

# OPĆA PRIVATNA GIMNAZIJA

Gajeva ulica 22/1

1 000 Zagreb



## ELEMENTI U TRAGOVIMA

Znanstveni rad

### Profesorica:

Marija Ramljak, prof.

### Učenik:

Dominik Pervan

**Razred: 4a**

Nastavni predmet: **KEMIJA**

Zagreb, prosinac 2022.

## *SADRŽAJ:*

1. Naslovna stranica	1.
2. Ključne riječi	
Tema istraživanja	
Sažetak	2.
3. Sadržaj	3.
4. Uvod	4.
5. Hipoteza	
Pretpostavka	5.
6. Materijal i metode	
Esencijalni i neesencijalni elementi	18.
7. Rasprava	
Zaključak	19.
8. Literatura	20.

## ***SAŽETAK:***

U ovom istraživačkom radu proučavamo svaki esencijalni i neesencijalni element u tragovima. Proučavamo njihovu: prisutnost, utjecaj i svrhu. Dokazujemo njihovu prisutnost i navodimo tehnike pomoću kojih smo ih dokazali. Također spominjemo posljedice koje dolaze s prevelikim i premalim unosom određenog elementa. Na posljetku odgovaramo na postavljenu hipotezu i zaključujemo istraživački rad

## ***KLJUČNE RIJEČI:***

Elementi u tragovima, esencijalni elementi u tragovima, neesencijalni elementi u tragovima, željezo, cink, bakar, krom mangan



## UVOD:

Elementi u tragovima su elementi čija je koncentracija vrlo niska. Njihova prisutnost je manja od 50 miligrama po kilogramu tjelesne mase i zato ih nazivamo elementima u tragu. Svaki element ima svoju ulogu i važnost, stoga ih svrstavamo u esencijalne i neesencijalne. Esencijalni elementi u tragovima potrebni su za mnoge fiziološke i biokemijske procese u biljkama i životinjama. Elementi u tragovima igraju važnu ulogu u biološkim procesima i služe kao katalizatori u procesima oksidacije i redukcije. U visokim koncentracijama esencijalni elementi postaju potencijalno smrtonosni. Esencijalni elementi su: bor, kobalt, bakar, jod, željezo, mangan, molibden i cink. Nedostatak takvih elemenata može voditi do raznih bolesti, kao što su: dijabetes, neplodnost, pad imuniteta, pretilost, hipertenzija, gastritis, poremećaj rasta, alergije, osteoporoza i skolioza. U analitičkoj kemiji, elementi u tragovima su oni čija je prosječna koncentracija manja od 100 mikrograma po gramu. U biokemiji, element u tragovima je onaj koji je potreban u vrlo malim količinama za pravilan rast i razvoj organizma. Treba se prisjetiti da su elementi u tragovima prisutni i kod životinja. Primjeri bitnih elemenata u tragovima kod životinja uključuju: Fe (hemoglobin), Cu (respiratorni pigmenti), Co (vitamin B12), Mn i Zn (enzimi). Iako su prisutni u malim količinama, elementi u tragovima su ključni za održavanje zdravlja i života.

H																	He
Li	Be										B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	**															

*	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
**	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

### *Hipoteza:*

Elementi u tragovima su bitni za normalno funkcioniranje ljudskog tijela i kod njihovog nedostatka dolazi do ugrožavanja zdravstvenog stanja.



### *Pretpostavka:*

Elementi u tragovima su prijeko potrebni za zdravo funkcioniranje organizma. Bitno je postići uravnoteženu količinu unosa takvih elemenata, premali ili preveliki unos vodi do ugrožavanja ljudskog zdravlja i života. Kako bi se osiguralo normalno funkcioniranje tijela, potrebno je racionalno organizirati prehranu tako da tijelo redovito prima optimalnu količinu minerala. Uz hranjive tvari (bjelančevine, masti, ugljikohidrate) i biološki aktivne sastojke (vitamine) potrebno je stalno održavati sastav elemenata u tragovima u ishrani.



## **MATERIJALI I METODE:**

Elementi u tragu ili oligoelementi vrlo su važni za žive organizme. Potrebni su za normalnu funkciju organizma, za rast i za obavljanje mnogih metaboličkih procesa. Elementi u tragu većinom su elementi s atomskim brojevima do 34. mjesta u periodičnom sustavu. Samo su dva esencijalna elementa, molibden i jod, s većim atomskim brojevima, 42, odnosno 53.

Za sva živa bića nužno je 6 elemenata: mangan (Mn), željezo (Fe), kobalt (Co), bakar (Cu), cink (Zn) i molibden (Mo). Sisavci trebaju još jod (I), fluor (F), selen (Se), stroncij (Sr) i krom (Cr), a prema nekim podacima i vanadij (Va) i nikal (Ni). Kao element u tragu definira se onaj element kojeg ima manje od 0,01% ukupne tjelesne mase. Svi elementi u tragu zajedno čine manje od 0,2% tjelesne mase.

Elementi u tragu dijele se na esencijalne i neesencijalne elemente. Esencijalni su oni koji su potrebni za život i normalnu funkciju organizma. Njihove količine u čovjekovu tijelu kreću se od 1,5 mg do 4,2 g.

---

### ESENCIJALNI ELEMENTI U TRAGU U TIJELU ČOVJEKA:

Element	Tijelo mg	Krv			Napomena
		Plazma	Eritrociti	ukupno mg	
željezo	4.200	2.500	3,6	2.400	70,5% u hemoglobinu
fluor	2.600	0,95	0,87	0,17	99% u kostima
cink	2.300	34	5,6	28	65% u mišićima
stroncij	320	0,18	0,17	0,01	99% u kostima
bakar	120	5,60	3,50	2,20	34% u mišićima
selen	13	1,10	–	–	38,3% u mišićima
mangan	12	0,14	0,025	0,12	43,4% u kostima
jod	11	0,29	0,26	0,035	87,4% u štitnjači
molibden	9,3	0,083	–	–	19% u jetri
krom	1,7	0,14	0,074	0,044	37% u koži
kobalt	1,5	0,0017	0,0014	0,0003	18,6% u koštanoj srži
nikal	10	0,16	0,09	0,07	18% u koži

Neesencijalni elementi u tragu nisu potrebni za život, a u većim su u količinama otrovni za čovjeka.

NEESENCIJALNI ELEMENTI U TRAGU U TIJELU ČOVJEKA:

Element	Tijelo mg	Krv	Plazma ukupno mg	Eritrociti	Napomena
kadmij	50	0,036	–	–	27,8% u bubregu i jetri
olovo	120	1,4	0,14	1,2	91,6% u kostima
živa	13	0,026	0,009	0,017	69,2% u mastima i mišićima
antimon	7,9	2,024	0,16	–	25% u kostima
berilij	0,036	0,00052	–	–	75% u kostima
kositar	17	0,68	0,10	0,55	25% u mastima i koži
arsen	18	2,5	0,093	0,59	–
barij	22	1,0	0,62	–	91% u kostima
telur	8,2	0,18	0,09	0,078	vjerojatno u kostima
rubidij	320	14	2,2	12	–
brom	200	24	17	7,5	60% u mišićima
aluminij	61	1,9	1,3	0,14	19,7% u plućima 35,5% u kostima
titan	9	0,14	0,12	0,04	49,5% u plućima i limfnim čvorovima
cirkonij	420	13	1,2	12	67% u mastima
niobij	110	13	0,35	13	26% u mastima
litij	2,2	0,10	0,093	0,061	67% u mastima

Za elemente u tragu karakteristično je da se njihovo djelovanje umnožava, tj. vrlo mala količina nekog elementa u tragu utječe na stanje cijelog organizma. Vrlo su specifični, imaju svoju homeostatičku regulaciju i ulaze u međusobne interakcije.

Postoje dvije vrste promjena koncentracija elemenata u tragu u organizmu:

1. manjak esencijalnih elemenata u tragu koji su posljedica njihovog nedovoljnog unošenja hranom, poremećene ravnoteže ili neke bolesti
2. nakupljanje toksičnih, neesencijalnih elemenata u tragu koji mogu djelovati kao stanični otrovi ili mogu istisnuti i zamijeniti esencijalne elemente u tragu u tijelu i time prouzročiti njihov manjak.

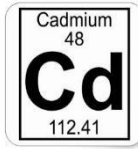
Obje vrste tih promjena mogu se dokazati određivanjem elemenata u tragu u serumu ili plazmi, u eritrocitima i u mokraći.

## *Neesencijalni elementi u tragu:*

---

Čovjekovo tijelo normalno sadržava manje količine 17 neesencijalnih elemenata u tragu. Čovjek je u opasnosti od otrovanja kadmijem, olovom i živom, bilo da ih unosi hranom bilo udisanjem.

*Kadmij:*



Kadmij se nakuplja u bubrezima, jetri i u stijenci aorte, a može uzrokovati arterijsku hipertenziju i zamijeniti cink u njegovim spojevima. Na dan se hranom unosi oko 0,2 mg kadmija. U punoj krvi u nepušača ima 2,7–10,7 nmol/L kadmija, a u pušača 5,3–34,7 nmol/L. Mokraćom se na dan izluči do 13 μmola kadmija. Koncentracije kadmija u krvi toksične za čovjeka jesu one veće od 45 nmol/L, a osobe izložene kadmiju izlučuju ga mokraćom oko 0,9–26,7 μmol/L. Akutno se otrovanje očituje u respiracijskim simptomima poput plućnog edema, upale pluća, a oštećenja pluća mogu ostati i trajna. Pojavljuju se i kardiovaskularni poremećaji. Ako je otrovanje posljedica peroralnog uzimanja kadmija hranom, akutno se otrovanje očituje jakim probavnim poremećajima. Pri kroničnom otrovanju dolazi do teške disfunkcije bubrega. Kadmij se u krvi i u mokraći određuje metodom masene spektrometrije.

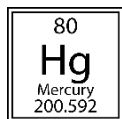
*Olovo:*



Otrovanju olovom su izloženi radnici u tvornicama akumulatora, ali je općenito velika izloženost gradskoga stanovništva olovu zbog udisanja ispušnih plinova iz motora. Olovo se nakuplja u kostima, kosi, jetri i bubrezima. Umor i nervoza gradskih stanovnika mogli bi se možda pripisati i utjecaju olova. Osim umora, znakovi otrovanja olovom jesu želučane tegobe, povraćanje, iritabilnost, anemija i periferna neuropatija. Olovo se određuje u krvi i mokraći metodom optičke emisijske spektrometrije s induktivno spregnutom plazmom. Na dan se u tijelo unosi oko 0,3 mg olova. U krvi zdravih osoba nalazi se do 1,21 μmol/L, a mokraćom se izluči do 0,39 μmol/L.



Živa:



Živa je osobito opasna u obliku metilirane žive, koja nastaje djelovanjem anaerobnih bakterija u mulju. Topljiva je i otrovna, a čovjek može unijeti živu konzumirajući ribe koje potječu iz zatrovane vode (teška otrovanja u Japanu). Čovjek na dan unosi oko 0,02 mg žive, pa se u krvi nalazi 3,0-294,4 nmol/L žive, a dnevno se mokraćom izlučuje do 99,8 nmol/L. Za čovjeka su toksične koncentracije žive u krvi veće od 748,5 nmol/L. Akutno otrovanje živom uzrokuje oštećenje gastrointestinalnoga trakta i bubrežnih tubula. Do kroničnog otrovanja najčešće dolazi udisanjem živinih para ili unošenjem manjih količina žive peroralno, a simptomi su stomatitis, tremor, kolitis, nefrotički sindrom i anemija, dok se pri otrovanju organskom živom pojavljuju umor, glavobolja, gubitak pamćenja, apatija, poremećaji vida te na kraju koma i smrt. Pri otrovanju metiliranom živom najbolje je živu određivati u punoj krvi ili u eritrocitima, a za određivanje anorganske žive najbolje je analizirati mokraću. Živa se određuje metodama HG-AAS (atomska apsorpcijska spektrometrija - hibridna tehnika, engl. hybride generation atomic absorption spectrometry) te amalgamiranjem. Izloženost živi tijekom duljega vremena najbolje se odražava u sadržaju žive u kosi, koji je normalno oko 300 puta veći nego u krvi.

Litij:

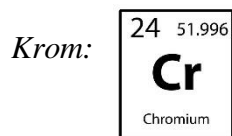


Koncentracija litija rutinski se određuje u svrhu kontrole liječenja hipomaničnih psihoza preparatima litija. Litij je vrlo toksičan i tijekom terapije koncentracija litija u serumu ne smije biti veća od 1,2 mmol/L. Određuje se metodama AAS ili plamene emisijske fotometrije.

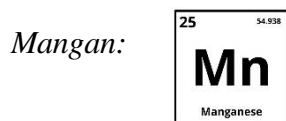


## Esencijalni elementi u tragu:

---



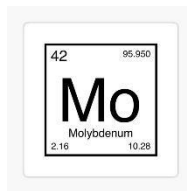
Krom je potreban u metabolizmu glukoze i lipida, a pri manjku kroma remeti se regulacija glukoze inzulinom. U sisavaca je otkrivena niskomolekularna tvar koja veže krom (LMWCr engl. low-molecular weight chromium binding substance), oligopeptid molekularne mase oko 1.5 kDa koji veže četiri iona kroma, stimulira aktivnost tirozinkinazne domene inzulinskoga receptora nakon vezanja inzulina za receptor i potiče inzulin na pretvorbu glukoze u lipide i CO<sub>2</sub>. Osim hiperglikemije, manjak kroma uzrokuje i hiperkolesterolemiju i aterosklerozu, pa se smatra da je upravo manjak kroma uzrok aterosklerozi. Hranom je potrebno na dan unijeti oko 50 do 200 µg kroma, a manjak nastaje zbog uklanjanja kroma iz pročišćenih namirnica, prije svega šećera. Od hranom unesene količine kroma tek se oko 0,3-2%, brzo apsorbira u crijevu. Nakon apsorpcije, trovalentni se krom veže za serumske proteine β-globulinske frakcije, osobito za transferin (Tf). Krom pokazuje sličan afinitet prema Tf-u kao i željezo pa Tf vjerojatno sudjeluje u prijenosu kroma do tkiva. Toksičnost kroma ovisi o njegovoj valenciji. Cr (VI) je toksičniji od Cr (III). Pri akutnom otrovanju pojavljuju se alergijska reakcija, konjunktivitis, edemi, dermatitis i ulceracije, a kronična izloženost kromu ima kao posljedicu poremećaje u gastrointestinalnom traktu, hepatitis i karcinom pluća. Krom se određuje metodama GF-AAS i ICP-MS. U punoj krvi zdrave osobe nalazi se oko 13,4-538 nmol/L kroma, u serumu do 2,4 nmol/L, u mokraći do 2,4 nmol/L i u kosi oko 1,9-78,7 nmol/L. Kosa se za analizu uzima blizu korijena, i to oko 2-5 cm duljine, opere acetonom i digerira sa 70%-tnom HNO<sub>3</sub>.



Mangan je vrlo raširen, a nalazi se u spojevima kao dvovalentan, trovalentan i sedmerovalentan. Prijeko je potreban za život organizma, ali u većim je dozama i toksičan. Dnevna potreba za manganom iznosi 2-5 mg u odrasla čovjeka. U tijelu se nalazi u tkivima koja čine stanice bogate

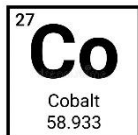
mitohondrijima. Najviše ga ima u kostima, jetri i gušterači. Sastavni je dio metaloproteina avimanganina, manganina i konkanavalina A, a potreban je kao aktivator raznih enzima poput fosfoenolpiruvat-karboksikinaze, piruvat-kinaze, piruvat-karboksilaze, superoksid-dismutaze, glikozil-transferaze i arginaze. Na taj način mangan ima ulogu u metabolizmu glukoze i lipida, u oksidacijskoj fosforilaciji i u nekim drugim metaboličkim procesima, u stvaranju vezivnoga i koštano-ga tkiva, u rastu i u reproduktivnim funkcijama. U tijelu ga ima oko 12-20 mg, a manjak mu se malokad pojavljuje. Iz tijela se izlučuje nešto mokraćom, a više stolicom i preko kose. Zanimljivo je da sijeda kosa sadržava manje mangana od obojene kose. U ljudi koji su izloženi manganskoj prašini, npr. rudara, pojavljuju se psihički i neurološki poremećaji sa simptomima sličnima Parkinsonovoj bolesti i dolazi do odlaganja mangana u bazalnim ganglijima. Do neravnoteže mangana može doći u trudnoći, osobito u toksemiji, u djece u rastu, u osoba sa poremećajima u rastu kostiju i hrskavica te u onih sa sistemskim eritemskim lupusom. Koncentracija mangana u serumu i mokraći može katkad biti smanjena pri kroničnom ulkusu, a povećane koncentracije u serumu nalaze se pri jetrenim bolestima, nakon akutnog hepatitisa i srčanog infarkta te u osoba na hemodijalizi ako ima previše mangana u tekućini za hemodijalizu.

*Molibden:*



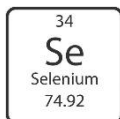
Dnevna potreba odrasla čovjeka za molibdenom iznosi 75 do 250 µg. Molibden je sastavni dio triju metaloenzima: aldehyd-oksidade, ksantin-oksidade i sulfid-oksidade. Do danas nisu opisani slučajevi manjka molibdena zbog neodgovarajuće prehrane. Jedno je istraživanje pokazalo da se u djeteta u kojega su uočene poteškoće u hranjenju pojavljuju mentalna retardacija, asimetrija lubanje, dislokacija lijeve leće i poremećaji u aktivnosti ksantin-oksidade i sulfid-oksidade, vjerojatno zbog nasljednog poremećaja u metabolizmu molibdena. Molibden je relativno netoksičan za ljude. No, povećan unos ili izloženost molibdenu povezani su s povećanjem koncentracije urata u krvi i učestalim pojavljivanjem uloga (gihta). Koncentracije molibdena u zdrave su osobe oko 8,3-34,4 nmol/L u punoj krvi, do 10,4 nmol/L u serumu, oko 188 nmol/L u eritrocitima, 104,2-166,8 nmol/L u mokraći i 0,21-5,1 nmol/g u kosi.

*Kobalt:*



Kobalt je sastavni dio kobalamina, vitamina B12. Prijeko je potreban u eritropoezi. Osim toga, pretpostavlja se da ima ulogu i u imunskim reakcijama. Smanjena mu je koncentracija u tkivima kod cerebrovaskularnog infarkta i infekcija, pa je moguće da i tu ima neku ulogu. Čovjek može unijeti relativno velike doze kobalta, a da se pri tome ne pojave simptomi otrovanja. Međutim, toksični se učinci mogu opaziti u bolesnika s bubrežnom insuficijencijom koji su na terapiji kobaltom i u osoba koje piju mnogo piva ako ono sadržava kobalt kao stabilizator pjene. Otrovanje kobaltom uzrokuje kardiomiopatiju koja uzrokuje smrt. U serumu se kobalt rjeđe određuje zbog male koncentracije, već se određuje u punoj krvi i u mokraći, kojom se kobalt većim dijelom izlučuje. Koncentracije kobalta u zdrave osobe iznose 8,5-66,2 nmol/L u punoj krvi, do 8,5 nmol/L u serumu i do 17,0 nmol/L u mokraći.

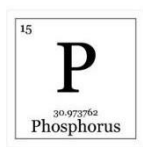
*Selen:*



Selen je sastavni dio glutation-peroksidaze, enzima koji katalizira razgradnju peroksida stvorenih tijekom oksidacijskog metabolizma u stanicama te na taj način štiti organizam od nakupljanja lipidnih peroksida i slobodnih radikala koji oštećuju stanične membrane. Dnevna potreba za selenom iznosi oko 55 µg za žene i oko 70 µg za muškarce, a sadržaj u hrani ovisi o količini proteina i sadržaju selena u tlu. U krvi se nalazi više selena u eritrocitima nego u plazmi u kojoj je vezan za SH-skupine proteina. Iz tijela se izlučuje mokraćom kao trimetilselenijev ion, a putem pluća u obliku dimetil-selenida. Otrovanje selenom vrlo je rijetko, a i manjak je rijetkost. Manjak selena susreće se u određenim područjima Kine. S tim je u vezi tzv. Keshanova bolest, jedna posebna vrsta kardiomiopatije koja pogađa ponajprije djecu i žene u reproduktivnoj dobi. Inače, manjak selena može biti prisutan u djece s miopatijom i u osoba s miopatijom koje su na parenteralnoj prehrani. Mala koncentracija selena u krvi nalazi se u osoba s karcinomom gastrointestinalnoga trakta, trudnoći i malnutriciji, a velika u osoba s retikuloendotelnim novotvorinama. Osim određivanja same koncentracije selena može se određivati i aktivnost glutation-peroksidaze. Velika aktivnost tog enzima nalazi se u leukocitima i makrofagima i štiti te

stanice od peroksida koji se stvaraju tijekom oksidacijske razgradnje stranih tvari u njima. Smanjena aktivnost glutation-peroksidaze u krvi nalazi se kod hemolitičke anemije, poremećaja trombocita s krvarenjima, edema zbog oštećenja kapilara peroksidima, kronične granulomatozne bolesti i karcinoma.

*Fluor:*



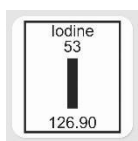
Fluor se nalazi u zubima i u kostima (98% ukupnog fluora u čovjekovu tijelu), a izlučuje se mokraćom. Može se odrediti ion-specifičnom elektrodom.

*Stroncij :*



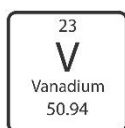
Stroncij se također nalazi u kostima i zubima, a potreban je za očvršnuće kostiju te sprječava stariju osteoporozu. Izlučuje se stolicom, manje mokraćom, a katkad i znojem. Određuje se s AAS-om.

*Jod:*



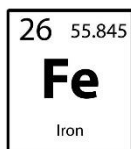
Jod je prijeko potreban u sintezi hormona štitnjače.

*Vanadij:*



Vanadij je potreban za smanjenje sinteze kolesterola i masnih kiselina. Pokazalo se da ima inzulinomimetičko, a katkad i antitumorsko djelovanje.

Željezo:



Tijelo odrasla čovjeka sadržava oko 58-78 mmol (3,5-4,5 g) željeza. Najveći dio od toga, 65-70% (oko 3 g), nalazi se u hemoglobinu, 3-5% u mioglobinu, a oko 20-30% uskladišteno je u retikuloendotelnom sustavu, u jetri, bubrezima, slezeni i koštanoj srži. Ostatak željeza nalazi se u citokromima, katalazi i peroksidazi, a krvni serum sadržava vrlo malo željeza, 50-70  $\mu$ mol (oko 2,5 mg), dakle manje od 0,1% ukupnog željeza u tijelu.

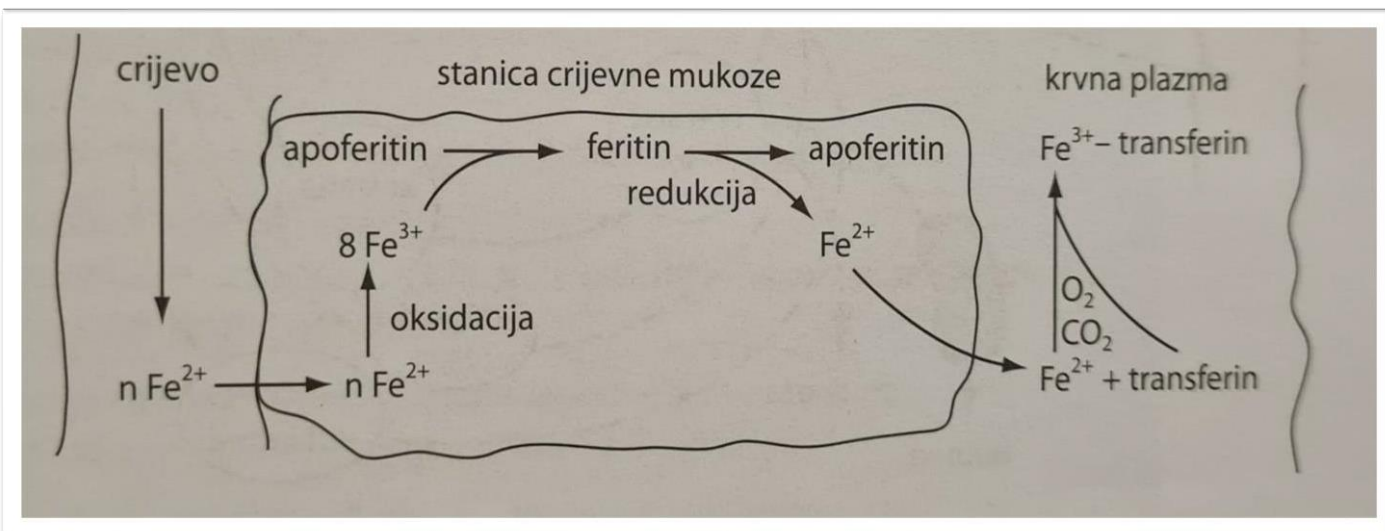
Razdioba željeza u tijelu muškarca od 70 kg tjelesne mase:

Protein	Lokalizacija	Sadržaj željeza
hemoglobin	eritrociti	3 000 mg
mioglobin	mišići	400 mg
citokromi, drugi proteini koji sadržavaju hem i željezo	sva tkiva	50 mg
transferin	plazma i međustanična tekućina	5 mg
eritin i hemosiderin	jetra, slezena i koštana srž	0-1 000 mg

Željezo koje se unese u tijelo hranom većim se dijelom apsorbira u dvanaesniku, a manje u želudcu, ileumu i kolonu. Apsorpcija željeza ovisi o nizu čimbenika, primjerice o eritropoetičkoj aktivnosti koštane srži,  $pO_2$ , popunjenosti skladišta u retikuloendotelnom sustavu, valenciji željeza i pH na mjestu apsorpcije. Kroz membrane prolazi samo dvovalentno željezo, a željezo, poput kalcija, može stvarati netopljive soli fosfata koje se ne apsorbiraju. Zbog toga se u osoba s hipoaciditetom ili anaciditetom želučanog soka željezo loše apsorbira.

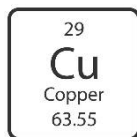
Krvni serum zdravih muškaraca sadržava 11-32  $\mu$ mol/L željeza, dok su vrijednosti u žena oko 10-15% niže i iznose 8-30  $\mu$ mol/L.

Prikaz apsorpcije željeza:



Manjak željeza jedan je od najčešćih poremećaja u ljudi, a osobito u djece, mladih žena i u starijih osoba. Manjak željeza u organizmu može biti uzrokovan nedovoljnim unosom hrane (malnutricija) i lošom apsorpcijom (malapsorpcija). Do manjka željeza u žena dolazi zbog gubitka krvi tijekom menstrualnoga ciklusa, dok je u muškaraca uzrok tomu najčešće kronični gubitak krvi u gastrointestinalnom traktu (ovo je također čest uzrok gubitka krvi i u žena). Koncentracije željeza smanjene su kod mnogih, ali ne i svih, osoba s anemijom zbog manjka željeza te u osoba s akutnim i kroničnim upalnim bolestima (smanjeno je otpuštanje željeza iz stanica retikuloendotelnooga sustava). Akutna ili nedavna krvarenja, uključujući i dobrovoljno davanje krvi i menstruaciju, uzrokuju male koncentracije željeza. Oralni kontraceptivi povećavaju koncentracije željeza, ali nakon što se prekine njihovo uzimanje koncentracije željeza smanjuju se i do 30%. Zbog brojnih različitih uzroka koji dovode do smanjenja koncentracije željeza, rezultati se moraju oprezno i pažljivo interpretirati.

Bakar:



Bakar je esencijalni element u tragu potreban za rast i normalan metabolizam. Utječe na funkciju mitohondrija te na eritropoezu i život eritrocita. Uloga je bakra važna jer je on sastavni dio molekule raznih enzima i važan je za funkciju aktivnog centra nekih enzima. Male količine bakra nužne su za normalnu aktivnost enzima koji sudjeluju u umrežavanju vezivnoga tkiva i elastina

(lizil-oksidaža), djeluju kao antioksidansi (superoksid-dismutaza), sudjeluju u prijenosu elektrona (citokrom-oksidaža), u stvaranju pigmenta (tirozinaza) i u prijenosu živčanih impulsa (dopamin-6-monooksigenaza). Višak je bakra toksičan za organizam, jer već u koncentracijama 10  $\mu$ mol/L inhibira neke enzime, npr. kiselu fosfatazu, onemogućuje vezanje drugih esencijalnih elemenata u tragu ili se veže na neke kofaktore, poput glutationa. U čovjekovu tijelu ima oko 100-150 mg bakra ili 1,5-2,5  $\mu$ g na g tkiva. Bakar je raširen u raznim tkivima, a najviše ga ima u jetrenom parenhimu, mozgu (više u sivoj tvari), miokardu, bubrezima, kostima i noktima. Bakar se unosi u tijelo hranom i, s obzirom na njegovu rasprostranjenost u prirodi, čovjek prima dovoljno bakra, oko 3-5 mg na dan. Dnevna potreba odraslog čovjeka iznosi oko 1,5-3,0 mg bakra po kg tjelesne mase, a djece oko 0,05 mg bakra po kilogramu tjelesne mase. Bakar se apsorbira u gornjim dijelovima tankoga crijeva. Za apsorpciju su potrebni kisela sredina, veća količina bakra u crijevnom sadržaju i manja količina kalcija, dok apsorpciju sprječavaju velika količina kalcija i drugi metali, osobito kadmij i cink te anioni s kojima bakar stvara netopljive soli, npr. sulfide. Apsorpcija je brza i bakar se brzo prenosi kroz crijevnu sluznicu u obliku negativno nabijenih kompleksa s aminokiselinama ili s pomoću proteina koji vežu bakar preko svojih SH-skupina. Apsorbirani se bakar veže za albumin i u manjim količinama za transkuprein i ceruloplazmin (Cp) koji ga prenose do različitih tkiva, a najviše u jetru. U tkivima se bakar ugrađuje u neke metaloproteine, od kojih su neki enzimi, neki karakteristične boje, dok nekima još nije poznata fiziološka uloga. U jetri se bakar ugrađuje u apoceruloplazmin tvoreći Cp ili holoceruloplazmin i otpušta se iz jetre uglavnom vezan u Cp kako bi se koncentracija bakra u krvi održala konstantnom.

U krvi je 90-95% bakra vezano za Cp, metaloprotein koji pripada  $\alpha$ -globulinskoj frakciji. Cp sadržava 8 atoma bakra i posjeduje oksidacijsku aktivnost. Ostatak bakra (5-10%) veže se uglavnom za albumin, ali i za peptide i aminokiseline, osobito za histidin. U tijelu nema ioniziranog bakra, osim u tragovima u želudcu zbog prisutnoga HCl-a.

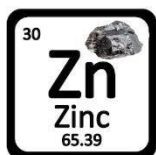
Većina bakra unesenog hranom izlučuje se stolicom, dok se manji dio izlučuje mokraćom (oko 1  $\mu$ mol, tj. 60  $\mu$ g na dan). Manjak bakra može se pojaviti u prerano rođene djece, te pri malnutriciji, malapsorpciji i kroničnim proljevima. Simptomi manjka bakra u ranoj fazi jesu neutropenija i hipokromna anemija, zatim osteoporoza, smanjena pigmentacija kože i bljedilo (zbog manjka tirozinaze), a u kasnijoj su fazi mogući neurološki poremećaji. Pri otrovanju bakrom toksični se učinci očituju mučninom, povraćanjem, bolovima u želudcu, proljevima, krvarenjem u



probavnome traktu, nekrozom jetre, grčevima, hemolizom, tahikardijom, a na kraju čovjek može pasti u komu i umrijeti.

U krvnom serumu najveći dio bakra nalazi se u Cp-u, pa obično promjene koncentracije bakra prate promjene koncentracije Cp-a. U serumu se koncentracija bakra i Cp-a mijenja s dobi. U novorođenčeta je manja i do tri puta nego u odraslih, ali se brzo povećava i djeca od 2 godine imaju najveće koncentracije. Nakon 12. godine one se smanjuju i iste su kao u odraslih osoba. Koncentracije bakra u serumu veće su u žena nego u muškaraca. Koncentracija bakra raste tijekom trudnoće te je za 2-3 puta veća tijekom zadnjeg trimestra, a nakon porođaja brzo se vraća na vrijednost unutar referentnog intervala. Ovaj se porast tijekom trudnoće povezuje s utjecajem estrogena. Oralni kontraceptivi stoga također povećavaju koncentraciju bakra u serumu. Referentni interval za bakar u serumu odraslih osoba iznosi 12.2-25.1  $\mu\text{mol/L}$ . Slične su i koncentracije u eritrocitima i u punoj krvi. U likvoru su koncentracije gotovo 8-10 puta manje, a u mokraći se nalazi do 1.25  $\mu\text{mol}$  bakra/dU. Koncentracija bakra u serumu mijenja se pri nizu bolesti, ali uzrok tih promjena nije uvijek jasan.

*Cink:*



Cink se unosi u tijelo hranom, vodom, pa čak i zrakom. Normalnom se prehranom na dan unosi 10 do 15 mg cinka. Sadržavaju ga žitarice i brašno, šećer, meso, ribe, masti, orasi itd. No, mnoge su današnje namirnice zbog pročišćavanja (rafiniranja) siromašne cinkom. Rafinirano brašno sadržava samo 20% žitnog cinka, a rafiniranjem šećera gubi se gotovo sav cink te ostaje samo 2% od ukupne količine cinka koju sadržava sirovi šećer. Zbog fitata (inozitolfosfat) u žitaricama smanjuje se apsorpcija cinka, pa organizam ne iskorištava sav cink koji prima s hranom. Zato su danas glavni izvor cinka crni ili raženi kruh, meso, riba i orasi.

Cink je potreban za rast, keratinizaciju kože i sintezu proteina. U tijelu je vezan za proteine. Poznato je više od 300 enzima za čiju je aktivnost potreban cink. Osim toga, više od 500 proteina uključenih u regulaciju transkripcije i replikacije sadržava cinkove ione. Cink se kao strukturni dio molekule nalazi u karboanhidrazi, karboksipeptidazi, alkohol-dehidrogenazi, glutamat-dehidrogenazi, laktat-dehidrogenazi, glicerol-3-fosfat-dehidrogenazi, malat-dehidrogenazi, RNA

polimerazi i DNA polimerazi, timidin-kinazi i alkalnoj fosfatazi. Već sama činjenica da je cink potreban za aktivnost tolikih enzima upućuje na njegovu važnost za metabolizam i održavanje normalne funkcije organizma te da je manjak cinka prisutan pri različitim patološkim stanjima. No, dok cink neke enzime, poput adenzin-trifosfataze, kisele i alkalne fosfataze, aktivira, druge, npr. ribonukleazu, inhibira. Zanimljivo je da cink ima aktivirajuće svojstvo samo u vrlo malim koncentracijama, dok u većim koncentracijama inhibira te iste enzime. Takav je slučaj s alkalnom fosfatazom. U tijelu odrasle zdrave osobe (70 kg) ima oko 1,3-2,3 g cinka, koji se uglavnom nalazi u stanicama, tako da je cink najzastupljeniji stanični element u tragu. Cink se u dvanaesniku i proksimalnom jejunumu brzo apsorbira u crijevnu stijenu. Najprije se veže za površinu membrana u crijevnoj stijenci, a zatim polagano prolazi kroz membrane, vjerojatno vezan na ligand koji se naziva intestinalnim proteinom bogatim cisteinskim ostacima (CRIP, engl. cysteine-rich intestinal protein), a koji omogućuje međustanični prijenos cinka. Na smanjenu apsorpciju cinka utječu neki kationi, poput kalcija i željeza, dok neke aminokiseline, poput histidina i triptofana, imaju pozitivan učinak na njegovu apsorpciju. Apsorpciju pospješuju i dugolančane masne kiseline (zasićenost i duljina lanca imaju pozitivan utjecaj). Pikolinat, citrat i fitat *in vitro* znatno inhibiraju apsorpciju stvarajući s cinkom komplekse koji su ili netopljivi ili onemogućuju vezanje cinka na receptore u mukozu. No, istraživanja *in vivo* pokazuju da se apsorpcija cinka povećava kompleksiranjem cinka s pikolinatom, za razliku od citrata ili glukonata. Cink se nalazi u stanicama gotovo svih organa u obliku kompleksa s proteinima. Najviše se nakuplja u prostati, a ima ga i u jetri, bubrezima, slezeni, gušterači, plućima, mišićima, srcu, aorti, mozgu, koži i dr. U bubrezima je cink vezan za metaloprotein metalotionein. U leukocitima je također nađen metaloprotein s cinkom. Eritrociti sadržavaju oko 10 puta više metaloproteina sa cinkom nego krvna plazma. Cink stvara i spoj s inzulinom koji, čini se, ima fiziološku ulogu. Cink također ima ulogu u održanju konfiguracije molekule RNA. U krvnoj se plazmi cink prenosi uglavnom vezan za albumin (60-70%) i za 2-makroglobulin (30-40%), dok je u maloj količini vezan za Tf i za slobodne aminokiseline. Cink se pri akutnoj intermitentnoj porfiriji izlučuje vezan s uroporfirinom u mokraći i stolici, a pri otrovanju olovom i akutnoj reumatskoj vrućici kao cink-koproporfirin. Zbog toga kod tih bolesti može doći do manjka cinka koji, isto kao i višak cinka, može uzrokovati abnormalni metabolizam hemoproteina.

## ***RASPRAVA:***

I ako se nalaze u vrlo niskim koncentracijama u našem organizmu, elementi u tragovima su nezamjenjivi za normalno funkcioniranje organizma i života uopće. Oligoelementi su neophodni u gotovo svim fiziološkim procesima jer su neophodni za normalno funkcioniranje mnogih enzima i tako imaju ključnu ulogu u metabolizmu. S obzirom na to da su važna karika u funkcioniranju živčanog, endokrinog i imunološkog sustava, jasna je njihova uloga u održavanju normalne homeostaze organizma. Elementi u tragovima utječu na rad brojnih organa i organskih sustava i zbog toga manjak ili višak njihovih udjela u tijelu izaziva brojne poremećaje i bolesti u čovjeka. S obzirom na trajanje manjka ili viška elemenata u tragovima u organizmu mogući je razvoj raznih akutnih i kroničnih bolesti. Za optimalne razine oligoelemenata važna je uravnotežena prehrana, opće zdravstveno stanje organizma, kao i okolišni čimbenici, budući da je izloženost povećanim razinama elemenata tragovima moguća i iz okoline, putem industrijskih postrojenja ili onečišćenja iz prirode. Razine oligo elemenata najčešće se određuju složenim kemijskim metodama u krvi, mokraći i drugim biološkim uzorcima, što nam omogućuje detektiranje manjka ili viška oligo elemenata u tijelu.

## ***ZAKLJUČAK:***

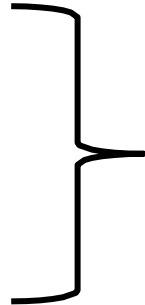
Ovim radom potvrdili smo hipotezu koju smo postavili na početku, a to je da su elementi u tragovima neophodni za normalno funkcioniranje organizma, te da će nedostatak ili višak oligo elemenata u tijelu dovesti do neravnoteže u organizmu koja će rezultirati različitim oblicima zdravstvenih poremećaja.

## ***ZAHVALE:***

Želim se zahvaliti profesorici Mariji Ranljak što mi je omogućila slobodni odabir ove interesantne teme, s kojom sam proširio svoje znanje o kemij

## **LITERATURA:**

Bojan Šarkanj  
Dubravka Kipčić  
Đurđa Vasić-Rački  
Frane Delaš  
Kata Galić  
Marijan Katalenić  
Nino Dimitrov  
Tomislav Klapac



*Kemijske i fizikalne opasnosti u hrani*

Hrvatska agencija za hranu, Osijek, 2010.

1. L. Thomas. *Clinical laboratory diagnostics*. TH-Books-Verl.-Ges., Frankfurt/Main, Germany, 1998.
2. P. Karlson. *Biokemija*. Školska knjiga, Zagreb, 1993.