

MILOŠ B. RAJKOVIĆ¹, MIRJANA D. STOJANOVIĆ²,
 ČASLAV M. LAČNJEVAČ¹, DRAGAN V. TOŠKOVIĆ³,
 DUŠAN D. STANOJEVIĆ³

Originalni naučni rad
 UDC:628.161.2:546.79=861

Određivanje tragova radioaktivnih supstanci u vodi za piće

Od radioaktivnih elemenata u kamencu, koji je dobijen na grejaču kućnog bojlera iz vode za piće, nađeni su stroncijum i uran u koncentracijama koje nisu zanemarljive, 00,5% i 1,38 ppm, respektivno. Za razliku od stroncijuma čije prisustvo nije alarmantno niti se nalazi u takvim količinama u kojima može dovesti do značajnog pogoršanja konzumenata vode za piće (a uz to je i β -emiter), uran je značajno opasniji i zbog svoje hemijske toksičnosti i zbog radioaktivnosti. Glavna meta napada urana u čovekovom organizmu je bubreg, a dejstvo lagano i dugotrajno, tako da i 75% funkcije bubrega može uništeno da bi se tek tada pokazali prvi pravi klinički simptomi. Iako se najveći deo rastvornog urana u čovekovom organizmu (67%) izluči tokom prvih 24 h, ostatak urana ostaje u organizmu i, u zavisnosti od njene količine, može delovati sa većim ili manjim intenzitetom, ali uglavnom nepovoljno po zdravlje. Treba istaći da se u vodi za piće može naći i prirodni uran ali i uran koji je u biološki ciklus ishrane došao antropogenim putem (npr. osiromašeni uranijum koji se mogao naći u vodi za piće usled NATO bombardovanja tokom 1999.god.). Iako se radi o različitoj toksičnosti ova dva oblika urana a, takođe, nisu ni precizni podaci o prisutnosti osiromašenog uranijuma na prostorima Srbije, efekat njegovog prisustva je u suštini isti – opasnost po zdravlje ljudi.

Ključne reči: voda za piće, dugoživeći radionuklidi, uran, stroncijum, kamenac, nisko jonizujuće zračenje, bubrezi, hemijska toksičnost

1. UVOD

Jonizujuće zračenje je prirodna karakteristika životne sredine, koja prati živi svet od nastanka na Zemlji. Godišnje efektivne doze za stanovništvo usled izvora jonizujućeg zračenja prirodnog porekla je ca. 2,4 mSv¹ (usled kosmičkog zračenja (0,39 mSv), gama zračenja tla (0,46 mSv), radionuklida u telu (sem radona) (0,23 mSv) i usled radona i njegovih produkata raspadanja (radioaktivnih potomaka) (1,3 mSv)), ali se u izvore jonizujućeg zračenja ubrajaju i izvori zračenja koji su veštačkog porekla: medicinska izloženost, probe nuklearnog oružja, nuklearna izloženost, veliki akcidenti, profesionalna izloženost

(rad sa radioaktivnim materijalom) i dr. Izlaganje stanovništva (ukupnom) zračenju zavisi od niza faktora kao što su količina i vrsta radionuklida u zemljištu i količina radionuklida unetih u organizam udisanjem, hranom i vodom za piće.

Ne postoji sasvim zadovoljavajući, jedinstveno prihvaćen način izražavanja i procene ukupne efektivne doze za čoveka sumarno (sinergistički, sinergitičan) od svih izvora, mada se periodično publikuju takvi izveštaji [1,2].

Ozračivanje populacije radionuklidima iz vode za piće uglavnom je malo i nastaje kao posledica raspada prirodnih radionuklida uranovog i torijumovog niza. Jednogodišnje konzumiranje vode za piće ne sme imati doprinos veći od 5%-nog ukupnog prosečnog ozračivanja populacije, što znači da od jednogodišnjeg konzumiranja vode za piće doza ozračivanja ne sme biti veća od 0,1 mSv. Ispod ovog referentnog nivoa doze, voda se može koristiti za piće.

Prvo izdanje preporuka o radiološkim aspektima kvaliteta vode za piće, Svetska zdravstvena organizacija štampala je 1984.god. [3]. Tolerantni nivoi radioaktivnih supstanci u vodi za piće, preporučeni u tom prvom izdanju preporuka WHO, bili su zasnovani na, u tom trenutku, raspoloživim informacijama o stepenu rizika izlaganja jonizujućem zračenju, skoncentrisanom uglavnom u ICRP publikaciji 26 [4]. Takođe,

Adresa autora: ¹Poljoprivredni fakultet, Zemun, ²ITNMS, Beograd, ³Tehnološki fakultet, Zvornik

1 Efekat zračenja na supstancu karakteriše se **apsorbovanom dozom** ili **apsorbovanom energijom** po jedinici mase (saglasno ABCC, koji se danas se naziva RERF. Jedinica za merenje **apsorbovane doze** je **grej** (*gray*) (1 Gy = 1 J/kg) ili **rad** (*rad*, 1 rad = 100 erg/g), 1 Gy = 100 rad = 10.000 erg/g. U slučaju razmatranja biološkog efekta vrste zračenja (α -, β -, γ - ili neutronske zračenje), apsorbovana energija se višestruko povećava sa **relativnim biološkim efektivnim faktorom** – RBE. Rezultat kvantitativnog unosa je da se doza meri u **sivertima** (*sievert*): 1Sv = RBE·1Gy ili u rem/rem): 1 Sv = 100 rem.

Svetska zdravstvena organizacija, saglasno preporukama Međunarodne komisije za zaštitu od zračenja (ICRP) izdaje 1990.god. preporuke o radiološkim aspektima kvaliteta vode za piće [5], kao i u kasnijem izdanju preporuka iz 1993.god. [6], i u posebnoj glavi razmatra radiološke aspekte kvaliteta vode za piće i propisuje metode za proveru kvaliteta i tolerantnog sadržaja pojedinih radionuklida ili ukupnog sadržaja α - i β -nestabilnih radionuklida, bilo iz prirode, bilo proizvedenih od strane čoveka.

Preporučene referentne vrednosti za α -nestabilne radionuklide u vodi za piće iznose $0,1 \text{ Bq/dm}^3$ a za β -nestabilne radionuklide 1 Bq/dm^3 . Veće vrednosti specifične aktivnosti α - i/ili β -nestabilnih radionuklida ne znači automatski nepodobnost vode za ljudsku konzumaciju [7]. Za ocenu podobnosti vode za piće sa radiološkog aspekta potrebno je za preporučeni referentni nivo doze od $0,1 \text{ mSv}$ odrediti koncentracije pojedinih radionuklida u vodi za piće.

Doza ozračivanja organizma od radionuklida unetih vodom za piće zavisi od količine unetih radionuklida i od njihovog metabolizma i kinetike u organizmu. Proračun tolerantne koncentracije radionuklida u vodi za piće zasniva se na ukupnoj količini radionuklida unetih u organizam u toku jedne godine, pri konzumiranju 2 dm^3 vode dnevno, uzimajući u obzir parametre metabolizma kod odraslog – „referentnog“ čoveka [8].

OPIS METODE

1.1. Uzorkovanje vode za piće

Sakupljanje uzoraka vode zavisi od više promenljivih: da li je u pitanju izvorska, površinska ili podzemna voda, da li se radi o jednokratnom (*grab sample*) ili kontinuiranom uzorkovanju, ali i od lokacije. Površinske vode sadrže značajno niže koncentracije prirodnih radionuklida nego podzemne ili izvorske vode. Jednokratno uzorkovanje može podrazumevati uzimanje velikog uzorka na određenom mestu u određeno vreme ili sakupljanje manjih uzoraka, od kojih će se praviti kompozitni uzorak na određeni vremenski period. Za uzorkovanje česmenske vode se ne preporučuje kontinuirano uzorkovanje pomoću nisko protočne (*low flow*) pumpe, koja se može koristiti za uzimanje rezervoarske ili izvorske vode, jer takav uzorak nije onaj koji konačno dolazi do populacije. Transportovanje uzoraka česmenske vode do laboratorije je takođe problem. 1 dm^3 uzorka vode može biti dovoljan za *screening program*, ali za dobijanje preciznih podataka o sadržaju radionuklida potrebne su velike količine vode. Vodu treba zakiseliti još na terenu, da bi se sprečila adsorpcija materijala na zidove suda. Za transport do laboratorije voda se

može koncentrisati u adsorpcionim ili jonoizmjenjivačkim kolonama. Česmenska voda se obično sakuplja dnevno u toku nekoliko nedelja, a dnevna količina se uparava u posudi za kompozitni uzorak. Uzorci vode se uparavaju i koncentrišu uz dodavanje HNO_3 ili HCl . Posude u kojima je voda doneta sa terena ispiraju se kiselinom i sadržaj dodaje u uzorak da bi se osiguralo da materijal nije ostao na zidovima [9].

1.2. Metode određivanja urana

Ima više metoda za određivanje urana: atomska apsorpciona spektrometrija (AAS), emisiona indukovana plazma spektrometrija (ICPS), X-ray fluorimetrija (XRF), neutronska aktivaciona analiza (NNA), masena spektrometrija (MS). Sve ove metode mogu se automatizovati, specifične su i veoma osetljive. Za rutinske analize preporučuje se AAS (*Graphite furnace AA spectrometry*) ili XRF, a kao metoda za kontrolu kvaliteta NNA na svakih 10-1000 uzoraka. Ipak, pošto je metoda skupa i ponekad treba čekati i do 6 nedelja da se smanji aktivnost uzorka, za rutinske analize i u ovom slučaju se preporučuje ICPS ili XRF, sa NNA za kontrole pouzdanosti i kontrole kvaliteta (QA/QC) [9].

Iako za određivanje urana postoji veliki broj metoda, najveći broj laboratorija nema svu potrebnu instrumentaciju, a ni sve metode nisu podjednako osetljive. Metode koje su obično dostupne radiohemijskim laboratorijama za određivanje nivoa urana u životnoj sredini su X-ray fluorimetrija, laser indukovana fluorescentna spektrometrija i α -spektrometrija. Klasična fluorimetrijska metoda određivanja urana kojim je 60-ih godina u najvećem broju slučajeva određivan sadržaj urana u uzorcima iz životne sredine i biološkim uzorcima, daje pouzdane rezultate ako se postupak kalibracije pažljivo izvodi. Na tačnost rezultata utiče i *quenching* efekat. Fluorimetrijski instrument treba da ima LLD od 10 mg urana pri 95%-noj granici pouzdanosti. Ova vrednost se dobija iz vrednosti fona instrumenta i srednje vrednosti *blank* uzorka dobijen metodom hemijske koncentracije. Metoda ima tu pogodnost što je instrumentacija stabilna u dugom vremenskom periodu. Metoda daje samo podatke o masu urana izotopa U-238 u uzorku a ekstrapolacija na ukupnu aktivnost prirodnih izotopa U-234 i U-235 je nepouzdana.

Laser indukovana fluorescentna spektrometrija je usavršena varijacija fluorimetrijske metode. Laserski zrak prolazi kroz tečni uzorak rastvoren u fluoru, uran u uzorku apsorbuje lasersku svetlost i emituje svetlost na drugoj talasnoj dužini. LLD metode je $0,1 \text{ ng}$, ali su problemi zbog *quenching* efekta isti, uz dodatni problem ograničenosti *life-time* lasera (*ca.*

1000 h).

Laserski XRF se posebno preporučuje za određivanje sadržaja urana u vodi, gde se može postići osetljivost od 5 ng/dm³. Kod svih pomenutih metoda najprostija procena donje granice detekcije (LLD) jeste dve standardne varijacije vrednosti (od broja) fona.

Danas se uran određuje u biološki i geološkim materijalima pomoću metoda NNA i ICPS/MS. Osetljivost ovih metoda je reda veličine 1 ng/dm³. Alfa-spektrometrijska merenja radiohemijski obrađenih uzoraka se obično koristi za merenje izotopa urana i torijuma, a LLD pri granici 95% pouzdanosti iznosi 1-2 mBq u najvećem broju matrica.

Voda za piće, prema Zakonu [7], ne sme sadržavati radionuklide, tako da je njihovo prisustvo, pri normalnim uslovima bez akcidenata ili incidenata, veoma teško dokazati. Zbog toga je u ovom radu izvršeno indirektno dokazivanje prisustva radionuklida, na osnovu taloženja u kamencu kućnog bojlera prilikom zagrevanja vode. Cilj je bio da se utvrdi vrsta prisutnih radionuklida (ukoliko ih ima) kao i da li je njihovo prisustvo u vodi za piće alarmantno ili se nalazi u tolerantnim koncentracijama.

1.3. Maksimalne granice radioaktivne kontaminacije

Tabela 1 - GGU za stroncijum i uran ingestijom i IK u vodi za piće

Radionuklid	t _{1/2}	GGU	IK
		Lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja ingestija (Bq/god)	Grupe pojedinaca iz stanovništva voda za piće (Bq/m ³)
⁸⁰ Sr	106 min	2·10 ⁸	4·10 ⁶
⁸¹ Sr	26 min	9·10 ⁸	2·10 ⁷
⁸³ Sr	32,4 h	8·10 ⁷	2·10 ⁶
⁸⁵ Sr ^m	68 min	8·10 ⁹	2·10 ⁸
⁸⁵ Sr	65 dan	9·10 ⁷	2·10 ⁶
⁸⁷ Sr ^m	2,8 h	1·10 ⁹	2·10 ⁷
⁸⁹ Sr	50,5 dan	2·10 ⁷	4·10 ⁵
⁹⁰ Sr	28,8 god	1·10 ⁶	2·10 ⁴
⁹¹ Sr	9,5 h	6·10 ⁷	1·10 ⁶
⁹² Sr	2,7 h	1·10 ⁸	2·10 ⁶
²³⁰ U	20,8 dan	1·10 ⁵	2·10 ³
²³¹ U	4,2 dan	2·10 ⁸	4·10 ⁶
²³² U	72 god	8·10 ⁴	2·10 ³
²³³ U	1,6·10 ⁵ god	4·10 ⁵	8·10 ³
²³⁴ U	2,5·10 ⁵ god	4·10 ⁵	8·10 ³
²³⁵ U	7·10 ⁸ god	5·10 ⁵	1·10 ⁴
²³⁶ U	2,3·10 ⁷ god	5·10 ⁵	1·10 ⁴
²³⁷ U	6,8 dan	6·10 ⁷	1·10 ⁶
²³⁸ U	4,5·10 ⁹ god	5·10 ⁵	1·10 ⁴
²³⁹ U	23,5 min	2·10 ⁹	4·10 ⁷
²⁴⁰ U	14,1 h	5·10 ⁷	1·10 ⁶
Smeša radionuklida: ⁹⁰ Sr, ¹²⁹ I, ²¹⁰ Pb, ²²³ Ra, ²²⁸ Ra, ²²⁷ Ac, ²³¹ Pa, ²³² U, prirodni U, prirodni Th, ²⁴⁸ Cm, ²⁵⁴ Cf, ²⁵⁶ Fm		7·10 ⁵	1·10 ⁴

vode za piće [10]

Maksimalne granice radioaktivne kontaminacije vode za piće određene su granicama godišnjeg unošenja radionuklida (GGU) u ljudski organizam ingestijom i izvedenim koncentracijama (IK). Izvedene koncentracije za vodu za piće pojedinaca iz stanovništva izračunava se prema jednačini (1):

$$IK_V = \frac{GGU_p}{1m^3} \text{ (Bq/m}^3\text{)} \quad (1)$$

gde je: GGU_p = granica godišnjeg unošenja (GU) ingestijom za grupe pojedinaca iz stanovništva;

1 m³ = prosečno godišnje unošenje u organizam vode po stanovniku

U vodi za piće koncentracija za pojedine radionuklide i za nepoznatu odn. delimično poznatu smesu radionuklida ne sme biti veća od u 12 uzastopnih meseci po vrednosti izvedene koncentracije radionuklida u čovekovoј sredini.

Granice godišnjeg unošenja (GGU) radionuklida ingestijom i izvedene koncentracije (IK) u vodi za piće za pronađene radioaktivne elemente date su u tabeli 1 [10].

2. EKSPERIMENTALNI RAD

Za ispitivanje je korišćen kamenac, koji je nastao taloženjem na grejaču kućnog bojlera, tokom vremenskog perioda od 6 meseci. Kamenac je nastao iz je vode koja se nalazi u vodovodnoj mreži grada Beograda – Gornjeg grada Zemuna. Zatim je utvrđen suvi ostatak, koji u stvari i predstavlja kamenac, tako što je 1,0 dm³ vode za piće zagrevan do ključanja i suvog ostatka. Analiza kamenca izvršena je u našim prethodnim radovima [11,13].

Rendgenska difrakciona analiza izvršena je tako što je kamenac prethodno usitnjen i frakcija finog praha (6,3-2 μm) je dodatno proučena. Snimanje je izvršeno na difraktometru marke Philips PW 1009 sa CuKα zračenjem $\lambda = 1.54178$, pri radnim uslovima cevi U = 36 kV, I = 18 mA, brzinom goniometra $V\dot{\omega} = 1^\circ 20'/\text{min}$ uz uslove R/C = 8/2 [14].

Sastav kamenca određen je upotrebom atomskog apsorpcionog spektrofotometra AAS Perkin Elmer 703, putem metoda DM 10 – 0/4, 0/6, 0/7, 0/8, 0/9, 0/10, 0/11, 0/12, 0/13, i 0/17.

Kvantitativni sadržaj urana određen je fluorimetrijskom metodom zasnovanoj na linearnoj zavisnosti intenziteta fluorescencije molekula uranovih jedinjenja od njihove koncentracije. Linearna zavisnost postoji za vrlo širok opseg niskih koncentracija (oko četiri reda veličina). Smanjenje intenziteta fluorescencije svode se na najmanju moguću meru tehnikom „standardnog dodatka” nakon ekstrakcije urana sa sinergističkom smesom TOPO (tri-n-oktil fosfin oksid) u etil-acetatu.

Intenzitet fluorescencije meren je pomoću Fluorimetra 26-000 Jarrel Ash Division (Fisher Scientific Company, Waltham, 1978). Nisko fonska merenja izvedena su sa CANBERRA HP Ge koaksijalnim de-

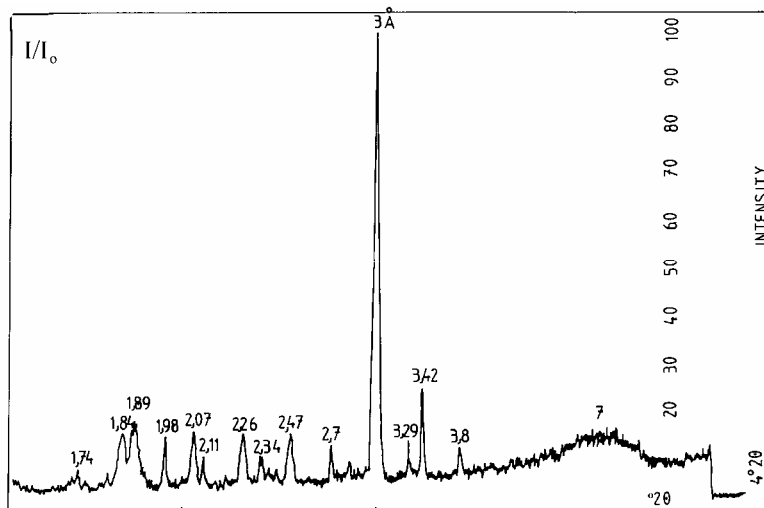
tektorom sa relativnom efikasnošću od 14%, FWHM od 1,7 keV, postavljenim u vertikalni kriostat i zaštićen sa 2 cm gvožđa i 15 cm olova. Ukupna izmerena brzina brojanja fona u energetskom opsegu od 20-2880 keV iznosila je 0,9 impulsa/sec. Spektrometar je povezan sa CANBERRA 8k ADC "MCA 35" višekanalnim analizatorom koji je povezan sa HP Vectra ES/12 kompjuterom i analiza – obrada gama spektra izvršena je pomoću "MicroSAMPO" programa. Vreme merenja uzoraka iznosilo je oko 160 ks, dok su merenja spektra fona bila znatno duža i izvršena su regularno između merenja uzoraka.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Da bi se dobila približna vrednost neorganskih supstanci u vodi za piće, utvrđen je prvo *suvi ostatak*, nastao isparavanjem vode. U tu svrhu uparavan je 1,0 dm³ vode za piće do suva, pri čemu je nastalo 0,3 g suvog ostatka – kamenca. Vlažnost uzorka iznosila je 0,18%.

Difraktogram ispitivanog uzorka kamenca prikazan je na slici 1. Na snimljenom difraktogramu izmeren je položaj refleksije i izračunata d vrednost izmerene površine odn. integralni intenziteti određenih refleksija uz pomoć programa DRX Win 1.4, autora V.P.Martina [14].

Kalcijum-karbonat (CaCO₃), u obliku *calcita* (koji kristališe heksagonalno) i *aragonita* (koji kristališe rombično), je na priloženom difraktogramu dao brojne refleksije. Refleksije *kvarca* su oštre i intenzivne. *Calcit* je utvrđen na osnovu najjače karakteristične refleksije na 3Å i po slabije izraženim na 3,8Å, 2,47Å, 2,26Å, 2,07Å i 1,89Å. Prisustvo *aragonita* utvrđeno je po slabijim refleksijama na 1,74Å, 1,84Å, 1,98Å, 2,11Å, 2,34Å, 2,7Å, 3,29Å i sa najintenzivnijom refleksijom na 3,42Å.



Slika 1 - Difraktogram uzorka kamenca

Na osnovu prikazanog difraktograma, nije moguće utvrditi prisustvo drugih jedinjenja, mada nepravilan i prošireni oblik refleksije na 7 Å ukazuje na prisustvo i drugih supstanci, ali u veoma niskoj koncentraciji, što ovom metodom nije moglo biti utvrđeno. Ovaj razvučeni pik ukazuje na prisustvo amorfnih supstanci organskog ili neorganskog porekla, a ukoliko je neorganskog porekla najčešće je limonit.

Rezultati ispitivanja sastava kamenca, prikazani u našem prethodnom radu [12], od radionuklida ukazali su na prisustvo stroncijuma (verovatno izotopa ^{90}Sr) i urana (verovatno izotopa ^{233}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U) što je prikazano u tabeli 2.

Tabela 2 - Prisustvo radionuklida u vodi za piće, izračunato na osnovu sastava kamenca

Radionuklid	Udeo u kamencu	Izračunata masena koncentracija u vodi za piće
stroncijum	0,05%	0,15 mg/dm ³
uran	1,38 ppm	0,41 µg/dm ³

Stroncijum se nalazi u tako maloj koncentraciji koja je daleko ispod Zakonom dozvoljene u vodi za piće (2,0 mg/dm³), ali prisustvo urana ne treba nikako potceniti niti smatrati zanemarljivim budući da se radi o visoko toksičnom i radioaktivnom elementu, koji raspadanjem daje niz radioaktivnih potomaka, bez obzira na relativno visoke dozvoljene koncentracije (0,05 mg/dm³ odn. 50 µg/dm³) [7].

Gamaspektrometrijsko ispitivanje uzorka kamenca izvršeno je tako što je uzorak *kamenca* prethodno sušen na 105°C (24 sata) da bi se uklonila slobodna vlaga te da bi se merenja svodila na suhu supstancu. Uzorak je upakovan u plastičnu posudicu i hermetički zatvoren da bi se zadržao razvijeni radon. Merenje je izvršeno posle 20 dana da bi razvijeni radon došao u ravnotežu sa radijumom iz kojeg nastaje.

Rezultati merenja koncentracije aktivnosti gamaemitera u uzorku kamenca (u Bq/kg) prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3 - Rezultati merenja koncentracije aktivnosti gamaemitera u uzorku kamenca (u Bq/kg)

238U	226Ra (238U)	
38,6±11,7	1,19±0,11	
228Ra (232Th)	137Cs	40K
0,91±0,06	< 0,45	< 4,19

Za praktičnu ocenu i jednostavno donošenje odluke o podobnosti vode za piće, sa radiološkog aspekta, za preporučeni nivo doze od 0,1 mSv definisane su odgovarajuće koncentracije pojedinih radionuklida u vodi za piće.

U tabeli 4 prikazane su vrednosti doznih konverzionih faktora i, na osnovu njih, izračunate referentne vrednosti koncentracije radionuklida koji su pronađeni u kamencu, a koje su izračunate prema (2):

$$\frac{1 \cdot 10^{-4} \text{ (Sv/god)}}{730 \text{ (dm}^3 \text{ / god)} \cdot \text{dozni konverzioni faktor (Sv/Bq)}} = \frac{1,4 \cdot 10^{-7} \text{ (Sv/dm}^3 \text{)}}{\text{dozni konverzioni faktor}} \left[\frac{\text{Bq}}{\text{dm}^3} \right] \quad (2)$$

Tabela 4 - Koncentracije aktivnosti pojedinih radionuklida, nađenih u kamencu, koje odgovaraju dozi od 0,1 mSv za jednogodišnje unošenje vodom za piće

Radio nuklid	Dozni konverzioni faktor (Sv/Bq)	Referentni nivoi koncentracije (Bq/dm ³)
^{40}K	$5,0 \cdot 10^{-9}$	2,745
^{137}Cs	$1,3 \cdot 10^{-8}$	10
^{226}Ra	$2,2 \cdot 10^{-7}$	1
^{228}Ra	$2,7 \cdot 10^{-7}$	1
^{238}U	$3,6 \cdot 10^{-8}$	4

Uputstva Svetske zdravstvene organizacije preporučivala su vrednosti ukupnih specifičnih aktivnosti α - i β -nestabilnih radionuklida za rutinsku kontrolu od 0,1 Bq/dm³ i 1 Bq/dm³, respektivno. Doze pri jednogodišnjem unošenju radionuklida vodom za piće sa ovim vrednostima specifične aktivnosti α - i β -nestabilnih radionuklida, za pronađene radionuklide date su u tabeli 5.

Tabela 5 - Doze zračenja usled jednogodišnjeg konzumiranja vode za piće koja sadrži α - i β -nestabilne radionuklide specifične aktivnosti 0,1 Bq/dm³ i 1 Bq/dm³, respektivno

Radionuklid	Doza (mSv)
Alfa emiteri (0,1 Bq/dm ³)	
^{226}Ra	0,016
^{238}U	0,003
Beta emiteri (1 Bq/dm ³)	
^{137}Cs	0,009
^{228}Ra	0,20

Doprinos dozi od unošenja izotopa ^{40}K vodom za piće, koji ima relativno mali dozni konverzioni faktor (tabela 4) je mnogo manji od mnogih drugih β -nestabilnih radionuklida.

Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO), je kao granicu detekciju za ukupnu α aktivnost od 0,04 Bq/dm³ definisala prema ^{239}Pu , a granicu de-

tekcije za ukupnu β aktivnost, u intervalu od 0,04 do 0,1 Bq/dm³, prema ¹³⁷Cs.

EFEKAT URANA NA BUBREGE

Uran i njegovi izotopi ubrajaju se ne samo u radioaktivne elemente, već i u visoko toksične supstance. Rastvorni uran pokazuje istu hemijsku toksičnost kao i rastvorno olovo, ali je 20 puta otrovniji od rastvornog volframa [15]. U tom smislu, uticaj urana i njegov hemijski efekat kao toksičnog elementa limitirani su preko sledećih koncentracija [16-19]:

- u vazduhu – 0,01 mg/dm³ (0,01 ppm);
- u vodi – $2 \cdot 10^{-3}$ mg/dm³ (0,002 ppm ili 2 μ g/dm³);
- letalna doza iznosi 100 mg/kg telesne mase.

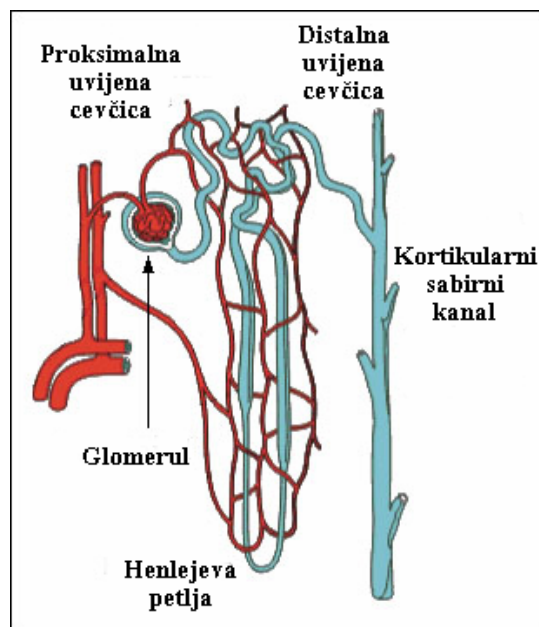
Najranije zabeleženi podatak o maksimalno dopuštenoj koncentraciji urana u bubregu, koja ne prouzrokuje značajno odstupanje od normalnog funkcionisanja bubrega iznosi 3 mg/kg (odn. 3 ppm) i to je uzeto *de facto* kao standard [20]. U jednoj obimnoj studiji državne laboratorije u Oak Ridžu (*Oak Ridge National Laboratory*) preporučuje se maksimalna koncentracija kojom mogu biti izloženi ljudi od samo 300 μ g/kg (odn. 0,3 ppm) za bubreg [21]. Zbog hemijske toksičnosti urana u rastvornom obliku, količina urana bilo kog izotopnog sastava ne sme premašiti u jednom danu granicu od 2,5 mg urana unesenog u telo vazduhom (inhalacijom) odn. 150 mg urana unesenog u telo vodom i hranom (ingestijom) [10].

Radioaktivnost uranijuma može prouzrokovati probleme čovekovom organizmu, kao što je npr. **kancer** nekoliko godina po njegovom izlaganju, ali najveća opasnost prethodi od njegove hemijske toksičnosti, koja se manifestuje u veoma kratkom vremenu (nekoliko nedelja ili meseca) pri kontaktu sa njim. Organ na koji uran primarno utiče su – bubrezi [20,22,23], paran organ u obliku pasulja koji se nalazi u zadnjem delu trbušne duplje sa obe strane kičme, a u organizmu služi za lučenje urina kojom se iz organizma uklanjaju otpadni proizvodi metabolizma. U njemu se zadržava 0,05-12% unetog urana, sa poluvremenom eliminacije od 6 do 1500 dana. Uran je izuzetno toksičan za bubreg, dok je njegovo radijaciono dejstvo pri jednokratnom unošenju veoma slabo. Pri jednokratnom unošenju i pravovremenoj terapiji promene su reverzibilne, dok su pri hroničnoj ekspoziciji promene uglavnom trajne, te postepeno dolazi do nastanka bubrežne insuficijencije [24].

Bubrezi filtriraju oko 160-200 dm³ krvi dnevno, 20-25% krvi koja dolazi od srca. Osnovna morfološka jedinica bubrega je **nefron** (slika 2). Svaki bubreg sastoji se od dva miliona **nefrona**. Najvažnija funk-

cija **glomerula** je da posluži kao sito za plazmu: mali joni i molekuli, kao npr. voda, Na⁺, glukoza i aminokiseline su filtrirane, dok veći molekuli, npr. proteini, nisu filtrirani. **Proksimalna uvijena cevčica** aktivno resorbuje 66% Na⁺-jona i vode pomoću tzv. Na-K-adenozin trifosfatne pumpe (Na⁺-K⁺-ATP), sa Cl⁻-jonima koji sprečavaju prolaz Na⁺-jona. Na⁺-K⁺-ATP pumpa proizvodi energiju za reapsorpciju 100% glukoze i aminokiselina i 90% HCO₃⁻-jona i drugih elektrolita. Oko 50% karbamida (uree) je takođe reapsorbovano.

Bubreg je obložen opnom, koja je srasla sa bubrežnim tkivom, koja vodi poreklo od **Henlejeve petlje** reapsorbuje vodu i održava osmotski pritisak natrijum-hlorida. Uzvodno ivica Henlejeve petlje reapsorbuje pasivno (kada je tanka grana) i aktivno (kada je gusta grana) 25% Na⁺, 20% Ca²⁺-jona, ali ne i vodu. **Distalna uvijena cevčica** i njena veza sa kanalom aktivno reapsorbuje najviše od preostalog Na⁺ i Ca²⁺-jona, a takođe više od 99% oba jona koja su već apsorbovana, i varijabilan iznos vode. Aktivna reapsorpcija Na⁺-jona i vode je tesno regulisana variranjem stimulacionih i kontrolisanih hormona, koji su primarno aktivni (osetljivi) na distalnu cevčicu i uvijenu cevčicu, a zatim na najviši nivo Na⁺-jona u krvi i Ca²⁺-jona unutar dejstva karbonatnog pufera (ili drugog pufera krvi) zadate vrednosti pH (8,0 -10,0).



Slika 2 - Nefron – bazična morfološka jedinica bubrega

Kontrolisanjem nivoa elektrolita u krvi (kao na primer Na⁺ i HCO₃⁻-jona) bubrezi održavaju vrednosti pH krvi između 7,35-7,45. Kada je

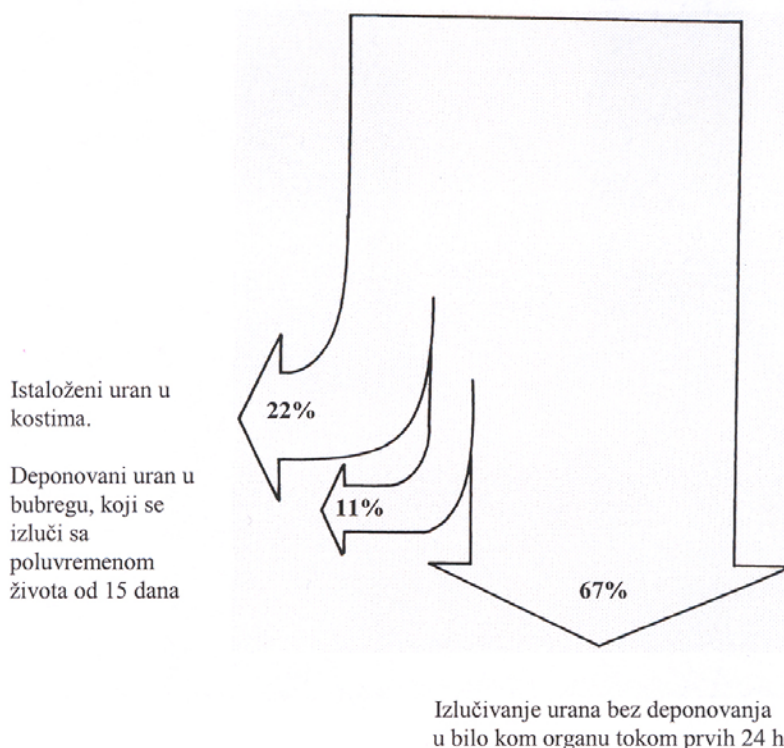
vrednost pH ispod ovog nivoa postaje *acidoza*, a kada je vrednost pH viša nastupa *alkaloza*. Najviši stepen blage acidoza je depresija centralnog nervnog sistema (CNS), dezorijentacija i umor. Najviši stepen blage alkaloze je hiperuzbuđenost nervnog sistema, spontana stimulacija (spazma) mišića i ekstremna nervoza [25].

Uran u bubregu deluje primarno na **proksimalnu uvijenu cevčicu!** Rastvoreni kompleks uranil-karbonata raspada se (disosuje) u ovom kiselom okruženju na *uranil*, $[UO_2]^{2+}$, i hidrogenkarbonat jone, HCO_3^- . Kao i živa, kadmijum i drugi teški metali, uranil joni smanjuju funkcije glomerula, sekreciju cevi od organskih anjona (kiseli ostaci metabolitičkih procesa, kao što su laktati, citrati i dr.) i reosorpciju filtrirane glukoze i aminokiseline u proksimalnu uvijenu cevčicu [20,23]. Kada su neorganski kadmijum, živa ili drugi teški metali injektovani u bubrežnu arteriju, ovi

joni metala su *trenutno (minutno)* privremeno izolovani, sa ne-difuzionim makromolekulima, kao štiti su npr. plazma proteina ili slično tome nefiltrovani na glomerulu. Rastvoreni uranil jon, slično kao i ostali joni teških metala, reaguje sa raširenim helatnim jedinjenjima u obliku relativno stabilnog i inertnog kompleksa. Ovi inertni kompleksi se zatim filtriraju i ekstrahuju u urin.

Rastvoreni uran koji je apsorbovan u krvi, cirkuliše kroz telo i brzo se eliminiše preko bubrega u urin. Oko 67% uranijuma se izlučuje prvog dana, bez njegovog deponovanja u bilo kom organu. Oko 11% se u početku deponuje u bubregu i izluči se sa poluvremenom života od 15 dana. Najviše od preostalih 22% počinje da se taloži u kostima (2-20%), koje su glavno skladište urana u telu, a ostatak se distribuira u drugim organima i tkivu [26], kao što je prikazano na slici 3.

ulazni rastvoreni uran, 100%



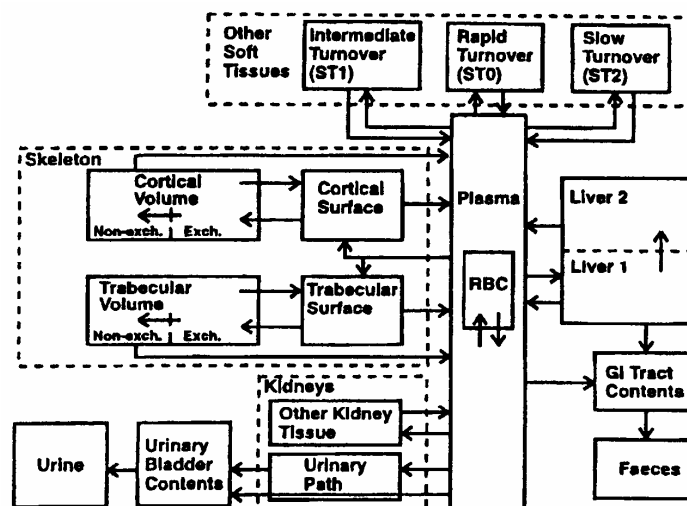
Slika 3 - Flow sheet dijagram distribucije urana u čovekovom organizmu

Na razvoju biokinetičkih modela za uran radi se više od četiri decenije, a verzija modela, predložena od strane ICRP 1995.god. [27], počiva na kinetici I reda i ima značajno veći broj *feedback* veza između kompartmanata (slika 4). Model ima prednost i u tome što omogućava proračun doze ne samo za kritični organ, već i za druge izložene organe i tkiva.

Prevedeno na ukupnu masu urana koja se unosi

preko ispitivane vode za piće od 0,30 mg (za godinu dana), dolazi se do podatka da se tokom prvih 24 h izluči 0,20 mg urana, 0,03 mg se istaloži u bubrežima, dok 0,07 mg ostaje istaloženo u kostima, odakle se ponovo vraća u krvotok i može se naći u svim delovima tela, počev od *placente* fetusa, mleka dojilja, pa čak i u semenskoj tečnosti. Efekat od ove mase urana, u slučaju značajnijeg prekoračenja, može

biti veoma tragičan, počev od anomalija u skeletu, pa čak i do smrtnog ishoda.



Slika 4 - Model preporučeni od strane ICRP

Uran koji je istaložen u kostima i drugim organima se konsekventno vraća u krvotok sa najmanje dva različita poluživota, oba duža od ekstrakcionog poluživota za bubrege [28,29]. Pošto se uran u kostima zadržava veoma dugo ostvaruje značajne radijacione efekte. U bubregu i koštanoj tkivu sakuplja se prvenstveno U(IV). U ostalim tkivima (jetra, pankreas i slezina) vezuje se 0,03-12% unetog urana i to prvenstveno U(VI) pre redistribucije u bubrege i koštani sistem. U samoj krvi su najugroženiji eritrociti kojima je zbog oštećenja membrane znatno skraćen životni vek [30].

Slično drugim teškim metalima, npr. živi, uran prouzrokuje neurološke probleme, jer prolazi kroz razbijenu barijeru [23,25]. Zbog delimične zabrinutosti zbog izlaganja uranu žena, istraživanja sa laboratorijskim životinjama, pokazala su da se uran nalazi i u *placenta* fetusa, mleku dojilja i u tkivu i urinu dobijenih od dojilja koje su bile izložene uranu. Posledice koje su zapažene, po izlaganju toksičnom dejstvu urana, ogledaju se počev od smanjene telesne mase do anomalija u skeletu beba, za majke koje su izražene dozama koje su definisane kao hemijski toksične [31].

U jednoj studiji [29] o efektu hronične ingestije urana koji se nalazi u pijaćoj vodi na ljude, nađeno je da je funkcija bubrega poremećena prisustvom urana bez obzira što je zaključeno da nije pri ispitivanju sa laboratorijskim životinjama. Ispitanici u ovoj grupi bili su razvrstani u dve grupe: grupa koja je izložena uranu slabog intenziteta (20 ispitanika), koji su vodu za piće koristili iz lokalnog vodovodnog sistema i koja je sadržavala manje od $1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ urana, i grupe

koja je izlagana visokoj koncentraciji urana (30 ispitanika) koji su vodu za piće koristili iz privatnog vodovodnog sistema i koja je sadržavala $2-781 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ urana. Ova vrednost je prouzrokovala unos urana u organizam u opsegu od $0,004-9 \mu\text{g}/\text{dan}$ po 1 kg telesne mase. Druga grupa je izbacivala značajno više glukoze u urinu nego kontrolna grupa. Izlučivanje alkalnih fosfata (što označava toksičnost ćelije) i β -2 mikroglobulina (što označava funkciju proksimalne cevčice) bili su u pozitivnoj korelaciji sa unosom urana.

Studija zaključuje da dugotrajna ingestija urana od strane ljudi može dovesti do smetnje u funkcionisanju bubrega na zapaženom nivou urana koji je nađen u većini uzoraka podzemnih voda. Zapaženi efekti ne znači da će dovesti do prekida rada bubrega ili do hroničnog oboljenja, ali je sigurno da predstavlja prvi korak koja dovodi do progresivnog ili ireverzibilnog oštećenja bubrega [10]. Ljudi koji su bili izloženi uranu imaju veći rizik od poremećaja u radu bubrega od onih koji nisu bili izloženi, a takođe pre nego što se zapanje promene u radu bubrega 25% funkcije bubrega može biti izgubljeno, i više od 75% može biti izgubljeno pre pokazivanja pravih kliničkih simptoma [32].

Uran se u urinu može detektovati i više godina (čak 7 godina) posle unošenja, ali je pri unošenju malih doza najbolje izvršiti detekciju tokom prvih šest meseci, najviše tri godine. U hroničnoj ekspoziciji nastaje potpuna nekroza tubula i insuficijencija nefrona. Bubrežna insuficijencija nastaje sporo. Oštećenja nastaju najpre na ćelijama tubula, a zatim i glomerula. Kako se ćelija tubula veoma brzo regenerišu,

a pri tom i često menjaju (postaju atipične), osetljivost ovih struktura se menja.

U najnovijoj studiji [33], zdrave ćelije čoveka bile su izložene uranil-jonima ($[UO_2]^{2+}$) *in vitro*. Samo jedna od 70.000 ćelija nukleusa bila je gađana sa α -česticama. Inače, uranil-joni su sposobni da transformišu dve ćelije u neoplastične (kancerogene) ćelije. Transformisanje ćelije karakteriše se središtem – nezavisnim rastom tumora u golom nukleusu, visokim nivoom onkogeno, koji redukuje stvaranje proteina za sprečavanje tumora i zapaženim nivoom sestrinskih promenljivih hromozoma. Treatment sa uranil-hloridom $[UO_2]Cl_2$, rezultovao je u $9,6 \pm 2,8$ porastu u transformaciji u poređenju sa referentnom ćelijom. U poređenju sa $NiSO_4$ koji pokazuje porast od $7,1 \pm 2,1$. Ovi rezultati pokazuju da je rizik od nastajanja kancera od unetog urana veći u poređenju sa drugim odgovarajućim biološki reaktivnim i kancerogenim teškim metalima.

Zbog toksičnih i radijacionih efekata dolazi i do smanjenja broja ćelija krvi, usled čega nastaju infekcije, povišena temperatura, spontana krvavljenja iz sluzokoža, a kasnije i unutrašnjih organa, anemija sa gubitkom apetita, malaksalošću, veoma brzim zamaranjem [34], a takođe dolazi i do masne degeneracije jetre sa centrolobularnom nekrozom [35]. U hroničnoj ekspoziciji pojavljuju se neurološki ispadi (periferne neutropije, vrtoglavice, gubitak ravnoteže). Pre ovih simptoma dolazi do pada neurokognitivnih funkcija. Posle veoma dugog perioda (20-25 godina) nastaju kasne posledice – maligne promene, najčešće karcinomi bronha, ostesarkomi, leukoze, tumori jetre. Potencijalni mutageni efekti urana su još uvek nepoznati, ali je eksperimentalno dokazano da je sadržaj urana u urinu u pozitivnoj korelaciji sa urinarnom mutagenošću, te je neki autori predlažu za biomarkere interne kontaminacije [33].

4. ZAKLJUČAK

Od radioaktivnih elemenata u *kamencu* nađeni su stroncijum i uran u koncentracijama koje nisu zanemarljive, 0,05% i 1,38 ppm, respektivno.

Za razliku od stroncijuma čije prisustvo nije alarmantno niti se nalazi u takvim količinama u kojima može dovesti do značajnog pogoršanja konzumenata vode za piće (a uz to je i β -emiter), uran je značajno opasniji i zbog svoje hemijske toksičnosti i zbog radioaktivnosti.

Glavna meta napada urana u čovekovom organizmu je bubreg, a dejstvo lagano i dugotrajno, tako da i 75% funkcije bubrega može biti uništeno da bi se tek tada pokazali prvi pravi klinički simptomi.

Iako se najveći deo rastvornog urana u čoveko-

vom organizmu (67%) izluči tokom prvih 24h, ostatak urana ostaje u organizmu i, u zavisnosti od njegove količine, može delovati sa većim ili manjim intenzitetom, ali uglavnom nepovoljno po zdravlje.

Iako još uvek ne postoji pouzdan podatak za dopuštenu koncentraciju urana u vodi za piće (dozvoljene vrednosti se nalaze u širokom dijapazonu), upozoravaju vrednosti preporučene u najnovijim studijama od 0,3 ppm. Ta vrednost je u slučaju ispitivane vode prekoračena, što je već dovoljno upozorenje da problemu prisustva urana u vodi za piće treba posvetiti punu pažnju, bilo putem monitoringa, bilo otkrivanjem uzroka njegovog prisustva.

Zahvalnica

Ovaj rad je finansiralo Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije (Projekat ON 142039).

LITERATURA

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR): Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations, New York, 1982.
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR): Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York, 1993.
- [3] World Health Organization (WHO): Guidelines For Drinking-Water Quality, First edition, 1984.
- [4] International Commission on Radiological Protection (ICRP): Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26, Annals of the ICRP, **1**(3), 1977.
- [5] International Commission on Radiological Protection (ICRP): Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Annals of the ICRP, **21**(1-3), 1990.
- [6] World Health Organization (WHO): Guidelines For Drinking Water Quality, Second ed., Vol. 1, Recommendations, 1993.
- [7] Službeni list SRJ: Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće, Broj **42** od 28. avgusta 1998. god. s. 4, 1998.
- [8] ICRP Publication 23: Reference Man: Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics, International Commission on Radiological Protection.
- [9] Camins, I., Smith, J.H.: Analysis of Beryllium and DU: An Overview of Detection Methods in Aerosols and Soils, UCID-21400, 1998.

- [10] Zamora, M.L., Tracy, B.L., Zielinski, J.M., Meyerhof, D.P. and Moss, M.A.: Chronic Ingestion of Uranium in Drinking Water: A Study of Kidney Bioeffects in Humans, *Toxicological Sciences* **43**, 1998.
- [11] Rajković, M.B., Stojanović, M.D., Pantelić, G.K., Tošković, D.V.: Determination of Inorganic Compounds in Drinking Water on the Basis of House Water Heater Scale. Part 1. Determination of Heavy Metals and Uranium, *Acta Periodica Technologica*, **35** p. 131-140, 2004.
- [12] Rajković, M.B., Stojanović, M., Pantelić, G.: Određivanje radioaktivnih elemenata u vodi za piće metodom indirektno analize na osnovu ispitivanja sastava kamenca, XXIV simpozijum Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, Zlatibor, 03.-05.10.2007.god., Sekcija 2.: Radioekologija, Zbornik radova, s. 37-41
- [13] Rajković, M.B., Stojanović, M.: Određivanje neorganskih jedinjenja u vodi za piće na osnovu izdvojenog kamenca, 41. savetovanje Srpskog hemijskog društva, Beograd, 23.-25. januar 2003.god., Sekcija za analitičku hemiju, Izvodi radova, s. 32, 2003.
- [14] [14] Martin, V.P.: DRXWin 1.4 a Computer Program: A Graphical and Analytical Tool for Powder XDR Patterns, University of Valence, Faculty of Chemistry, Valencia, Spain, 1994.
- [15] Rajković, M.B.: Osromašeni uranijum, Vojna knjiga, Beograd, 2001, 193 s.
- [16] Domingo, J.L., Ilobet, J.M., Thomas, J.M.: Acute Toxicity of Uranium in Rats and Mice, *Bulletin for Environmental Contamination and Toxicology*, **39**, p. 168, 1987.
- [17] Domingo, J.L.: Chemical Toxicity of Uranium, *Toxicology and Ecotoxicology News*, **2**(3), p. 74, 1995.
- [18] Maynard, E.A., Down, W.L., Hodge, H.C.: Oral Toxicity of Uranium Compounds, in C.Voegtlin and H.C.Hodge, eds. *Pharmacology and Toxicology of Uranium Compounds*, New York, McGraw-Hill, USA, 1953.
- [19] NIOSH: Pocket Guide to Chemical Hazards. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, 1994.
- [20] Harley, H., Foulkers, E.C., Hilborne, L.H., Hudson, A., Anthony, C.R.: A Review of the Scientific Literature as It Pertains to Gulf War Illnesses: Vol.7, Depleted Uranium, MR-1018/7-OSD, RAND, 1999.
- [21] Edwards, R.: Too Hot to Handle, *New Scientist*, June 5, 1999.
- [22] DOE: Final Programmatic Environmental Impact Statement for Alternative Strategies for the Long-Term Management and Use of Depleted Uranium Hexafluoride, DOE/EIS-0269, Department of Energy (DOE), 1999.
- [23] Rostker, B.: Environmental Exposure Report: Depleted Uranium in the Gulf, Department of Defense (DoD), 1998.
- [24] Miller, A.C., Blakely, W.F., Livengood, D., Whittaker, T., Xu, J., Ejniak, J.W., Hamilton, M.M., Parlette, E., John, T.St., Gerstenberg, H.M., Hsu, H.: Transformation of Human Osteoblast Cells to the Tumorigenic Phenotype by Depleted Uranium – Uranyl Chloride, *Environmental Health Perspectives* **106**, 1998.
- [25] Saladin, K.S.: *Anatomy and Physiology*, McGraw-Hill, 1999.
- [26] M.B.Rajković, M.D.Stojanović, G.K.Pantelić, V.V.Vuletić: Determination of Strontium in Drinking Water and Consequences of Radioactive Elements Present in Drinking Water for Human Health”, *Journal of Agricultural Sciences*, **51**(1) p. 87-98, 2006.
- [27] ICRP Publication 71: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, *Annals of the ICRP*, **25**(3/4), 1995.
- [28] ICRP: Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication No.30, Part I; International Commission on Radiological Protection (ICRP), Pergamon Press, New York., 1978.
- [29] Alexander, R.E., Brodsky, A., Neel, R.B., Puskin, J.S.: Uranium Mills Bioassay Dosimetry Model, Nuclear Regulatory Commission (NRC), 1988.
- [30] Duraković, A.: Medical Effects of Internal Contamination with Depleted Uranium, *Croat.Med.J.* **40**(1), p. 49, 1999.
- [31] AEPI: Health and Environmental Consequences of Depleted Uranium Use in the US Army, US Army Environmental Policy Institute (AEPI), 1995.
- [32] SAIC: Kinetic Energy Penetrator Environmental and Health Considerations, Science Applications International Corp. (SAIC), 1990.
- [33] Miller, A.C., Fuciarelli, A.F., Jackson, W.E.: Urinary and Serum Mutagenicity Studies with Rats Implanted with Depleted Uranium or Tantalum Pellets, *Mutagenesis* **13**(6), p. 643, 1998.
- [34] Hendee, W.R., Edwards, F.M.: Health Effects of Exposure to Low-level Ionizing Radiation, *Instituta of Physics Publishing*, Bristol and Philadelphia, 1996.
- [35] McDiarmid, M.A., Koegh, J.P., Hooper, F.J.: Health Effects of Depleted Uranium on Exposed Gulf War Veterans, *Environ.Res.* **82**(2), p. 168, 2000.

SUMMARY

DETERMINATION OF TRACES OF RADIOACTIVE ELEMENTS IN A DRINKING WATER

Of radioactive elements, strontium and uranium have been found in the fur at concentrations that are not negligible, 0.05 wt.% and 1.38 ppm, respectively.

Contrary to strontium the quantity of which is not alarming and is not such that it may lead to significant spoiling of drinking water (beside Sr being a β -emitter), uranium is significantly more dangerous both due to its chemical toxicity and its radioactivity.

The main target of uranium in human organism is kidney, and the action is slow and prolonged, inducing thus a 75% destruction of kidney function before first actual clinical symptoms become apparent.

Although the greatest part of dissolved uranium in human organism (67%) is excreted during the first 24 h, the rest remains in the organism and, in dependence of the quantity, may act more or less severely, but generally unfavourably for human health.

It should be mentioned that although natural uranium may be found in drinking water there also depleted uranium may be encountered which was present in the drinking water due to NATO bombing campaign during 1999. Although these two forms of uranium exert different levels of toxicity, data on the presence of depleted uranium are not precise, and the effect of its presence is in essence the same – danger for human health.

Key words: *drinking water, long lived radionuclides, uranium, strontium, scale, low-level ionizing radiation, kidney, chemical toxicity*