato da nakupljanje teških metala u tlu i podzemnim vodama može rezultirati potencijalnim zdravstvenim rizikom za biljke, biljojede i mesojede, a samim time nakupljanjem u proizvodima životinjskog porijekla. Ljudi mogu doći u kontakt s teškim metalima izravnim putem ili neizravnim putem preko prehrambenog lanca konzumirajući proizvode u kojima su akumulirani teški metali, uključujući i proizvode životinjskog porijekla u koje teški metali dolaze putem prehrane ili vode kao što je prikazano na Slici 3 [20]. Važno je napomenuti da osim onečišćenja teški metali se mogu akumulirati u životinjama radi namjerne ishrane bogate teškim metalima u svrhu bržeg rasta životinja i antibiotskih svojstva teških metala.



Slika 3 Putovi unošenja arsena u tijelo čovjeka

## 4.1 Meso

Onečišćenje okoliša i prehrambeni unos kontaminiranog mesa i mesnih proizvoda iz prehrambenog lanca najčešći su i glavni putovi ljudske izloženost teškim metalima. Toksičnost teških metala kod domaćih životinja može nastati zbog koncentracije u okolišu u blizini izvora emisije ili najčešće konzumacijom kontaminirane hrane. Životinje na vrhu hranidbenog lanca općenito mogu nakupljati veliku količinu teških metala u svom tkivu, ovisno o njihovoj dobi, veličini, prehranbenim navikama i vrsti. Tako primjerice perad nakuplja više teških metala od goveda i koza što se može pripisati njihovim prehranbenim navikama [21]. Literatura ukazuje na to da se teški metali kod domaćih životinja primarno akumuliraju u jetri i bubrezima zbog najvećeg stupnja izloženosti i fizioloških reakcija u životinjskom organizmu za detoksikaciju. Razlog velike akumulacije metala u želucu može se pripisati funkciji želuca koji je primarni rezervoar prehranbenih materijala i organ za mljevenje čestica hrane [21]. Pilići koji se hrane hranom obogaćenom teškim metalima pokazuju veće koncentracija teških metala u mišićima, bubrezima, perju i krvi, a najveće koncentracije nalaze se u jetri i bubrezima. Pojava povišene koncentracije teških metala u perju ukazuje na to da je pojedina perad sposobna izlučivati teške metale pomoću perja [22].

Osim kod domaćih životinja povišene koncentracije teških metala pronađene su i kod divljači. Tako kontaminirajući metali u specifičnom životinjskom tkivu ovise o količini i trajanju unosa. Prema istraživanju o sadržaju teških metala u divljim svinjama i srndaćima iz hrvatskih lovišta, otkriveno je da divlje svinje akumuliraju znatno veće koncentracije žive u bubrezima u usporedbi sa srndaćima, posebno sredovječne i stare divlje svinje. Razlog su najvjerojatnije prehranbene navike. Korijenje biljaka čini učinkovitu barijeru za prijenos žive u nadzemne dijelove biljaka. Divlja svinja je svejed koji kopa njuškom i jede hranu biljnog i životinjskog podrijetla. Njihova prehrana se temelji na podzemnim dijelovima biljaka, kao i raznim beskrležnjacima (puževi, školjke, gliste, kukci) i malim kralježnjacima, poput riba, žaba ili glodavaca, uslijed čega je akumulacija teških metala veća u tkivima divljih svinja nego kod druge divljači. Kao i kod domaćih životinja teški metali se primarno akumuliraju u iznutricama, tako da su razine kadmija i žive u bubrezima i jetri divlje svinje bile veće od onih u mišićnom tkivu [10].

## 4.2 Jaja

Ptice se često koriste za monitoring teških metala budući da su sveprisutne, te se nalaze na različitim razinama hranidbenog lanca. Osim toga ekološki su svestrane i žive u raznim staništima kao biljojedi, mesožderi ili svejedi. Također se za monitoring ne moraju koristiti same životinje već njihova jaja u kojima se može nakupiti veliki broj otrovnih tvari uključujući teške metale [23]. Da bi se zadovoljila potreba za proteinima sve veće ljudske populacije putem unosa mesa i jaja dolazi do porasta peradarskog sektora. Osim mesa peradi, jaja imaju visoku nutritivnu vrijednost za ljudsko zdravlje i lako su probavljiva. Jaja peradi mogu sadržavati povišene razine teških metala koji ulaze u tijelo bilo udisanjem ili konzumacijom hrane. Kod domaćeg uzgoja sirovine koje se koriste za prehranu peradi dolaze iz nekoliko izvora. Ovi izvori hrane, ako su kontaminirani štetnim tvarima poput teških metala, mogu kontaminirati prehrambeni lanac [24].

Istraživanja ukazuju da je koncentracija olova u ljusci jajeta i žumanjku u pozitivnoj korelaciji s unosom olova, i da je sadržaj olova u ljusci jajeta bio mnogo veći nego u bjelanjku i žumanjku [16]. Nesivost jaja je učinkovit način izlučivanja olova za kokoši, posebno putem ljuske jajeta. Olovni ioni mogu ući u materničnu tekućinu iz krvi, gdje se zbog veće topivosti ioni olova u tekućini maternice mogu brzo mineralizirati umjesto kalcijevih iona uslijed čega se olovo u krvi može kontinuirano inkorporirati u ljusku jajeta. Bez nesenja jaja, razine olova u krvi pijetlova su stoga značajno veće od onih u kokošima izloženih istoj dozi olova [16]. Postoji značajna razlika u koncentraciji olova između bjelanjaka i žumanjka. Akumulacija većine minerala u bjelanjku obično je ograničena. Čak i ako kokoši nesilice uzimaju veliku dozu olova, ono u bjelanjku ostaje na iznimno niskoj razini. To je vjerojatno zbog niske sposobnosti bjelanjka da veže metalne katione. Za razliku od toga, žumanjak ima relativno visok afinitet prema olovu. Fosvitin žumanjka je jako fosforiliran protein, te njegova jedinstvena struktura čini ovaj protein jednim od najjačih agenasa za keliranje metala. Stoga izloženost olovu prvenstveno povećava rizik od kontaminacije žumanjka olovom, dok je bjelanjak relativno siguran [16].

### 4.3 Mlijeko i mliječni proizvodi

Mlijeko je složena bioaktivna tvar koja potiče rast i razvoj dojenčadi sisavaca. Smatra se gotovo cjelovitom hranom jer je dobar izvor proteina, masti, šećera, vitamina i minerala. Stoga su mlijeko i mliječni proizvodi važne komponente ljudske prehrane koje su zastupljene posebno kod djece i starijih ljudi širom svijeta [15]. Prisutnost teških metala u mliječnim proizvodima može biti posljedica kontaminacije primarnog mlijeka krave do čega može doći uslijed izloženosti onečišćenom okolišu ili konzumaciji hrane i vode s visokom koncentracijom teških metala [25]. Nakupljanje otrovnih metala kao što su kadmij i olovo u preživača poput krava, bivola i koza, dolazi najčešće od stočne hrane koja raste na kontaminiranom tlu [26]. Osim toga, sirovo mlijeko može biti kontaminirano tijekom njegove proizvodnje [25].

Kravlje tijelo djeluje kao biološki filter za teške metale. Apsorbirana živa, olovo i kadmij prelaze u kosti i počinju se akumulirati. U posebnim okolnostima, kao što su prekomjerne razine metala u tijelu životinje ili nedostatak kalcija u prehrani, dolazi do izlučivanja metala u mlijeko [27]. Ostaci olova i kadmija u mlijeku i mliječnim proizvodima su posebno zabrinjavajući jer ih uglavnom konzumiraju novorođenčad i djeca. Također koncentracija kadmija u mlijeku se povećava s životnom dobi životinje [25].

Mlijeko možemo podijeliti na dvije komponente:

1. skuta, koja se uglavnom sastoji od kazeina i masti
2. sirutka, koja sadrži sve topive spojeve, od kojih su najzastupljeniji laktoza i proteini sirutke

Vrijedi istaknuti da se među teškim metalima olovo više povezuje s kazeinom nego s proteinima sirutke, što pridonosi povećanju njegove koncentracije u siru. S druge strane, sadržaj vlage u siru je vrlo važan, jer se s većim udjelom vode udio olova u siru (mokra težina) smanjuje [28].

Količina željeza, bakra, mangana, cinka, olova, kadmija i kroma smanjena je za 0,40-15 % u jogurtu od kravljeg mlijeka i 0,50-15 % u jogurtu od bivoljeg mlijeka. Količina nikla, kobalta i kositra smanjena je za 50-100 % u jogurtu od kravljeg mlijeka i 25-50 % u jogurtu od bivoljeg mlijeka. Iz čega možemo zaključiti da se količina ovih metala

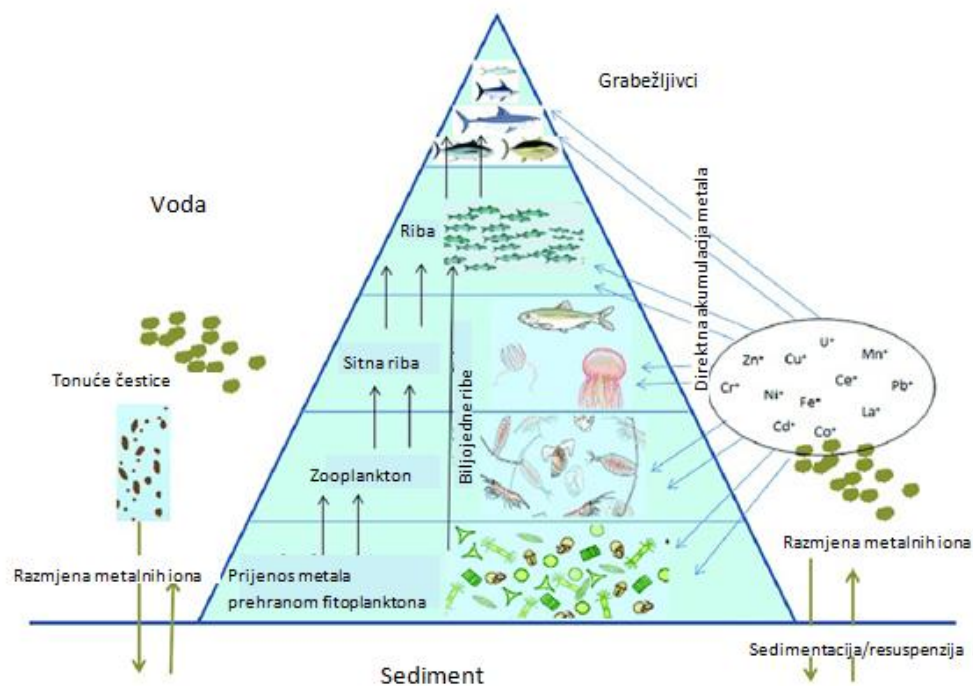
naglo smanjuje u procesu proizvodnje jogurta, što je posljedica visoke kiselosti i aktivnosti bakterija [27].

#### 4.4 Med

Med je slatki prirodni proizvod koji proizvode pčele koje sakupljaju nektar i pretvaraju ga u prehrambeni proizvod, za koji je poznato da je nutritivno zdraviji od običnog šećera. Uglavnom se sastoji od fruktoze i glukoze (65 %) kao i vode (18 %), s minimalnim sadržajem proteina i lipida. Med također sadrži minerale i teške metale, koji igraju važnu ulogu u određivanju kvalitete meda. Sadržaj minerala varira, u rasponu od 0,04% u svijetlom medu do 0,20% u tamnijem medu. Glavni minerali uglavnom potječu iz tla i biljaka koje proizvode nektar, ali mogu doći i iz antropogenih izvora, u slučaju onečišćenja okoliša [17]. Med može sadržavati visoke razine teških metala i metaloida, kao što su arsen, kadmij, živa i olovo, uslijed povećane koncentracije u biljkama [29]. Procjenjuje se da se pčele hrane nektarom biljkama koje rastu na relativno velikim površinama, koje mogu biti veće od 7 km<sup>2</sup>, tokom čega dolaze u kontakt sa zrakom, vodom, tlom i lišćem koji mogu biti onečišćeni teškim metalima. Stoga je med rezultat bioakumulativnog procesa koji se može koristiti za prikupljanje informacija o okolišu i može se smatrati bioindikatorom onečišćenja okoliša za razne onečišćivača u okolišu, uključujući teške metale [17]. Uslijed velikih rudarskih i industrijskih aktivnosti toksični metali se apsorbiraju u tlo, atmosferu i vodu te posljedično u biljke, zbog čega su koncentracije ovih metala u medu iz područja s razvijenom industrijom ili u blizini prometnica povišene [29].

## 4.5 Riba i morski plodovi

Onečišćujuće tvari kao što su teški metali mogu ući u hranidbeni lanac kroz morsku floru i faunu. Teške metale mogu preuzeti ukorijenjeni vodeni makrofiti i drugi vodeni organizmi uključujući planktone koje jedu manje ribe, što zatim može utjecati na grabežljivce koji se njima hrane, kao što su veće ribe, ptice i sisavci koji migriraju i prenose onečišćivalo u različite ekosustave kao što je prikazano na Slici 4 [5].



Slika 4 Prijenos teških metala u vodenom hranidbenom lancu

Nakon što se teški metali unesu od strane vodenog organizma, mogu se prenositi kroz više razrede hranidbenog lanca. Mesojedi na vrhu hranidbenog lanca, uključujući i ljude, najizloženiji su teškim metalima iz vodenog ekosustava putem hrane, posebno gdje riba predstavlja velik udio prehrane pa postoji potencijal za znatnu biomagnifikaciju (transfer kemijskih tvari putem hranidbenog lanca). Živa je jedan od najzastupljenijih onečišćivala vodenih organizama zbog njezinog učinka na morske organizme i jer je potencijalno opasana za ljude. Metil živa, koja nastaje u vodenim sedimentima, bakterijskom metilacijom organske žive od strane sumporo-reaktivnih mikroorganizama, otrovni je kemijski spoj. Gotovo sva živa u ribama javlja se kao metil živa koja je tisuću puta topivija u mastima u odnosu na vodu [14]. Koncentracija može

biti povišena u tkivima mišića, mozga i središnjeg živčanog sustava. Razina žive u ribama može biti od 10.000 do 100.000 puta veća od razine u okolnim vodama. Akumuliranje žive je brzo a njezino izlučivanje sporo [9].

Teški metali u ribama putuju kroz krv gdje se ioni obično vežu za proteine. Metali dolaze u dodir s organima i tkivima ribe i posljedično se akumuliraju u različitoj mjeri u tim organima ili tkivima. Postoji pet potencijalnih ruta za ulazak teških metala u ribu, a to su: kroz hranu, neprehrambene čestice, škrge, oralnom konzumacijom vode i putem kože. Jednom kad se teški metali apsorbiraju, transportiraju se krvlju do mjesta skladištenja ili do jetre za transformaciju i skladištenje. Ako se onečišćivala transformiraju u jetri, mogu se tamo pohraniti, izlučiti se u žuči ili vratiti natrag u krv za moguće izlučivanje škragama i bubrezima ili pohranu u masnoćama [14]. Koncentracije žive u plavoj ribi mogu biti više nego dovoljne za toksične učinke kod sisavaca i ptica koje jedu ribe. Otkriveno je da ribe veće od 50 cm duljine iz zagađenih područja mogu imati dovoljnu koncentraciju teških metala tako da je trudnice, djeca i ostali osjetljive osobe ne bi trebali jesti tako kontaminiranu ribu [9].

#### **4.6 Teški metali u gnojivima**

Zbog niskog sadržaja esencijalnih teških metala u nekim domaćim krmivima u usporedbi s preporukama, dodatak teških metala je nužan za većinu vrsta stoke, a obično se dodaju mliječnim obrocima kao mineralni dodaci. Međutim, kada se te hranjive tvari dodaju u količinama koje prelaze potrebu, može doći do neželjenog nakupljanja metala u tkivima, uslijed čega dolazi do prilagođavanja apsorpcije i izlučivanja viška što dovodi do povećanja sadržaja metala u stajskom gnoju. Uz esencijalne metale, teški metali kao što su arsen, kadmij i olovo općenito se smatraju kontaminantima mliječne hrane koji se unose u obrok, uglavnom putem koncentrata i dodataka koji sadrže fosfate. Primjena kontaminiranog stajskog gnoja može dovesti do preuzimanja teških metala u krmnim usjevima, što može dugoročno pogoršati izloženost stoke teškim metalima [15]. Nedavno je objavljeno da je povećan sadržaj bakra, arsena i

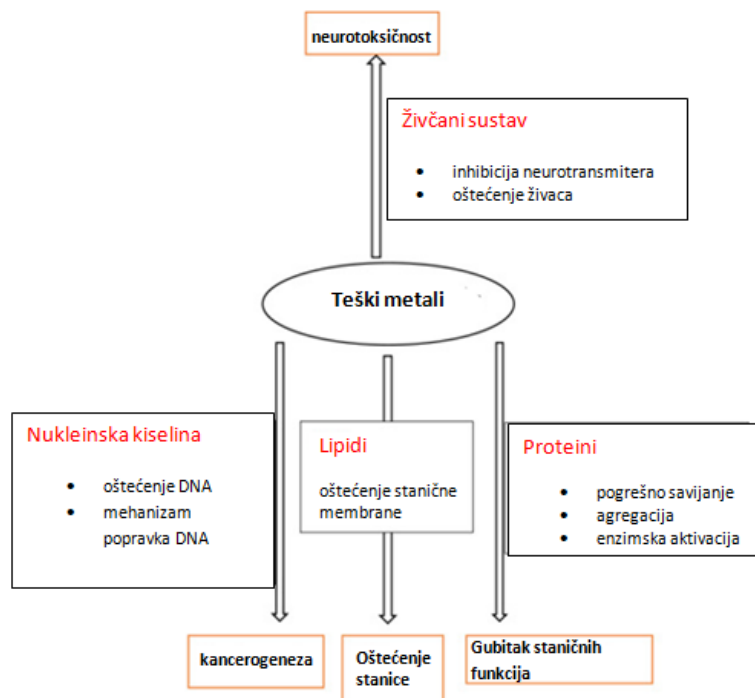
kadmija u poljoprivrednim zemljištima na sjeveroistoku Kine, koja je bila važna regija za proizvodnju žitarica. Potvrđeno je da je životinjski gnoj bio važan izvor onečišćenja tla teškim metalima u Kini, što ukazuje na kruženje teških metala u hranidbenom lancu. Posljednjih desetljeća gospodarski procvat potaknuo je potražnju za životinjskim proizvodima i posljedično doveo do velikog širenja životinjske proizvodnje. Uobičajena je praksa dodavanje elemenata kao što su bakar, cink i arsen u stočnu hranu putem mineralnih aditiva zbog njihovog antimikrobnog i stimulirajućeg djelovanja [30].



## 5. Utjecaj teških metala na ljude

Kada se teški metali progutaju ili udahnu u naše tijelo, oni se bioakumuliraju u našem sustavu, što uzrokuje biološke i fiziološke komplikacije, te su stoga klasificirani kao opasni [5]. Teški metali postaju otrovni kada ih tijelo ne metabolizira i nakupljaju se u mekim tkivima. Kronična konzumacija otrovnih metala ima nepoželjne učinke na ljude i povezani štetni utjecaji postaju vidljivi tek nakon nekoliko godina izlaganja [14].

U biološkim sustavima dokazano je da teški metali utječu na stanične organele i komponente kao što su stanična membrana, mitohondriji, lizosomi, endoplazmatski retikulum, jezgre i neki enzimi ključni u metabolizmu, detoksikaciji i popravku oštećenja. Utvrđeno je da metalni ioni stupaju u interakciju sa staničnim komponentama kao što su DNK i nuklearni proteini, uzrokujući oštećenje DNK i promjene koje mogu dovesti do promjene staničnog ciklusa, karcinogeneze ili apoptoze [6]. Oštećenja uzrokovana nakupljanjem metala mogu rezultirati trajnim ozljedama, uključujući teška neurološka oštećenja i poremećaje. Utjecaj teških metala na različite tjelesne sustave prikazan je na slici 5.



Slika 5 Utjecaji teških metala na čovjeka

Epidemiološke i kliničke studije pokazale su snažnu korelaciju između aberantne izloženosti metalima i brojnih neuroloških bolesti, uključujući Alzheimerovu bolest, amiotrofičnu lateralnu sklerozu, poremećaje iz autističnog spektra, Guillain–Barréovu bolest, sindrom Zaljevskog rata, Huntingtonovu bolest, multiplu sklerozu, Parkinsonovu bolest, i Wilsonove bolesti [3].

## 5.1 Olovo

Olovo je plavkasti ili srebrno-sivi mekani metal. Najčešći je industrijski metal koji je postao široko rasprostranjen u zraku, vodi, tlu i hrani [15]. Izloženost olovu događa se uglavnom udisanjem čestica prašine ili aerosola kontaminiranih olovom i gutanjem hrane, vode i boja kontaminiranih olovom [6]. Na apsorpciju olova utječu dob i fiziološki čimbenici. Akumulira se u različitim dijelovima tijela, posebno u kostima, jetri, bubrezima i mozgu, a najčešće posljedice su mitohondrijalna disfunkcija, promjene na Golgijevom aparatu i štetu na astrocitima [3,15]. Živčani sustav je najosjetljiviji na trovanje olovom. Glavobolja, gubitak pažnje, razdražljivost i gubitak pamćenja su rani simptomi učinaka izloženosti središnjeg živčanog sustava olovu [6]. Posljedice izloženosti olovu ovise o razini i trajanju izloženosti [9]. Istraživanja su pokazala povezanost između trovanja krvi olovom i smanjenja inteligencije, nižeg kvocijenta inteligencije-IQ, smanjene oštine sluha, govornih i jezičnih hendikepa, zastoja u rastu, slabog raspona pažnje i asocijalnih ponašanja kod djece. U odrasloj populaciji, reproduktivni učinci, poput smanjenog broja spermija u muškaraca i spontanih pobačaja u žena, povezani su s visokom izloženosti olovu [6].

## 5.2 Arsen

Arsen je sveprisutni element koji se detektira u niskim koncentracijama u gotovo svim sastavnicama okoliša. Osim što se prirodno pojavljuje u okolišu, arsen se može osloboditi u većim količinama vulkanskom aktivnošću, erozijom stijena, šumskim požarima i ljudskim aktivnostima [31]. Kod većine osoba prehrana je najveći izvor izloženosti. Unos zraka, vode i tla obično je mnogo manji, ali izloženost ovim medijima može postati značajna u područjima kontaminacije arsenom. Kontaminacija visokim razinama arsena može uzrokovati brojne učinke na zdravlje ljudi. Nekoliko epidemioloških studija izvijestilo je o snažnoj povezanosti između izloženosti arsenu i povećanog rizika od kancerogenih učinaka na zdravlje [6]. Istraživanja su pokazala da izlaganje arsenu u ranoj životnoj dobi može uzrokovati smanjenu težinu mozga i smanjenje glija stanica i neurona. Također poremećuje proizvodnju ATP-a, mijenja membranski potencijal, uzrokuje promjene u morfologiji citoskeleta i uzrokuje smrt neuronskih stanica [3]. Ljudi koji su bili izloženi visokim koncentracijama arsena pokazuju različita kliničko-patološka stanja uključujući kardiovaskularne i periferne vaskularne bolesti, razvojne anomalije, neurološke i neurobiheviornalne poremećaje, dijabetes, gubitak sluha, hematološke poremećaje i karcinom [6]. Kronično trovanje arsenom uključuje anemiju, oštećenje jetre i bubrega, hiperpigmentaciju i keratozu [15].

## 5.3 Kadmij

Čisti kadmij je mekan, srebrno-bijeli metal. U prirodi se nalazi kao mineral u kombinaciji s drugim elementima kao što su kisik, klor ili sumpor te je čest u mineralnim gnojivima. Kadmij je otrovan za gotovo svaki sustav u životinjskom tijelu [31,15]. Glavni načini izloženosti kadmiju su udisanje ili dim cigareta te gutanje hrane. Kadmij je također prisutan u tragovima u određenim namirnicama kao što su lisnato povrće, krumpir, žitarice i sjemenke, jetra i bubrezi, te rakovi, mekušci i školjke [6]. Kadmij jednom apsorbiran od strane organizma, prisutan je za mnogo godina (tijekom desetljeća za ljude), iako se na kraju izlučuje. [9] Gotovo ga nema u ljudskom tijelu pri

rođenju, ali kroz godine nakuplja. Prosječan čovjek akumulira oko 30 mg kadmija u svom tijelu do dobi od 50 godina [15]. Kadmij nadražuje pluća i gastrointestinalni trakt. Nakon akutnog gutanja, simptomi kao što su bol u trbuhu, osjećaj peckanja, mučnina, povraćanje, salivacija, grčevi u mišićima, vrtoglavica, šok i gubitak svijesti obično se pojavljuju unutar 15 do 30 minuta. Kronična izloženost kadmiju ima depresivni učinak na razine norepinefrina, serotonina i acetilkolina [6]. Dugotrajna izloženost može uzrokovati disfunkciju bubrega, opstruktivnu bolest pluća i rak pluća. Defekti kostiju (npr. osteoporoza) također su primijećeni kod ljudi i životinja. Osim toga, može uzrokovati i povišeni krvni tlak i bolesti miokarda kod ljudi i životinja. [9]

## 5.4 Krom

Krom se nalazi u stijenama, životinjama, biljkama i tlu i može biti tekućina, krutina ili plin. Spojevi kroma se vežu u tlu i nije vjerojatno da će migrirati u podzemne vode, ali, vrlo su postojani u sedimentima u vodi [31]. Povećanje koncentracije kroma u okolišu povezano je s ispuštanjem kroma u zrak i s otpadnim vodama, uglavnom iz metalurške, vatrostalne i kemijske industrije. Neprofesionalna izloženost događa se gutanjem hrane i vode koja sadrži krom, dok se profesionalna izloženost događa udisanjem [6]. Niska razina kroma može nadražiti kožu i izazvati čir. Njegova kronična izloženost može dovesti do oštećenja bubrega i jetre. Krom također može oštetiti krvožilno i živčano tkivo. Kod vodenih životinja je akumulacija najizraženija što dovodi do potencijalne toksičnosti jedenja ribe [9]. Glavni zdravstveni problemi uočeni kod životinja nakon konzumiranja spojeva kroma su iritacija i čirevi u želucu i tankom crijevu, anemija, oštećenje sperme i oštećenje muškog reproduktivnog sustava. Uzrokuje prekide DNA lanaca u perifernim limfocitima. Neke osobe su izrazito osjetljive na određene spojeve kroma, zabilježene su alergijske reakcije koje se sastoje od jakog crvenila i oticanja kože. Uočen je porast tumora želuca kod ljudi i životinja izloženih kromu (VI) u vodi za piće. Slučajno ili namjerno uzimanje ekstremno visokih doza spojeva kroma (VI) od strane ljudi rezultiralo je teškim respiratornim, kardiovaskularnim, gastrointestinalnim,

hematološkim, jetrenim, bubrežnim i neurološkim učincima. Iako se dokazi o karcinogenosti kroma kod ljudi i kopnenih sisavaca čine snažnim, mehanizam kojim on uzrokuje rak nije u potpunosti shvaćen [6].

## 5.5 Živa

Živa je tekući hlapljivi metal, koji se nalazi u stijenama, tlu i također je prisutan u zraku kao rezultat ljudske aktivnosti poput upotrebe žive u proizvodnja fungicida, boja, kozmetike i svjetskog rudarenja metala [11]. Otplinjavanje Zemljine kore, emisije iz vulkana i isparavanje iz prirodnih vodnih tijela glavni su prirodni izvori žive [9]. Glavni izvori onečišćenja živom su industrijski otpad i otpadne vode iz klor alkalne industrije [15]. Živa nije prirodno prisutna u živim organizmima. To je otrovna tvar koja nema poznate funkcije u biokemiji i fiziologiji. Ima složena i neobična kemijska i fizikalna svojstva. Metilirani oblici žive se bioakumuliraju više od milijun puta i koncentriraju u živim bićima, posebno ribama. Ove oblici žive (monometil Hg i dimetil Hg) su visoko toksični, uzrokujući neurotoksikološke poremećaje. Monometil Hg uzrokuje oštećenja mozga i središnjeg živčanog sustava, dok fetalna i postnatalna izloženost dovode do pobačaja, kongenitalnih malformacija i razvojne promjene kod male djece. [9] Može doći do oštećenja živčanog sustava, jetre i očiju. Ostali simptomi toksičnosti žive su glavobolja, umor, anksioznost, letargija, gubitak apetita itd. [11].

## 6. Zaključak

Teški metali dolaze u okoliš iz prirodnih i antropogenih izvora, akumuliraju se u tlu, vodama i zraku odakle ulaze u najniže razine hranidbenog lanca te se akumuliraju prema vrhu gdje se nalaze i ljudi. Iako vrlo varijabilno, teški metali se bioakumuliraju duž hranidbenog lanca ovisno o metalu i biljnim te životinjskim vrstama, starosti životinja te vrstama tkiva. Većina metala dolazi u hranidbeni lanac uslijed povišenih koncentracija u okolišu, međutim i intenzivno stočarstvo, naročito dohranom životinja za uspješniji rast, u njega unosi teške metale. Jedan od najosjetljivijih sustava je morski vodeni sustav gdje se teški metali, naročito živa, bioakumuliraju u velikim količinama, te stvaraju štetu okolišu.

Dokazano je da teški metali uzrokuju teške zdravstvene posljedice kod ljudi u mnogim tjelesnim sustavima zbog čega bi trebalo izbjegavati proizvode koji bi ih mogli sadržavati. Da bi se smanjila opasnost koncentracije teških metala treba pratiti i izbjegavati uzgoj bilja i životinja na onečišćenim područjima, te životinje dohranjivati pravilnim količinama esencijalnih teških metala, čime se ne smanjuju samo količine teških metala u proizvodima koje konzumirano već i u stajskom gnoju koji je tada siguran za uporabu i ne doprinosi dodatnom onečišćenju.

## Literatura

[1] A. Zeder M. The domestication of animals [Internet]. Journal of anthropological research; 2012 [citirano 30.5.2022];68(2):161-190

Dostupno na:

[https://www.researchgate.net/publication/237956837\\_The\\_Domestication\\_of\\_Animals](https://www.researchgate.net/publication/237956837_The_Domestication_of_Animals)

[2] Speedy AW. Global production and consumption of Animal Source Foods [Internet]. The Journal of Nutrition; 2003 [citirano 2.6.2022]; 133(11):4048S–4053S,

Dostupno na: <https://academic.oup.com/jn/article/133/11/4048S/4818069>

[3] Chen P, Miah MR, Aschner M. Metals and neurodegeneration [Internet]. F1000Research; 2016 [citirano 5.6.2022].

Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4798150/>

[4] Gall JE, Boyd RS, Rajakaruna N. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: A Review - environmental monitoring and assessment [Internet]. Environmental Monitoring and Assessment; 2015 [citirano 5.6.2022];187(4)

Dostupno na: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-015-4436-3>

[5] Briffa J, Sinagra E, Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans [Internet]. Elsevier; 2020 [citirano 5.6.2022].

Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020315346>

[6] Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment [Internet]. U.S. National Library of Medicine; 2012 [citirano 5.6.2022];101:133–164

Dostupno na : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4144270/>

[7] Briffa J, Sinagra E, Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans [Internet]. Elsevier; 2020 [citirano 5.6.2022];6(9)

Dostupno na : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020315346>

[8] Dube A, Zbytniewski R, Kowalkowski T, Cukrowska E. Adsorption and migration of heavy metals in soil [Internet]. Polish Journal of Environmental Studies. HARD Publishing s.c. Jerzy Radecki, Hanna Radecka; 2001 [citirano 20.svibnja 2022]; 10(1):1-10

Dostupno na : <http://www.pjoes.com/Adsorption-and-migration-of-heavy-metals-in-soil,87344,0,2.html>

[9] Govind P, S M. Heavy Metals Causing Toxicity in Animals and Fishes. Research Journal of Animal Res J Animal [Internet]. Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences; 2014 [citirano 5.6.2022];2(2):17–23.

Dostupno na: <http://www.isca.in/AVFS/Archive/v2/i2/4.ISCA-RJAVFS-2014-002.pdf>

[10] Florijančić T, Ozimec S, Jelkić DI, Bilandžić NI. Assessment of heavy metal content in wild boar (*Sus scrofa* L.) hunted in eastern Croatia [Internet]. Journal of Environmental Protection and Ecology; 2015 [citirano 14.lipnja.2022];16(2):630-636

Dostupno na : [https://www.researchgate.net/profile/Florijancic-Tihomir-2/publication/286580709\\_Assessment\\_of\\_heavy\\_metal\\_content\\_in\\_wild\\_boar\\_Sus\\_scrofa\\_L\\_hunted\\_in\\_eastern\\_Croatia/links/56e7ce7608ae4cbe4d4546ef/Assessment-of-heavy-metal-content-in-wild-boar-Sus-scrofa-L-hunted-in-eastern-Croatia.pdf?\\_sg%5B0%5D=started\\_experiment\\_milestone&origin=journalDetail](https://www.researchgate.net/profile/Florijancic-Tihomir-2/publication/286580709_Assessment_of_heavy_metal_content_in_wild_boar_Sus_scrofa_L_hunted_in_eastern_Croatia/links/56e7ce7608ae4cbe4d4546ef/Assessment-of-heavy-metal-content-in-wild-boar-Sus-scrofa-L-hunted-in-eastern-Croatia.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail)

[11] Sathyamoorthy K, Sivaruban T, Barathy S. Assessment of heavy metal pollution and contaminants in the cattle meat [Internet]. Journal of Industrial Pollution Control; 2016 [citirano 12.lipnja.2022] ;32(1):50-355

Dostupno na: <https://www.icontrolpollution.com/articles/assessment-of-heavy-metal-pollution-and-contaminants-in-the-cattle-meat-.pdf>



- [12] Shahid M, Dumat C, Khalid S, Schreck E, Xiong T, Niazi NK. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake [Internet]. Journal of Hazardous Materials; 2016 [citirano 14.lipnja.2022];325:36-58.

Dostupno na:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389416310937?via%3Dihub>

- [13] Saleh HE-DM, Aglan R. Heavy Metals. 1.izd. London:Intech open; 2018. 115-128 Dostupno na:

<https://books.google.hr/books?hl=en&lr=&id=dnuQDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA115&ots=#v=onepage&q&f=false>

- [14] Jiwan S, Kalamdhad A. Effects of heavy metals on soil, plants, human health and Aquatic Life [Internet]. International Journal of Research in Chemistry and Environment; 2011 [citirano 2022Jun13];1:15-21

Dostupno na: <https://www.researchgate.net/profile/Arvind-Singh-21/post/What-sort-of-ill-impacts-of-heavy-metals-especially-to-human-please-update/attachment/5ad0f2d84cde260d15d8a3bf/AS%3A615017875509263%401523643096784/download/EffectsofHeavyMetalsonSoilPlantsHumanHealthandAquaticLife.pdf>

- [15] Anjulo TK, Mersso BT. Assessment of dairy feeds for heavy metals [Internet]. American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences; 2015 [citirano 6.lipnja.2022];1(11):20-31

Dostupno na:

[https://asrjetsjournal.org/index.php/American\\_Scientific\\_Journal/article/view/541](https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/541)

- [16] Wang S, Li Q, Gao Y, Zhou Z, Li Z. Influences of lead exposure on its accumulation in organs, meat, eggs and bone during laying period of hens [Internet]. Poultry Science; 2021 [citirano 28.svibnja2022.];100(18)

Dostupno na:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579121002832#bib0050>

[17] Solayman Md, Islam MdA, Paul S, Ali Y, Khalil MdI, Alam N Physicochemical Properties, Minerals, Trace Elements, and Heavy Metals in Honey of Different Origins: A Comprehensive Review [Internet]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*;2015 [citirano 28.svibnja2022.];15(1):219–33.

Dostupno na:

[https://researchmgt.monash.edu/ws/portalfiles/portal/348012280/345788507\\_oa.pdf](https://researchmgt.monash.edu/ws/portalfiles/portal/348012280/345788507_oa.pdf)

[18] Pichhode M, Asati A, Nikhil K. Effect of heavy metals on plants: An overview [Internet]. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*; 2016 [citirano 1.Lipnja 2022];5(3):56-66

Dostupno na :

<https://www.ijaiem.org/pabstract.php?vol=Volume5Issue3&pid=IAIEM-2016-03-17-12>

[19] Makridis C, Svarnas C, Rigas N, Gougoulas N, Roka L, Leontopoulos S. Transfer of heavy metal contaminants from animal feed to animal products [Internet]. *Journal of Agricultural Science and Technology*; 2012 [citirano 10.lipnja 2022];2(A):149-154 Dostupno na:

[https://www.researchgate.net/publication/236018159\\_Transfer\\_of\\_Heavy\\_Metal\\_Contaminants\\_from\\_Animal\\_Feed\\_to\\_Animal\\_Products](https://www.researchgate.net/publication/236018159_Transfer_of_Heavy_Metal_Contaminants_from_Animal_Feed_to_Animal_Products)

[20] ZHUANG P, ZOU H, SHU W. Biotransfer of heavy metals along a soil-plant-insect-chicken food chain: Field Study [Internet]. *Journal of Environmental Sciences*;2009 [citirano 10.lipnja 2022];21(6):849-853

Dostupno na:

[https://www.researchgate.net/publication/26869313\\_Zhuang\\_P\\_Zou\\_HL\\_Shu\\_W\\_S\\_Biotransfer\\_of\\_heavy\\_metals\\_along\\_a\\_soil-plant-insect-chicken\\_food\\_chain\\_Field\\_study\\_Journal\\_of\\_Environmental\\_Sciences](https://www.researchgate.net/publication/26869313_Zhuang_P_Zou_HL_Shu_W_S_Biotransfer_of_heavy_metals_along_a_soil-plant-insect-chicken_food_chain_Field_study_Journal_of_Environmental_Sciences)

[21] Ogbomida ET, Nakayama SMM, Bortey-Sam N, Oroszlany B, Tongo I, Enuneku AA, et al. Accumulation patterns and risk assessment of metals and metalloids in muscle and offal of free-range chickens, cattle and goat in Benin City, Nigeria [Internet]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*; 2018 [citirano 10.lipnja 2022] ;151: 98-108 Dostupno na: [https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/77809/1/171228\\_revised\\_heavy\\_metal\\_manuscript.pdf](https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/77809/1/171228_revised_heavy_metal_manuscript.pdf)

[22] Leontopoulos S, Gougoulis N, Kantas D, Roka L, ResearchMakridis C. Heavy metal accumulation in animal tissues and internal organs of pigs correlated with feed habits [Internet]. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*; 2015 [citirano 9.lipnja.2022];21(3):699-703

Dostupno na:

[https://www.researchgate.net/publication/281062124\\_Heavy\\_Metal\\_Accumulation\\_in\\_Animal\\_Tissues\\_and\\_Internal\\_Organs\\_of\\_Pigs\\_Correlated\\_with\\_Feed\\_Habits](https://www.researchgate.net/publication/281062124_Heavy_Metal_Accumulation_in_Animal_Tissues_and_Internal_Organs_of_Pigs_Correlated_with_Feed_Habits)

[23] Tanhan, Phanwimol; Apipongrattanasuk, Nannaphat; Poapolathep, Amnart; Poapolathep, Saranya; Kruatrachue, Maleeya; Imsilp K. Heavy metal concentrations in duck eggs and potential human health risk via consumption [Internet]; *Japanese Journal of Veterinary Research*; 2020 [citirano 9.lipnja.2022];68(1):21-33

Dostupno na: <https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/handle/2115/76751>

[24] Shuaib Kabeer M, Hameed I, Kashif S-U-R, Khan M, Tahir A, Anum F, et al. Contamination of heavy metals in poultry eggs: A study presenting relation between heavy metals in feed intake and eggs [Internet]. *Archives of environmental & occupational health*. U.S. National Library of Medicine; 2020 [citirano 11.lipnja2022. ]; 3:1–13.

Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32744478/>

[25] Ziarati P, Shirkhan F, Mostafidi M, Tamaskani Zahedi M. An overview of the heavy metal contamination in milk and dairy products [Internet]. Acta Scientific Pharmaceutical Sciences; 2018 [citirano 13.lipnja 2022];2(7)

Dostupno na: [https://www.researchgate.net/profile/Parisa-Ziarati/publication/325487616\\_An\\_Overview\\_of\\_the\\_Heavy\\_Metal\\_Contamination\\_in\\_Milk\\_and\\_Dairy\\_Products/links/5b1135aca6fdcc4611da25a3/An-Overview-of-the-Heavy-Metal-Contamination-in-Milk-and-Dairy-Products.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Parisa-Ziarati/publication/325487616_An_Overview_of_the_Heavy_Metal_Contamination_in_Milk_and_Dairy_Products/links/5b1135aca6fdcc4611da25a3/An-Overview-of-the-Heavy-Metal-Contamination-in-Milk-and-Dairy-Products.pdf)

[26] Singh M, Ranvir S, Sharma R, Gandhi K, Mann B. Assessment of contamination of milk and milk products with heavy metals [Internet]. Indian journal of dairy science; 2019 [citirano 5.lipnja 2022];72(6):608-615

Dostupno na:  
[https://www.researchgate.net/publication/338297707\\_Assessment\\_of\\_contamination\\_of\\_milk\\_and\\_milk\\_products\\_with\\_heavy\\_metals](https://www.researchgate.net/publication/338297707_Assessment_of_contamination_of_milk_and_milk_products_with_heavy_metals)

[27] Mahmoudi R, Kazeminia M, Kaboudari A, Pakbin B, Rahimi Pir-Mahalleh SF. A review of the importance, detection and controlling of heavy metal in milk and dairy products [Internet]. Malaysian Journal of Science; 2017 [citirano 5.lipnja.2022];36(1): 1–16 Dostupno na:

[https://www.researchgate.net/publication/316619821\\_A\\_review\\_of\\_the\\_importance\\_detection\\_and\\_controlling\\_of\\_heavy\\_metal\\_in\\_milk\\_and\\_dairy\\_products](https://www.researchgate.net/publication/316619821_A_review_of_the_importance_detection_and_controlling_of_heavy_metal_in_milk_and_dairy_products)

[28] Al Sidawi R, Ghambashidze G, Urushadze T, Ploeger A. Heavy metal levels in milk and cheese produced in the kvemo kartli region, Georgia [Internet]. Multidisciplinary Digital Publishing Institute; 2021 [citirano 12.lipnja.2022];10(9)

Dostupno na: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/9/2234/htm>

[29] Bilandžić N, Tlak Gajger I, Čalopek B, Sedak M, Solomun Kolanović B, Varenina I, et al. Sadržaj teških metala i elemenata u tragovima u različitim vrstama meda iz dubrovačke županije [Internet]. Veterinarska stanica; 2015 [citirano 7.lipnja.2022];46(5)

Dostupno na: <https://veterina.com.hr/?p=50015>

[30] Zhang F, Li Y, Yang M, Li W. Content of heavy metals in animal feeds and manures from farms of different scales in Northeast China [Internet]. *Molecular Diversity Preservation International*; 2012 [citirano 5.lipnja.2022]; 9(8):2658-2668

Dostupno na: <https://www.mdpi.com/1660-4601/9/8/2658/htm>

[31] Martin S, Griswold W. Human health effects of heavy metals [Internet]. Kansas State University. Center for Hazardous Substance Research; 2009 [citirano 5.lipnja.2022]; 15:1-6

Dostupno na: <https://engg.k-state.edu/chsr/files/chsr/outreach-resources/15HumanHealthEffectsofHeavyMetals.pdf>

## Popis slika

- Slika 1 Graf potrebe za esencijalnim teškim metaima ..... 3  
izvor: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020315346>
- Slika 2 Izvori teških metala..... 4  
izvor: <https://www.grida.no/resources/13718>
- Slika 3 Putevi unosa teških metala u tijelo čovjeka ..... 9  
izvor: [https://www.researchgate.net/figure/Pathways-of-arsenic-intake-by-human\\_fig3\\_261760218](https://www.researchgate.net/figure/Pathways-of-arsenic-intake-by-human_fig3_261760218)
- Slika 4 Prijenos teških metala u vodenom hranidbenom lancu..... 14  
izvor: [https://www.researchgate.net/figure/Accumulation-and-transfer-of-metals-in-the-marine-food-chain\\_fig1\\_338832318](https://www.researchgate.net/figure/Accumulation-and-transfer-of-metals-in-the-marine-food-chain_fig1_338832318)
- Slika 5 Utjecaji teških metala na čovjeka ..... 17  
izvor: <https://sites.imsa.edu/hadron/2022/04/01/implementation-of-phytoremediation-in-heavy-metal-pollution/>