

OSVEŽIMO NAŠE ZNANJE NEKE NEORGANSKE SUPSTANCE KOJE SE MOGU NAĆI U VODI ZA PIĆE I POSLEDICE PO ZDRAVLJE LJUDI

U vodi za piće, koja se svakodnevno unosi u organizam, nalazi se veliki broj hemijskih jedinjenja, organskih i neorganskih, u zavisnosti od vrste vode, porekla i prerade. Njihovo prisustvo, usled svakodnevnog konzumiranja, može negativno uticati na zdravlje ljudi, bilo direktno u organizmu bilo putem sinergičnog dejstva hemijskih supstanci koje se nalaze u vodi za piće

U radu je dat prikaz uticaja neorganskih supstanci i elemenata koje se mogu naći u vodi, njihove dozvoljene koncentracije (MDK vrednosti) i posledice koje mogu da prouzrokuju, ukoliko se nalaze u količinama većim od onih propisanih zakonom. U radu je dat akcenat na prisustvo teških metala, koji u većini slučajeva nepovoljno deluju na ljudski organizam.

Bez dovoljno vode, organizam se truje sopstvenim otrovima, koje inače bubrezi, uz pomoć vode u kojoj se rastvaraju, odstranjuju kroz urin i urinsku (mokraćnu) kiselinu. Ako organizam oskudeva u tečnosti, oslobađanje štetnih materija nije efikasno i može doći do stvaranja kamena u bubregu – **bubrežnog kamenja** (*calculus renalis*) i drugih smetnji u organima. Prisustvo vode je neophodno i u procesu varenja hrane i metabolizma. Ona nosi hranljive sastojke i kiseonik u ćelije putem krvi i pomaže rashlađivanju tela tokom znojenja.

Ljudski organizam je sastavljen od oko 70% vode, tako da bi bez dovoljno tečnosti bio ugrožen rad mišića i zglobova. Voda je potrebna i za disanje: pluća moraju biti vlažna, da bi prihvatila kiseonik i otpuštala CO₂. Na taj način dnevno se gubi oko 0,5 dm³ tečnosti disanjem, a preko kože takođe još toliko samo lučenjem znoja koji se sastoji od mineralnih soli, vode i proteina. Pošto upravo te materije treba nadoknaditi, neophodno je tokom dana popiti bar 2 dm³ tečnosti, što odgovara količini od osam (velikih) čaša vode (česmenske ili mineralne, sokova, čajeve).

Međutim, u vodi za piće, koja se svakodnevno unosi u organizam, bilo da se pije (direktnim putem), bilo putem hrane za čije se pripremanje koristi (indirektnim putem), nalazi se veliki broj jedinjenja, organskih i neorganskih, u zavisnosti od vrste vode, porekla i prerade. Njihovo prisustvo, usled svakodnevnog konzumiranja, može negativno uticati na zdravlje ljudi, bilo direktno bilo putem sinergičnog dejstva pa čak da dovede i do težih oboljenja.

Hemijske zagađujuće supstance, koje se mogu naći u vodi, su, u zavisnosti od toga kako deluju na organizam, podeljene na *toksične*, *kancerogene* i *mutagene*. Trovanje organizma izazvano ovim supstancama može biti *akutno* i *hronično*.

Akutno trovanje nastaje posle intenzivne izloženosti organizma visokim koncentracijama toksične supstance i ispoljava se odmah ili posle nekoliko dana.

Hronično trovanje nastaje posle izloženosti organizma niskim koncentracijama kroz duži vremenski period i manifestuje se posle duže kontinuirane izloženosti.

Hemijski zagađujuće supstance koje se u organizam unose preko vode za piće uglavnom imaju kumulativno dejstvo, tako da se negativni efekti po zdravlje ispoljavaju posle dužeg i kontinuiranog unošenja u organizam. Toksične hemijske supstance u organizmu se metabolički menjaju tako da njihovi metaboliti često bivaju i toksičniji od primarno uzete supstance.

Za procenu rizika po zdravlje od opasnih i štetnih hemijskih supstanci prisutnih u vodi za piće potrebno je znati njihove granične vrednosti koje predstavljaju koncentraciju ili količinu zagađujuće supstance u vodi za piće kojom se osigurava njen kvalitet i ne izaziva bilo kakav rizik po zdravlje korisnika. Na osnovu eksperimentalnih i epidemioloških istraživanja, Svetska zdravstvena organizacija (*engl. World Health Organization, WHO*) je za svaku od supstanci koje se nalaze ili se mogu naći u vodi za piće preporučila graničnu vrednost ispod koje se neće ispoljiti negativni efekti po zdravlje, kada se ta supstanca u organizam unosi preko vode za piće [1].

Lista hemijskih supstanci koje se mogu naći u vodi za piće odn. u vodi za humanu potrošnju, koje su od značaja za zdravlje ljudi, data je u tabeli 1 [2,3].

Kada se uporede vrednosti parametara za štetne neorganske supstance u preporukama EU [4] i WHO [5] identične vrednosti su za: arsen, bor, bakar, fluoride, hrom, nikal, nitrata, olovo, selen i živu.

Niže vrednosti preporučene su od strane EU za antimon i cijanide. Značajno niže vrednosti za nitrata predviđa EU u odnosu na WHO (0,1 prema 0,3 mg/dm³). Evropska Unija (EU) dozvoljava koncentraciju nitrata od 0,5 mg/dm³ prilikom hloramisanja vode i pod uslovom da je:

$$\left\{ \frac{[\text{nitrat}]}{50} + \frac{[\text{nitrit}]}{3} \right\} \leq 1$$

pri čemu su koncentracije nitrita i nitrata izražene u mg/dm³.

Adresa autora: Dr M.B. Rajković, Institut za prehrambenu tehnologiju i biohemiju, Poljoprivredni fakultet u Zemunu, Nemanjina 6, 11081 Beograd, E-mail: mbr.hari@EUnet.yu
Rad primljen: Oktobar 10, 2002.
Rad prihvaćen: Novembar 28, 2002.

Tabela 1. Lista hemijskih supstanci koje se mogu naći u vodi za piće

Table 1. A list of chemical substances that are found in drinking water

Red. broj	Naziv hemijske supstance	Dozvoljena koncentracija u vodi za piće, MDK (u mg/dm ³)
1.	Amonijak, ukupni kao N	0,1*
2.	Amonijak, slobodni organskog porekla kao N	0,05
3.	Alkil-benzen sulfonat (ABS) i ostali anjoni i anjogeni tenzidi	0,15
4.	Antimon, kao Sb	0,003
5.	Aluminijum, kao Al	0,2
6.	Arsen, kao As	0,01
7.	Barijum, kao Ba	0,7
8.	Bakar, kao Cu	0,05
9.	Berilijum, kao Be	0,0002
10.	Bor, kao B	0,3
11.	Cijanidi, kao CN ⁻	0,05
12.	Cink, kao Zn	3,0
13.	Fenolna jedinjenja kao fenoli – kod hlorisanih voda	0,001
14.	Fluoridi, kao F ⁻	1,0
15.	Fosfati, neorganski kao O	3,0
16.	Gvožđe, kao Fe	0,3
17.	Hloridi, kao Cl ⁻	200,0
18.	Hrom, kao Cr(VI)	0,05
19.	Kadmijum, kao Cd	0,003
20.	Kalcijum, kao Ca	200,0
21.	Kalijum, kao K	12,0
22.	Litijum, kao Li	1,2
23.	Magnezijum, kao Mg	50,0
24.	Mangan, kao Mn	0,05
25.	Mineralna ulja	0,01
26.	Molibden, kao Mo	0,5
27.	Natrijum, kao Na	150,0
28.	Nikal, kao Ni	0,02
29.	Nitrati, kao NO ₃ ⁻	50**
30.	Nitriti, kao NO ₂ ⁻	0,1**
31.	Olovo, kao Pb	0,01
32.	Poliakrilamid	2,0
33.	Policiklični aromatični ugljovodonici	0,0002
34.	Selen, kao Se	0,01
35.	Srebro, kao Ag	0,01
36.	Stroncijum, kao Sr	2,0
37.	Sulfati, kao SO ₄ ²⁻	200,0
38.	Vodonik-sulfid, kao H ₂ S	0,05
39.	Živa, kao Hg (u elementarnom stanju)	0,001
40.	Mineralna ulja u slučaju akcidentalnog zagađenja izvorišta od 7 dana	0,05

*Ne odnosi se na arteške i subarteške bunare

**Kada se obavlja hloraminisanje, te vrednosti koncentracije mogu se zameniti sa 0,5 za nitrite i za zbirnu koncentraciju manju od 1 za nitrite i nitrata. Ili se navodi za nitrata 10,0 mg/dm³ (kao N) odnosno za nitrite 0,005 mg/dm³ (kao N).

Kod WHO su jedino preporučene vrednosti za kadmijum niže nego u preporukama EU [6].

Za hemijske supstance koje se nalaze u vodi za piće, a imaju kancerogena svojstva, kaže se da su egzogeni kancerogeni. Egzogeni kancerogeni dele se na:

- hemijske supstance i njihove smeše,
- fizičke agense i jonizujuća zračenja, ultraljubičaste zrake, infracrvene zrake,
- biološke agense: virusi, bakterije i paraziti, i
- kombinovane agense [7].

Hemijski kancerogeni se dele u dve grupe, i to:

• **Neorganski kancerogeni:** elementi i njihova jedinjenja (As, Ni, Cd, Cr), minerali (azbest, erionit i dr.), radionuklidi, i

• **Organski kancerogeni:** alkilirajući agensi, epoksidi, laktoni, policiklični aromatski ugljovodonici, aromatična azo-jedinjenja, neke plastične mase i razna organska jedinjenja, različitog hemijskog sastava.

Prema načinu delovanja hemijski kancerogeni se dele na tri grupe:

a) Direktni kancerogeni koji izazivaju karcinom u njihovom primarnom obliku i to većinom na mestu dodira sa organizmom, tj. na koži i sluzokožama;

b) Prokancerogene supstance koje samo nakon biotransformacije u organizmu u kancerogene metabolite izazivaju maligna oboljenja izvan mesta njihovog dodira sa organizmom, i

c) Promotori ili akceleratori – supstance koje direktno ne izazivaju karcinom, ali skraćuju latentni period za pojavu ove bolesti koja je izazvana inicijatorima ili prokancerogenima. Promotori odn. akceleratori imaju neku vrstu sinergičnog dejstva sa direktnim kancerogenima.

Mehanizam delovanja hemijskih kancerogena objašnjava se teorijom alkilacije, elektronske gustine, slobodnih radikala i helatizacije.

SZO je preporučila granične vrednosti koje predstavljaju koncentraciju u vodi za piće koja se dovodi u vezu sa rizikom, reda veličine 10⁵, od pojave jednog slučajaja raka u toku života (jedan dodatni slučaj oboljenja od raka na 100.000 stanovnika koji u toku 70 godina koriste vodu za piće koja sadrži datu supstancu na nivou preporučene vrednosti).

Hemijske supstance su u odnosu na njihovu potencijalnu kancerogenost prema klasifikaciji Međunarodne agencije za ispitivanje raka (IARC) podeljene na:

- Grupa 1 – agensi koji su *dokazano* kancerogeni za čoveka;
- Grupa 2 – agensi koji su *verovatno* kancerogeni za čoveka;
- Grupa 3 – agensi za koje *postoji mogućnost* da su kancerogeni za čoveka;
- Grupa 4 – agensi koji se *ne mogu* klasifikovati kao kancerogeni za čoveka;
- Grupa 5 – agensi koji *verovatno nisu* kancerogeni za čoveka.

Klasifikacija *kancerogena* prema Međunarodnoj agenciji za ispitivanje raka (IARC), Evropskoj Uniji (EU) i

Agenciji za životnu sredinu SAD (EPA) [8] u suštini se značajno ne razlikuju i omogućavaju relativno sigurno razvrstavanje hemijskih supstanci u odnosu na kancerogenost, što je prikazano u tabeli 2.

Tabela 2. Klasifikacija hemijskih supstanci u odnosu na kancerogenost
Table 2. Classification of chemical substances according to their cancerogenity

	IARC	EU	EPA
Grupa	1	1	A
	2A	2	B
	2B	3	C
	3	–	D
	4	–	E

gde je: **1** humani kancerogen; **2A** verovatni humani kancerogen; **2B** mogući humani kancerogen; **3** nedovoljno poznati; **4** verovatno nije kancerogen.

FIZIOLOŠKI ZNAČAJ VODE ZA PIĆE

Voda je osnovni sastojak svih živih organizama i ima presudnu ulogu u održavanju strukture i funkcije svih ćelija i tkiva organizma. Ukupna količina telesne vode u organizmu u zavisnosti je od telesne mase, pola i životne dobi. U odnosu na telesnu masu, gojazne osobe sadrže manji procenat vode nego mršave, a u odnosu na pol u odraslog muškarca telesna voda čini od 45 do 75% telesne mase, a u odrasle žene zbog veće količine potkožnog masnog tkiva od 35 do 65%. Kod novorođenčeta telesna voda čini 74 do 80% od ukupne telesne mase. Od ukupne količine vode u organizmu intracelularna voda čini 50%, ekstracelularna voda 15% i plazma 5%. Količina vode u različitim tkivima i organima u organizmu je različita. Najviše vode nalazi se u koži, mišićima i vezivnom tkivu i kreće se od 75 do 85%, a najmanje vode ima u koštanom, rskavičnom i masnom tkivu i to od 20 do 30%. Pluća, bubrezi i mozak sadrže visok procenat vode, koji se kreće od 75 do 85%.

Potrebe za vodom za piće za zadovoljavanje osnovnih fizioloških funkcija odrasle osobe, a prema normama Međunarodnog instituta za sportsku medicinu su: različite oko 2,0 dm³ vode za slabije aktivnog odraslog čoveka sa telesnom masom od oko 80 kg, a za sportiste iste telesne mase do 2,8 dm³. Uzimanje tečnosti treba rasporediti u toku celog dana i uveče.

Količina telesne vode u organizmu zavisi od njenog unošenja i kontinuiranog gubljenja iz organizma, tako da varira od pozitivnog do negativnog bilansa. Ako dođe do povećanog sadržaja elektrolita u ekstracelularnom prostoru zbog povećanog unošenja soli ili nemogućnosti bubrega da ih izluči, organizam zadržava vodu. Ako dođe do smanjenja elektrolita u ekstracelularnom prostoru zbog nedovoljnog unošenja ili povećanog gubitka soli, organizam izlučuje veće količine vode i tako održava stalni *osmotski pritisak*.

Voda se u organizam najčešće unosi konzumiranjem tečnosti *per os* i to kao voda za piće, zatim u vidu napitaka ili preko hranljivih materija koje sadrže vodu u visokom procentu. Odrasla zdrava osoba u toku 24 h prosečno unese u organizam oko 0,5–1,5 dm³ vode u obliku raznih napitaka i vode za piće, dok se preko hrane unese još oko 0,7–1,0 dm³. U organizmu postoji i tzv. *metabolička voda*, koja nastaje oksidacijom masti, ugljenih hidrata i proteina, a takve vode dnevno u organizmu nastane 0,2–0,4 dm³.

Gubljenje vode iz organizma uglavnom se ostvaruje preko kože, pluća, bubrega i gastrointestinalnog trakta. Preko kože i pluća u toku 24 h organizam prosečno izgubi od 0,8 do 1,2 dm³ vode, a pri povišenoj temperaturi može se dnevno izgubiti i do 1,5 dm³. Preko bubrega, odn. urinom, dnevno se prosečno izluči od 0,6 do 1,0 dm³ vode, a preko gastrointestinalnog trakta odn. izmetom 50–200 cm³.

U slučaju dijaree, ekskrecije i povećane temperature tela, može se za 24 h izgubiti i do 6,0 dm³ vode i soli iz organizma što može dovesti do poremećaja vodeno-sone homeostaze. Organi na razne načine odgovaraju na nedovoljno vode. Na primer, u koštanim tkivima je oko 20%, a u mozgu 75% vode. Zato se dehidracija, pre svega, odražava u radu mozga.

Kada se u organizam ne unosi *potrebna* količina vode javlja se žeđ, suvoća u ustima, otežano gutanje, smanjenje izlučivanja mokraće, gubitak telesne mase, malaksalost i povećanje telesne temperature, a ponekad može doći i do pojave halucinacija. *Dehidracija* organizma, koja se dešava najčešće zimi kada se pije manje vode, izaziva glavobolju, povećani zamor i rasejanost. Ukoliko se u organizam *ne unosi* voda, za nekoliko dana dolazi do smrti. Međutim, ako se voda daje po potrebi, a spreči unošenje hrane, organizam se može održati u životu nekoliko nedelja bez obzira na gubitak celokupnog masnog tkiva i oko 50% ukupnih proteina.

Preporučeno je da se ujutru popije čaša vode, u toku dana uzima gutljaj vode svakih 45 min i da se po pojavi odmah utoli žeđ, potrebnom količinom vode za piće. Kofein i alkohol pojačavaju mokrenje, pa zato, kada se pije kafa ili razna alkoholna pića, ne treba zaboraviti da se popije i neka čaša vode. Ne sme se jesti suva hrana! Za vreme fizičkih opterećenja najbolje je žeđ utoliti čašom vode, a ne voćnim sokom, koji sadrži više od 10% ugljenih hidrata, što usporava transport vode u organizmu.

Hemijske supstance u vodi za piće

Hemijske supstance koje se nalaze ili se mogu naći u vodi za piće uglavnom su podeljene na organske i neorganske, a kao posebna grupa se izdvajaju pesticidi, dezinfekciona sredstva i sporedni proizvodi dezinfekcije. Sa aspekta uticaja na zdravlje, mogu se podeliti na:

- supstance čiji je unos u organizam poželjan, jer učestvuju u mnogim oksido-redukcionim i metaboličkim procesima u organizmu;

- supstance koje na organizam deluju toksično, ukoliko se u vodi za piće nađu u većim količinama od preporučenih;

- supstance koje mogu imati kancerogeno dejstvo na organizam.

Za toksične i kancerogene supstance u vodi za piće neophodno je znati njihove granične vrednosti ispod kojih se neće ispoljiti negativni efekti na zdravlje. Kako je do sada u vodi za piće identifikovano više od 1.000 hemijskih jedinjenja organskog i neorganskog porekla, nije moguće, a nije ni neophodno, da se za svaku od njih odrede preporučene granične vrednosti, pa se stoga pri određivanju hemijskih supstanci za koje se izračunavaju preporučene granične vrednosti polazi od dva osnovna kriterijuma:

- relativno česta pojava u vodi za piće u značajnim koncentracijama, i

- prisustvo hemijskih supstanci koje su potencijalno opasne za ljudsko zdravlje.

Dosadašnja ispitivanja u svetu su pokazala da postoje dva osnovna izvora informacija o efektima na zdravlje izazvanih dejstvom hemijskih supstanci prisutnih u vodi za piće, a koji se koriste kod izračunavanja njihovih preporučenih graničnih vrednosti. *Prvi* izvor su studije koje proučavaju humanu populaciju. Međutim, vrednost takvih istraživanja je najčešće ograničena zbog nedostatka kvantitativnih informacija o koncentracijama kojima su ljudi bili izloženi tokom istraživanja, ili o istovremenoj izloženosti delovanju drugih agenasa. *Drugi*, mnogo češće korišćen izvor su toksikološke studije na eksperimentalnim životinjama. Međutim, u eksperimentima obično se koriste visoke doze toksičnih supstanci, pa je neophodno izvršiti ekstrapolaciju dobijenih rezultata do niskih doza kojima je ljudska populacija najčešće izložena.

Po preporukama WHO [4,5] granične vrednosti za hemijske supstance u vodi za piće se izračunavaju na osnovu *tolerisućeg (podnošljivog) dnevnog unosa* (TDI) i na osnovu relativne kancerogenosti za potencijalno kancerogene supstance. Izračunavanje *graničnih vrednosti* (GV) za hemijske supstance u vodi za piće na osnovu *tolerisućeg dnevnog unosa*, vrši se po formuli:

$$GV = \frac{TDI \cdot bW \cdot P}{C}$$

gde je: GV (*engl. guideline value*) – preporučena *granična vrednost* (izražena u mg ili (g na 1 dm³ vode za piće); TDI (*engl. tolerable daily intake*) – *tolerisući dnevni unos* koji predstavlja procenjenu količinu supstance u hrani ili vodi (izraženu na jedinicu telesne mase (mg/kg ili µg/kg) koja se svakodnevno konzumira tokom života bez rizika za zdravlje; bW (*engl. body weight*) – *telesna masa* (izražena u kg); P – *deo prihvatljivog dnevnog unosa* koji pripada vodi za piće. Upotrebljavaju se vrednosti u opsegu 1–100 % u zavisnosti od stepena izloženosti preko hrane i vazduha; C (*engl. consumption*) – dnevno konzumiranje vode za piće, koje po preporukama WHO

iznosi 2,0 dm³ za odrasle, 1,0 dm³ za dete do 10 kg telesne mase i 0,75 dm³ za dete do 5 kg telesne mase.

Tolerisući dnevni iznos se izračunava po formuli:

$$TDI = \frac{NOAL \text{ ili } LOAEL}{UF}$$

gde je: NOAEL (*engl. no observed adverse effect level*) – nivo bez opaženih neželjenih efekata definisan kao najveća doza ili koncentracija hemijske supstance pri kojoj tokom analiza i eksperimenata nisu opaženi neželjeni efekti na zdravlje; LOAEL (*engl. lowest observed adverse effect level*) – najniži opaženi nivo neželjenih efekata definisan kao najniža doza ili koncentracija hemijske supstance pri kojoj su tokom eksperimenata i praćenja promena opaženi neželjeni efekti na zdravlje; UF (*engl. uncertainly factor*) – *faktor nesigurnosti* čija vrednost zavisi od prirode toksičnog efekta, obima i vrste populacije koju treba zaštititi, kvaliteta informacija o toksičnosti hemijske supstance i uvek se određuje od slučaja do slučaja.

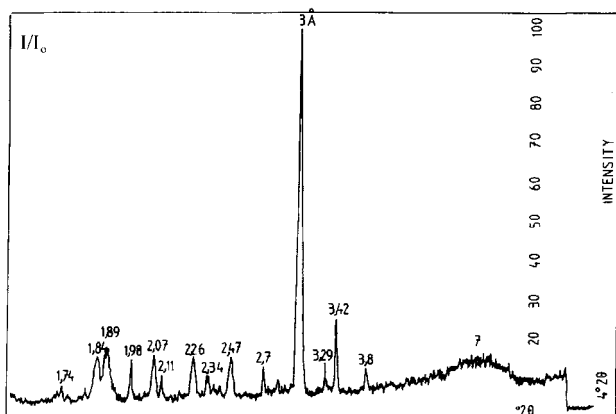
Određivanje *faktora nesigurnosti* zahteva brižljivu analizu raspoložive naučne evidencije, kao i mišljenje i ocenu eksperata. Ukupan *faktor nesigurnosti* ne sme da prekorači 10.000, jer u protivnom dobijene vrednosti za TDI postaju u velikoj meri nepouzdanе i netačne, tako da gube svaku verodostojnost. Iz tih razloga, za hemijske supstance u vodi za piće za koje vrednost *faktora nesigurnosti* prelazi 1.000, preporučene granične vrednosti se upotrebljavaju kao privremene vrednosti [9].

Za genotoksična jedinjenja koristi se linealiziran višestapni model sa ekstrapolacijom zasnovanoj na niskim dozama, pri čemu se koristi model osobe telesne mase 60 kg sa dnevnim unosom vode od 2,0 dm³. Predložene su preporučene vrednosti koje odgovaraju više od 95% poverljivom intervalu za prekomerni rizik kancera od 10⁻⁴, 10⁻⁵, 10⁻⁶ tokom prosečnog trajanja života.

NEORGANSKE SUPSTANCE U VODI ZA PIĆE

Ukus i miris vode se razlikuju i zavise od sastojaka koji su u njoj rastvoreni i od njihove količine, npr. slanost ukus daje natrijum-hlorid, lužast gvožđe, gorak magnezijum i natrijum-sulfat, kisekast CO₂ itd. [4,9–12].

Na osnovu ispitivanja sastava kamenca [13] utvrđeno je prisustvo sledećih elemenata (u obliku odgovarajućih jedinjenja): kalcijum, magnezijum, natrijum, gvožđe, mangan, silicijum, aluminijum, titan, olovo, cink, bakar, stroncijum, litijum, uran, nikal, kadmijum, hrom u ukupnoj koncentraciji od 55,83%. **Gubitak žarenjem** na 1000°C predstavlja oslobođeni CO₂ koji nastaje prelazom karbonata kalcijuma i magnezijuma u okside. Tako, žarenjem 87,73 g CaCO₃ nastaje 50,25 g CaO i 39,48 g CO₂. Na osnovu toga u gubitku žarenja (43,98%) CO₂ iz kalcijum i magnezijum karbonata učestvuje sa 95,36%, a ostatak do 100% najčešće potiče od prisutnih organskih materija, kao i isparljivih supstanci nastalih hlorisanjem vode.



Slika 1. Difraktogram uzorka kamenca
Figure 1. X-Ray diffraction analysis of a limescale sample

Takođe, ispitivanja izvršena u našem prethodnom radu [14], potvrdila su da je osnovna supstanca kamenca CaCO_3 (slika 1), što je u dobroj saglasnosti sa sastavom vode za piće koji je dobijen analizom vode [2].

Uticaj prisustva alkalnih i zemnoalkalnih metala u vodi za piće na zdravlje ljudi

Natrijum i kalijum. Iako imaju veliku sličnost u hemijskim, njihove biološke funkcije su različite. U plazmi ćelije velika je koncentracija K^+ jona, dok je relativno mala koncentracija Na^+ jona. Joni K^+ učestvuju u aktivnostima unutar ćelije, dok joni Na^+ učestvuju u procesima na spoljašnjoj površini ćelije i ta dva jona *ne mogu* zameniti svoje uloge.

U organizmu odraslog čoveka nalazi se 0,14% natrijuma (oko 115 g), približno 1/3 je u obliku neorganskih jedinjenja i nalazi se u koštanom tkivu. Ostale 2/3 nalaze se u vanćelijskoj tečnosti organizma u obliku jona. Sadržaj natrijuma u krvi iznosi 310–340 mg. Natrijum održava osmotski pritisak, kiselo–baznu ravnotežu, normalnu osetljivost mišića i propustljivost ćelija, optimalni nivo šećera u krvi, reguliše metabolizam vode (nivo tečnosti u organizmu radom bubrega). Natrijum se brzo resorbuje u tankom crevu, a izlučuje se najvećim delom urinom i znojenjem. Potreba za natrijumom nije definitivno utvrđena, tako da je za održavanje metaboličkih procesa dovoljno 2,0 g, a ljudi u svojoj ishrani obično upotrebljavaju oko 4–6 g/dan. Nedostatak natrijuma u organizmu može nastati preteranim znojenjem, povraćanjem, dijarejom, pri hroničnoj bolesti bubrega, Adisonovoj bolesti. Nedostatak natrijuma u organizmu dovodi do pada krvnog pritiska (nepravilnog rada srca), malaksalosti, nesаницe, grčeva ruku, nogu (oticanje stopala i članaka), stomaka, gađenja, psihičkih poremećaja i dr. Maksimalno dozvoljena koncentracija natrijuma u vodi je relativno visoka (150 mg/dm^3) što ukazuje na odsustvo toksičnih efekata usled njegovog prisustva u vodi.

U organizmu odraslog čoveka nalazi se 0,2% kalijuma (oko 250 g). Kalijum zadržava vodu u organizmu, reguliše osmotski pritisak, učestvuje u održavanju kiselo–bazne ravnoteže, reguliše potencijal ćelijske membra-

ne. Kalijum se prvenstveno nalazi unutar ćelije (95%) a u međućelijskoj tečnosti ga ima oko 5%. Kalijum koji se nalazi u tečnosti izvan ćelija utiče na aktivnost mišića srca, pa je uloga kalijuma zbog toga veoma značajna. Učestvuje u funkcionisanju rada većeg broja enzima, a naročito je važan za metabolizam ugljenih hidrata, kod građenja puferskih sistema, procesa pojačanog izlučivanja natrijuma i dr. Kalijum se lako resorbuje, ali se i vrlo lako izlučuje iz organizma. Maksimalno dozvoljena koncentracija u vodi za piće je oko 10% od vrednosti za natrijum i iznosi $12,0 \text{ mg/dm}^3$, jer se unosi u velikim količinama i hranom, pa se relativno lako zadovoljavaju potrebe čoveka koje iznose 2–4 g/dan.

Kalcijum se u organizmu čoveka nalazi u velikim količinama (1,5–2% telesne mase). Tako čovek telesne mase od 70 kg sadrži 1,2 kg kalcijuma, a od toga 99% se nalazi u skeletu, kostima i zubima, u obliku hidroksiapatita. Ostatak od 1% kalcijuma nalazi se u telesnim tečnostima i mekim tkivima, delimično u obliku jona, delimično vezan za proteine (albumine). Jon Ca^{2+} ima važnu ulogu u koagulaciji krvi, permeabilnosti ćelijskih membrana, osetljivosti srca, mišića i nerava. Resorbuje se samo 10–30% iz hrane, a resorpcija kalcijuma vrši se u gornjim delovima crevnog trakta. Maksimalna dozvoljena koncentracija kalcijuma u vodi je najveća i iznosi 200 mg/dm^3 a uslovljena je pre svega tvrdoćom vode. Step en usvojenosti kalcijuma od strane organizma zavisi od odnosa kalcijum: fosfor, koji mora biti 2:1, jer se pri nižem odnosu fosfor vezuje za kalcijum.

Magnezijum je veoma zastupljen u čovekovom organizmu i učestvuje u brojnim biohemijskim i fiziološkim procesima. Magnezijum učestvuje u procesima biosinteze proteina, metabolizmu masti, oksidaciji masnih kiselina, procesima glikolize. Prisustvo magnezijuma u vodi za piće je različito u zavisnosti od porekla vode i kreće se od 10 do 130 mg/dm^3 . Preporučena granična vrednost za magnezijum u vodi za piće je ograničena na 50 mg/dm^3 , a dnevne potrebe organizma iznose od 200 do 300 mg.

Kako je magnezijum odgovoran za brojne procese u organizmu, njegov nedostatak može da izazove promene na nervnom sistemu, mišićima, gastrointestinalnom traktu, kardiovaskularnom sistemu, reproduktivnim organima, u toku trudnoće.

Epidemiološke studije su pokazale da je u oblastima gde nema magnezijuma u vodi za piće stopa smrtnosti od kardiovaskularnih bolesti visoka, a u oblastima gde je sadržaj magnezijuma u vodi veći, smrtnost od ovih oboljenja znatno niža (do 40%). Višak magnezijuma u organizmu se veoma retko javlja.

Prirodne mineralne vode sa visokim sadržajem magnezijuma mogu se koristiti kao pomoćna lekovita sredstva u lečenju oboljenja koja su praćena nedostatkom magnezijuma kao što su infarkt miokarda, hipertenzija, poremećaji srčanog ritma, šećerna bolest, konvulzivna stanja, a takođe ima i diuretiko dejstvo pa pospešuje eliminaciju tečnosti iz organizma.

Uticaj prisustva teških metala u vodi za piće na zdravlje ljudi

Teški metali ne mogu da se unište i iščeznu, mogu samo da se rastvore, zadrže u mulju i rečnim sedimentima, a da zatim nastave svoj put i premeste se iz jedne sredine koju su zagađivali u neku drugu i da tako uđu u biološki lanac ishrane. Teški metali se tako mogu pronaći na onim površinama gde ih ranije nije bilo, ali je nemoguće pretpostaviti da li bi u tom slučaju njihove koncentracije bile iznad ili ispod propisanih granica [10–12].

Teški metali na vodene biljke deluju različito, ali u veoma zagađenim oblastima, biljke na njih "reaguju" smanjenjem raznovrsnosti i gustine populacije. Slične promene mogu da se zapaze i u umereno ili slabo zagađenim vodama, a uz sve to reakcija populacije vodenih biljaka na dejstvo teških metala u velikoj meri zavisi i od niza prirodnih promenljivih parametara vodene sredine, kao što su osvetljenost i temperatura.

Mnoge vodene biljke mogu da se adaptiraju na dejstvo teških metala, pa njihovo prisustvo u veoma zagađenim vodama može da odražava upravo prilagodjenost biljaka na izmenjene uslove vodene sredine. Zbog ove činjenice moguća je nepravilna ocena o razmerama i intenzitetu zagađenosti. To, takođe, može da se dogodi i zbog sposobnosti algi da formiraju morfološki nejasno izražene vrste od kojih svaka može imati posebne uslove rasta i, shodno tome, različito reagovati na dejstvo zagađujućih supstanci. Velika raznovrsnost beskičmenjaka otežava uočavanje reakcija na dejstvo teških metala, dok se, kada je o ribama reč, njihov uticaj najčešće posmatra kroz smanjenje plodnosti i brzinu rasta.

Štetno dejstvo neorganskih supstanci koje se mogu naći u vodi, prikazano je tabeli 3.

Gvožđe, prema ulozi koju ima u organizmu, pripada mineralnim supstancama, a prema količini u kojoj se nalazi u organizmu pripada grupi mikroelemenata.

Tabela 3. Štetno dejstvo teških metala na organizam
Table 3. Harmful influence of heavy metals on the body

	Nikal	Arsen	Kadmijum	Živa	Olovo	Hrom
Mozak						
Srce						
Pluća	Rizik od raka, ima ga u dimu cigareta	Rizik od raka				
Želudac						
Jetra						
Bubrezi						
Creva						
Drugi defekti	Rak nosne šupljine	Nervni sistem	Anemije, krte kosti	Oštećenje fetusa, iritacija kože	Oštećenje fetusa, anemija	

Gvožđe u vodu najčešće dospeva iz zemljišta kroz koje protiče voda, tzv. *primarno gvožđe*, i najčešće se susreće kod voda poreklom iz reni–bunara i dubokih arteških bunara, ili cevi kroz koje voda protiče, tzv. *sekundarno gvožđe*. Dozvoljena količina gvožđa u vodi za piće iznosi 0,3 mg/dm³ (do 0,45 mg/dm³ za vreme vanrednog stanja) [15], a povećana količina nema direktnog uticaja na zdravlje. Međutim, takva voda ima metalni ukus, obojena je bojom rđe, pa je nepogodna za piće. Veća količina gvožđa u vodi potpomaže razvoj *Feruginoznih* bakterija koje stvaraju neprijatan miris i ukus vode, a ukoliko se nagomilavaju u većim količinama mogu dovesti do začepjenja i prskanja cevi što dovodi do prodora patogenih mikroorganizama i sekundarnog zagađenja vode.

Nikal stimuliše sintezu aminokiselina u ćeliji, ubrzava regeneraciju proteina plazme krvi, normalizuje sadržaj hemoglobina kod obolelih. Jon nikla(II) (ovo oksidaciono stanje se može smatrati jednim stabilnim oksidacionim stanjem) je stimulator građenja krvi. Utiče na funkciju pankreasa, pri građenju insulina. Ima ga u jetri. U biljkama srednji sadržaj nikla je oko 5 · 10⁻⁵%, dok je u živim organizmima dva puta viši. Nikal se resorbuje preko digestivnog trakta i respiratornih puteva. Nikal se iz hrane resorbuje u količini od 10% i manje. Izlučuje se iz organizma preko fecesa i urina. Kod odraslih ljudi, koji unose normalan mešani obrok, sadržaj nikla iznosi od 0,3 do 0,6 mg/dnevno. Voće, krtole i zrnevlje sadrže 0,15 do 0,35 µg/g nikla u poređenju sa 10 puta višim količinama prisutnim u lišću povrća. Čaj (7,6 µg/g) i ostrige (6 µg/g suve mase) imaju izuzetno visok sadržaj nikla, dok meso, jaja i mlečni proizvodi ne sadrže značajnije količine. Nikal je relativno netoksičan u količinama koje se unose pri normalnoj ishrani hranom i vodom. U povećanim koncentracijama može izazvati promene u respiratornom traktu sa pojavom tumora, a takođe i promene na koži. Izaziva mutacije na p53 genu i deluje kancerogeno u sadejstvu sa V–Ha–Ras onkogenom.

Sadržaj nikla u vodi je uglavnom nizak i kreće se u vrednostima do 10 µg/dm³ u rekama i izvorima (dozvoljeno 0,02 mg/dm³). Više koncentracije nađene su u blizini industrijskih oblasti.

Bakar se u vodi primarno može naći u oblastima gde se nalaze rudnici bakra, a mnogo češće u vodu dospeva preko vodovodnih cevi. U zavisnosti od tvrdoće vode, vrednosti pH, temperature, koncentracije anjona, voda iz vodovodnih cevi može da sadrži i nekoliko mg/dm³ bakra, a ukoliko je stajala u vodovodnim cevima 12 i više časova, koncentracija bakra može biti i viša od 22 mg/dm³. Bakar je visokotoksičan metal za većinu vrsta vodenog bilja i za ovaj deo živog sveta (naročito za slatkovodne ribe) jedino je otrovnija živa. Na dejstvo bakra naročito su osetljive plavozelene alge. Ovaj metal predstavlja jak otrov za većinu slatkovodnih i morskih beskičmenjaka. Maksimalno dozvoljena vrednost bakra u vodi za piće iznosi 2 mg/dm³ (do 3 mg/dm³ za vreme vanrednog stanja) [15].

Bakar u većim količinama menja ukus vode, međutim, voda može biti prihvatljiva za piće i neće negativno uticati na zdravlje i pri većim koncentracijama od preporučenih.

Bakar pripada grupi esencijalnih mikroelemenata i učestvuje u mnogim oksido–redukcionim procesima u organizmu, a preporučeni dnevni unos je od 1,5 do 3 mg, mada ima autora koji preporučuju unos do 6 mg bakra dnevno.

Sadržaj bakra u morskim ribama obično je veći nego u onima koje žive u slatkim vodama i to zbog povišene bioaktivnosti bakar(II)–hlorida. On u ribe dospeva uglavnom putem hrane, a ne putem vode, pa nivo njegovog sadržaja u ovim organizmima ne odražava stepen zagađenja vode.

Mangan pripada grupi esencijalnih oligoelemenata i ima važnu ulogu u metabolizmu kalcijuma i fosfora kao i u održavanju reproduktivnih funkcija u organizmu. Mangan se unosi uglavnom inhalacijom (profesionalna izloženost), zatim hranom, a mnogo manje vodom za piće. Preporučena granična vrednost za mangan u vodi za piće iznosi $0,05 \text{ mg/dm}^3$ (do $0,2 \text{ mg/dm}^3$ za vreme vanrednog stanja) [15]. Smatra se da je voda ispravna u slučaju da u 20% merenja koja nisu uzastopna u toku godine vrednost koncentracije dostigne $0,1 \text{ mg/dm}^3$ (frekvencije merenja po važećem Pravilniku) [2].

Trovanje manganom najčešće nastaje usled profesionalne izloženosti većim koncentracijama mangana, a do sada nema evidentiranih podataka o toksičnom dejstvu na organizam koji se mogu povezati sa njegovim unosom preko vode za piće.

Arsen se može naći u podzemnim i površinskim vodama i to najčešće u obliku svojih jedinjenja. Neorganska jedinjenja arsena su kancerogena pa su više opasna za organizam od njegovih organskih jedinjenja. Arsen može dospeti u podzemne vode kao posledica prirodnih erozionih procesa od jalovišta rudnika, deponije otpadaka farmaceutske industrije, industrije boja ili pesticida.

Sadržaj arsena u podzemnim vodama kreće se od 1 do $50 \mu\text{g/dm}^3$. U našoj zemlji arsena ima u podzemnim vodama na teritoriji Vojvodine i to u koncentraciji većoj od $10 \mu\text{g/dm}^3$.

Na osnovu eksperimentalnih i epidemioloških istraživanja, arsen je svrstan u Grupu 1, što znači da je dokazano kancerogen za čoveka [16–19]. Posle olova, arsen predstavlja najveći toksikološki višak za žive organizme. Resorpcija neorganskih jedinjenja arsena putem gasno–intestinalnog trakta zavisi od njihove rastvorljivosti. Natrijum–arsenit je lako rastvoran, brzo se resorbuje i jako je toksičan. Arsen(III)–oksid je, suprotno prethodnom, slabo rastvoran, sporo se resorbuje i skoro nepromenjen izlučuje fecesom. O resorpciji organskih jedinjenja malo je poznato. Arsen se akumulira u jetri odakle se sporo oslobađa i raspoređuje u druga tkiva. Posle dužeg unošenja u organizam, arsen pokazuje tendenciju da se taloži u kostima, koži a iščezava iz mekih tkiva. Kada se

deponuje u keratinizirane ćelije kose, ostaje trajno u njoj. Ljudska kosa zbog toga može da posluži u dijagnozi trovanja arsenom (dobija "sjajnu" boju). Arsen se izlučuje urinom, fecesom, znojem i mlekom. Brzina ekskrecije zavisi od vrste jedinjenja i obično je u obrnutom odnosu sa toksičnošću tog jedinjenja.

Neorganski preparati arsena smatraju se toksičnijim od organskih, od kojih je najtoksičniji As_2O_3 . Jedinjenja arsena(III) su toksična uglavnom zbog vezivanja za tiol (–SH) grupu liponske kiseline, dela lipotiamid pirofosfata, osnovnog koenzima koji učestvuje u oksidativnoj dekarboksilaciji pirogroždane i alfa–keto–flutarne kiseline, čime se remeti proces ćelijske respiracije. Arsen se slabo vezuje sa tkivne proteine i nije kumulativan. Duža upotreba arsena može dovesti do navikavanja na otrov, te adaptirane osobe mogu bez posledica uneti u organizam i mnogo veće količine od letalne doze. Arsen(III) blokira enzime na specifičan način i mnogo je toksičniji od arsena(V). Smatra se da jedinjenja As(V) postaju toksična nakon transformacije u As(III). Arsen šteti srcu, plućima, želucu, jetri i bubrezima. Može da izazove rak pluća i bubrega, a negativno utiče i na nervni sistem. Zbog toga je granična vrednost za arsen u vodi za piće koja je ranije iznosila $0,05 \text{ mg/dm}^3$ smanjena na $0,01 \text{ mg/dm}^3$.

Međutim, arsen se u organizam najviše unosi hranom (neorganski arsen oko 25% i organski oko 74%) a mnogo manje vodom i vazduhom, osim u blizini industrijskih izvora.

Akutno trovanje arsenom dovodi do promena u centralnom nervnom sistemu, gastrointestinalnom i respiratornom sistemu kao i na koži, može izazvati komu, a u količini od $70\text{--}180 \text{ mg/dm}^3$ dovodi do smrti. *Hronično trovanje* manifestuje se opštom mišićnom slabošću, gubitkom apetita, mučninom i promenama na koži. Trovanje kože manifestuje se hiperpigmentacijom kože, hiperkeratozom, polineuritisom ("arsenasti polineuritis") i uglavnom se javlja kod visoke profesionalne izloženosti arsenu, a takođe i kod stanovništva koje dugo koristi vodu za piće sa visokim koncentracijama arsena. Posle apsorpcije arsen se deponuje u jetri, bubrezima, slezini a naročito u keratinskim tkivima.

Olovo u vodi za piće potiče iz olovnih vodovodnih cevi, PVC cevi koje sadrže olovnu komponentu ili iz česme odn. kućnih priključaka i armature. Brzina rastvaranja olova iz olovnih cevi zavisi od: koncentracije hlorida, vrednosti pH, kiseonika, temperature, tvrdoće i vremena zadržavanja vode u cevima. Olovo u vodu može dospeti iz lemljivih spojeva cevi a količina olova u vodi za piće može se smanjiti kontrolom korozije i podešavanjem vrednosti pH vode u sistemu za distribuciju. Istraživanja u Ontariju, Kanada, pokazala su da voda za piće sadrži od $1,1$ do $3,7 \mu\text{g/dm}^3$, a u Glazgovu, Škotska, je recimo koncentracija olova u 40% ispitivanih uzoraka vode dostigla vrednost od oko $10 \mu\text{g/dm}^3$.

Na osnovu novijih eksperimentalnih istraživanja, olovo i neorganska jedinjenja olova svrstana su u Grupu

2 [16–19], što znači da su verovatno kancerogena za čoveka, pa je ranija granična vrednost od $0,05 \text{ mg/dm}^3$ smanjena na $0,01 \text{ mg/dm}^3$.* Gotovo da nema organa kome ne pretil opasnost od olova. Ono napada mozak, srce, pluća, želudac, jetru, bubrege i creva a uz to, izaziva oštećenje fetusa i anemiju.

Opasnost od trovanja olovom preko vode za piće postoji kod upotrebe novih olovnih vodovodnih cevi. Ipak, trovanja olovom nastaju uglavnom kod profesionalne izloženosti, a simptomi se ispoljavaju u vidu olovnog polineuritisa, encefalopatije, anemije i želudačno-crevnih poremećaja.

Visoki sadržaj olova nađeni su u onim biljkama koje žive pri dnu i u veoma zagađenim vodama. Biljke u morima i estuarijumima sadrže niže koncentracije olova nego u slatkim vodama. Neorgansko olovo je za biljke manje toksično od bakra i jedinjenja žive. Većina beskičmenjaka koji žive pri dnu, kao i planktonskih vrsta, ne izvlači olovo ni iz hrane ni iz vode, i ono je za ove organizme manje toksično od bakra, kadmijuma, cinka i žive, ali je otrovnije od nikla, kobalta i mangana. U morskim i slatkovodnim vodama, akumulacija olova je, po pravilu, neznatna i ne predstavlja opasnost za čoveka pri upotrebi ribe u ishrani. Izuzetak su samo slučajevi izuzetno velikih zagađenja. Metilovanje olova se u prirodnim uslovima retko dešava. Međutim, organska jedinjenja olova u velikim količinama dospevaju u vodu iz veštačkih izvora. Uprkos činjenici da se organska jedinjenja olova u vodi retko akumuliraju, treba naglasiti da su veoma otrovna i da predstavljaju određenu opasnost, zbog čega je, pri oceni dejstava zagađujućih supstanci na ribe, neophodno razdvojiti uticaj neorganskog olova od onog koje donose njegova organska jedinjenja.

Hrom se u vodi uglavnom nalazi u obliku njegovih soli. Soli Cr(VI) imaju veću rastvorljivost od soli Cr(III). Eksperimentalna istraživanja na životinjama su pokazala da je Cr(VI) kancerogen, ukoliko se u organizam unosi inhalacijom, a svrstan je u Grupu 1 kancerogena. Preporučena granična vrednost za Cr(VI) koji je dokazano kancerogen i toksičan iznosi $0,05 \text{ mg/dm}^3$, dok granična vrednost za Cr(III) nije određena. Međutim, u Zakonu se navodi samo ukupni hrom čija MDK vrednost za redovne prilike iznosi $0,05 \text{ mg/dm}^3$ [2]. U organizam se najviše unosi hranom dok vodom i vazduhom manje, osim kod profesionalne izloženosti gde je zagađeni vazduh najveći izvor hroma. Hrom se uglavnom apsorbuje kroz gastrointestinalni trakt i u stanju je da prođe kroz ćelijsku membranu. Hrom može da ošteti pluća, želudac, jetru i bubrege. Mnoge epidemiološke studije potvrdile su povezanost povećane smrtnosti od raka pluća i profesionalne izloženosti povećanim koncentracijama hroma.

Živa. Zbog široke upotrebe žive i njenih neorganskih i organskih jedinjenja i zagađivanja biosfere sa ži-

vom su mnogostruka, sa mogućnošću akutnog i hroničnog trovanja putem ingestije ili inhalacije. Životinje bivaju izložene dejstvu Hg(II) jona preko vazduha, zemljišta i vode, a takođe i preko hrane. Živi organizmi mogu akumulirati Hg(II) ukoliko se nalazi u većoj koncentraciji. Poseban značaj imaju organska jedinjenja (metilmerkuri i dimetilmerkuri) pošto se duže zadržavaju u tkivu i imaju specifično dejstvo na centralni nervni sistem. Skoro 20% ljudi unosi živu putem hrane, ribom i drugom morskom hranom. Metilmerkurna jedinjenja rastvorna su u lipidima i stepen resorpcije iznosi od 60 do 100% od unete količine. Posle ingestije, ova jedinjenja se mogu naći u svim tkivima, a zatim u mišićima, mleku, jajima, kosi, perju, fetusu, ali najveće količine akumuliraju proteine mozga, jetre, bubrege i gastro-intestinalnog tkakta. Živa(II) je jak prito-plazmatičan otrov sa izrazitim afinitetom prema *tiol-* ($-SH$, sulfhidrilnoj) grupi tkivnih proteina, određenih enzima i njihovoj interaktivaciji. Organska jedinjenja, naročito mono-metil živa, su toksičnija zbog brže penetracije u različita tkiva (moždana, jetre, bubrežna) sa tendencijom akumulacije. Tako se koloidna struktura ćelije i enzima menja sa nastankom metaloproteina. Takođe se oštećuje interstinalni epitel čijim odbacivanjem se eliminiše nagomilana živa.

Smatra se da se ukupna živa u zagađenoj vodi nalazi u obliku neorganske žive, tako da verovatno ne postoji bilo kakav rizik od unošenja u organizam organske žive putem vode za piće. Međutim, postoji realna mogućnost da se organska metil živa u vodi za piće pretvori u neorgansku živu. Preporučena granična vrednost u vodi za piće iznosi $0,001 \text{ mg/dm}^3$.

Kadmijum se u organizam najviše unosi hranom, zatim udahnutim vazduhom, a najmanje vodom za piće. Na osnovu istraživanja je evidentirano da su kadmijum i njegova jedinjenja koja se unose u organizam inhalacijom kancerogena i svrstana su u Grupu 2. Do sada nije evidentirana pojava kancerogenih efekata pri unošenju u organizam ingestijom, a takođe nema podataka o njegovoj genotoksičnosti. Preporučena granična vrednost za vodu za piće iznosi $0,003 \text{ mg/dm}^3$ (do $0,01 \text{ mg/dm}^3$ za vreme vanrednog stanja) [15].

Kadmijum oštećuje pluća, bubrege i creva, a može da utiče i na pojavu krtih kostiju. Apsorpcija kadmijuma zavisi od rastvorljivosti njegovih jedinjenja. Apsorbovani kadmijum putem krvi dospeva u jetru, a zatim u nerve i bubrege. Primarno se akumulira u bubrezima i ima dugo biološko vreme poluraspada (vreme kada se koncentracija smanji za 50%) od 10 do 35 god., zbog čega se i ubraja u *kumulativne otrove*. Klasični bubrežni simptomi kod trovanja kadmijumom manifestuju se proteinurijom, glukozurijom i aminoacidourijom.

Do sada nisu zabeležena trovanja organizma kadmijumom koja se mogu povezati sa njegovom malom koncentracijom u vodi za piće.

Cink. Sadržaj cinka u morskim vodama je, po pravilu, niži nego u slatkovodnim, što svedoči o visokom nivou zagađenja kontinentalnih voda. Najveći sadržaj

*MDK vrednost za arsen i olovo u vodi ista, što nedvosmisleno ukazuje na to da im je otrovnost ista, a prisustvo – nepoželjno! Takođe, čak ni za vreme vanrednog stanja MDK vrednost se ne menja! [15]

cinka u biljkama mora primećeni su u onim oblastima gde se ulivaju vode iz rudnika. Toksičnost ovog metala za vodene biljke veoma je različita i uslovljena je sposobnošću mnogih biljaka da se adaptiraju na visoke koncentracije cinka. U većini slučajeva od njega su za ove organizme toksičniji bakar i živa, dok su hrom, nikal, olovo, kadmijum i arsen, u zavisnosti od trenutnih uslova, manje ili više otrovni. Neke plavozelene alge proizvode određene agense koji sprečavaju dospevanje cinka u biljke. Iako mnogi podaci potvrđuju da se cink akumulira u nekim vrstama beskičmenjaka, najviše se nalazi u hrani ovih organizama, što znači da je upravo hrana glavni put kojim cink dospeva u njihov organizam. Po pravilu, živa, kadmijum, bakar, hrom, nikel i arsen su toksičniji za ove organizme od cinka. Takođe, mlađi organizmi su osetljiviji na delovanje cinka od starijih. Kada je o slatkovodnim i morskim ribama reč, sadržaj cinka u njima je, po pravilu, niži nego u algama i beskičmenjacima. Cink ne predstavlja veliku opasnost za ribe koje služe kao životna namirnica čoveku. Živa, bakar i, u većini slučajeva kadmijum, su za ribe toksičniji od cinka, dok su nikal, olovo i drugi metali manje otrovni, a ribe su na dejstvo ovog metala najosetljivije od marta do avgusta, odn. u vreme intenzivnog razvoja. Preporučena granična vrednost za vodu za piće iznosi 3,0 mg/dm³ (do 5,0 mg/dm³ za vreme vanrednog stanja) [15].

Uticaj prisustva nekih neorganskih anjona u vodi za piće na zdravlje ljudi

Cijanidi su soli veoma otrovne cijanovodonične kiselina. Maksimalna dozvoljena koncentracija cijanida u vodi je ispod 0,05 mg/dm³ (do 0,1 mg/dm³ za vreme vanrednog stanja) [15]. To je granica do koje cijanid ne ugrožava živi svet u rekama. Međutim, u većim količinama, cijanid "napada" mozak, izaziva konvulzije i pojačan rad tiroidne žlezde, utiče na srce, pluća, želudac, a izaziva i iritaciju kože. Cijanidi se lako i brzo rastvaraju u vodi, oni izazivaju *akutne* posledice, ali sa novom količinom vode oni odlaze i nema opasnosti od njihovog novog dejstva. Izuzetak je mulj.

Fluor je svrstan u grupu esencijalnih oligoelemenata, a mnogobrojnim eksperimentalnim, kliničkim i epidemiološkim istraživanjima je dokazano da su fluoridi efikasni u prevenciji karijesa zuba, dok se pri unošenju u organizam u većim količinama od preporučenih ispoljavaju toksični efekti u vidu *fluoroze* zuba i skeleta. Fluor se u organizam unosi u vidu jedinjenja fluora – *fluorida*, a glavni putevi unošenja u organizam su voda za piće i hrana, a sporedno stomatološki profilaktički preparati.

Fluor se u prirodnim vodama nalazi u obliku F⁻ jona, a njegova koncentracija zavisi od porekla i vrste vode. Sadržaj fluorida u vodi poreklom iz jezera, reka i arteških bunara uglavnom iznosi 0,5 mg/dm³, a morska voda sadrži fluoride u količini od 0,8 do 1,4 mg/dm³. Najveći broj prirodnih voda u svetu sadrži ispod 0,1 mg/dm³ F⁻ jona, a kod nas se sadržaj prirodnog F⁻ jona u vodama kreće od 0,05 do više od 0,6 mg/dm³, u zavi-

snosti od porekla vode, dok mineralne vode sadrže u proseku 0,16 do 6,45 mg/dm³.

Preporučena granična vrednost za fluoroide u vodi za piće SZO i EU iznosi 1,5 mg/dm³, dok je naš standard 1,2 mg/dm³ (do 3,0 mg/dm³ za vreme vanrednog stanja) [15].

Fluorisanje vode za piće. Fluor je počeo da se koristi u preventivnoj stomatologiji 1874. god., kada je davan stanovnicima i trudnicama u Engleskoj, putem tzv. *hanterovih pilula*. U vodi za piće trebalo bi da se nalazi 1,2 mg fluora na 1 dm³. Pri sadržaju fluora u pijaćoj vodi manje od 1 mg/dm³ kod većine ljudi intenzivno se razvija *karijes* zuba. *Zubna gleđ* je najtvrdi deo čovekovog organizma, a u osnovi predstavlja *fluorni apatit*, Ca₅(PO₄)₃F sa svega 0,2% vode. Zamenom F⁻-jona sa OH⁻-jonom u *zubnoj gleđi* dolazi do stvaranja *hidroksiapatita*, Ca₅(PO₄)₃OH, usled čega nastupa proces kvarenja zuba (*karijesa*). Vodovodne organizacije koje snabdevaju vodom za piće više od 20.000 stanovnika, radi toga vrše *fluorisanje vode za piće*, dodatkom CaF₂, NaF, Na₂SiF₆ ili H₂SiF₆, MgSiF₆ i amino-fluorida u ukupnoj koncentraciji od 1 ppm (najmanje 0,8 do najviše 1,2 ppm) [20]. Voda za piće čiji je prirodni sadržaj fluora manji od 0,8 ppm fluorise se, a voda za piće čiji je prirodni sadržaj fluora viši od 1,2 ppm defluorise se.

U pasta za zube se još dodaje i SnF₂ radi sprečavanja *karijesa*. Pri koncentracijama većim od 1,5 mg/dm³ narušava se proces obnavljanja koštanog tkiva i razvija se opasno oboljenje *fluoroza* (hrapavost zubnog emajla), koja se manifestuje pegavošću zubne gleđi i gubitkom sjaja, žutim i mrkim flekama i, zavisno od koncentracije fluora, do težih oštećenja i deformacije zuba. Pri koncentracijama između 5 i 7 mg/dm³ dolazi do razaranja štitne žlezde, bubrega pa čak i do okoštavanja kičme. Dnevna potreba za fluorom je 0,5–1,2 mg/dm³. U profilaksu karijesa preporučuje se fluorisanje vode za piće, ili tablete fluora (npr. Fluorogal) u cilju prevencije. Treba, ipak, veoma mnogo voditi računa o tehnološkom postupku prilikom doziranja, jer, ukoliko je fluor prisutan u vodi za piće u količini 2,5 mg/dm³ doći će do *fluoroze* kod 75–80% stanovnika, dok količine od 6 mg/dm³ izazivaju *fluorozu* čak kod 100% stanovništva.

Protivnici primene fluora za fluorisanje vode za piće mogu se podeliti u tri grupe. *Prvi*, smatraju da je njegova primena neefikasna, jer se time samo odlaže nastanak *karijesa*, *drugi*, da je fluor štetan za zdravlje, a *treći*, da fluorisanje vode za piće nije u skladu sa ljudskim pravom, jer čovek mora imati slobodu odlučivanja da li će je koristiti ili ne.

U SAD je prvi put uvedeno fluorisanje vode za piće 1945. god., da bi danas fluorisanu vodu koristilo 145 miliona stanovnika (odn. 62,2% stanovništva), sa tendencijom da nju koristi 75% stanovništva. U Irskoj skoro 70% stanovništva pije fluorisanu vodu, u Portoriku 63%, na Novom Zelandu oko 50%, u Kanadi 28%. Programi fluorisanja vode za piće sprovode se u nekim zemljama istočne Evrope (Rusiji, Poljskoj, Češkoj), a u toku je

uvođenje ove metode i u mnogim zemljama Azije i Afrike. U našoj zemlji fluorisanje vode regulisano je zakonom, a primenjuje se samo u nekoliko vodovoda. Smatra se, takođe, da bi fluor trebalo da se nađe ne samo u vodi, već i u kuhinjskoj soli, mleku, pastama za zube, žvakaćim gumama, kao i da je njegova primena obavezna i u svakodnevnoj stomatološkoj praksi. U Izraelu, npr. fluor se čak stavlja i u voćne sokove.

Fluor u organizmu ima svoju *optimalnu, sigurno-tolerantnu i toksičnu dozu*, koja zavisi od životne dobi, telesne mase i zdravstvenog stanja osobe. Prema teorijskom proračunu ove doze su na kilogram telesne mase veće u mlađem dobu, a sa godinama se postepeno smanjuju. Tako u prvoj godini života *optimalna količina* fluora iznosi 0,045 mg/kg telesne mase, *tolerantna* 0,073 mg/kg, a *hronična toksična doza* 0,150 mg/kg. *Optimalna doza* fluora za odrasle kreće se od 0,020 do 0,025 mg/kg telesne mase. Za fluoride u organizmu postoji mali raspon između količine koja deluje protektivno i količine pri kojoj se ispoljava toksično dejstvo.

Fluoroza kostiju karakteristična je za geografska područja gde je količina fluorida u vodi za piće izrazito visoka, a može se javiti i u industrijskim zonama gde je velika emisija fluorida, a time i njihova povećana koncentracija u vazduhu.

Endemska fluoroza je obično blaža od industrijske i javlja se u krajevima gde voda za piće sadrži više od 6 mg/dm³ fluorida. Pretpostavlja se da fluoridi utiču na promenu sastava mineralnih sastojaka kostiju sa povećanjem njihove težine.

Iako se radiološke promene na kostima zapažaju u ranom stadijumu, tegobe se ispoljavaju u težim formama oboljenja. Najadekvatnija preventivna mera u sprečavanju fluoroze kostiju jeste defluorisanje vode za piće u oblastima gde je sadržaj fluorida iznad 5–6 mg/dm³.

ZAKLJUČAK

Voda je osnovni uslov za život čoveka, bez vode čovek ne može da živi duže od nekoliko dana i zato se neprestalno unosi u organizam. Iz tih razloga, neophodno je da voda za piće bude zadovoljavajućeg kvaliteta i sa aspekta svog hemijskog sastava, pri čemu se osim vode – (H₂O)_n molekula, unosi i veliki broj neorganskih i organskih supstanci – elemenata i jedinjenja koji mogu znatno uticati na zdravlje čoveka.

U radu je razmatran samo aspekt prisustva neorganskih supstanci, njihove dozvoljene koncentracije, kao i konsekvence od prekomernog unošenja štetnih (toksičnih, kancerogenih) supstanci. Nažalost, alternativa vodi za piće iz vodovodne mreže, jednostavno ne postoji, usled čega treba posebno voditi računa o kvalitetu vode, koja nije samo za piće, već i za pripremanje hrane.

APPENDIX

Termini koji se koriste za propisivanje ispravnosti vode za piće, saglasno literaturi [2].

- **javno snabdevanje stanovništva vodom za piće** je snabdevanje vodom više od 5 domaćinstava odn. više od 20 stanovnika, snabdevanje iz sopstvenih objekata, preduzeća i drugih pravnih lica i preduzetnika koji proizvode i/ili vrše promet životnih namirnica i snabdevanje javnih objekata;

- **ekvivalentni stanovnik (ES)** jeste potrošnja vode od 150 dm³/dan;

- **prirodne vode zatvorenih izvorišta** su: higijenski kaptirana prirodna vrela i izvori (česme); podzemne vode koje na površinu izbijaju pod povećanim pritiskom (**arteški bunari**) ili se mehanički izvlače pomoću zatvorenih higijenskih sistema (**subarteški bunari**); podzemne vode kaptirane za vodovodne sisteme.

- **prirodne vode otvorenih izvorišta** su: nekaptirana vrela, izvori, vodotoci I i II klase, jezera i akumulacije, kopani bunari i cisterne;

- **prirodna voda u originalnoj ambalaži** je voda izvanrednih prirodnih fizičko-hemijskih, mikrobioloških i radioloških svojstava, koja se iz higijenski kaptiranog izvora puni u sterilnu ambalažu bez prethodnog prečišćavanja i dezinfekcije, izuzev dezinfekcije radijacijama;

- **akumulacija** je veštački izgrađen sistem za sakupljanje vode, koji se koristi za javno snabdevanje stanovništva vodom za piće, posle odgovarajućeg prečišćavanja i dezinfekcije;

- **uređaji za popravku kvaliteta vode** su uređaji koji se koriste za popravku fizičkih, fizičko-hemijskih, hemijskih, mikrobioloških, bioloških i radioloških svojstava sirove vode da bi se koristila kao voda za piće;

- **uređaji za dezinfekciju vode** su uređaji kojima se primenom hemikalija i fizičkih metoda obezbeđuju propisani mikrobiološki kriterijumi za vodu za piće;

- **kaptaža** je građevinski objekat kojim se na higijenski način zahvata izvorna – podzemna, površinska i atmosferska voda, radi javnog snabdevanja stanovništva vodom za piće;

- **vodovod** je sistem za snabdevanje vodom za piće koji ima najmanje uređeno i zaštićeno izvorište, kaptažu, rezervoar i vodovodnu mrežu;

- **vodovodna mreža** je sistem cevi za odvod vode od kaptaže ili uređaja za prečišćavanje vode do rezervoara i od rezervoara do potrošača vode za piće;

- **pregled vode za piće** je određivanje organoleptičkih i drugih svojstava i laboratorijska analiza radi utvrđivanja njene higijenske ispravnosti u propisanim vremenskim razmacima.

LITERATURA

- [1] Seminar, "Opasne hemikalije i njihovo bezbedno korišćenje", Savez hemičara i tehnologa Jugoslavije, Beograd, 1995
- [2] Službeni list SRJ, "Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće", 42, 28. avgust 1998, s. 4–10
- [3] D. Stojiljković, "Značaj kvaliteta podzemnih voda za proizvodnju zdrave hrane", Eko-konferencija 2000, Novi Sad, 27–30. septembar 2000. god., Tematski zbornik, s. 208–212
- [4] Commission of the European Communities, "Proposil for a COUNCIL DIRECTIVE concerning the quality of water intended for human consumption", Brussels, 1994
- [5] World Health Organization (WHO), "Guidelines for drinking water quality", Second ed., Vol. 1, Recommendations, 1993; First ed., 1984.
- [6] M. Mitrović, "Nove metode u proizvodnji vode za piće", Seminar "Kvalitet vode za piće: Nove preporuke Svetske zdravstvene organizacije Evropske unije", Savez hemičara i tehnologa Jugoslavije, Beograd, 1995, Izvodi predavanja, s. 7
- [7] D. Đurić, "Mechanism of Carcinogenesis", in "Molecular–Cellular Aspects of Toxicology", Beograd, 1979, 88–92
- [8] U.S. EPA, "Proposed drinking water standards", U.S. Environmental Protection Agency, 1991

- [9] T. Knežević, "Hemijske kontaminirajuće materije u vodi za piće i procena uticaja na zdravlje ljudi", Seminar "Kvalitet vode za piće: Nove preporuke Svetske zdravstvene organizacije Evropske unije", Savez hemičara i tehnologa Jugoslavije, Beograd, 1995, Izvodi predavanja, s. 30–40
- [10] M. Rajković, "Hemija elemenata", Poljoprivredni fakultet, Zemun, 2002
- [11] D. Harvey, "Modern Analytical Chemistry", The McGraw Hill Companies, Inc., Boston, USA, 2000
- [12] Mao Y. et al., "Inorganic components of drinking water and microalbuminuria", *Environmental Research*, **71** (1995) 135–140
- [13] M.B. Rajković, M. Stojanović, nepublikovani podaci
- [14] M.B. Rajković, I. Sredović, L. Perić, "Određivanje kvaliteta vode na osnovu izdvojenog kamenca u bojeru", EKO – KONFERENCIJA 2002: Zdravstveno bezbedna hrana, Novi Sad, 2002, Tematski zbornik, s. 153–157
- [15] Službeni list SRJ, "Pravilnik o izmenama i dopunama Pravilnika o higijenskoj ispravnosti vode za piće", **44**, 25. jun 1999, s. 19–22
- [16] World Health Organization, *IPCS Environmental Health Criteria 170; Assessing human health risk of chemicals: Derivation of guidance values for health-based exposure limits*, Geneva, 1994
- [17] E.J. Unterwood, "Trace Elements in Human and Animal Nutrition", 4rd., Academic Press, New York, London, 1987
- [18] N. Huges, "The Inorganic Chemistry of Biological Process", Wiley, London, 1972
- [19] J.M. Arena and R.H. Dorw, "Poisoning", 5th ed. Charles C. Thomas, Publishers Springfield, 1986
- [20] Službeni glasnik Republike Srbije, "Zakon o fluorisanju vode za piće", **35**, 30. maj 1994, s. 1080

SUMMARY

INORGANIC SUBSTANCES IN DRINKING WATER AND THEIR INFLUENCE ON THE HUMAN BODY

(Professional paper)

Miloš B. Rajković, Institute of Food Technology and Biochemistry, Faculty of Agriculture, Belgrade–Zemun

In drinking water, which is consumed daily, either directly, or with food, there is a number of compounds, organic or inorganic, depending on the water type, origin and processing. The presence of these substances, due to their daily consumption, may exert a negative influence on human health and even lead to tragic outcomes.

A list of inorganic substances and elements that may be found in water is presented in this paper, together with their permitted concentrations (MAC values) and the consequences they may cause, if present in concentrations higher than those permitted by regulations. Special emphasis is placed on heavy metals, because in most instances, they influence the human body unfavourably.

Key words: Water • Inorganic compounds • Cancerogenic substances • Heavy metals • Fluorination of drinking water • Limescale • Ključne reči: voda • Neorganska jedinjenja • Kancerogene supstance • Teški metali • Fluorisanje vode za piće • Kamenac •