

Teški metali u organizmu

Glavašević Arbutina, Darija

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:182:042344>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-19**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Department of Chemistry, Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA KEMIJU

SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ KEMIJE

Darija Glavašević Arbutina

Teški metali u organizmu

(Heavy metals in organism)

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Mirela Samardžić

Osijek, 2020.

SAŽETAK

Teški metali su elementi s velikom gustoćom, koja iznosi više od 5 g/cm^3 . Nalaze se u vodi, tlu, zraku, biljnom i životinjskom svijetu te ljudskom organizmu. Teški metali predstavljaju problem za okoliš. Dijelev se na one koji su neophodni za normalno funkcioniranje metabolizma - bakar, cink, mangan, željezo i one koji su toksični - olovo, živa, kadmij, arsen, aluminij, kositar, kobalt, paladij, platina.

Izloženost teškim metalima iz okoliša ima različite utjecaje na ljudski organizam. Sve ovisi o njihovoj koncentraciji, odnosno mogu biti i lijek i otrov. Ukoliko dođe do prevelike izloženosti može doći do ozbiljnog pogoršanja zdravlja.

Ključne riječi: teški metali, organizam, zdravlje

ABSTRACT

Heavy metals are defined as elements with a density greater than 5 g/cm^3 . They can be found in water, soil, air, flora and fauna and the human body. Heavy metals are an environmental problem. They are divided into those that are necessary for the normal functioning of metabolism - copper, zinc, manganese and iron and those that are toxic - lead, mercury, cadmium, arsenic, aluminium, tin, cobalt, palladium, platinum.

Exposure to heavy metals from the environment has various effects on the human body. It all depends on their concentration, that is, they can be both a drug and a poison. Excessive exposure can lead to serious deterioration in health.

Key words: heavy metals, organism, health

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. TEŠKI METALI	2
2.1. ARSEN	3
2.2. KADMIJ	3
2.3. OLOVO	4
2.4. ŽIVA.....	4
2.5. SELEN.....	4
2.6. ŽELJEZO.....	5
3. IZVORI TEŠKIH METALA	6
3.1. PRIRODNI IZVORI TEŠKIH METALA	7
3.2. ANTROPOGENI IZVORI TEŠKIH METALA.....	8
4. UTJECAJ TEŠKIH METALA NA ORGANIZAM.....	10
5. METODE ANALIZE TEŠKIH METALA	18
6. ČIŠĆENJE ORGANIZMA OD TEŠKIH METALA.....	19
7. ZAKLJUČAK	20
8. LITERATURA.....	21

1. UVOD

Teški metali se definiraju kao metali s gustoćom većom od 5 g/cm^3 . Dijelev se na esencijalne (bakar, cink, mangan, željezo, molibden, selen) i neesencijalne (olovo, živa, kadmij, arsen, aluminij, kositar, kobalt, paladij, platina) koji u prekomjernim količinama mogu biti otrovni.

Teški metali predstavljaju velik problem onečišćenja okoliša te ih se može naći u svim dijelovima okoliša. Neki metali kao olovo, arsen, živa i kadmij se nalaze u Zemljinoj biosferi i oni cirkuliraju. Teške metale se može naći još u vodi, tlu, zraku, hrani, mlijeku. Čovjek svojim djelovanjem može utjecati na koncentraciju tih metala u atmosferi (industrija, goriva, boje, baterije).

Neki teški metali su neophodni za normalnu funkciju organizma, no ovisno o koncentraciji metala mogu se ponašati kao otrovi te štetno djelovati na ljudsko zdravlje. U najgorim slučajevima mogu dovesti do teških deformacija, kome i smrti.

2. TEŠKI METALI

Teški metali su metali koji se mogu pronaći u tlu, vodi, biljkama te životinjskom i ljudskom organizmu. Predstavljaju velik problem za okoliš. Elemente koji pripadaju skupini teških metala, pojedini autori odredili su prema različitim vrijednostima relativne gustoće[1]. Bjerrum opisuje takve metale kao elemente s prosječnom gustoćom iznad 7 g/cm^3 [2]. Parker i Morris kao metale s gustoćom većom od 5 g/cm^3 [3, 4], Falbe i Regitz definiraju gustoću iznad $3,5 \text{ g/cm}^3$ [5], dok je Thornton odredio 6 g/cm^3 [6]. U Republici Hrvatskoj najčešće se definiraju kao elementi s gustoćom iznad 5 g/cm^3 . Također postoji i definicija da su teški metali oni čija je atomska masa veća od 23 do 40 te elementi s protonskim brojem većim od 20. Teški metali koliko su važni i neophodni za prirodu i čovjeka jednako toliko mogu imati i štetan učinak za čovječanstvo i okoliš. Dijele na esencijalne (bakar, cink, mangan, željezo, molibden, selen) i neesencijalne (olovo, živa, kadmij, arsen, aluminij, kositar, kobalt, paladij, platina) (slika 1). Esencijalni teški metali su neophodni za pravilno obavljanje bioloških procesa u organizmu, a potpunim izostankom, smanjenjem količine kao i prekomjernom količinom tih metala može doći do poremećaja u tijelu. Toksičnost takvih metala ovisi o njihovoj koncentraciji (količini) u organizmu. Neesencijalni, toksični metali poput olova, kadmija, arsena i žive su elementi koji se nalaze u Zemljinoj biosferi te kruže u prirodi u različitim oksidacijskim i kemijskim oblicima. Ljudi svojim načinom života utječu na povećanje koncentracije tih elemenata u prirodi [7-9].



74,922 As Arsen 33	207,20 Pb Olovo 82	200,59 Hg Živa 80	112,41 Cd Kadmij 48	51,996 Cr Krom 24	63,546 Cu Bakar 29	58,693 Ni Nikal 28	107,87 Ag Srebro 47	65,39 Zn Cink 30
------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------

Slika 1: Teški metali [7].

2.1. ARSEN

Arsen (As) se u velikim količinama može naći u Zemljinoj kori, s udjelom nešto većim od 3 mg/kg. U davna vremena, točnije sve do otkrića Marsh testa, arsen se koristio kao tihi ubojica. U prošlosti su ga koristili ljudi na vlasti i moćnici, a zbog svoje učinkovitosti i „tihog“ djelovanja prozvan je „Otrov kraljeva“ i „Kralj među otrovima“. Pretpostavlja se da je Albert Magnus sredinom 13. st. prvi otkrio arsen, a Schröder je tek 400 godina poslije objavio načine dobivanja As. U prirodi ga se može naći u obliku rudnih minerala kao arsenopirit (FeAsS), realgar (As_4S_4) i orpiment (As_2S_3). Poznate su dvije alotropije arsena: nestabilna žuta heksagonska te stabilna višeslojna siva struktura. Najotrovniji spoj arsena je arsin koji se dobro apsorbira preko pluća, a neki organometalni spojevi arsena mogu ući u organizam i preko kože. [10, 11]. U prehrambenom lancu školjke, rakovi i ribe su najveći izvori arsena kao i žive [7].

2.2. KADMIJ

Kadmij (Cd) pripada skupini neesencijalnih metala. Sličan je cinku i živi tj. elementima 12. skupine periodnog sustava elemenata. Kadmij je bjelkasti, mekani metal koji se može rezati nožem [12]. Izvori kadmija su u tlu, a u tragovima ga se može pronaći u zelenom povrću, krumpiru i žitaricama. Jedan od glavnih izvora kadmija su cigarete. Neki proizvodi proizvedeni u Kini, npr. nakit, sadrže pozamašne količine Cd [1]. Cd je jedan od sastavnih dijelova u proizvodnji baterija, a u industriji ga se još može naći u pigmentima, oplatama te se koristi u galvanizaciji [12]. Velika otrovnost kadmija potencirana je i njegovom dobrom hlapljivošću i na temperaturama nižim od vrelišta. Pogotovo su otrovne pare kadmijeva oksida, CdO [13].

2.3. OLOVO

Olovo (Pb) je element 14. skupine periodnog sustava elemenata. To je plavo-sivi metal bez okusa i mirisa. Prisutan je u svim dijelovima okoliša. Glavni izvori olova su industrija i izgaranje fosilnih goriva. U proteklih nekoliko desetljeća smanjila se koncentracija olova uporabom bezolovnog benzina, no i dalje ga ima u velikoj količini koja može štetno utjecati na ljude. Olovo postoji u organskom (tri-alkil-olovo i tetra-alkil-olovo) i anorganskom (olovo-fosfat i olovo-karbonat) obliku. Anorganski oblik je zastupljeniji u okolišu dok je organski oblik olova toksičniji [1, 8, 14].

2.4. ŽIVA

Živa (Hg) je jedini tekući metal. Jedna je od najtežih teških metala te je izuzetno opasan otrov jer se skladišti u mozgu, bubrezima, jetri, srcu te ju je teško ukloniti iz organizma. Elementarna živa se uhlapljena i u obliku aerosola dobro apsorbira preko pluća, dok je adsorpcija Hg preko probavnog sustava znatno slabija. Nekada se koristila kao lijek za sifilis što je znalo rezultirati otrovanjem ljudi. Elementarna živa i njezine soli su problem izravnog industrijskog onečišćenja okoliša, pojavljuje se i u dimu kod spaljivanja fosilnih goriva te u komunalnom otpadu, a organometalna živa se može naći u pesticidima. Primjer masovnog otrovanja metil-živom dogodio se u zaljevu Minamata što je pokazatelj ljudskog utjecaja na okoliš [9]. Može ju se naći u ribama, školjkama i rakovima [7].

2.5. SELEN

Selen (Se) je element 16. skupine periodnog sustava elemenata. Ima neka svojstva slična sumporu. Pripada skupini esencijalnih teških metala. Selen je element u tragovima, neophodan je u malim količinama u organizmu, dok u većim količinama može biti štetan. U prirodi se nalazi u dva oblika: anorganskom (selenit, selenat, selenid) te organskom (selenometionin i selenocistein). Ljudi i životinje trebaju selen za normalno funkcioniranje više od 30 selenoproteina u organizmu [15].

2.6. ŽELJEZO

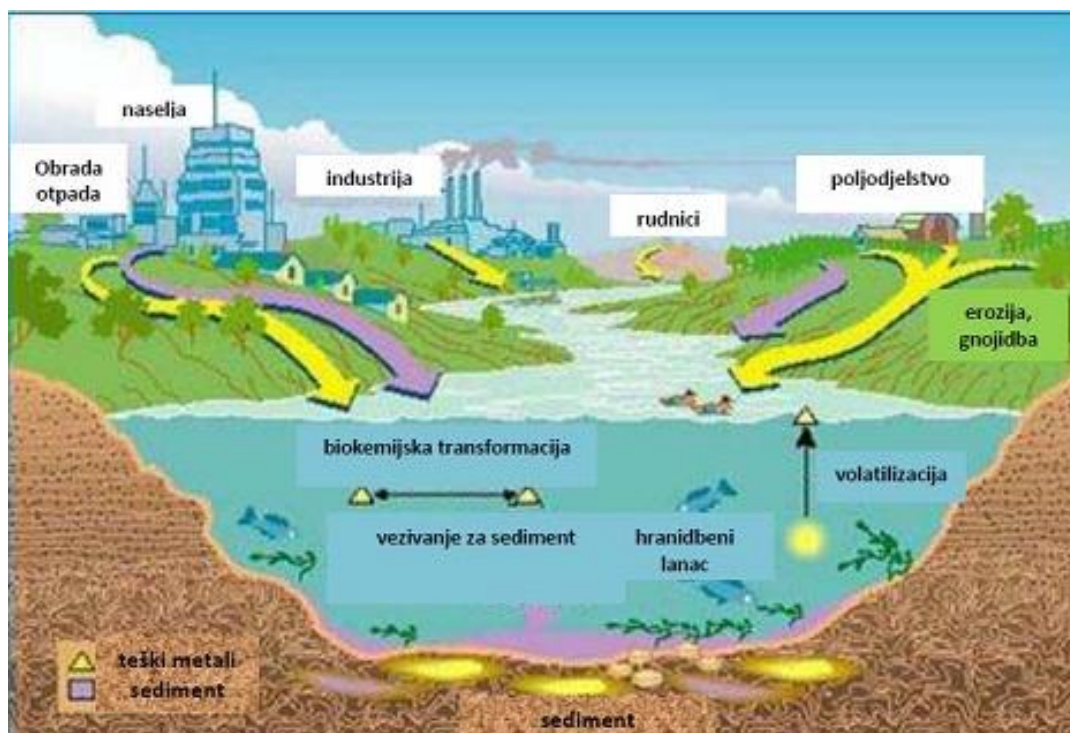
Željezo (Fe) pripada u skupinu prijelaznih metala tj. nalazi se u 8. skupini periodnog sustava elemenata. Najzastupljeniji je prijelazni metal na Zemlji te je neophodan za gotovo sve žive vrste. Pripada esencijalnim metalima, sastavni je dio svih staničnih odvijanja: disanja, redoks procesa, energetskog metabolizma, sinteze DNA i genske regulacije. U prirodi se pojavljuje u oksidacijskim stanjima: željezo (II) Fe^{2+} i željezo (III) Fe^{3+} . Željezo i njegovi spojevi prisutni su i kao onečišćivači u atmosferi i mogu štetno utjecati na zdravlje [16].

3. IZVORI TEŠKIH METALA

Teški metali poput olova, arsena, bakara, antimona, žive i kadmija u okoliš dospjevaju iz antropogenih i prirodnih izvora. Zbog toga ih se može naći u tlu, vodi, zraku, prehrambenom lancu, biljnim i životinjskim namirnicama. Najveći onečišćivači okoliša su olovo, cink, kadmij, željezo, molibden, arsen, kobalt, mangan i živa, a njihovi glavni izvori su industrijska proizvodnja, obrada metala, prometnice, vozila, pigmenti i baterije. Izgaranjem fosilnih goriva dolazi do onečišćenja atmosfere česticama teških metala te se njihovim taloženjem zagađuju voda, tlo, biljke i ribe. Slika 2 i tablica 1 prikazuju izvore teških metala [17]. Riba, školjkaši i rakovi najveći su izvori žive i arsena. Morska hrana sadrži i do 10 puta veće količine arsena od ostalih namirnica. Razine olova i kadmija u morskoj hrani su niske. Kadmij i olovo su uz arsen i živu najveći onečišćivači mesa [7].

Tablica 1. Izvori teških metala [7].

Teški metal	Izvor
Arsen	Morski proizvodi, biljke, dodatni minerali
Kadmij	Mineralni dodaci, stočna hrana, žitarice, izmet, fosfatna gnojiva, kanalizacija, mulj.
Olovo	Onečišćeno tlo, olovne boje, baterije, olovo je prirodni onečišćivač kalcijeva karbonata (vapnenca).
Živa	Antropogeno onečišćenje, riblje brašno.



Slika 2. Izvori teških metala [17].

3.1. PRIRODNI IZVORI TEŠKIH METALA

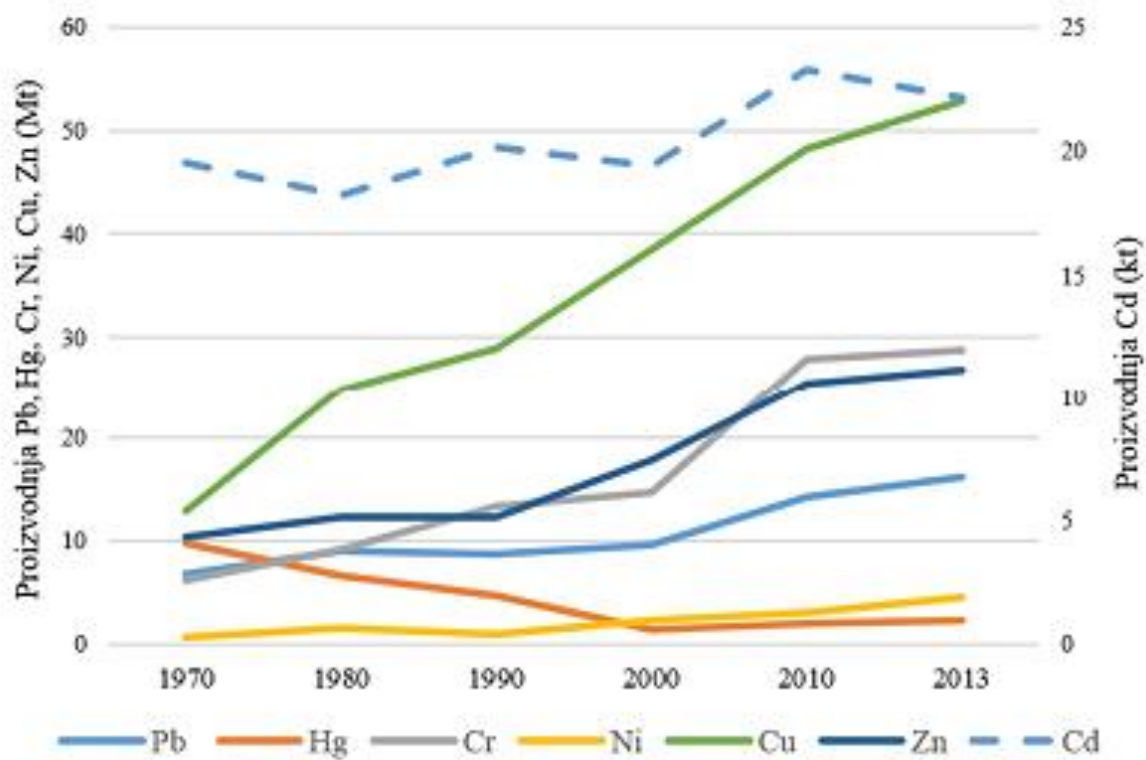
Metali koji se nalaze u prirodi prisutni su na Zemlji skoro 5 milijardi godina, točnije od njezina postanka. Nalazimo ih u Zemljinoj kori, rudama i geološkim naslagama. Utjecajem prirodnih pojava teški metali se oslobađaju iz svojih skladišta i odlaze u prirodne biogeokemijske cikluse te tako ulaze u sve dijelove biosfere. Najveći prirodni izvori teških metala su erozije stijena i ispiranje tla. Ispiranjem tla teški metali odlaze u mora, rijeke i oceane gdje se sedimentiraju. Isparavanjem vode iz rijeka, mora i oceana ti metali se vraćaju u atmosferu i zrakom se prenose na velike udaljenosti. Atmosferska prašina sadržava velike količine olova, mangana, nikla i kroma. Vulkani su još jedan veliki prirodni izvor teških metala. Vulkani erupcijom izbace velike količine pepela na Zemljinu površinu, no bitna stvar je to što je većina vulkana već neko vrijeme u stanju mirovanja. U tablici 2 su prikazane prirodne emisije teških metala [18, 19].

Tablica 2. Emisija teških metala iz prirodnih izvora [18].

Metal [10³ t/god.]	Atmosferska prašina	Vulkani	Šumski požari	Biogeni izvori
Arsen	2,6	3,8	0,19	3,86
Kadmij	0,21	0,82	0,11	0,24
Bakar	8	9,4	3,8	3,31
Krom	27	15	0,09	1,11
Mangan	221	42	23	29,8
Olovo	3,9	3,3	1,9	1,74
Cink	19	9,6	7,6	8,1
Živa	0,05	1	0,02	1,4
Nikal	11	14	2,3	0,73

3.2. ANTROPOGENI IZVORI TEŠKIH METALA

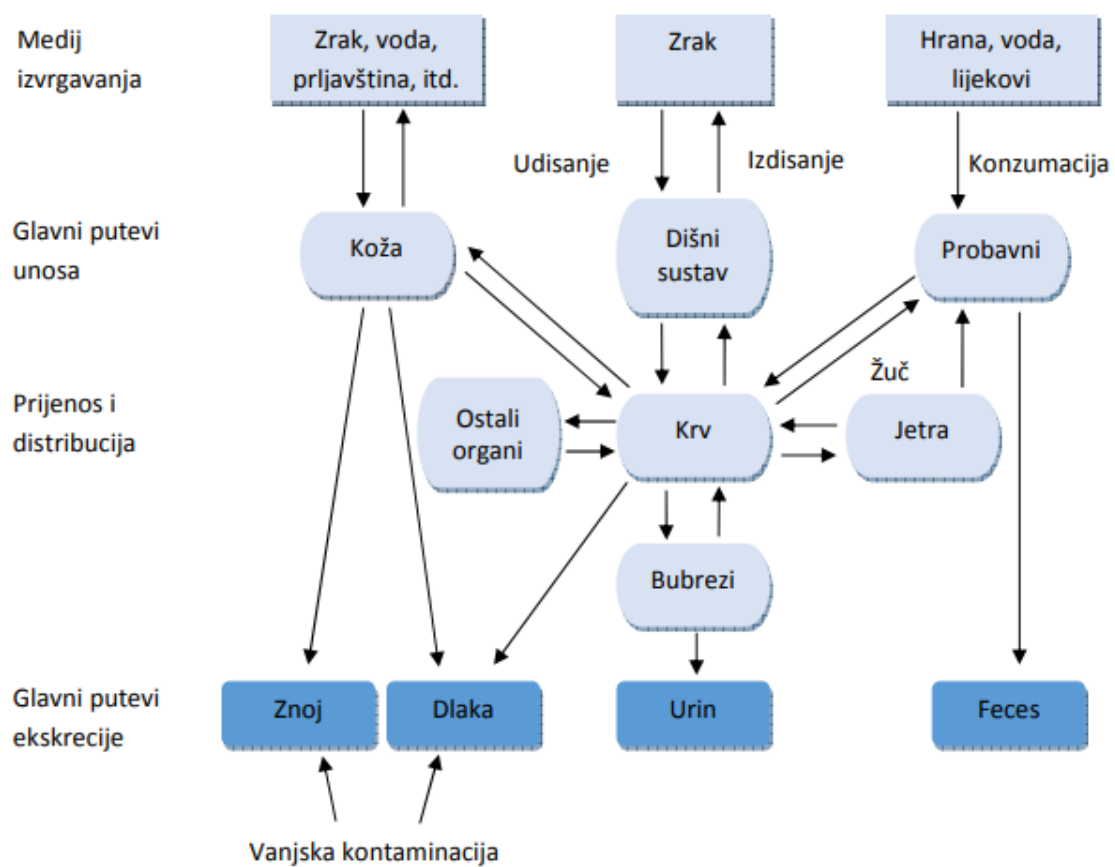
Razvojem civilizacije i porastom stanovništva dolazi do stalnog porasta proizvodnje i korištenja metala u svim dijelovima života: medicina, građevinarstvo, industrija, kozmetika i ostalo. To dovodi do svakodnevnog porasta proizvodnje teških metala. Nagli razvoj industrije tijekom posljednja četiri desetljeća doveo je do povećanja proizvodnje bakra, kroma, cinka i nikla. U posljednje vrijeme zbog sve veće osviještenosti o štetnosti koje mogu izazvati kadmij, olovo i živa nastoji se smanjiti njihova proizvodnja. Pokušavaju se zamijeniti s drugim manje štetnim metalima. Metalne čestice nastale tijekom proizvodnje zrakom se prenose na velike udaljenosti, a velike količine se nalaze i u otpadnim vodama. Iz slike 3 se može vidjeti proizvodnja nekih metala u razdoblju od 1970. do 2013. [20].



Slika 3. Proizvodnja olova, žive, kroma, nikla, bakra, cinka i kadmija u vremenu 1970.-2013. [21].

4. UTJECAJ TEŠKIH METALA NA ORGANIZAM

Kao što i sam naziv „teški“ govori, teški metali nastoje izgurati lakše tvari, kao što su vitamini i minerali, iz organizma. Teški metali ovisno o svojoj koncentraciji u organizmu mogu dovesti do raznih oboljenja, a u prekomjernoj količini neki metali mogu izazvati komu i smrt [8]. Slika 4 prikazuje put teških metala u organizmu od izvora izlaganja do izlučivanja metala iz organizma. Ovisno u vremenu izlaganja i dozi, različiti su učinci teških metala na organizam [22].



Slika 4. Kretanje teških metala u organizmu [23].

Arsen u organizmu izaziva jaku trbušnu bol, proljev, povraćanje te upalu gastrointestinalnog trakta [24]. Kod otrovanja arsenom ljudsko tijelo prolazi kroz dvije faze: prva faza se očituje s povećanim udjelom arsena u krvi, urinu, kosi i noktima, a druga faza pojavom kožnih lezija. U tijelo se arsen može unijeti udisanjem, apsorpcijom kroz kožu i širenjem na ostale unutarnje organe (jetra, bubrezi, pluća itd.) [10]. Ovisno o količinama, anorganski arsen unesen u ljudski organizam može imati kronični ili akutni učinak. Kronično trovanje izaziva melanoze i bolest „crne kože“ koja ima specifične keratoze i kvržice na šakama i stopalima (slika 5). Organski arsen je manje štetan za ljude od anorganskog, tijelo ga brže izlučuje, a u velikim količinama se nalazi u morskoj hrani [25]. Prema Lappasu arsen tj. trovalentni „bijeli“ arsen As_2O_3 je bio glavni uzrok ubojstava otrovima u 19. st. Bio je lako dostupan, jeftin, nije imao mirisa ni okusa te ga se nije moglo osjetiti u hrani ili piću gdje ga se najčešće stavljalo [24].



Slika 5. Bolest „crne kože“ [26].

Uz Marsh test, trovanje arsenom se može otkriti i testiranjem vrhova kose. Tj. ako se arsen unosi u malim količinama u organizam kosa će pokazati točno određeni vremenski period unosa arsena [27].

Svi oblici žive i svi njezini spojevi su toksični. Simptomi uzrokovani trovanjem živom su različiti, ovisi o vrsti žive. Oboljenje može biti uzrokovano elementarnom, anorganskom te organskom živom, a ovisi o koncentraciji žive te je li izloženost bila akutna ili kronična [28]. Velik broj ljudi ima u svojem tijelu živu, nalazi se u amalgamskim plombama i kod ljudi koji

imaju takve plombe svakodnevno se otpušta određena količina žive koja odlazi u tkiva, organe i mozak gdje djeluje kao živčani otrov [29].

Otrovanje elementarnom živom nastaje pri udisanju jer je vrlo hlapljiva, brzo ulazi u pluća zatim u krvotok te se skladišti u živčanom sustavu, no ne predstavlja veliki problem kada dođe u probavni sustav jer ju crijeva loše apsorbiraju [29]. Živa se iz organizma izlučuje u dvije faze: brzom i sporom. Najviše žive se eliminira u prvih tjedan dana od njezina ulaska. Iz organizma se izlučuje kroz mokraću, stolicu i pluća, a nešto manje znojenjem [30].

Anorganske žive nalaze su u pojedinim pesticidima, baterijama i bojama. Anorganska živa u organizam ulazi u obliku živinih soli te izaziva neuropsihološke poremećaje i gingivostomatitis [29].

Organska živa se unosi putem hrane. Organski spojevi žive se otapaju u masti, a apsorbiraju se iz gastrointestinalnog trakta. Metil-živa se apsorbira u potpunosti u tijelo i napada periferni živčani sustav. Simptomi su slabost, gubitak sluha i vida, grčevi. Može izazvati komu i smrt. Kod trudnica može utjecati na razvoj fetusa, dolazi do rađanja djece s teškim malformacijama. Kao primjer može se navesti masovno otrovanje metil-živom u Minamata zaljevu u Japanu. Trudnice koje su konzumirale previše ribe koja je u sebi sadržavala velike količine metil-žive nesvjesno su trovale djecu preko posteljice što je dovelo do rađanja djece s cerebralnom paralizom, poznatije kao Minamata sindrom (slika 6). Posljedice su još bile tjelesna zaostalost, gluhoonijemost, sljepoća, autizam i smrt [29].



Slika 6. Djeca rođena s Minamata sindromom [29].

Olovo je otrov koji štetno djeluje na organe i tkiva. Produkt je sagorijevanja nekih vrsta benzina te ga zbog toga ima u pozamašnim količinama u okolišu. Najveći unos u organizam je udisanjem, a može ga se unijeti konzumacijom hrane i vode za piće. Šumske gljive i iznutrice su velik izvor olova. Takve namirnice se ne bi trebale konzumirati u velikim količinama. Veže se za mnoge enzime u organizmu te na taj način ometa rad metabolizma. Još uvijek veliki problem predstavljaju stare olovne cijevi za vodu koje i danas imaju mnoga domaćinstva, tako se putem vode unose količine veće od dozvoljenih. Poželjno je testirati vodu u kućama s takvim instalacijama. Depresija, nesanica, glavobolja i umor neki su od simptoma trovanja olovom. Mlijeko se pokazalo kao dobar protuotrov kod kroničnog i akutnog trovanja jer proteini u mlijeku vežu olovo i sprječavaju njegovo širenje u organizmu [29].

Veliki zagađivač zraka je kadmij. Dospijeva u zrak iz tvorničkih dimnjaka, a veliki izvor kadmija je i dim cigarete. Zbog zagađenja zraka dolazi do zagađenja vode i hrane. Kadmij najviše napada bubrege i jetru [29]. Trovanje kadmijem rijetko kada izaziva smrt jer iako je otrovan, kadmij izaziva mučninu te se većina izbaci povraćanjem. Ostatak kadmija se dobro akumulira u tijelo, a ukoliko se u kratkom periodu ne odstrani metalotioneinom iz organizma, može se zadržati i do nekoliko desetljeća u čovjeku. Kadmij se u bubrezima može zadržati od

6 do 38 godina, a u jetri do 19. Pare kadmijeva oksida, CdO, su izuzetno otrovne. Kadmij je kancerogen te su istraživanja pokazala da se kod žena oboljelih od raka dojke nalaze povišene razine kadmija. Kadmij se u tijelo može apsorbirati inhalacijom, oralnim i dermalnim putem. Slučaj trovanja kadmijem je poznat u Japanu kao „Itai-Itai“ bolest koja napada kosti i zglobove te je svaki pokret bolan (slika 7). Do otrovanja ljudi je došlo konzumacijom riže koja je sadržavala 10 puta veću koncentraciju kadmija jer je bila natapana zagađenom vodom iz rudnika cinka. Kod kroničnog oboljenja dolazi do oštećenja bubrega i pluća. Iz tablice 3 se može vidjeti količina kadmija u pojedinim dijelovima tijela [12].



Slika 7. Žrtve „Itai-Itai“ bolesti [12].

Tablica 3. Količina kadmija u ljudskom tijelu [12].

Krv/mg dm ⁻³	0,005
Kosti/ppm	1,8
Jetra/ppm	2-22
Mišići/ppm	0,14-3,2
Dnevna potrebna količina/mg	0,007-3
Masa elementa u 70 kg teškoj osobi/mg (prosječna težina)	50

Selen je esencijalni mikroelement koji u ljudskom tijelu djeluje kao antioksidans, sastavni dio enzima glutathion peroksidaze te je i dio enzima koji dejodiraju hormon štitnjače. U organizmu se selen ugrađuje u proteine gdje u cisteinu i metioninu zamjenjuje sumpor te u druge nestabilnije spojeve [31]. Kod djece oboljele od Downovog sindroma selen pomaže u sprječavanju bakterijskih infekcija. Manjak selenoza povezuje se s rakom [32]. Najotrovniji spojevi selenoza su selenit i selenometionin. U početku trovanja selenom dolazi do poremećaja endokrine funkcije, posebno sinteze hormona štitnjače. Dugotrajnim unosom organskih (selenometionin, selenocistein) i anorganskih (selenit, selenat, selenid) spojeva selenoza dolazi do kronične toksičnosti koja se naziva još i selenoza. Selen je toksičan u velikim dozama (>900 µg/dan). Simptomi selenoze su ispadanje kose, promjene na noktima u obliku vodoravnih crta na noktima, crnjenje i oticanje noktiju, mučnina, dijareja, razdražljivost, zadah i znoj koji imaju miris češnjaka. Simptomi teškog predoziranja su pojačano disanje, vrućica, paraliza, rijetko kada dolazi do smrti [15]. Poznato je da selen štiti organizam od teških metala. Selen tvori netopljive komplekse s kadmijem, bakrom i živom te sprječava toksične učinke kadmija i smanjuje učinak metil-žive [33].

Željezo u organizmu regulirano je kompleksnim mehanizmom da bi se održavala ravnoteža homeostaze. Ljudsko tijelo ima izuzetno malu mogućnost izlučivanja iona željeza pa se ravnoteža postiže kontrolom resorpcije željeza u crijevima. Povećana potreba za željezom je tijekom djetinjstva, trudnoće i gubitka krvi. Željezo djeluje na razne metaboličke procese organizma kao što su prijenosi kisika i elektrona, sintezu DNA i regulaciju gena. Koncentraciju Fe u tkivima treba kontrolirati jer povećanjem količine dolazi do oštećenja tkiva zbog stvaranja slobodnih radikala. Poremećaj metabolizma željeza obuhvaća široki

spektar bolesti od anemije do neurodegenerativnih bolesti. Veće količine željeza u tijelu mogu štetno utjecati na jetru, pluća, srce, gušteraču te dovesti do razvoja šećerne bolesti, hipertrofije gušterače, hormonalne nepravilnosti, jetrene fibroze i zatajenja srca. Ukoliko je premali unos željeza kroz hranu, homeostatski mehanizam povećava crijevnu apsorpciju Fe iz tjelesnih skladišta. Pohranjene količine željeza se pri tome brže troše nego što se ponovno apsorbiraju iz hrane. Posljedica je nedostatak željeza u organizmu i na temelju toga dolazi do anemije. U nekim dijelovima Zemlje je prisutan problem nedostatka željeza stoga se preporuča konzumacija hrane bogate željezom poput svinjetine, žitarica bogatih željezom, špinata, brokule i lososa [16].

Zbog velike prisutnosti teških metala u okolišu, metali ulaze u ljudski i životinjski organizam. Unosom hrane, vode i zraka s velikim koncentracijama teških metala oni se akumuliraju u ljudsko tijelo te ukoliko su uneseni u prekomjernoj količini mogu imati štetne posljedice za organizam. U tablici 4 su prikazane maksimalno dozvoljene koncentracije nekih teških metala u vodi i utjecaj tih metala na čovjeka [1].

Tablica 4. Dozvoljene količine teških metala u vodi za piće i utjecaj na ljudsko zdravlje [1].

Teški metal	EU ¹ mg/L	WHO ² mg/L	US EPA ³ mg/L	Kronični i akutni utjecaj na zdravlje
Bakar	0,3-3	2	1	Nadraženost usta, nosa, očiju. Glavobolja, dijareja, oštećenje bubrega, smrt.
Cink	0,1-5	1	5	Bolovi u trbuhu, oštećenje imunološkog sustava, uznemirenost.
Kadmij	0,005	0,003	0,005	Povraćanje, dijareja, problemi s dišnim sustavom, smanjenje težine, smrt.
Olovo	0,05	0,01	0,015	Slabokrvnost, smanjen apetit, neplodnost, oštećenje bubrega i živčanog sustava.
Živa	0,001	0,001	0,002	Oštećenje pluća, bubrega, nadraženost nosa, očiju. Utjecaj na razvoj fetusa te živčanog sustava.
Nikal	0,2	1	0,07	Bronhitis, utjecaj na jetru, živčani i imunološki sustav. Alergije.
Arsen	0,01	0,01	0,05	Promjene na koži, osip, promjene na noktima. Utjecaj na probavni i živčani sustav.

¹ EU (*European Commission, drinking water directive*) - Direktiva Europske komisije o vodi za piće

² WHO (*World Health Organization*) - Svjetska zdravstvena organizacija

³ US EPA (*United States Environmental Protection Agency*) - Agencija za zaštitu životne sredine SAD-a

5. METODE ANALIZE TEŠKIH METALA

Kako teški metali u uzorcima za analizu dolaze u tragovima, postoji nekoliko metoda kojima se mogu napraviti kvantitativne analize teških metala. Ovisno o materijalu te količini uzorka metali se mogu analizirati sljedećim metodama:

- gravimetrijski
- kolorimetrijski
- kromatografski
- mikrobiološki
- potenciometrijski
- polarografski
- titrimetrijski.

Najčešće se koriste kolorimetrijske metode zbog točnosti, specifičnosti te brzog i jednostavnog postupka. Kako je riječ o biološkom materijalu u kojem se teški metali nalaze u izuzetno malim količinama, probleme u analizama predstavlja prisutnost drugih tvari u uzorku koje se nalaze u većoj količini. Tijekom analize greške su česte jer se ti metali nalaze u većini laboratorijskog pribora, a izuzetak je kvarcni pribor. Poželjno je ne koristiti metalni pribor. Destilirana voda i kemikalije iako imaju veliku čistoću mogu biti uzrok povećanja količine metala pa je potrebno vodu redestilirati, a kemikalije očistiti postupcima poput prekristalizacije, ekstrakcije i destilacije, pazeći da se prvo ukloni metal koji se određuje. Na kraju se rade i slijepe probe kako bi se odredilo koliko je metala došlo preko kemikalija, posuda i uvjeta rada. Vrijednost koja je dobivena iz analize slijepe probe se oduzima od rezultata dobivenih za uzorak koji se analizirao i tako se greške odstranjuju [34].

6. ČIŠĆENJE ORGANIZMA OD TEŠKIH METALA

Čišćenje organizma od teških metala je izuzetno bitno jer u velikim količinama tj. količinama većim od dozvoljenih mogu narušavati normalnu funkciju organizma i tijekom dužeg izlaganja mogu izazvati velike zdravstvene probleme. Ukoliko teški metali dođu u organizam nakupljaju se u unutarnjim organima, tkivu i kostima, a problem predstavlja to što ih tijelo ne može lako ukloniti. Kelati odnosno agensi koji na sebe vežu teške metale pomažu organizmu u čišćenju od istih. Kelacija je postupak povezivanja teških metala s kompleksnim organskim spojevima što omogućuje njihovo olakšano uklanjanje iz organizma. Iako sintetički kelati mogu ukloniti metale iz organizma često znaju izazvati nuspojave koje mogu biti opasne po zdravlje. Postoji nekoliko prirodnih načina kako se riješiti teških metala iz tijela:

➤ ZEOLITI

Najbolji poznati detoksikator koji čisti organizam od otrova, teških metala poput arsena, olova, žive i kroma. Prirodni je ionski izmjenjivač pa čisti organizam tako da uzima katione toksina i veže ih unutar rešetkaste strukture. Za vrijeme katastrofe u Černobilu koristio se kako bi spriječio kontaminaciju vode radioaktivnim supstancama [29].

➤ KLOROFIL

Klorofil je jedan od najbitnijih kelata u okolišu. To je zeleni pigment koji se nalazi u biljkama kao što su zeleno povrće, voće i alge. Uklanja elemente poput žive. Nakon odstranjivanja amalgamskih plombi preporučuje se klorofil kako bi odstranio zaostale tragove Hg [29].

➤ ZELENA GLINA

Jednostavan način za uklanjanje teških metala iz organizma je kupka sa zelenom glinom, glina ulazi u organizam kroz pore na tijelu i izvlači teške metale i ostale otrove [29].

7. ZAKLJUČAK

Teški metali su prisutni svuda u okolišu, a dolaze iz prirodnih izvora i djelovanjem ljudi. Koncentracije nekih metala su prevelike te predstavljaju veliki problem prirodi, a samim time i zdravlju ljudi, životinja i biljaka. Razvojem industrije, prevelikim brojem vozila, izgaranjem goriva koja sadrže teške metale iako se nastoje koristiti bezolovna goriva, koncentracije teških metala su i dalje prevelike. Nalaze se u zraku, tlu, vodi, hrani zapravo svuda oko nas i tako dopijevaju u naš organizam u kojem u prevelikim količinama mogu djelovati štetno za zdravlje. Metali poput cinka, željeza i selena su neophodni za normalnu funkciju organizma, ali u prevelikim i premalim dozama mogu uzrokovati određene smetnje i bolesti, kao što manjak željeza izaziva anemiju. Ljudi nisu ni svjesni da svakodnevno unose teške metale koji im mogu štetiti. Tako se konzumacijom ribe, školjki i rakova unose veće količine žive i arsena, no ne unosi se prevelika količina takve hrane da bi mogla izazvati otrovanje. Amalgamske plombe u ustima svakodnevno otpuštaju male količine žive. U svijetu su poznate neke bolesti koje su uzrokovali teški metali kao Minamata sindrom i Itai-Itai. Za određivanje teških metala, iako se nalaze u tragovima u uzorku, koristi se nekoliko metoda, a jedna od najboljih metoda određivanja teških metala je kolorimetrijska metoda. Potrebno je i dalje provoditi istraživanja kako bi se teški metali mogli određivati što točnije, brže i jednostavnije. Čišćenje organizma od teških metala je izuzetno bitno, a uz prirodne načine poput zeolita, klorofila i zelene gline, tu su i kelati koji vežu na sebe teške metale te ih je tako moguće izbaciti iz tijela. Ukoliko ne dođe do veće osviještenosti o opasnostima koje predstavljaju teški metali za naše zdravlje i prirodu moglo bi doći do ponovnog ponavljanja katastrofe kao one u Minamata zaljevu.

8. LITERATURA

- [1] Andlar K., Metode uklanjanja teških metala iz otpadnih voda, Fakultet kemijskog inženjerstvan i tehnologije, Zagreb, 2016.
- [2] Bjerrum N., Bjerrum's Inorganic Chemistry, 3rd Danish ed., Heinemann, London, 1936.
- [3] Parker S. P., McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 1989.
- [4] Morris C., Academic Press Dictionary of Science and Technology, Academic Press, San Diego, 1992.
- [5] Falbe J., Regitz M., Roempp Chemie Lexikon, Georg Thieme, Weinheim, 1996.
- [6] Thornton I., Metals in the Global Environment-Facts and Misconceptions, ICME, Ottawa, 1995.
- [7] Peleadin J., Bogdanović T., Maurati T., Kmetič I., Kemijska onečišćivala i njihovi ostaci u hrani životinjskog podrijetla, Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition 12 (2017) 19-29.
- [8] Dedo A., Teški metali sa svojstvima endokrinih disruptora, Medicinski fakultet Zagreb, 2014.
- [9] Fodor F., Physiological responses of vascular plants to heavy metals, Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Boston, London, 2002.
- [10] Marcikić B., Uklanjanje arsena iz vode aktivnim ugljenom zasićenim trovalentnim željezom, Prehrambeno-tehnološki fakultet, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, 2016.
- [11] Plavšić F., Bojite li se otrova? Hrvatski zavod za toksikologiju, Zagreb, 2009.
- [12] Drčić D., Ekotoksikologija kadmija, International Interdisciplinary Journal of Young Scientists from the Faculty of Textile Technology 4 (2014) 66-77.
- [13] <https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/kadmij.pdf> (17.07.2020.)

- [14] Papp A., Laszlo P., Tunde V., Acute Neurotoxicity of Heavy Metals Combined with Alcohol, *Arh Hig Rada Toksikol* 56 (2005) 241-248.
- [15] Dodig S., Čepelak I., The facts and controversies about selenium, *Acta Pharm.* 54 (2004) 261–276.
- [16] Đokić M, Bilandžić N, Željezo-toksikološki i nutritivni aspekti u organizmu, *Meso* 14 (2012) 232-237.
- [17] Sofilić T., Ekotoksikologija, Metalurški fakultet, Sisak, 2014.
- [18] Kralik Z., Studija utjecaja okoliša na sadržaj teških metala u mekoniju novorođenčadi Splitsko-dalmatinske županije, Kemijsko-tehnološki fakultet, Split, 2016.
- [19] Nriagu J. O., A global assesstment of natural sources of atmospheric trace metals, *Nature* 338 (1989) 47-49.
- [20] Hong S., Crandelone J. C., Patterson C. C., Boutron C. F., History of Ancient Copper Smelting Pollution During Roman and Medieval Times recorded in Greenland Ice, *Science* 272 (1996) 249-249.
- [21] British Geological Survey, World mineral production, 2009-2013., Keyworth, Nothingam, 2015.
- [22] Clarkson T. W., Magos L., The toxicology of mercury and its chemical compounds, *Critical Reviews in Toxicology* 36 (2006) 609-611.
- [23] Elinder C. G., Friberg L., Kjellstrom T., Biological Monitoring of Metals, Geneva, World Health Organization, 1994.
- [24] Lappas N. T., Lappas C. M., Forensic Toxicology Principles and Concepts, Shirley Decker-Lucke, London, 2016.
- [25] Petrak V., Ekotoksikologija arsena, Tekstilno-tehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2015.
- [26] <http://www.slideshare.net/nina255/arsenppt> (29.07.2020.)

- [27] Negrusz A., Copper G., Clarke's Analytical Forensic Toxicology, 2nd edition, Pharmaceutical Press, London, 2013.
- [28] Darbre P. D., Metalloestrogens: an emerging class of inorganic xenoestrogens with potential to add to the oestrogenic burden of the human breast, *J. Appl. Toxicol.* 26 (2006) 149-153.
- [29] Sukačić J., Određivanje teških metala i aflatoksina u mlijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2014.
- [30] Perezović Dž., Panijan R., Teški metali i biološki sustavi s posebnim osvrtom na živu, *Ascro* 13 (1979) 157-162.
- [31] Kralik Z., Grčević M., Kralik G., Hanžek D., Važnost selena u hranidbi kokoši nesilica, *Krmiva* 61 (2019) 17-22.
- [32] <http://www.msd-prirucnici.placebo.hr/msd-prirucnik/poremecaji-prehrane/manjak-i-toksinost-minerala/selen> (24.07.2020.)
- [33] Vukšić N., Utjecaj selena na raspodjelu teških metala u tkivima jelena lopatara, *Poljoprivreda* 22 (2016) 57-57.
- [34] Jović V., Teški metali u mlijeku i mliječnim proizvodima, *Mljekarstvo* 13 (1963) 79-98.