



**MERITVE RADIOAKTIVNOSTI  
V OKOLICI  
NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO**

**POROČILO ZA LETO 2003**

**Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija**

**Institut "Ruđer Bošković" - ZIMO, Zagreb, Hrvaška**

**Institut za medicinska istraživanja, Zagreb, Hrvaška**

**Nuklearna elektrarna Krško, Krško, Slovenija**

**Zavod za varstvo pri delu, Ljubljana, Slovenija**

**MERITVE RADIOAKTIVNOSTI  
V OKOLICI  
NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO**

**POROČILO ZA LETO 2003**



**Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija**



**Institut "Ruđer Bošković" - ZIMO, Zagreb, Hrvaška**



**Institut za medicinska istraživanja, Zagreb, Hrvaška**



**Nuklearna elektrarna Krško, Krško, Slovenija**



**Zavod za varstvo pri delu, Ljubljana, Slovenija**

**MERITVE RADIOAKTIVNOSTI  
V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO  
POROČILO ZA LETO 2003**

Prva izdaja

**Odgovorni za izdajo poročila:** dr. Matjaž Korun

**Uredila:** mag. Denis Glavič-Cindro in dr. Benjamin Zorko

**Likovno-grafično uredila:** mag. Denis Glavič-Cindro

**Fotografija:** mag. Denis Glavič-Cindro

**Oprema:** ABO grafika in Institut "Jožef Stefan"

**Založil:** Institut "Jožef Stefan"

**Razmnoževanje in vezava:** Institut "Jožef Stefan" in ABO grafika, Ljubljana, 2004

ISSN 1318-2161

Redakcija poročila je bila končana 20. aprila 2004.

Vse pravice pridržane. Noben del tega poročila ne sme biti reproduciran, shranjen ali prepisan v katerikoli obliki oziroma na katerikoli način, bodisi elektronsko, mehansko, s fotokopiranjem, snemanjem ali kako drugače, brez predhodnega privoljenja Nuklearne elektrarne Krško ©.

Naklada 70 izvodov.



- Izvajalci:*
- Institut "Jožef Stefan" (IJS), Jamova 39, SI-1000 Ljubljana
  - Zavod za varstvo pri delu, d.d. (ZVD),  
Chengdujska cesta 25, SI-1000 Ljubljana
  - Institut "Ruđer Bošković" -  
Zavod za istraživanje mora i okoliša (IRB-ZIMO),  
Bijenička cesta 54, HR-10000 Zagreb
  - Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada (IMI),  
Ksaverska cesta 2, HR-10000 Zagreb
  - NE Krško, Vrbina 12, SI-8270 Krško  
(emisijske meritve znotraj ograje NE Krško)
- Naročnik:* NE Krško, Vrbina 12, SI-8270 Krško
- Pogodba št.:* POG-3059
- Nosilec projekta za IJS:* dr. Rafael Martinčič  
*v.d. nosilca projekta za IJS:* dr. Matjaž Korun od 6. 1. 2003 dalje
- Nosilec projekta za NEK:* mag. Borut Breznik  
*Skrbnik projekta za NEK:* Aleš Volčanšek, univ. dipl. inž.
- Naslov poročila:* **Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško -  
Poročilo za leto 2003**
- Oznaka poročila:* 6/2004
- Odgovorni za izdajo:* dr. Matjaž Korun
- Poročilo uredili:* mag. Denis Glavič-Cindro, dr. Benjamin Zorko
- Ovrednotenje meritev:* dr. Ljudmila Benedik  
dr. Aleš Fajgelj  
Matjaž Koželj, univ. dipl. fiz.  
mag. Bogdan Pucelj  
dr. Borut Smodiš  
Matjaž Stepišnik, univ. dipl. fiz.  
mag. Polona Tavčar  
dr. Tim Vidmar  
dr. Benjamin Zorko





**MERITVE RADIOAKTIVNOSTI  
V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO  
POROČILO ZA LETO 2003**

**ODGOVORNI ZA IZDAJO**

dr. Matjaž Korun

**POROČILO UREDILA**

mag. Denis Glavič-Cindro, dr. Benjamin Zorko

**OVREDNOTENJE MERITEV**

dr. Ljudmila Benedik, dr. Aleš Fajgelj, Matjaž Koželj, univ. dipl. fiz., mag. Bogdan Pucelj,  
dr. B. Smodiš, Matjaž Stepišnik, univ. dipl. fiz., dr. Tim Vidmar, dr. Benjamin Zorko

**IZVAJALCI MERITEV**

**Institut "Jožef Stefan", Ljubljana**

*Koordinator projekta za IJS:* dr. Rafael Martinčič

*V. d. koordinatorja projekta za IJS:* dr. Matjaž Korun, od 6. 1. 2003 dalje

*Izvajalci na IJS:* dr. L. Benedik, D. Brodnik, P. Dujmovič, mag. D. Glavič-Cindro, S. Gobec,  
Z. Grabnar, dr. M. Korun, dr. J. Kožar-Logar, mag. M. Mihelič, dr. M. Nečemer, mag. B. Pucelj,  
M. Ravnikar, U. Repinc, univ. dipl. kem., M. Ribič, E. Sosič, J. Smrke, B. Svetek, inž. kem. tehnol.,  
dr. J. Vaupotič., dr. T. Vidmar, mag. B. Vodenik, dr. B. Zorko, M. Žele, S. Žigon

**Zavod za varstvo pri delu, Ljubljana**

*Koordinator projekta za ZVD:* mag. Miran Kanduč

*Izvajalci na ZVD:* S. Ambrož, univ. dipl. kem., P. Jovanovič, inž. fiz., D. Konda,  
B. Kuhar, univ. prof. fiz., M. Levstek, dr. G. Omahen, D. Rojec, L. Peršin

**Institut "Ruđer Bošković" - Zavod za istraživanje mora i okoliša, Zagreb**

*Koordinator projekta za IRB - ZIMO:* dr. Stipe Lulić

*Izvajalci na IRB:* dr. D. Barišić, dr. Ž. Grahek, T. Kardum,  
mag. K. Košutić, R. Kušić, L. Mikelić, dipl. inž., dr. V. Oreščanin,  
M. Rožmarić-Mačefat, dipl. inž., dr. A. Vertačnik, B. Vetnić

*Izvajalci na DHMZ RH:* mag. Dunja Borovečki (odgovorna oseba),  
D. Leopold, I. Panjkret, Z. Zeljković

**Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb**

*Koordinator projekta za IMI:* dr. Gordana Marović

*Izvajalci na IMI:* dr. Z. Franić, H. Hršak, B. Petrincec, dipl. inž. J. Senčar

**IZVAJALCI EMISIJSKIH MERITEV ZNOTRAJ OGRAJE NE KRŠKO**

**Nuklearna elektrarna Krško, Krško**

*Nosilec projekta za NE Krško:* mag. Borut Breznik

*Izvajalci v NEK:* B. Devunić, L. Djurdjek, univ. dipl. inž., B. Grčić, inž., K. Jurinić,  
A. Kušar, univ. dipl. inž., D. Nikić, M. Pavlin, dipl. inž., A. Volčanšek, univ. dipl. inž.



**NASLOV POROČILA:**

Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2003

**KLJUČNE BESEDE:**

radioaktivno onesnaženje okolja, zračni in tekočinski radioaktivni izpusti, umetni in naravni radionuklidi, vsebnost radionuklidov, specifična aktivnost radionuklidov, površinske vode, podtalnica, vodovod, suhi in mokri used, zrak, aerosoli, zemlja, hrana, doze zunanega sevanja, ocena učinkovitih doz, referenčna skupina prebivalstva, primerjalne meritve.

**POVZETEK:**

Sumarni rezultati meritev radioaktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov v različnih nadzorovanih medijih in ekspozijskih prenosnih poteh so podani z ocenami učinkovitih doz. Konzervativne ocene doznih obremenitev posameznikov zaradi emisij jedrske elektrarne dajejo v letu 2003 za atmosferske emisije *efektivno dozo* manj kot 1  $\mu\text{Sv}$  na leto in za tekočinske emisije za referenčno skupino prebivalstva *efektivno dozo* manj kot 0,1  $\mu\text{Sv}$  na leto. Ta vrednost (manj kot 1  $\mu\text{Sv}$  na leto) je manjša od 2 % avtorizirane mejne letne doze za prebivalca na robu ožje varstvene cone. Iz meritev so bile ocenjene tudi izpostavitve naravnemu sevanju in prispevki zaradi splošne radioaktivne onesnaženosti okolja, ki so jo povzročile poskusne jedrske eksplozije in černobilska nesreča.

**REPORT TITLE:**

Off-Site Monitoring of Krško Nuclear Power Plant - Report for the year 2003

**KEYWORDS:**

Radioactive contamination of the environment, airborne and liquid radioactive effluents, man-made and natural occurring radionuclides, specific activities, surface waters, underground water, tap water, dry and wet deposition, airborne radionuclides, soil, foodstuffs, external radiation doses, effective dose assessments, reference (critical) population group, intercomparison measurements.

**ABSTRACT:**

Summarised results of radioactivity measurements for man-made and natural occurring radionuclides are presented for different transfer media and exposure pathways in the form of assessed effective doses. Conservatively estimated dose burdens received by members of general public as the result of NPP emissions amount in the year 2003 to a value of the *effective dose* smaller than 1  $\mu\text{Sv}$  per year for atmospheric discharges and smaller than 0,1  $\mu\text{Sv}$  per year for liquid discharges received by members of the reference (critical) population group. This value (less than 1  $\mu\text{Sv}$  per year) presents less than 2 % of the authorized dose limit to the member of the public received at the boundary of the exclusion area. From the measurements the exposure to the natural radiation and to the general radioactive contamination due to the nuclear test explosions and Chernobyl accident were assessed.



## VSEBINA

Uvod	VII / VIII
------	------------

### OVREDNOTENJE MERITEV

Izveček	1 / 108
Summary	5 / 108
Reka Sava	11 / 108
Vodovodi in podtalnice	27 / 108
Padavine in talni usedi	41 / 108
Zrak	51 / 108
Doza zunanjega sevanja	67 / 108
Zemlje	77 / 108
Krmila in hranila	79 / 108
Ocena letnih doz referenčne skupine za savske prenosne poti za leto 2003	87 / 108
Program B	95 / 108
Medlaboratorijske primerjalne meritve pooblaščenih izvajalcev monitoringa v letu 2003	101 / 108
Pregled referenc	107 / 108

### MERSKI REZULTATI

Program rednega nadzora radioaktivnosti v okolici NEK za leto 2003	M-1 / M-140
Enote in nazivi količin	M-12 / M-140
Tabela radionuklidov	M-13 / M-140
Merske metode	M-14 / M-140
Tabelarični zapisi meritev	M-22 / M-140
Seznam tabel meritev programa A	M-25 / M-140
<b>Program A</b>	
Tabele merskih rezultatov	M-31 / M-140
<b>Tabele interkomparacijskih rezultatov</b>	
Mednarodne interkomparacije izvajalcev	M-119 / M-140
Medsebojne interkomparacije izvajalcev	M-135 / M-140

Tabele z merskimi rezultati iz **Programa A** in **Tabele interkomparacijskih rezultatov** so na priloženi zgoščeni.







## U V O D

Vpliv objektov, ki v okolje spuščajo radioaktivne snovi, nadziramo na dva načina. Na samem viru izpustov merimo emisije, to je sestavo radionuklidov in izpuščeno aktivnost, ter z modelom ocenjujemo dozno obremenitve prebivalstva v okolici objektov. Po drugi strani pa z neposrednimi meritvami ugotavljamo vnos radioaktivnih snovi v okolje, kar omogoča neposredno ocenjevanje izpostavljenosti prebivalstva. Slednje meritve omogočajo tudi ocenjevanje izpostavljenosti prebivalstva naravnemu sevanju in vplivom širšega okolja, kot so bile jedrske eksplozije in černobilska nesreča.

Med obratovanjem izpušča jedrska elektrarna radioaktivne snovi v zrak in v vodo. Da bi zajeli vse vplive radioaktivnosti na prebivalstvo, meritve v okolici elektrarne obsegajo meritve zunanjega sevanja (sevanja radionuklidov v zraku, iz tal ter sevanje neposredno iz elektrarne) in meritve koncentracij radioaktivnih snovi v zraku, hrani in vodi, ki z vnosom v telo povzročijo notranje obsevanje. Koncentracije v zraku, hrani in vodi se merijo v odvzetih vzorcih v laboratorijih izven dosega sevanja, ki ga povzroča elektrarna.

Zunanje sevanje se meri s kontinuirnimi merilniki hitrosti doze, ki služijo sprotnemu spremljanju zunanjega sevanja (MFM-202) in s termoluminiscenčnimi dozimetri (TLD), s katerimi se lahko oceni izpostavljenost zunanjemu sevanju po prehodu radioaktivnega oblaka v primeru nesreče. Radioaktivnost v zraku se določa iz vzorcev, dobljenih s črpanjem zraka skozi aerosolne filtre in filtre, ki zadržijo jod iz zraka, ter iz vzorcev deževnice in suhega useda. Radioaktivnost v reki Savi, kamor se iztakajo tekočinski izpusti, se določa iz meritev vzorcev vode, sedimentov in rib, radioaktivnost podzemnih vod pa iz vzorcev podtalnice in vzorcev vodovodne vode iz zajetij in črpališč. Vzorci hrane, ki so pridelani v okolici elektrarne in v katerih se meri vsebnost radionuklidov, so izbrani tako, da se lahko oceni celotni prispevek radioaktivnosti hrane k dozi. Poleg tega se določa še vsebnost radionuklidov v zemlji.

Poročilo obravnava rezultate meritev, opravljenih v letu 2003 v skladu s "Programom nadzora radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško za leto 2003" (del A in povzetek dela B), ki zajema poleg meritev v Republiki Sloveniji tudi nekatere meritve v Republiki Hrvaški. Program, ki je skladen s Pravilnikom o načinu, obsegu in rokih sistematičnih preiskav kontaminacije z radioaktivnimi materiali v okolici jedrskih objektov (Pravilnik Z-2), je bil potrjen na 32. seji Strokovne komisije za jedrsko varnost Republiškega komiteja za energetiko RS, dne 26. 12. 1986. Upravna osnova za izvajanje Programa je bila potrjena z Odločbo št. 318-1/94-6837/SA, izdano dne 28. 07. 1994 pri Upravi R Slovenije za jedrsko varnost (URSV), ki nosi tudi soglasje Zdravstvenega inšpektorata R Slovenije in Odločbo URSV št. 39161-8/2001/8/RV/419 izdano dne 22. 03. 2002.

V skladu z veljavnim programom in glede na meritve iz ref. [1], opravljene v letu 2002, so bile v okviru programa A in B uvedene v letu 2003 naslednje bistvenejše spremembe:

- uveden je bil nov način računanja polletnih in letnih povprečij ter pripadajočih negotovosti, kar je podrobno opisano v poglavju Tabelarični zapisi meritev
- uvedena je bila nova metodologija pri oceni letnih doz referenčne skupine za savske prenosne poti
- nameščeni so bili ombrometri za merjenje količine padavin v Krškem (Stara vas) in Dobovi
- primerjalne meritve tekočinskih izpustov iz WMT in SGBD je tudi v letu 2003 opravljal IRB.

Celotno poročilo sestavljajo: skupno poročilo IJS, ZVD, IRB-ZIMO in IMI, ki se nanaša na osnovni program A, in povzetek programa B. Posebej so ocenjeni (poglavje: Ovrednotenje meritev) in podani tudi rezultati (poglavje: Merski rezultati) interkomparacijskih meritev izvajalcev, ki so namenjeni nadzoru kakovosti meritev.



Za evalvacijo merskih podatkov ter pri oceni doznih obremenitev so kot dopolnilni ali vzporedni podatki uporabljeni tudi:

- mesečna poročila NEK o tekočinskih in zračnih emisijah v letu 2003
- letno poročilo o radioaktivnih emisijah iz NE Krško za leto 2003
- mesečni izračuni zračnih razredčitvenih faktorjev Agencije Republike Slovenije za okolje za okolico NEK v letu 2003 in izračuni razredčitvenega faktorja NEK za kritične lokacije ob "enkratnih izpustih"
- nekateri merski podatki iz "Republiškega programa nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju Slovenije" in posebnih meritev IJS.

Izvajalci programa so Institut "Jožef Stefan", Zavod za varstvo pri delu iz Ljubljane, Institut "Ruđer Bošković" - Zavod za istraživanje mora i okoliša in Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada iz Zagreba.

Institut "Jožef Stefan" ima izdelan sistem zagotovitve kakovosti. Sistem kakovosti Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij (F-2), v okviru katerega deluje Laboratorij za radiološke merilne sisteme in meritve radioaktivnosti, je opisan v *Poslovniku kakovosti Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij (F2-PK)*. Vsa dela, povezana z meritvami radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško v okviru "Programa nadzora radioaktivnosti v okolici NE Krško", potekajo v skladu z institutskim in odsečnim poslovnikom in po postopkih, na katere se odsečni poslovnik sklicuje. Laboratorij za radiološke merilne sisteme in meritve radioaktivnosti je akreditiran pri Slovenski akreditaciji za meritve sevalcev gama v homogenih cilindričnih vzorcih. Z akreditacijsko listino št. L-044 z dne 20. 3. 2003 mu Slovenska akreditacija priznava izpolnjevanje zahtev standarda SIST EN ISO/IEC 17025:2002 pri tej dejavnosti.

Priročnik zagotovitve kakovosti Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada vsebuje vse postopke, ki se uporabljajo pri meritvah v okviru "Programa nadzora radioaktivnosti v okolici NE Krško".

Na Institutu "Ruđer Bošković" ima Laboratorij za radioekologijo listino "Rešenje o udovoljavanju uvjetima za potvrđeni meriteljski laboratorij", ki mu jo je podelil Državni zavod za normizaciju i meriteljstvo Republike Hrvatske. V okviru programa nadzora radioaktivnosti v oklici NE Krško se aktivnosti sevalcev gama merijo na spektrometru s tipskim odobrenjem (klasa 960-03/1-08/42, UR Br. 558-03/5-02-1 z dne 5. 8. 2002), ki je potrdilo Državnega zavoda o ustreznosti spektrometra. Vse dejavnosti povezane z meritvami radioaktivnosti v okolici NE Krško potekajo v skladu s Priročnikom o zagotovitvi kakovosti.

Zavod za varstvo pri delu ima delujoč sistem zagotovitve kakovosti, v katerega so vključene vse dejavnosti, povezane z meritvami v okviru "Programa nadzora radioaktivnosti v okolice NE Krško". Laboratorij za merjenje specifičnih aktivnosti radionuklidov je akreditiran pri Slovenski akreditaciji za izvajanje visokoločljivostne spektrometrije gama. Z akreditacijsko listino št. L-063 z dne 01. 3. 2004 mu Slovenska akreditacija priznava izpolnjevanje zahtev standarda SIST EN ISO/IEC 17025:2002 pri tej dejavnosti.

## a) REFERENCA

- [1] Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2002, Ljubljana, april 2003, interna oznaka 12/2003, ISSN 1318-2161.



## OVREDNOTENJE MERITEV

### SKLOP ALI POGLAVJE

Izvleček

Reka Sava

Vodovodi in podtalnice

Padavine in talni usedi

Zrak

Doza zunanjega sevanja

Zemlja

Krmila in hranila

Ocena letnih doz referenčne skupine za savske  
prenosne poti

Program B

Medlaboratorijske primerjalne meritve  
pooblaščenih izvajalcev

### AVTORJI

mag. Bogdan Pucelj

Matjaž Stepišnik, univ.dipl.fiz.

dr. Ljudmila Benedik

dr. Borut Smodiš

mag. Polona Tavčar

Matjaž Koželj, univ.dipl.fiz.

mag. Bogdan Pucelj

dr. Tim Vidmar

dr. Benjamin Zorko

Matjaž Stepišnik, univ.dipl.fiz.

Matjaž Stepišnik, univ.dipl.fiz.

Matjaž Koželj, univ.dipl.fiz.

dr. Aleš Fajgelj, MAAE





## IZVLEČEK

Podobno kot v svetu je prebivalstvo Slovenije izpostavljeno naravnemu sevanju in nekaterim antropogenim virom, predvsem vplivom preostale černobilske kontaminacije in jedrskih poskusov. Pri prebivalstvu okolice Nuklearne elektrarne Krško (NEK) so dodatno možne izpostavitve zaradi atmosferskih in tekočinskih izpustov radioaktivnih snovi iz NEK in zaradi neposrednega sevanja iz objektov znotraj njene ograje.

### a) VPLIVI NEK

Spremljanje radioloških razmer v okolici NEK poteka z merjenjem **koncentracij radionuklidov v okolju**, to je posledic vnosov radioaktivnih snovi v okolje. Ob normalnem obratovanju jedrskih objektov so koncentracije radionuklidov v okolju navadno znatno pod detekcijskimi mejami, zato vplive vrednotimo iz merjenih **emisijskih** podatkov in z uporabo modelov za razširjanje radionuklidov v okolju.

### Neposredno sevanje iz objektov znotraj ograje NEK

V bližnji okolici nekaterih objektov znotraj ograje NEK je raven zunanjega sevanja nekoliko povečana. Vpliv teh objektov na izpostavitve sevanju na ograji NEK in na večjih razdaljah je zanemarljiv.

### Atmosferski izpusti iz NEK

Radionuklidi v atmosferskih izpustih se močno razlikujejo po radioloških lastnostih pa tudi po izpuščenih aktivnostih. Podobno kot pri drugih jedrskih elektrarnah so tudi v primeru NEK najpomembnejše naslednje skupine radionuklidov:

- žlahtni plini, ki so izključno zunanji sevalci in edini pomembni za zunanjo izpostavitve ob prehodu oblaka
- radionuklida H-3 in C-14, ki sta zlasti zaradi inhalacije biološko pomembna kot notranja sevalca pri vgradnji v organizem, izotop C-14 pa tudi zaradi rastlinske prenosne poti
- sevalci beta / gama v partikulatih (izotopi Co, Cs, Sr itd.), pomembni za inhalacijo in zaradi useda ob prehodu oblaka
- izotopi joda v raznih fizikalnih in kemijskih oblikah, pomembni pri inhalaciji ob prehodu oblaka in zaradi vnosa v mleko.

Ovrednotenje emisij z modelskimi izračuni razredčitvenih faktorjev, temelječih na realnih vremenskih podatkih, je za leto 2003 pokazalo, da so bile za posamezne skupine radionuklidov najpomembnejše prenosne poti, navedene v tabeli A. Vse oblike izpostavitve prebivalstva so bile izredno nizke. Izstopa lahko ingestijska doza zaradi vnosa C-14 zaradi uživanja mleka pri najmlajših in žitaric pri drugih starostnih skupinah. Navedena efektivna doza temelji na modelskih ocenah za podobne jedrske objekte.



**Tabela A:** Izpostavitve prebivalstva zaradi atmosferskih izpustov iz NEK v letu 2003

Način izpostavitve	Prenosna pot	Najpomembnejši radionuklidi	Letna doza ( $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ )
zunanje sevanje	sevanja iz oblaka sevanje iz useda	radionuklidi žlahtnih plinov (Xe) partikulati (Co-58, Co-60, Cs-137,...)	< 0,01 < 0,01
inhalacija	oblak	H-3, C-14	< 0,5
ingestija	mleko, žitarice	C-14	< 1

Razmere neposredno v okolju so bile preverjane z naslednjimi meritvami v okolju:

- vsebnost radionuklidov v zraku (aerosolni in jodovi filtri)
- suhi in mokri used (vazelinske plošče in padavine)
- vnos radionuklidov v rastline, živali, mleko
- vsebnost radionuklidov v zemlji na obdelanem in neobdelanem zemljišču
- doza zunanjega sevanja na številnih lokacijah.

Nobena od meritev v okolju ni pokazala prisotnosti radionuklidov, ki bi jih bilo mogoče pripisati atmosferskim izpustom iz NEK. V nekaterih primerih sta bila odkrita Cs-137 in Sr-90/Sr-89, ki pa izvirata iz černobilske kontaminacije in poskusnih jedrskih eksplozij.

### Tekočinski izpusti

V tekočinskih izpustih iz NEK v reko Savo je v letu 2003 po aktivnosti prevladoval H-3, medtem ko je bila skupna izpuščena aktivnost sevalcev beta / gama več kot 10.000-krat nižja.

V okviru nadzornega programa meritev v okolju so potekale meritve savske vode, sedimentov in vodne biote (ribe). Dodatno so se izvajale še meritve vodovodov Krško in Brežice ter meritve črpališč in podtalnice.

Neposredni vpliv NEK je bil merljiv le v povišani vsebnosti H-3 v reki Savi pri Brežicah in Jesenicah na Dolenjskem, sotočno od NEK, kjer je bila vsebnost H-3 povečana v primerjavi z referenčno lokacijo v Krškem, protitočno od NEK.

Po drugi strani je bil izotop I-131 prisoten v vzorcih vode in sedimentov tako protitočno kot sotočno od NEK. NEK v letu 2003 ni poročal o tekočinskih izpustih I-131, zato domnevamo, da gre za posledico medicinske uporabe I-131.

Izmerjeno vsebnost Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v savskih vzorcih in ribah pripisujemo černobilski kontaminaciji in poskusnim jedrskim eksplozijam.

V letu 2003 je bil sotočno od NEK poleti v savskih vzorcih zaznan Co-60, kar je mogoče pripisati izredno nizkemu vodostaju reke Save v tem obdobju.

V vodovodih in črpališčih v letu 2003 ni bilo zaznati vplivov NEK.

Modelski izračun, temelječ na tekočinskih izpustih, podatkih o letnem pretoku reke Save in upoštevajoč značilnosti referenčne skupine, je pokazal, da najvišja efektivna doza zaradi izpustov v reko Savo ne presega 0,1  $\mu\text{Sv}$  na leto.



## b) NARAVNO SEVANJE

Meritve zunanjega sevanja v okolici NEK so v letu 2003 potrdile ugotovitve iz preteklosti, da gre za značilno naravno okolje, ki ga najdemo tudi drugje v Sloveniji in v svetu. Letna doza sevanja gama in ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja v okolici NEK je bila na prostem v povprečju 0,78 mSv na leto, za zaprte prostore pa je bila leta 1998 ocenjena na 0,77 mSv na leto. K temu je treba dodati še prispevek nevtronske komponente kozmičnega sevanja, ki je za območje NEK 0,070 mSv na leto. Tako je bila skupna efektivna doza zunanjega sevanja v letu 2003 v okolici NEK **0,85 mSv na leto**, kar je primerljivo s svetovnim povprečjem (0,87 mSv na leto).

Meritev vsebnosti naravnih radionuklidov v hrani kaže vrednosti, ki so primerljive s povprečnimi vrednostmi v svetu. Zato za ingestijsko efektivno dozo privzemamo zaključke iz UNSCEAR 2000 [9].

Posamezni prispevki k dozi naravnega sevanja so v tabeli B. Skupna letna efektivna doza je ocenjena na 2,44 mSv na leto, kar je zelo blizu svetovnega povprečja 2,4 mSv na leto [9].

**Tabela B:** Efektivne doze zaradi naravnega sevanja v okolici NEK

Vir	Letna efektivna doza (mSv/leto)
gama in neposredno ionizirajoče sevanje kozmični nevtroni	0,78 0,070
ingestija (K, U, Th)	0,29
inhalacija (kratkoživi potomci Rn-222) #	1,3
Skupaj	<b>2,44</b>

# Značilni prispevek kratkoživih radonovih potomcev k efektivni dozi je bil ocenjen v poročilu za leto 2000 (IJS-DP-8340, #3 na strani 7)

## c) ČERNOBILSKA KONTAMINACIJA IN POSKUSNE JEDRSKE EKSPLOZIJE

V letu 2003 je bil v zemlji merljiv le še Cs-137, ki izvira iz černobilske nesreče in poskusnih jedrskih eksplozij. Prispevek Cs-137 k zunanjemu sevanju je bil ocenjen med 3 % in 6 % naravnega ozadja zunanjega sevanja ob celoletnem zadrževanju na takem zemljišču. Upoštevajoč čas zadrževanja v zaprtih prostorih, je prispevek černobilskega Cs-137 k zunanji dozi velikostnega reda 1 % naravnega ozadja.

Černobilski Cs-137 in Sr-90/Sr-89 iz jedrskih poskusov sta bila izmerjena v sledih v posameznih vrstah hrane. Efektivna doza zaradi ingestije te hrane je bila ocenjena na 0,3  $\mu$ Sv na leto za Cs-137 in 0,9  $\mu$ Sv na leto za Sr-90/Sr-89, kar je skupaj okrog 0,4 % letne efektivne doze zaradi naravnih radionuklidov v hrani.





#### d) ZAKLJUČKI

Povzetek izpostavitve prebivalstva v okolici NEK za leto 2003 je v tabeli C, kjer so navedeni prispevki naravnega sevanja, vplivi NEK in preostali vplivi černobilske kontaminacije ter poskusnih jedrskih eksplozij.

**Tabela C:** Povzetek letnih izpostavitvev prebivalstva v okolici NEK za leto 2003

	Vir	Letna efektivna doza (μSv/leto)
<b>NEK atmosferski izpusti (*)</b>	<b>neposredno sevanje iz objektov NEK</b> <b>zunanje sevanje iz oblaka</b> <b>zunanje sevanje iz useda</b> <b>inhalacija iz oblaka</b> <b>ingestija</b>	<b>zanemarljivo</b> <b>&lt; 0,01</b> <b>&lt; 0,01</b> <b>≤ 0,5</b> <b>&lt; 1</b>
<b>NEK tekočinski izpusti (Sava) (*)</b>	<b>referenčna skupina</b>	<b>&lt; 0,1</b>
naravno sevanje	gama in ionizirajoče sevanje	780
	kozmični nevtroni	70
	ingestija (K, U, Th)	290
	inhalacija (kratkoživi potomci Rn-222)	1300
	<b>skupaj</b>	<b>2440</b>
Černobil in jedrski poskusi	zunanje sevanje ingestija	. 10 < 2

(\*) Skupne vsote prispevkov NEK ne navajamo, saj vsi prispevki niso aditivni.

- V letu 2003 so bili vsi sevalni vplivi NEK na prebivalstvo v okolici ocenjeni pod 0,001 mSv na leto.
- Ocenjena vrednost je zanemarljiva v primerjavi z avtoriziranimi mejnima dozama za prebivalstvo v okolici NEK (50 μSv na leto na razdalji 500 m in 200 μSv na leto na ograji NEK).<sup>1</sup>
- Ocenjena vrednost je zanemarljiva v primerjavi z letno dozno omejitvijo za prebivalstvo, ki je 1 mSv na leto.
- Ocenjena vrednost je okrog 0,1 % navadnega neizogibnega naravnega ozadja.
- Atmosferski in tekočinski izpusti iz NEK so primerljivi s tistimi iz podobnih jedrskih elektrarn v Evropi.

<sup>1</sup> Letna mejna vrednost efektivne doze za posameznika iz prebivalstva je po naših predpisih in mednarodnih priporočilih 1 mSv na leto. V mejno vrednost niso všteti prispevki medicinskih izpostavitvev in naravnega sevanja.

Poleg navedene osnovne splošne omejitve pa obstajajo tudi upravne, ki veljajo za normalno obratovanje posameznih jedrskih objektov. To so avtorizirane mejne doze, ki so praviloma nižje od osnovne splošne omejitve. V primeru NEK:

Po lokacijski odločbi Republiškega sekretariata za urbanizem (št. 350/F-15/69 od 8. 8. 1974) je mejna vrednost doze za prebivalca *na robu ožje varstvene cone NEK* (radij 500 m od osi reaktorja) **50 μSv na leto**.

Po odločbi Republiškega komiteja za varstvo okolja in urejanje prostora (št. 350/F-6/88-DF/JV od 2. 8. 1988) in ob soglasju republiškega sanitarnega inšpektorata (št. 531-4/531/73-34/p od 21. 1. 1988) pa je omejitev letne doze (ki zajema tako prispevke reaktorja kot tudi začasnega skladišča radioaktivnih odpadkov) **na ograji NEK 200 μSv na leto**.



## S U M M A R Y

Like elsewhere in the world, the population of Slovenia is exposed to natural radioactivity and to certain anthropogenic sources of radioactivity, chiefly the remaining Chernobyl contamination and the contamination due to nuclear tests. For the local population around the Krško NPP there is an additional possibility for exposure to the atmospheric and liquid discharges of radioactive substances from the Krško NPP and to direct radiation from certain facilities within the perimeter of the Krško NPP.

### a) **IMPACT OF THE KRŠKO NPP**

The survey of the radiological situation around the Krško NPP is carried out by controlling the activity concentrations of radionuclides in the environment, i.e. measuring the concentrations of radioactive substances that have been introduced into the environment. In normal operational conditions, these concentrations are usually below the detection limits of the measuring equipment and the environmental impact of the NPP is assessed from the measured emission data, i.e. the data on the releases of radioactive substances, obtained at the source.

#### **Direct radiation from the Krško NPP**

In the immediate vicinity of some facilities within perimeter of the Krško NPP a slight increase in the external dose rate can be detected. However, the contribution of this radiation to the annual external dose at the perimeter fence and at larger distances is negligible.

#### **Atmospheric discharges from the Krško NPP**

The radioisotopes present in atmospheric discharges vary in their radiological characteristics and released activities. Similarly to other NPPs, the important groups of radionuclides in the case of the Krško NPP are:

- Noble gasses, which only cause external exposure and are the sole important contributor to external exposure in case of a radioactive cloud immersion
- The radionuclides H-3 and C-14, which are significant as internal beta emitters and biologically important as they get built into the organism, mostly during inhalation and grain-man exposure pathway
- Various beta/gamma emitters present in aerosols (Co, Cs, Sr, etc), which are important for the inhalation exposure pathway and for the deposition pathway during the passage of a radioactive cloud
- Iodine radionuclides in different physical and chemical forms, which are important for inhalation exposure in case of immersion in a radioactive cloud and due to their transport into milk and dairy products.

The evaluation of activity concentrations in the environment and the resulting model calculations using dilution factors based on actual meteorological data for the year 2003 demonstrated that for individual above-mentioned groups of radionuclides, the exposure pathways listed in Table A were the most significant ones. All the different contributions to the radiation exposure of the general public are exceedingly low. The dominant exposure pathway is due to intake of C-14 through ingestion of milk in infants and through ingestion of cereals in other age groups. The upper limit for the effective dose quoted in Table A for this exposure pathway is based on model estimates for nuclear installations similar to the Krško NPP.



**Table A:** General public exposures due to atmospheric releases of the Krško NPP in 2003

Exposure type	Exposure pathway	Significant radionuclides	Effective dose (μSv/year)
external	radioactive cloud immersion fallout exposure	radioactive noble gases (Xe) aerosols (Co-58, Co-60, Cs-137)	< 0.01 < 0.01
inhalation	Radioactive cloud	H-3, C-14	< 0.5
ingestion	milk, cereals	C-14	< 1

The radiological situation in the environment in the vicinity of the Krško NPP was surveyed with the following environmental measurement programme:

- Radionuclide concentrations in air (aerosol and iodine filters)
- Wet and dry fallout (Vaseline lubricated plates and precipitations)
- Uptake of radionuclides into plants, animals and milk
- Radionuclide concentrations in soil from cultivated and non-cultivated land
- External dose.

None of the measurements of the environmental samples revealed any presence of man-made radionuclides in the environment, the origin of which could be attributed to the Krško NPP. In some cases the radionuclides Cs-137 and Sr-90/Sr-89 were present in the samples, but their origin could clearly be traced to the Chernobyl accident and the nuclear weapons tests.

### Liquid discharges

In the liquid discharges from the Krško NPP into the Sava river, the dominant radionuclide in terms of the activity released in 2003 was H-3, with the sum of discharged activity of all other beta and gamma emitters being for a factor of more than 10,000 lower than the activity of H-3.

As part of the environmental survey programme, measurements of the Sava river water, sediments and fluvial biota (fish) were carried out. Additionally, measurements of radionuclide concentrations in water samples from drinking water, pumping stations and ground water resources were performed.

The direct impact of the Krško NPP could only be detected in an increase of the H-3 concentration in the Sava river downstream of the Krško NPP near Brežice and Jesenice na Dolenjskem, where the level of H-3 was higher than the one at the reference location upstream of the Krško NPP in the town of Krško.

On the other hand, the presence of I-131 was established in samples taken both upstream and downstream from the Krško NPP. According to its own records, no discharges of I-131 from the Krško NPP took place in 2003. It is thus concluded that the presence of I-131 in the Sava river is a consequence of its use for medical purposes.

The presence of Cs-137 and Sr-90/Sr-89 in the measured water samples and fish can be attributed to the environmental contamination from the Chernobyl accident and nuclear tests exposures in the past.

In 2003 radionuclide Co-60 was detected in the Sava river samples downstream of the Krško NPP. Its detection can be attributed to very low water flow during that period.

In water samples from waterworks and water pumping stations no impact of the Krško NPP could be detected.

A model calculation, based on the measured activity emissions, considering their dilution in the river, showed that the highest possible effective dose to the reference group was < 1 μSv per year.



## b) NATURAL RADIOACTIVITY

Measurements of the external exposure around the Krško NPP in 2003 showed that we are dealing with a typical natural environment, present elsewhere in Slovenia and the world, as far as natural radioactivity is concerned. Annual external effective dose due to gamma rays and ionizing component of cosmic radiation in the vicinity of the Krško NPP amounted on average to 0.78 mSv/year in the open and in dwellings it was estimated at 0.77 mSv/year. To this value the contribution of the neutron component of cosmic radiation needs to be added, which for the area of Krško amounts to 0.070 mSv/year. The total effective annual external dose in the vicinity of the Krško NPP thus amounted to **0.85 mSv/year** in the year 2003, which is compatible with the average worldwide value of 0.87 mSv/year.

The measurements of natural radionuclide concentrations in foodstuffs yielded results comparable with the average worldwide data. The conclusions of UNSCEAR 2000 have therefore been adopted for the estimation of ingestion effective dose in this case [9].

Different contributions to the effective dose are shown in Table B. The total effective dose in 2003 amounts to 2.44 mSv/year, which is very close to the average worldwide value 2.4 mSv/year [9].

**Table B:** Effective doses due to natural radioactivity around Krško

Source	Annual effective dose (mSv/year)
External gamma radiation and the directly ionizing component of cosmic radiation	0.780
Neutron component of cosmic radiation	0.070
Ingestion (K, U, Th)	0.29
Inhalation (Rn daughters) <sup>#</sup>	1.3
<b>Total</b>	<b>2.44</b>

# A typical contribution of radon short-lived daughters to the effective dose was discussed in the report 2000 (IJS-DP-8340, #3, page 7)

## c) CHERNOBYL CONTAMINATION AND THE NUCLEAR WEAPONS TESTS

In the year 2003 the only remaining isotope originating from the Chernobyl accident and nuclear test explosions measured in soil samples was Cs-137. This radionuclide had migrated into deeper layers in undisturbed soil during the years, while its distribution became more uniform in cultivated soil. The contribution of Cs-137 to the natural background external dose was estimated at 3 % to 6 %, assuming an all-year-round presence on such ground. Taking into account the amount of time spent in dwellings, the contribution of Cs-137 to the natural background external dose reduces to about 1 %.

Traces of Chernobyl and weapons-tests related Cs-137 and Sr-90/Sr-89 were detected in certain food samples. The effective dose due to ingestion of such food was estimated at 0.3 μSv/year for Cs-137 and at 0.9 μSv/year for Sr-90/Sr-89, which amounts in total to some 0.4 % of the annual effective dose due to the presence of naturally occurring radionuclides in foodstuffs.



**d) CONCLUSIONS**

The summary of the results for the exposure of general public to ionizing radiation in the vicinity of the Krško NPP is presented in Table C, where the contributions of natural radiation, the Krško NPP and the Chernobyl and nuclear-weapons-tests contamination to the effective dose in 2003 are listed.

**Table C:** Summary of the annual exposure of the general public around the Krško NPP in 2003.

	Source	Effective dose (µSv/year)
<b>Krško NPP Atmospheric discharges<sup>2</sup></b>	<b>External dose (immersion)</b>	<b>&lt; 0.01</b>
	<b>Deposition</b>	<b>&lt; 0.01</b>
	<b>Inhalation</b>	<b>&lt; 0.5</b>
	<b>Ingestion</b>	<b>&lt; 1</b>
<b>Krško NPP liquid discharges<sup>2</sup></b>	<b>Reference group</b>	<b>&lt; 0.1</b>
Natural radiation	Gamma radiation and the directly ionizing component of cosmic radiation	780
	The neutron component of cosmic radiation	70
	Ingestion (K, U, Th)	290
	Inhalation (Rn short-lived daughters)	1300
	<b>Total</b>	<b>2440</b>
Chernobyl and nuclear-weapons tests	External dose	< 10
	Ingestion	< 2

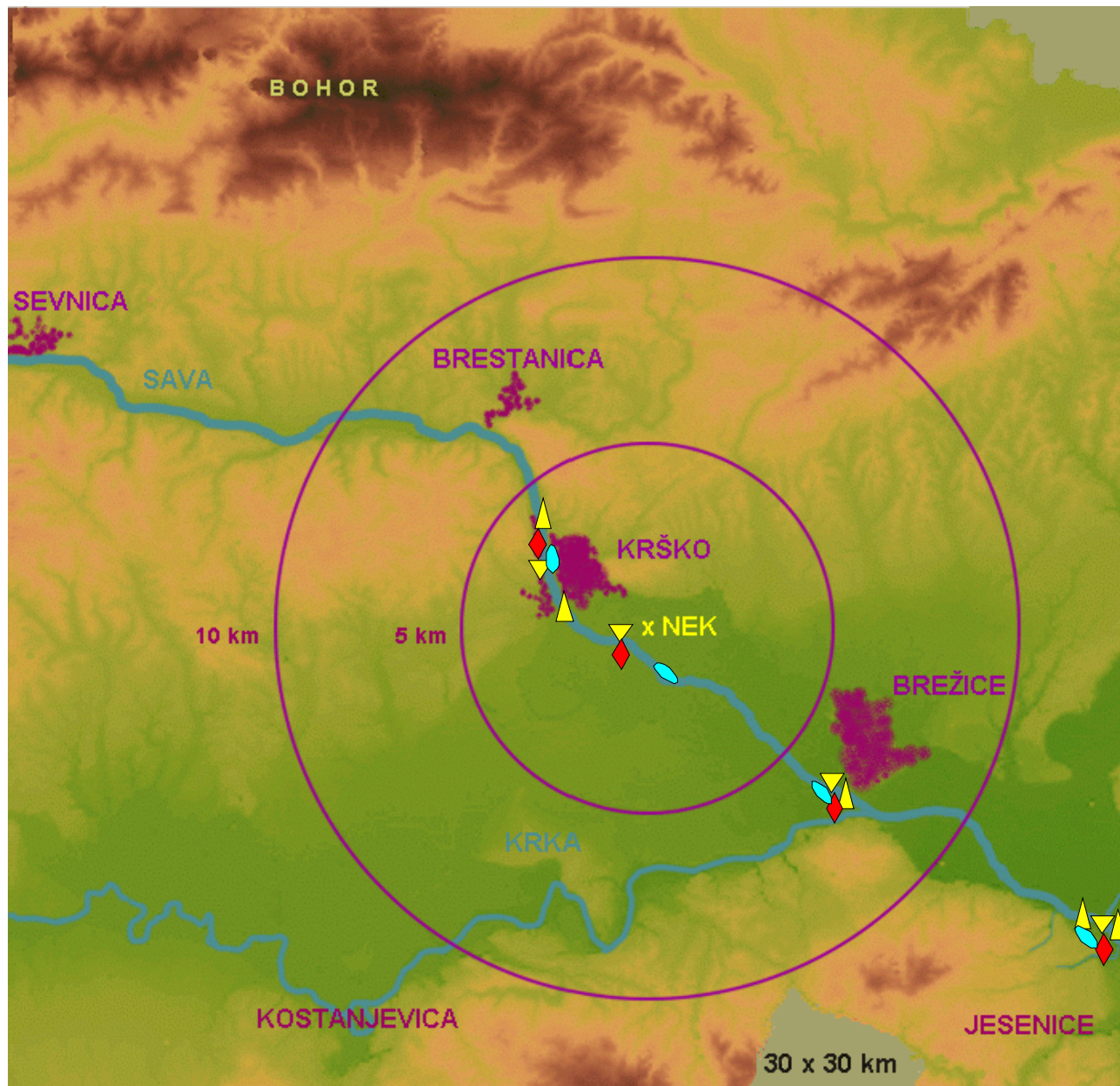
We can conclude that:

- In the year 2003 the impact of the Krško NPP on the exposure of general public to ionizing radiation were estimated as being lower than 0.001 mSv/year;
- This value amounts to about 0.1 % of natural background radiation dose;
- The effective dose to general public due to the activities of the Krško NPP is negligible when compared to the annual dose limit for general public, which stands at 1 mSv/year.<sup>3</sup>
- It is also negligible compared to the two authorized limit doses for general public around the Krško NPP (50 µSv/year at the distance of 500 m from the plant perimeter and 200 µSv/year on the perimeter fence);
- The atmospheric and liquid discharges of the Krško NPP are comparable to those of other similar nuclear installations in Europe.

<sup>2</sup> The sum of contributions of the Krško NPP from different pathways is not given, since the exposures are not necessarily additive.

<sup>3</sup> According to the Slovene regulations and international recommendations, the limit for the annual individual dose for a member of general public stands at 1 mSv. This limiting dose does not include any contributions from medical practice and natural background radiation. In addition to this general restriction, regulatory restrictions exist, which are valid during normal operation of nuclear installations. These are the so-called authorised exposure limits, which are as a general rule lower than the basic general exposure limit. In the case of the Krško NPP, the limiting value of the individual effective dose is set at 50 µSv/year on the perimeter of the so-called inner safety zone (at the distance of 500 m from the reactor symmetry axis) and the limit for the annual effective dose, which incorporates the contribution of not only the reactor, but also the intermediate nuclear waste storage, is set at 200 µSv/year on the NPP perimeter fence.





## REKA SAVA

- ▲ VODA IN SUSPENDIRANA SNOV
- ▼ ENKRATNI VZORCI VODE
- ◆ SEDIMENTI
- VODNA BIOTA - RIBE



## REKA SAVA

### a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST

Značilnosti vzorčevalnih mest so opisane v poročilu za leto 1984 z dopolnitvami iz poročil za leta 1985, 1986, 1995, 1996, 1997, 2001 in 2002.

Vzorčevanje vode je potekalo v Krškem (3,2 km protitočno od NEK), v Brežicah (8,2 km sotočno od NEK) in v Jesenicah na Dolenjskem (17,5 km sotočno od NEK).

Vzorčevanje sedimentov in biote je potekalo na levi obali protitočno od NEK (na levem bregu), na obali pri Brežicah (na levem bregu) in na obali pri Jesenicah na Dolenjskem (na desnem bregu). Vzorčevanje rib je potekalo na podobnih lokacijah. Nekateri vzorci rib so bili ulovljeni tudi v Republiki Hrvaški.

### b) ZNAČILNOSTI VZORČEVANJA IN MERITEV

Vsebnosti sevalcev gama v vzorcih se določa s spektrometrijo gama po postopku, ki vključuje sušenje in homogenizacijo vzorcev. S scintilacijsko spektrometrijo se ugotavlja vsebnost tritija (H-3) v savski vodi, medtem ko se vsebnost Sr-90/Sr-89 določa z radiokemično separacijo.

Vzorčevanje reke Save in meritve ločimo na več sklopov:

1. vzorčevanje vode skupaj z fino suspendirano snovjo in meritve suhih ostankov vzorcev vod za določanje vsebnosti izotopov v reki Savi in meritve filtrskega ostanka reke Save, ki se kot groba suspendirana snov predhodno odstrani iz vode s filtriranjem,
2. vzorčevanje in meritve talnih (meritve IRB) in gibljivih sedimentov (meritve IJS) reke Save,
3. vzorčevanje rib (vodne biote), ki obsega meritve mladice, meritve kosti in mišic rib ter meritve celih rib.

Poleg rednih dnevnih, kontinuirnih vzorčevanj in meritev sestavljenih vzorcev, s katerimi določamo povprečne vsebnosti bolj dolgoživih izotopov, se izvajajo tudi vzorčevanja in meritve enkratnih vzorcev nefiltrirane vode. Te meritve služijo za realnejšo oceno bolj kratkoživih izotopov, kot je npr. I-131.

### c) OBRAVNAVA REZULTATOV

#### VODA IN SEDIMENTI

Tabele: T-1 do T-4 (IJS); T-5, T-6 (IRB)  
T-7 do T-14 (IJS); T-18 (IRB): T-15/p, T-16/p1, T-16/p2, T-16/p3, T-17/p (IRB)

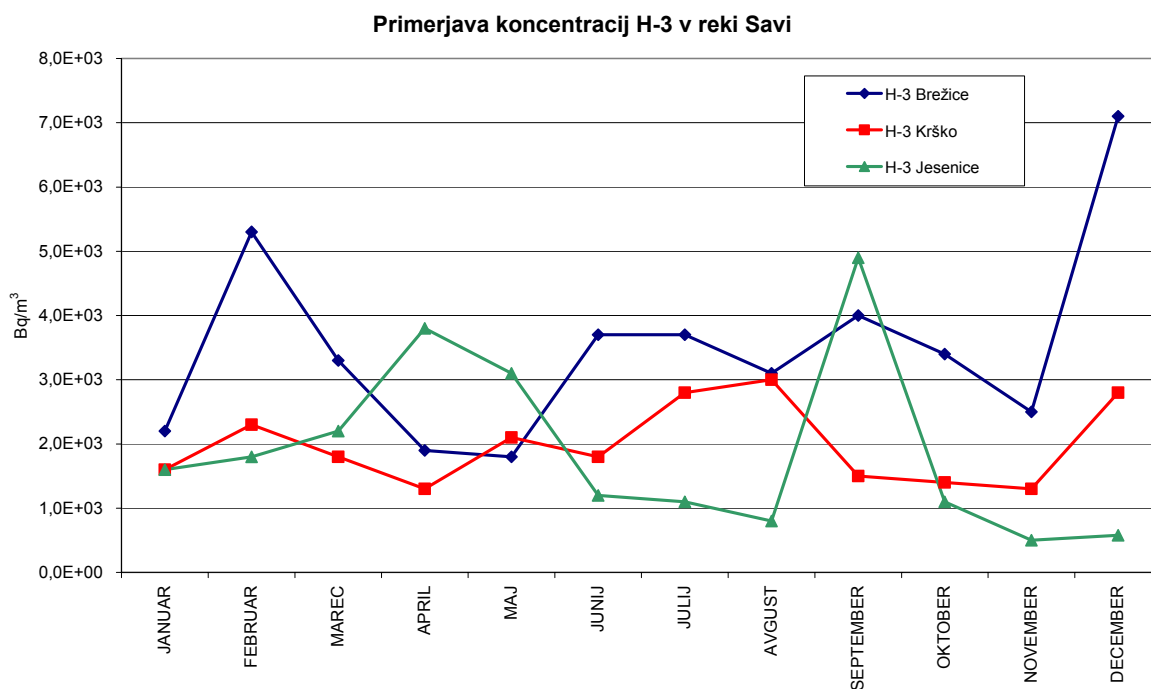
Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v datotekah **NOVI/Sava2003.pdf** in **STARI/Sava2003.pdf**. Razlika v teh datotekah je le pri računanju povprečij in je razložena pri Merskih rezultatih v poglavju Tabelarični zapisi meritev. Ker je nova metoda uporabljena prvič pri evalvaciji rezultatov nadzora radioaktivnosti v okolici NEK, so na zgoščenki datoteke z merskimi rezultati, v katerih so povprečja izračunana po novi in po stari metodi. Kjer se je izkazalo kot potrebno, so ovrednoteni oboji rezultati in razlike pojasnjene.





**H-3** Na sliki 1.1 so prikazane primerjave meritev tritija na različnih odvzemnih mestih. Povprečna letna vsebnost H-3 v Brežicah ( $3,5 \text{ kBq/m}^3$ ) kaže približno dvakrat višjo vrednost, kot je dobljena na referenčnem mestu Krško - Videm ( $2,0 \text{ kBq/m}^3$ ). Najvišja vrednost mesečnih povprečij v Brežicah  $7,1 \text{ kBq/m}^3$  je bila dosežena v decembru, ko je bila vrednost na referenčnem odvzemu Krško - Videm  $2,8 \text{ kBq/m}^3$  ob pretoku Save  $149 \text{ m}^3/\text{s}$  (letno povprečje  $130 \text{ m}^3/\text{s}$ ). V Jesenicah so neodvisne meritve IRB pokazale letno povprečje  $1,9 \text{ kBq/m}^3$ , z največjo vrednostjo  $4,9 \text{ kBq/m}^3$  v mesecu septembru. V nekaterih mesecih so se pojavila razhajanja med meritvami IRB (Jesenice) in IJS (Krško in Brežice), za katera je značilna višja vsebnost H-3 na odvzemnem mestu v Jesenicah (april, maj in september) v primerjavi z meritvami v Krškem in Brežicah, kar kaže na probleme v metodologiji merjenja tritija. V letu 2003 so bile sicer vsebnosti H-3 v Jesenicah v povprečju nižje od tistih v Brežicah, kar pojasnjujemo z povečano razredčitvijo zaradi pritokov.

Povprečna letna vsebnost tritija v Brežicah je 1,5 krat nižja kot v letu 2002, ob tem je povprečna vsebnost tritija na odvzemnem mestu Krško - Videm višja kot v letu 2002.



**Slika 1.1:** Primerjava vsebnosti tritija v savski vodi na lokacijah Krško, Brežice in Jesenice na Dolenjskem. Opazen je skok v mesecu decembru. Negotovosti posameznih izmerkov so približno  $500 \text{ Bq/m}^3$ .



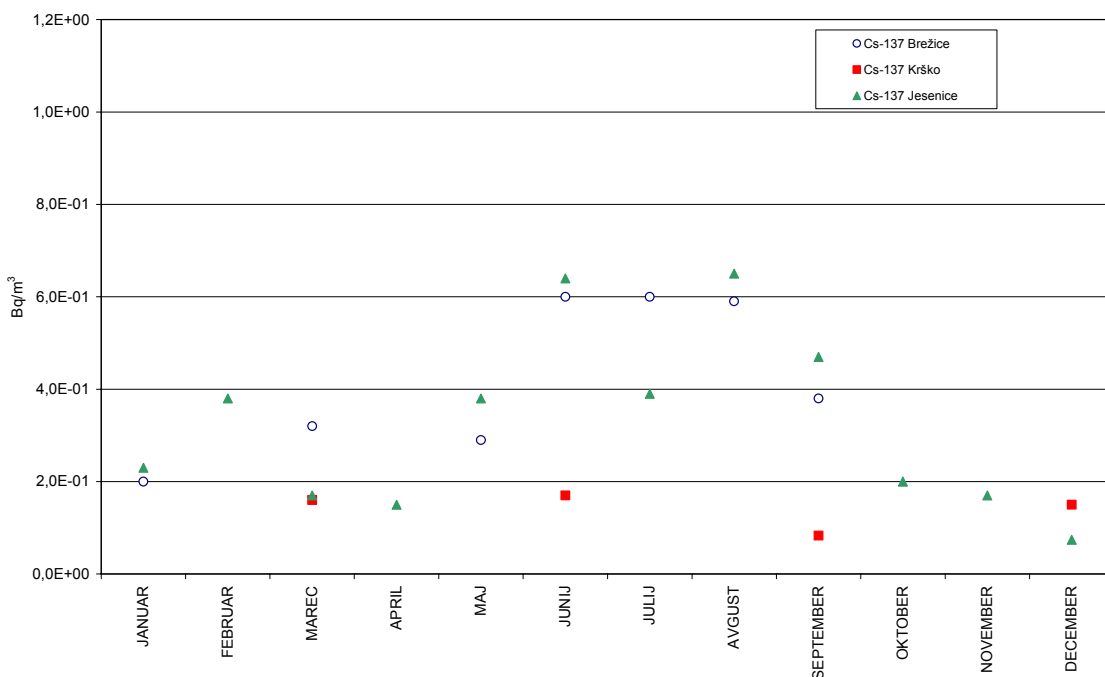
**I-131** *SUHI OSTANEK PO IZPAREVANJU VZORCA VODE*

I-131 je bil redno opažen na vseh nadzorovanih mestih reke Save - tako protitočno od elektrarne kot sotočno v Brežicah in Jesenicah. Realnejše ocene temeljijo na enkratnih odvzemih nefiltrirane vode in ne na sestavljenih vzorcih, ki so zbirani skozi obdobje enega meseca ali še zlasti skozi trimesečno obdobje (referenčno mesto Krško-Videm). Povprečna letna vsebnost I-131 v enkratnih vzorcih na vzorčevalnih mestih znaša od 11 do 22 Bq/m<sup>3</sup> in je najvišja na odvzemnem mestu Krško (za papirnico) 0,5 km protitočno od NEK. Najvišje vrednosti so bile izmerjene v 2. četrtletju na vseh odvzemnih mestih in znašajo od 30 do 38 Bq/m<sup>3</sup>. Povprečne vrednosti so za približno 30 % višje kot v letu 2002.

*SEDIMENTI*

V sedimentih je opažena nizka vsebnost I-131 na vseh vzorčevalnih mestih. Največja vsebnost I-131 je bila izmerjena v Brežicah v gibljivem sedimentu (39 Bq/kg). Vsebnosti I-131 v talnem sediment (meritve IRB) so v povprečju nižje kot v gibljivem sedimentu. Najvišja izmerjena vrednost talnega sedimenta znaša 13 Bq/kg. Med rezultati meritev po posameznih lokacijah ni nikakršnih sistematskih razlik.

Primerjava koncentracij Cs-137 v reki Savi (vodna sušina)



**Slika 1.2:** Primerjava vsebnosti Cs-137 v suhem ostanku po izparevanju vzorca reke Save na lokacijah Krško, Brežice in Jesenice na Dolenjskem. Negotovosti posameznih izmerkov so med 0,05 in 0,15 Bq/m<sup>3</sup>.



### **Cs-137** *SUHI OSTANEK PO IZPAREVANJU VZORCA VODE*

Na sliki 1.2 so prikazane primerjave meritev Cs-137 na različnih odzemnih mestih. Cs-137 se v splošnem pojavlja v suhem ostanku in filtrskem ostanku v približno 2-krat višjih koncentracijah kot v predčernobilskem obdobju. Vsebnosti se od leta 1994 niso bistveno spreminjale, vendar v splošnem kažejo nagnjenost k počasnemu upadanju.

Najvišja četrletna povprečna vrednost v suhem ostanku je bila izmerjena na referenčnem odvzemu Krško - Videm v 2. četrletju ( $0,17 \text{ Bq/m}^3$  - IJS), največja mesečna povprečna vrednost v Brežicah v juniju in juliju ( $0,6 \text{ Bq/m}^3$  - IJS) ter v Jesenicah v februarju ( $0,65 \text{ Bq/m}^3$  - IRB). Letna povprečna vrednost v Brežicah ( $0,25 \text{ Bq/m}^3$ ) je bila nekoliko višja kot na referenčnih mestih v Krškem ( $0,14 \text{ Bq/m}^3$ ). V Jesenicah (meritve IRB) je bila letna povprečna vrednost  $0,32 \text{ Bq/m}^3$ . V poletnih mesecih je opazno povečanje vsebnosti cezija, ki pa ni povezana z izpusti ampak z nizkim vodostajem reke Save.

#### *FILTRSKI OSTANEK*

Filtrski ostanek kaže v Brežicah v letnem povprečju ( $0,32 \text{ Bq/m}^3$ ) približno 2-krat večjo vsebnost kot na referenčnem mestu Krško - Videm ( $0,15 \text{ Bq/m}^3$ ). Jesenice na Dolenjskem kažejo podobno vsebnost (IRB:  $0,13 \text{ Bq/m}^3$ ) kot Krško - Videm. Na nadzornih mestih v Brežicah in Jesenicah so bile ugotovljene najvišje vrednosti  $1,0 \text{ Bq/m}^3$  (november - Brežice) in  $0,33 \text{ Bq/m}^3$  (november - Jesenice).

#### *ENKRATNI VZORCI NEFILTRIRANE VODE*

Vsebnost v celostnih enkratnih vzorcih vode (filtrat plus filtrski ostanek), ki služijo za nadzore kratkoživih radionuklidov, kaže v odvisnosti od odzemnih mest naslednje povprečne vrednosti: Krško pred papirnico Videm (1. referenčno mesto)  $< 0,04 \text{ Bq/m}^3$ , Krško za papirnico Videm (2. referenčno mesto)  $< 1,4 \text{ Bq/m}^3$ , Brežice  $0,37 \text{ Bq/m}^3$ , Jesenice  $< 0,27 \text{ Bq/m}^3$ . Pri tem kaže najvišjo izmerjeno vrednost ( $2,5 \text{ Bq/m}^3$ ) Krško za papirnico Videm.

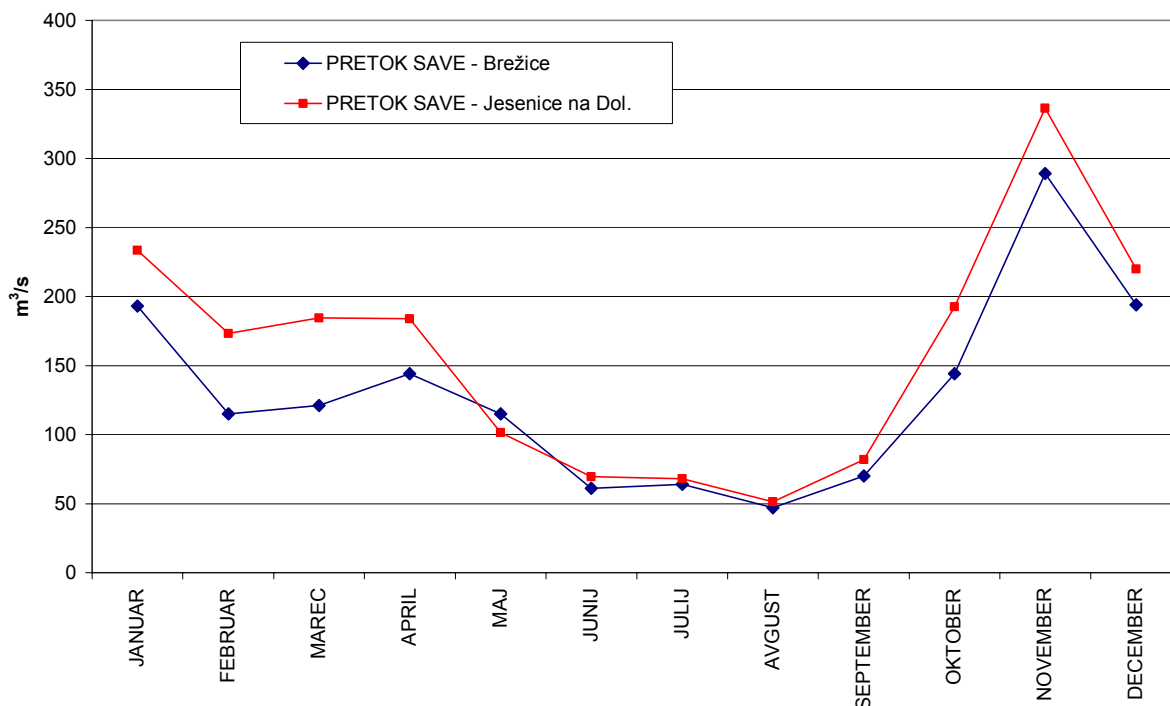
#### *SEDIMENTI*

Povprečna vsebnost Cs-137 v gibljivih sedimentih (IJS) na referenčnem mestu pred papirnico Videm je  $10 \text{ Bq/kg}$ , na referenčnem mestu za papirnico Videm  $11 \text{ Bq/kg}$ , v Brežicah  $12 \text{ Bq/kg}$  ter v Jesenicah  $16 \text{ Bq/kg}$ .

Povprečna vsebnost cezija v talnih sedimentih (IRB) znaša v Krškem (pod mostom) pred papirnico Videm  $8,4 \text{ Bq/kg}$  (z največjo vrednostjo  $10 \text{ Bq/kg}$ ), pod jezom NEK  $16 \text{ Bq/kg}$  (največjo vrednostjo  $29 \text{ Bq/kg}$ ), pri Pesju  $14 \text{ Bq/kg}$  (z največjo vrednostjo  $21 \text{ Bq/kg}$ ), v Brežicah  $9,2 \text{ Bq/kg}$  (z največjo vrednostjo  $18 \text{ Bq/kg}$ ), v Jesenicah na Dolenjskem  $16 \text{ Bq/kg}$  (z največjo vrednostjo  $24 \text{ Bq/kg}$ ), v Podsusedu  $3,0 \text{ Bq/kg}$  (z največjo vrednostjo  $3,7 \text{ Bq/kg}$ ). Povprečne izmerjene vsebnosti gibljivih in talnih sedimentov so nekoliko višje kot v letih 2002 in 2001.

**Cs-134** je tipičen kratkoživi radionuklid v izpustih ( $T_{1/2} = 2,06$  let), ki v letu 2003 ni bil detektiran v vzorcih iz okolja. Delež Cs-134 zaradi černobilske kontaminacije je v letu 2003 zanemarljiv in pod mejo detekcije. Vrednosti so padle od začetnega deleža 45 % na manj kot 0,3 % relativno glede na Cs-137.

**Co-58** je tipičen svež aktivacijski produkt ( $T_{1/2} = 70$  dni), ki je bil pred letom 2001 občasno detektiran le v iztekah bistvene vode, predvsem v filtrskem ostanku. V letu 2001 so bile slednje meritve črtane iz programa nadzora. V meritvah vzorcev iz okolja ni bil detektiran v vrednostih, ki bi presegle detekcijsko mejo.



**Slika 1.3:** Pretok Save v Brežicah in Jesenicah na Dolenskem. Co-60 je bil opažen v obdobju najnižjega pretoka.

**Co-60** je aktivacijski produkt, ki se je v preteklosti pojavljal skupaj s Co-58 v vzorcih izteka bistvene hladilne vode, zato je zanj veljajo enake ugotovitve kot za Co-58. V meritvah IRB vzorcev iz okolja je bil detektiran v junijskih vzorcih vode in fine suspendirane snovi ( $0,35 \text{ Bq/m}^3$ ) ter filtrskega ostanka ( $0,21 \text{ Bq/m}^3$ ) na vzorčevalnem mestu Jesenice na Dolenjskem. Kobalt je bil prav tako opažen v gibljevem sedimentu (meritve IJS) v 2. četrtletju v Brežicah ( $0,16 \text{ Bq/m}^3$ ) in v Jesenicah na Dolenjskem ( $0,42 \text{ Bq/m}^3$ ). Vse izmerjene vrednosti so blizu spodnjega detekcijskega nivoja. Vzrok za detekcijo Co-60, ki je posledica izpustov NEK, lahko pripišemo zelo nizkem pretoku Save v tem obdobju (slika 1.3). Izpusti Co-60 iz NEK so bili najvišji v mesecu marcu.

**Sb-125** je kot ostanek črnobilskega onesnaženja že od leta 1994 pod detekcijsko mejo. V preteklosti smo ga zaznali v vseh mesečnih vzorcih pri iztekah bistvene vode v suhem ostanku ter redkeje v filtrskem ostanku. V letu 2003 in v predhodnem letu 2002 ni bil detektiran v Brežicah in Jesenicah na Dolenjskem. Slednje velja tako za suhi kot filtrski ostanek vode kot tudi za sedimente.

**Te-125m** kot fisijski produkt se je pojavljal v preteklih letih občasno na izhodu bistvene hladilne vode, predvsem v suhem ostanku. V letu 2003, tako kot v predhodnem letu 2002, v Brežicah in v Jesenicah na Dolenjskem ni bil detektiran.



## Sr-90/Sr-89

### *SUHI OSTANEK PO IZPAREVANJU VZORCA VODE*

Sr-90/Sr-89 se pojavlja v vodi na referenčnem mestu Krško - Videm v podobni povprečni vsebnosti ( $2,7 \text{ Bq/m}^3$ ) kot v nadzornem mestu v Brežicah ( $3,6 \text{ Bq/m}^3$ ) in v Jesenicah na Dolenjskem ( $2,8 \text{ Bq/m}^3$  - IRB).

### *FILTRSKI OSTANEK*

V filtrskem ostanku so vrednosti Sr-90/Sr-89 10-krat nižje ( $< 0,5 \text{ Bq/m}^3$  - IJS) kot v suhem ostanku in so na detekcijski meji.

### *ENKRATNI VZORCI NEFILTRIRANE VODE*

Podobne vrednosti najdemo tudi v enkratnih vzorcih nefiltrirane vode (letna povprečja od  $2,9 - 4,3 \text{ Bq/m}^3$ ). Izmerjene povprečne vrednosti so skoraj enake kot v preteklih letih z najvišjo detektirano vrednostjo v enkratnih vzorcih v Krškem za papirnico Videm  $5,1 \text{ Bq/m}^3$ .

### *SEDIMENTI*

V gibljivih sedimentih (IJS) je bilo letno povprečje v Krškem pred papirnico Videm  $1,1 \text{ Bq/kg}$ , v Krškem za papirnico Videm  $0,98 \text{ Bq/kg}$ , v Brežicah  $1,2 \text{ Bq/kg}$ , v Jesenicah na Dolenjskem  $1,4 \text{ Bq/kg}$ . V talnih sedimentih (IRB) se povprečne vrednosti gibljejo od  $1,1 - 1,9 \text{ Bq/kg}$  za vsa odvzemna mesta. Vrednosti so primerljive rezultatom iz predhodnih let.

## VODNA BIOTA

Tabele: T-19 do T-22 (IJS); T-22/p1, T-23 (IRB)

### *RIBE*

**Cs-137** Analize rib, ulovljenih na različnih mestih, od katerih je prvo referenčno nad izlivom papirnice Videm, eno pod jezom NEK, ostali dve pa v Brežicah in Jesenicah na Dolenjskem, kažejo pri mišicah večjih rib in pri ribjih mladiceh povprečne vrednosti vsebnosti Cs-137 po posameznih lokacijah do  $0,67 \text{ Bq/kg}$ , pri čemer so največje vrednosti dobljene pod jezom NEK ( $0,78 \text{ Bq/kg}$  za mišice rib) in v Brežicah ( $0,73 \text{ Bq/kg}$  za mladice). Vrednosti so primerljive z rezultati predhodnih let. Cs-134 ni bil opažen v nobenem vzorcu.

Meritve "celih" rib IRB kažejo nižje vsebnosti Cs-137 za odvzeme v Jesenicah (povprečna vrednost  $0,37 \text{ Bq/kg}$ ), Medsavah (povprečna vrednost  $0,25 \text{ Bq/kg}$ ) in Otok (povprečna vrednost  $0,3 \text{ Bq/kg}$ ).

**I-131** V vzorcih mišic rib in ribjih mladice iz nekaterih referenčnih odvzemov kot tudi v nekaterih vzorcih iz nadzornih odzemnih mest (IJS) je bila zaznana prisotnost I-131.

## Sr-90/Sr-89

Ta radionuklid je bil izmerjen v vseh vzorcih rib in ribjih mladice. Povprečne vrednosti Sr-90/Sr-89 v kosteh ( $2,0 \text{ Bq/kg}$  pod jezom NEK) so več kot en velikostni red višje kot v mišicah rib ( $< 0,08 \text{ Bq/kg}$  pod jezom NEK). V meritvah IRB (cele ribe) se gibljejo povprečja po lokacijah od  $0,23$  do  $0,3 \text{ Bq/kg}$ . V splošnem so vse izmerjene vrednosti za umetne radionuklide zelo podobne vrednostim iz predhodnih let.



**Preglednica 1.1a: SUHI OSTANKI PO IZPAREVANJU IN SUSPENDIRANE SNOVI REKE SAVE 2003 - meritve IJS, IRB**

"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov v filtratu vode (voda s fino suspendirano snovjo)

	KRŠKO – VIDEM	BREŽICE	JESENICE na Dolenjskem(**)
IZOTOP	A (Bq/m <sup>3</sup> )	A (Bq/m <sup>3</sup> )	A (Bq/m <sup>3</sup> )
U (Th-234)	4,2E+00	3,5E+00	3,5E+00
Ra - 226	8,9E-01	1,0E+00	1,1E+00
Pb - 210	4,7E-01	6,8E-01	2,4E+00
Th (Ra-228)	8,9E-01	1,0E+00	9,1E-01
Th - 228	2,3E-01	2,1E-01	
K - 40	4,7E+01	4,5E+01	5,2E+01
Be - 7	8,2E-01	1,6E+00	1,5E+00
I - 131	2,1E+01	1,6E+01	2,0E+01
Cs - 134			
Cs - 137	1,4E-01	2,5E-01	3,2E-01
Co - 58			
Co - 60			3,0E-02
Cr - 51			
Mn - 54			
Zn - 65			
Nb - 95			
Ru-106			
Sb - 125			
Sr-90/Sr-89	2,7E+00	3,6E+00	2,8E+00
H - 3	2,0E+03	3,5E+03	1,9E+03

**Preglednica 1.1b: FILTRSKI OSTANKI REKE SAVE 2003 - meritve IJS, IRB**

"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov v filtrskem ostanku (groba suspendirana snov)

	KRŠKO – VIDEM	BREŽICE	JESENICE na Dolenjskem (**)
IZOTOP	A (Bq/m <sup>3</sup> )	A (Bq/m <sup>3</sup> )	A (Bq/m <sup>3</sup> )
U (Th-234)	6,7E-01	1,0E+00	4,1E-01
Ra - 226	1,4E-01	4,1E-01	2,4E-01
Pb - 210		1,3E+00	2,0E+00
Th (Ra-228)	2,3E-01	5,9E-01	2,8E-01
Th - 228	4,8E-02	5,1E-01	
K - 40	1,3E+00	4,4E+00	2,8E+00
Be - 7	1,1E+00	1,6E+00	5,9E-01
I - 131	9,8E-01	2,1E+00	4,9E-01
Cs - 134			
Cs - 137	1,5E-01	3,2E-01	1,3E-01
Co - 58			
Co - 60			1,8E-02
Cr - 51			
Mn - 54			
Zn - 65			
Nb - 95			
Ru-106			
Sb - 125			
Sr-90/Sr-89			8,2E-02

(\*\*) Meritve IRB



**POVZETEK SUMARNIH DOZ ZA OTROKE (1-2 LET) IN ODRASLE (\*\*)**

izračunani iz merskih podatkov preglednic 1.1a in 1.1b, doznih faktorjev iz reference [4] in porabe (odrasli človek zaužije letno 0,8 m<sup>3</sup> vode in otrok 0,4 m<sup>3</sup>).

Postopek za preračun sevalnih obremenitev preko aktivnosti in doznih faktorjev je opisan v dokumentu *Ocena sevalnih obremenitev (LMR-RP-01)*.

Preglednica vsebuje **sumarne doze za suhi in filtrski ostanek**.

Podane so tudi ocene doze ob predpostavki pitja nefiltrirane savske vode.

Pri umetnih radionuklidih je upoštevan tudi tritij H-3.

Preglednica 1.1a, b (povzetek):

**Suhi ostanki in suspendirane snovi ter filtrski ostanek reke Save v letu 2003**  
- meritve IJS in IRB

STAROSTNA SKUPINA	Sumarna doza (μSv/leto)	KRŠKO - VIDEM	BREŽICE	JESENICE na Dolenjskem (meritve IRB)
ODRASLI (E <sub>50</sub> )	Vsi umetni radionuklidi	0,46	0,44	0,45
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,09	0,14	0,10
	Umetni in naravni radionuklidi	2,92	4,12	5,04
OTROCI (E <sub>70</sub> )	Vsi umetni radionuklidi	1,67	1,49	1,60
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,12	0,17	0,12
	Umetni in naravni radionuklidi	7,28	10,78	13,04

E<sub>50</sub> - "predvidena efektivna doza" (committed effective dose) odraslega človeka za obdobje 50 let.

E<sub>70</sub> - "predvidena efektivna doza" (committed effective dose) pri otrocih (1-2 let) za obdobje 70 let.


**Preglednica 1.2a: REKA SAVA! MIŠICE IN KOSTI RIB 2003 - meritve IJS**
**"A"** Povprečne letne vsebnosti radionuklidov v (Bq/kg) sveže snovi vzorcev mišic rib in kosti

IZOTOP	Mišice		Kosti	
	KRŠKO pod jezom NEK	JESENICE na Dolenjskem	KRŠKO za jezom NEK	JESENICE na Dolenjskem
	A (Bq/kg)	A (Bq/kg)	A (Bq/kg)	A (Bq/kg)
U (Th-234)	2,8E-01			6,0E-01
Ra - 226	1,3E-02	5,4E-02	3,0E-01	
Pb - 210				
Th (Ra-228)		2,4E-01	4,9E-01	9,8E-01
Th - 228	7,3E-03			1,5E-01
K - 40	1,2E+02	1,1E+02	6,0E+01	5,5E+01
Be - 7				
I - 131	1,7E-01	2,7E-01		
Cs - 134				
Cs - 137	6,7E-01	3,4E-01	3,6E-01	
Co - 58				
Co - 60				
Cr - 51				
Mn - 54				
Zn - 65				
Nb - 95				
I - 125				
Sb - 125				
Sr-90/Sr-89	8,0E-02	6,5E-02	2,0E+00	1,4E+00

**POVZETEK SUMARNIH DOZ ZA OTROKE (1! 2 LET) IN ODRASLE (\*)**

izračunani iz merskih podatkov preglednice 1.2a, doznih faktorjev iz reference [4] in faktorja porabe (odrasel ribič zaužije 36 kg rib in otrok 22,6 kg).

Preglednica 1.2a (povzetek): Reka Sava - mišice rib 2003 – meritve IJS

STAROSTNA SKUPINA	Sumarna doza (μSv/leto)	KRŠKO pod jezom NEK	JESENICE na Dolenjskem
ODRASLI (E <sub>50</sub> )	Umetni radionuklidi	<b>0,54</b>	<b>0,36</b>
	Umetni radionuklidi brez I-131	<b>0,40</b>	<b>0,22</b>
	Umetni in naravni radionuklidi	<b>30,6</b>	<b>34,2</b>
OTROCI (E <sub>70</sub> )	Umetni radionuklidi	<b>0,97</b>	<b>1,3</b>
	Umetni radionuklidi brez I-131	<b>0,30</b>	<b>0,19</b>
	Umetni in naravni radionuklidi	<b>111,2</b>	<b>135,0</b>





**Preglednica 1.2b: REKA SAVA! MLADICE RIB 2003 - meritve IJS**

"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov v (Bq/kg) sveže snovi vzorcev mladice rib

	KRŠKO pred papirnico	BREŽICE
IZOTOP	A (Bq/kg)	A (Bq/kg)
U (Th-234)	1,9E-01	
Ra - 226	1,7E-02	
Pb - 210		1,4E-01
Th (Ra-228)	1,2E-01	1,2E-01
Th - 228	3,4E-02	
K - 40	8,6E+01	8,9E+01
Be - 7		
I - 131	9,3E-01	8,0E-01
Cs - 134		
Cs - 137	1,1E-01	6,3E-01
Co - 58		
Co - 60		
Cr - 51		
Mn - 54		
Zn - 65		
Nb - 95		
I - 125		
Sb - 125		
Sr-90/Sr-89	2,6E-01	2,7E-01

**POVZETEK SUMARNIH DOZ ZA OTROKE (1! 2 LET) IN ODRASLE (\*)**

izračunani iz merskih podatkov preglednice 1.2b, doznih faktorjev iz reference [4] in porabe (odrasel ribič zaužije 36 kg rib in otrok 22,6 kg).

Preglednica 1.2b (povzetek): Reka Sava - mladice rib 2003 – meritve IJS

STAROSTNA SKUPINA	Sumarna doza ( $\mu$ Sv/leto)	KRŠKO pred papirnico	BREŽICE
ODRASLI (E <sub>50</sub> )	Umetni radionuklidi	<b>1,08</b>	<b>1,26</b>
	Umetni radionuklidi brez I-131	<b>0,32</b>	<b>0,56</b>
	Umetni in naravni radionuklidi	<b>27,00</b>	<b>28,80</b>
OTROCI (E <sub>70</sub> )	Umetni radionuklidi	<b>4,10</b>	<b>3,67</b>
	Umetni radionuklidi brez I-131	<b>0,44</b>	<b>0,58</b>
	Umetni in naravni radionuklidi	<b>102,60</b>	<b>111,24</b>



**Preglednica 1.2c: REKA SAVA! MLADICE RIB 2003 (meritve IRB)**

"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov v (Bq/kg) sveže snovi vzorcev mladice rib

	<b>JESENICE na Dolenjskem</b>	<b>MEDSAVE</b>	<b>PODSUSED</b>
<b>IZOTOP</b>	A (Bq/kg)	A (Bq/kg)	A (Bq/kg)
U (Th-234)	4,4E+00	2,7E+00	3,9E+00
Ra - 226	8,2E-01	5,1E-01	7,2E-01
Pb - 210	1,5E+01	1,2E+01	1,1E+01
Th (Ra-228)	1,1E+00	9,2E-01	1,1E+00
Th - 228			
K - 40	9,6E+01	8,1E+01	8,9E+01
Be - 7			
I - 131			
Cs - 134			
Cs - 137	3,7E-01	2,5E-01	3,0E-01
Co - 58			
Co - 60			
Cr - 51			
Mn - 54			
Zn - 65			
Nb - 95			
I - 125			
Sb - 125			
Ce - 144			
Sr-90/Sr-89			

**Preglednica 1.3: SEDIMENTI V REKI SAVI 2003 (meritve IJS)**

"A" Povprečne vsebnosti radionuklidov v sedimentih v reki Savi

	<b>KRŠKO pred papirnico</b>	<b>KRŠKO za papirnico</b>	<b>BREŽICE</b>	<b>JESENICE na Dolenjskem</b>
<b>IZOTOP</b>	A (Bq/kg)	A (Bq/kg)	A (Bq/kg)	A (Bq/kg)
U (Th-234)	2,9E+01	3,1E+01	3,1E+01	3,1E+01
Ra - 226	3,5E+01	3,6E+01	3,3E+01	3,6E+01
Pb - 210	5,8E+01	2,9E+01	6,0E+01	9,0E+01
Th (Ra-228)	3,1E+01	3,0E+01	2,8E+01	3,1E+01
Th - 228	3,1E+01	3,0E+01	2,7E+01	3,1E+01
K - 40	3,9E+02	3,6E+02	3,4E+02	3,6E+02
Be - 7	3,8E+01	1,2E+01	5,8E+01	5,5E+01
I - 131	8,6E+00	2,9E+00	1,3E+01	8,8E+00
Cs - 134				
Cs - 137	1,0E+01	1,1E+01	1,2E+01	1,6E+01
Co - 58				
Co - 60			3,9E-02	1,0E-01
Cr - 51				
Mn - 54				
Zn - 65				
Zr - 95				
I - 125				
Sb - 125			8,2E-02	
Sr-90/Sr-89	1,1E+00	9,8E-01	1,2E+00	1,4E+00

(\*\*) Meritve IRB.

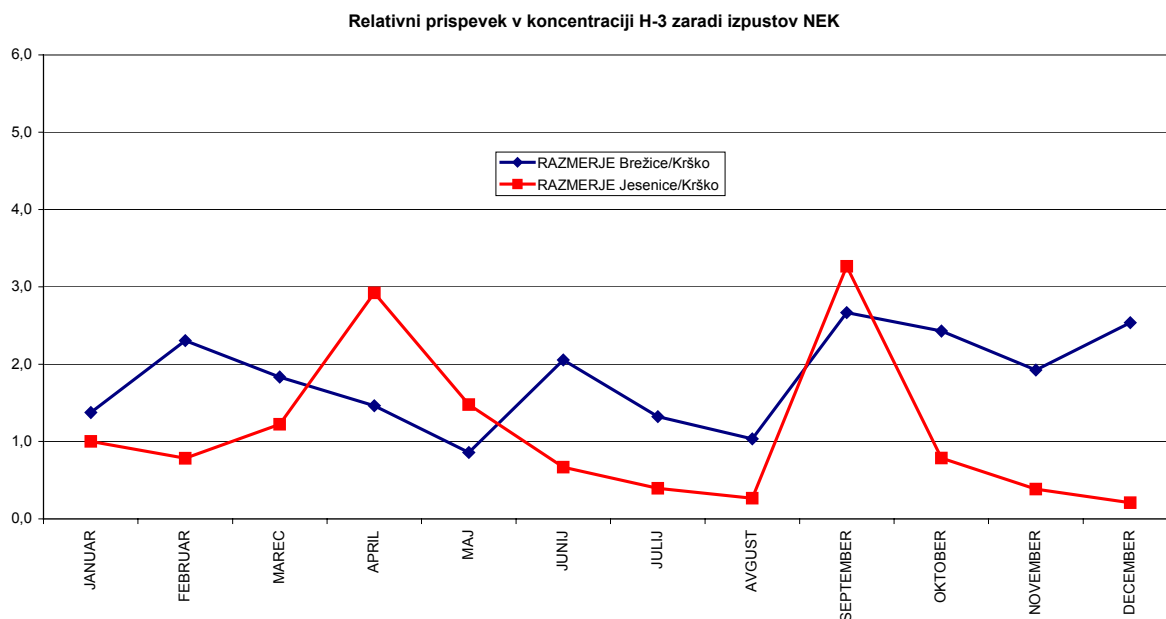


#### d) VPLIV NEK NA KONCENTRACIJE RADIONUKLIDOV V OKOLJU

Vpliv na okolje smo ocenili na podlagi primerjave emisijskih meritev (vzorčevanje izpustnih tankov - WMT in kaluž uparjalnikov – SGBD), ki jih izvaja NEK, in meritev v vzorcih reke Save. V preglednici 9.1 (poglavje Program B) je podana skupna aktivnost tekočinskih izpustov NEK v reko Savo.

S pomočjo primerjave mesečnih izpustov H-3 v reko Savo (slika 9.1 v poglavju Program B) in meritev vzorcev iz okolja, prikazanih na sliki 1.1, smo poskušali oceniti vpliv izpustov v reko Savo. Po podatkih NEK so bili največji izpusti opravljeni v januarju in aprilu.

Na nobenem od vzorčevalnih mestih sotočno od NEK ni bil opazen izrazit skok v mesecih, ko so bili izpusti največji, tako da korelacije med izpusti in meritvami vzorcev iz okolja ni mogoče narediti na enak način kot v letu 2002. Na sliki 1.4 je prikazan prispevek k vsebnosti H-3 v savski vodi zaradi vpliva NEK. Tako je bil povprečni prispevek vsebnosti tritija v savski vodi na odvzemnem mestu Brežice  $1,5 \text{ kBq/m}^3$ .



**Slika 1.4:** Razmerja vsebnosti H-3 v savski vodi zaradi vpliva NEK, dobljenih iz razmerja med vsebnostjo H-3 v savski vodi v Brežicah in na referenčnem mestu Krško - Videm.

Za ostale radionuklide podobne primerjave kot pri tritiju niso možne, saj so aktivnosti izpustov ostalih umetnih radionuklidov nekaj velikostnih redov nižji in jih na odvzemnih mestih sotočno od NEK zaradi razrečitve običajno ni bilo mogoče zaznati. V letošnjem letu smo izjemoma zaznali Co-60 v poletnih mesecih. Ker ne obstaja povezava med izpusti Co-60 in meritvami vzorcev iz okolja, je verjetno, da je bil Co-60 zaznan zaradi nizkega vodostaja reke Save.

Cs-137 in Sr-90/Sr-89 sta bila prisotna na vseh merilnih mestih (glej sliko 1.2 za Cs-137), vendar prav tako ni nobene neposredne korelacije z mesečnimi izpusti. Primerjava z meritvami od leta 1998 naprej nam pokaže dokaj podobno situacijo glede umetnega radionuklida Cs-137, ki je posledica pojemačoče černobilske onesnaženosti. Ocena prispevka Cs-137 zaradi vpliva NEK je narejena na



podlagi primerjave med meritvami v Brežicah in na referenčnem mestu v Krškem. Ob tem je potrebno poudariti, da je prispevek cezija in stroncija v Brežicah glede na referenčno mesto posledica skupnega vpliva papirnice in NEK ter najverjetneje tudi spremembe v temperaturnem in kemijskem režimu reke. Tako je bil povprečni prispevek vsebnosti Cs-137 v suhem ostanku vzorca vode na odvzemnem mestu Brežice  $0,11 \pm 0,09 \text{ Bq/m}^3$  ( $0,22 \text{ Bq/m}^3$  v letu 2002 in  $0,3 \text{ Bq/m}^3$  v letu 2001).

Mnogo pomembnejši prispevek od cezija k dozi, ki jo prejme referenčna skupina, izvira iz umetnih radionuklidov Sr-90/Sr-89. Vsebnost stroncija kaže bolj ali manj stalne vrednosti, primerljive z obdobjem od leta 1990 do 2002. Aktivnost Sr-90/Sr-89 v černobilskem usedu je znašala približno 2 % vrednosti Cs-137 in so torej izmerjene vrednosti predvsem ostanek izmeta atmosferskih jedrskih eksplozij v preteklosti. Oceno prispevka Sr-90/Sr-89 zaradi vpliva NEK je narejena enako kot za cezij in tritij na podlagi primerjave med meritvami v Brežicah in na referenčnem mestu v Krškem. Povprečni prispevek vsebnosti Sr-90/Sr-89 v suhem ostanku vzorca vode na odvzemnem mestu Brežice znaša  $0,9 \pm 0,2 \text{ Bq/m}^3$ , v letu 2002 pa  $0,7 \text{ Bq/m}^3$ .

Modelni izračun vpliva NEK na podlagi emisijskih meritev da vrednosti, ki so primerljive le z vrednostmi za tritij v savski vodi. Pri ostalih radionuklidih (cezij in stroncij) so prispevki, dobljeni z modelom, za nekaj velikostnih redov nižji, kar potrjuje, da je povečanje vsebnosti cezija in stroncija v Brežicah glede na referenčno mesto posledica drugih vplivov in ne vpliva izpustov elektrarne.

Med kratkoživimi onesnaževalci je pomemben I-131, ki ga tudi v letu 2003 opažamo protitočno od NEK (uporaba v bolnišnicah) v primerljivih vrednostih kot sotočno od NEK. Do ugotovitve, da so bolnišnice večji onesnaževalec Save z I-131 kot NEK, smo prihajali tudi v preteklih letih. Na referenčnem mestu v Krškem je povprečna vsebnost I-131 v savski vodi  $22 \text{ Bq/m}^3$  in je podobna kot na vseh ostalih odvzemnih mestih sotočno od NEK. Iz ocenjevanja doz, ki so podane v nadaljevanju, vidimo, da prispeva kontaminacija ostalih umetnih radionuklidov iz emisij NEK manjši delež v primerjavi z I-131 v Savi.

## e) OCENA DOZE NA PODLAGI MERITEV VZORCEV IZ OKOLJA

Zaradi primerjave z rezultati meritev preteklih let smo tudi letos naredili oceno sevalnih obremenitev na podlagi **meritev vzorcev iz okolja** povprečnih letnih vsebnosti radionuklidov v vodi reke Save na referenčni in nadzornih točkah. Rezultati so podani v **preglednicah 1.1, 1.2 in 1.3**. V stolpcih so navedene povprečne vsebnosti radionuklidov posebej za vodo s suspendirano snovjo in posebej za filtrski ostanek, ki se predhodno s filtriranjem kot groba suspendirana snov odstrani iz vode.

Postopek za preračun sevalnih obremenitev preko aktivnosti in doznih faktorjev je opisan v dokumentu *Ocena sevalnih obremenitev (LMR-RP-01)*. Zaradi kontinuitete poročil navajamo v nadaljevanju rezultate, dobljene po tej metodologiji.

### UŽIVANJE RIB

Podobno kot v letu 2001 in 2002 smo naredili oceno doze, ki bi jo prejel **odrasel človek - ribič** ob zaužitju 36 kg/leto rib. Za umetne radionuklide brez upoštevanja I-131 dobimo v Jesenicah na Dolenjskem (preglednica 1.2a) vrednost **0,22  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$** . Za otroka ribiča, ki zaužije 60 % hrane odraslega, dobimo na isti lokaciji **0,19  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$** .



## PITJE SAVSKE VODE

Podobno kot v preteklosti smo naredili oceno letne doze zaradi umetnih in naravnih radionuklidov odraslega človeka ter otroka (1! 2 let), ki bi **celo leto pil nefiltrirano savsko vodo**. V poročilu *Izpostavitve prebivalcev sevanju zaradi tekočih izpustov NE Krško v reko Savo (IJS-DP-8801)* [22] je bilo ugotovljeno, da je prenosna pot pitja rečne vode malo verjetna in nam zato ne da realnih rezultatov. Zaradi zgodovinskih razlogov smo v nadaljevanju vseeno podali ocene doz za to prenosno pot, kjer smo upoštevali porabo 0,8 m<sup>3</sup> vode. Ocene so narejene na osnovi novega načina izračuna povprečnih letnih vsebnosti, kjer vrednosti pod mejo kvantifikacije ne prispevajo k dozi, ampak k merski negotovosti. Omeniti je potrebno, da se vpliv spremenjenega računa povprečij znatno pozna pri naravnih radionuklidih in pri ceziju, ker se ti radionuklidi pogosto pojavljajo v vrednostih pod mejo kvantifikacije. Rezultati so podani v preglednici 1.1a, b (povzetek).

### Krško ! Videm:

prispevek vseh umetnih radionuklidov (I-131, Cs-137, H-3, Sr-90/Sr-89):	odrasli <b>0,46 μSv</b> otroci <b>1,67 μSv</b>
prispevek umetnih radionuklidov brez I-131:	odrasli <b>0,09 μSv</b> otroci <b>0,12 μSv</b>
skupni prispevek umetnih in naravnih radionuklidov:	odrasli <b>2,92 μSv</b> otroci <b>7,28 μSv</b>

### Brežice:

prispevek vseh umetnih radionuklidov (I-131, Cs-137, H-3, Sr-90/Sr-89):	odrasli <b>0,44 μSv</b> otroci <b>1,49 μSv</b>
prispevek umetnih radionuklidov brez I-131:	odrasli <b>0,14 μSv</b> otroci <b>0,17 μSv</b>
skupni prispevek umetnih in naravnih radionuklidov:	odrasli <b>4,12 μSv</b> otroci <b>10,78 μSv</b>

### Jesenice na Dolenjskem:

prispevek vseh umetnih radionuklidov (I-131, Cs-137, H-3, Sr-90/Sr-89):	odrasli <b>0,45 μSv</b> otroci <b>1,60 μSv</b>
prispevek umetnih radionuklidov brez I-131:	odrasli <b>0,10 μSv</b> otroci <b>0,12 μSv</b>
skupni prispevek umetnih in naravnih radionuklidov:	odrasli <b>5,04 μSv</b> otroci <b>13,04 μSv</b>

Prispevek NEK k letni dozi posameznika zaradi pitja nefiltrirane savske vode ocenimo na podlagi razlike doz na lokacijah sotočno od NEK in na referenčnem mestu v Krškem (tabela 1.1).



**Tabela 1.1:** Prispevek NEK k dozi za otroke (1-2 let) in odrasle, izračunan iz merskih podatkov preglednica 1.1a in b ob predpostavki pitja nefiltrirane savske vode. Razlika doze vsebuje prispevke emisij NEK in prispevke umetnih radionuklidov, ki so prisotni v okolju zaradi drugih dejavnikov (globalna kontaminacija, prispevek papirnice Videm, prispevek I-131 iz zdravstvene dejavnosti).

STAROSTNA SKUPINA	Sumarna doza (μSv/leto)	RAZLIKA Brežice - Krško	RAZLIKA Jesenice - Krško
ODRASLI (E <sub>50</sub> )	Umetni radionuklidi	-0,02	-0,01
	Umetni radionuklidi brez I-131	<b>0,04</b>	0,00
	Umetni in naravni radionuklidi	1,20	2,12
OTROCI (E <sub>70</sub> )	Umetni radionuklidi	-0,18	-0,07
	Umetni radionuklidi brez I-131	<b>0,05</b>	0,00
	Umetni in naravni radionuklidi	3,50	5,76

## f) ZAKLJUČEK

Ocena prispevka emisij NEK in drugih dejavnikov k letni dozi posameznika, narejenega samo na podlagi primerjave meritev vzorcev savske vode protitočno in sotočno od NEK in ob predpostavki pitja nefiltrirane savske vode, nam da vrednosti, manjše od 0,1 μSv/leto za vse starostne skupine. Podobne vrednosti smo dobili tudi v letu 2002.

Ocena letnih doz referenčne skupine za savske prenosne poti, ki je narejena na podlagi izmerjenih izpustov, je podana v poglavju Ocena letnih doz referenčne skupine za savske prenosne poti za leto 2003. Ocene izpostavljenosti referenčne skupine, izračunane na oba načina, so podobne.

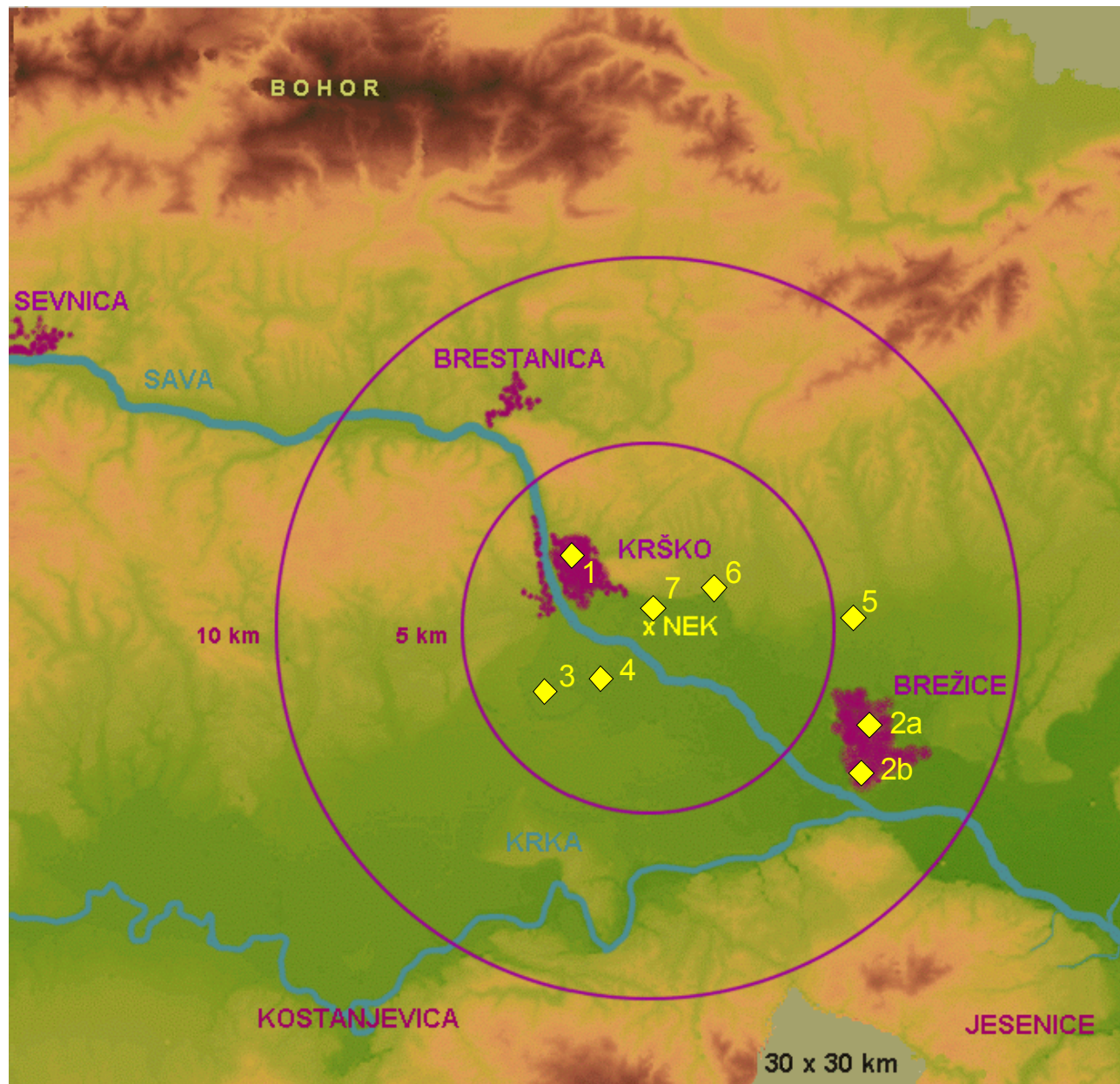
## g) REFERENCE

- [2] Basic Safety Standards for Radiation Protection, Safety Series No. 9, IAEA, Vienna 1982.
- [3] Dosisfaktoren für Inhalation oder Ingestion von Radionuklidverbindungen, ISH-Heft 79, München, November 1985.
- [4] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, SS No. 115, IAEA, Vienna, 1996.  
Mednarodni temeljni varnostni standardi za varstvo pred ionizirajočim sevanjem in za varnost virov sevanja, Zbirka o varnosti Št. 115, MAAE, Dunaj, 1996.
- [5] EU Council Directive 96/29/EUROATOM of 13 May 1996; Official Journal of the European Communities, OJ No. 159, 29. 6. 1996, p.1.

## VODOVODI IN PODTALNICE

◆ VODOVODI, ZAJETJA,  
ČRPALIŠČA IN VRTINE

- 1 - VODOVOD KRŠKO -  
enkratni vzorci
- 2 - VODOVOD BREŽICE -  
enkratni (2a) in  
mesečni (2b) vzorci
- 3 - ČRPALIŠČE DRNOVO
- 4 - ČRPALIŠČE BREGE
- 5 - ČRPALIŠČE BREŽICE - novo
- 6 - ZAJETJE DOLENJA VAS
- 7 - VRTINA E1 V NEK





## VODOVODI IN PODTALNICE

Namen vzorčevanja in analiz mesečnih sestavljenih vzorcev vode iz črpališč in zajetij, iz katerih se napajajo vodovodi, je nadzor najpomembnejših vodnih virov pitne vode v okolici NEK. Z analizami bi ugotovili vsebnost naravnih in umetnih radionuklidov ter s tem prispevek zaradi obratovanja NEK. Vzorčevalna mesta so izbrana tako, da so vključena črpališča vodovodov, za katere ni izključena možnost, da se napajajo iz reke med NEK in točko mešanja. Za primerjavo so bili pobrani in analizirani tudi vzorci na referenčni lokaciji v Ljubljani.

Pravilnik o načinu, obsegu in rokih sistematičnih preiskav kontaminacije z radioaktivnimi snovmi v okolici jedrskih objektov (Z-2) predpisuje za kontrolo visokoločljivo spektrometrijo gama ter specifični analizi na vsebnost stroncija Sr-90/Sr-89 in tritija.

### a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST

Značilnosti vzorčevalnih mest so opisane v poročilih za leti 1982 in 1984 ter dopolnjene v poročilih za leto 1985 in 1987. Vzorčevanje se izvaja v skladu s postopkom *LMR-OP-02*.

Za kontrolo morebitnega vpliva NEK na vodovode in črpališča se je vzorčevanje v letu 2003 tako kot v letu 2002 opravljalo na naslednjih lokacijah:

1. Enkratni četrletni vzorci:
  - vodovod Krško
  - vodovod Brežice
  - vodovod Ljubljana (referenčna lokacija – vzorčevanje 2x letno).
2. Mesečni sestavljeni vzorci črpališč vodovodov:
  - vodovod Brežice
  - črpališče Drnovo: 3,1 km od jeza NEK, 2,3 km od Save
  - črpališče Brege: 1,4 km od jeza NEK, 1,1 km od Save
  - čajetje Dolenja vas: 2,8 km od Save
  - črpališče Brežice: 3,2 km od Save.
3. Podtalnica:
  - vrtina NEK znotraj ograje NEK
  - Medsave (Hrvaška): 22 km od NEK, 0,1 km od Save
  - Šibice (Hrvaška): 22 km od NEK, 1 km od Save.

Od druge polovice leta 1990 se omrežje brežiškega vodovoda napaja iz novega severnega črpališča, z občasnimi dodatki vode (ocenjeni na 20 - 30 % letno) ob vršnih porabah iz starega črpališča. Zaradi slednjega je bil v drugi polovici leta 1992 uveden tudi nadzor sestavljenih (dnevni odvzem) mesečnih vzorcev brežiškega vodovoda, ki naj bi posredno zajemal tudi staro črpališče.

V septembru in novembru 1996 je bil v nadzor vključen tudi odprt vodnjak v sadovnjaku ob elektrarni, po naročilu NEK je izvajalec nadzora IRB. Vodnjak ne sodi med vzorčevalne vrtine in zajetja, ki so se vzorčevala med leti 1982 in 1984, in ima hidrološko označbo 71. V letu 1998 je bilo vzorčevanje iz omenjenega vodnjaka nadomeščeno z vzorčevanjem iz vrtine (E1) znotraj vzhodne ograje NEK, ki je od tedaj in tudi v letu 2003 služila za vzorčevanje.



## Preglednica 2.1a: VODOVODI IN ČRPALIŠČA PITNE VODE 2003 - meritve IJS

"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov v pitni vodi v (Bq/m<sup>3</sup>), izračunane po novem postopku\*

IZOTOP	ENKRATNI ČETRTLETNI VZORCI			MESEČNI SESTAVLJENI VZORCI					ENKRATNI VZORCI (**)
	VODOVOD LJUBLJANA Povprečje 2 vzorcev A (Bq/m <sup>3</sup> )	VODOVOD KRŠKO Povprečje 4 vzorcev A (Bq/m <sup>3</sup> )	VODOVOD BREŽICE Povprečje 4 vzorcev A (Bq/m <sup>3</sup> )	VODOVOD BREŽICE A (Bq/m <sup>3</sup> )	ČRPALIŠČE DRNOVO A (Bq/m <sup>3</sup> )	ČRPALIŠČE BREGE A (Bq/m <sup>3</sup> )	ZAJETJE DOLENJA VAS A (Bq/m <sup>3</sup> )	ČRPALIŠČE BREŽICE A (Bq/m <sup>3</sup> )	VRTINA E1 v NEK povprečje 4 vzorcev A (Bq/m <sup>3</sup> )
U (Th-234)	2,0E+00	2,5E+00	3,8E+00	2,2E+00	1,2E+00	2,3E+00	2,1E+00	9,4E-01	4,7E+00
Ra - 226	5,8E-01	4,7E-01	1,6E-01	2,3E-01	3,2E-01	5,1E-01	4,1E-01	8,5E-02	1,2E+00
Pb - 210				3,1E+00	2,0E+00	1,2E+00		1,5E+00	5,4E+00
Th (Ra-228)	1,5E+00	1,2E+00	7,8E-01	3,6E-01	1,2E+00	1,7E+00	7,5E-01	4,3E-01	2,0E+00
Th - 228		2,2E-01	1,3E-01	6,2E-02	1,3E-01	3,0E-01	1,5E-01	2,3E-01	
K - 40	2,6E+01	5,6E+01	2,2E+01	2,7E+01	8,0E+01	8,6E+01	3,2E+01	2,2E+01	9,6E+01
Be - 7	1,6E+00	7,1E-01		1,2E+00	9,5E-01	8,7E-01	1,1E+00	8,8E-01	
I - 131									
Cs - 134									
Cs - 137		1,6E-01		4,1E-02	3,5E-02				5,3E-01
Co - 58									
Co - 60									
Cr - 51									
Mn - 54									
Zn - 65									
Nb - 95									
Ru,Rh - 106									
Sb - 125									
Sr-90/Sr-89	1,1E+00	6,3E-01			9,8E-01	7,8E-01	8,9E-01	1,3E-01	4,3E+00
H - 3	1,8E+03	1,7E+03	6,1E+02	5,3E+02	1,8E+03	1,8E+03	1,7E+03	4,9E+02	1,1E+03

\* Pri novem postopku računanja povprečij so merski rezultati, manjši od meje kvantifikacije, upoštevani s pričakovano vrednostjo 0 in z negotovostjo, ki je enaka meji kvantifikacije.

**POVZETEK PRISPEVKA UMETNIH IN NARAVNIH RADIONUKLIDOV ZA OTROKE (1 - 2 let) IN ODRASLE \***  
izračunani iz merskih podatkov preglednice 2.1a ter doznih faktorjev iz reference [4]

Preglednica 2.1a (povzetek): Vodovodi in črpališča pitne vode in podtalnice v letu 2003 - meritve IJS (nova povprečja)

SKUPINA		Enkratni četrtletni vzorci			Mesečni sestavljeni vzorci					Enkratni vzorec
		VODOVOD LJUBLJANA (**) ( $\mu\text{Sv}$ /leto)	VODOVOD KRŠKO ( $\mu\text{Sv}$ /leto)	VODOVOD BREŽICE ( $\mu\text{Sv}$ /leto)	VODOVOD BREŽICE ( $\mu\text{Sv}$ /leto)	ČRPALIŠČE DRNOVO ( $\mu\text{Sv}$ /leto)	ČRPALIŠČE BREGE ( $\mu\text{Sv}$ /leto)	ZAJETJE DOLENJA VAS ( $\mu\text{Sv}$ /leto)	ČRPALIŠČE BREŽICE Glogov brod ( $\mu\text{Sv}$ /leto)	VRTINA E1 V NEK (***) ( $\mu\text{Sv}$ /leto)
OTROCI 1 - 2 LETI	Umetni radionuklidi	0,066	0,052	0,012	0,010	0,064	0,056	0,058	0,014	0,15
	Umetni in naravni radionuklidi	4,8	4,7	3,1	6,3	7,6	8,2	3,0	3,9	15,8
ODRASLI	Umetni radionuklidi	0,052	0,040	0,008	0,008	0,048	0,044	0,044	0,008	0,116
	Umetni in naravni radionuklidi	1,7	1,8	1,4	2,6	2,7	2,9	1,2	1,4	6,1

(\*) Ob predpostavki, da referenčni odrasel človek zaužije letno  $0,8 \text{ m}^3$  vode oziroma otrok  $0,4 \text{ m}^3$ .

(\*\*) Meritve iz republiškega programa (polletni enkratni vzorci).

(\*\*\*) Vzorčevanje in meritve izvaja IRB iz Zagreba.



**Preglednica 2.1b: VODOVODI IN ČRPALIŠČA PITNE VODE 2003 - meritve IRB**

"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov v pitni vodi v (Bq/m<sup>3</sup>)

IZOTOP	MEDSAVE	ŠIBICE
	A (Bq/m <sup>3</sup> )	A (Bq/m <sup>3</sup> )
U (Th-234)	5,8E+00	2,5E+00
Ra - 226	1,1E+00	1,4E+00
Pb - 210	6,3E+00	2,8E+00
Th (Ra-228)	2,4E+00	1,0E+00
Th - 228		
K - 40	8,3E+01	2,5E+01
Be - 7		
I - 131		
Cs - 134		
Cs - 137	4,9E-01	2,3E-01
Co - 58		
Co - 60		
Cr - 51		
Mn - 54		
Zn - 65		
Nb - 95		
Ru,Rh - 106		
Sb - 125		
Ce - 144		
Sr-90/Sr-89	3,4E+00	3,8E+00
H - 3	1,4E+03	1,3E+03

**POVZETEK PRISPEVKA UMETNIH IN NARAVNIH RADIONUKLIDOV  
ZA OTROKE (1 - 2 let) IN ODRASLE \***

izračunani iz merskih podatkov tabele 2.1c ter doznih faktorjev iz reference [4]

Preglednica 2.1b (povzetek): Podtalnica v letu 2003 - meritve IRB (nova povprečja)

SKUPINA		MEDSAVE (μSv/leto)	ŠIBICE (μSv/leto)
<b>OTROCI 1 - 2 LETI</b>	Umetni radionuklidi	0,13	0,14
	Umetni in naravni radionuklidi	17,9	8,0
<b>ODRASLI</b>	Umetni radionuklidi	0,10	0,11
	Umetni in naravni radionuklidi	7,0	3,2

(\* ) Ob predpostavki, da referenčni odrasel človek zaužije letno 0,8 m<sup>3</sup> vode oziroma otrok 0,4 m<sup>3</sup>.



## b) ZNAČILNOSTI MERITEV

Metode vzorčevanja, meritev in analiz so opisane v poročilu za leto 1982 ter dopolnjene v poročilih za leto 1985 in 1988. Podrobno so opisane v naslednjih dokumentih: *LMR-DN-05*, *LMR-DN-06*, *LMR-DN-10*, *RK-DN-01*, *RK-DN-03*, *ELME-R-P-27*.

## c) ZNAČILNOSTI OBDELAV

Ocena sevalnih obremenitev, ki jih posameznik prejme v vplivnem območju NEK, je bila izračunana po postopkih, ki so podani v dokumentu *Ocena sevalnih obremenitev (LMR-RP-01)*.

## d) OBRAVNAVA REZULTATOV

Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v datotekah **NOVI/VodovodiCrpališca2003.pdf** in **STARI/VodovodiCrpališca2003.pdf**.

V tabelah T-28 in T-29 so predstavljene meritve sevalcev gama in specifičnih analiz Sr-90/Sr-89 in H-3 v enkratno kvartalno odvzetih vzorcih pitne vode v Krškem in Brežicah. Rezultati meritev vod ljubljanskega vodovoda so objavljeni v poročilu Radioaktivnost v življenjskem okolju Slovenije za leto 2003.

V tabelah T-30 do T-34 so zbrane meritve sevalcev gama in specifičnih analiz Sr-90/Sr-89 in H-3 v mesečnih sestavljenih vzorcih črpališč in zajetij vodovodov Krško in Brežice. Vzorčevanje v črpališčih je potekalo avtomatsko, vzorčevanje vodovodov pa ročno.

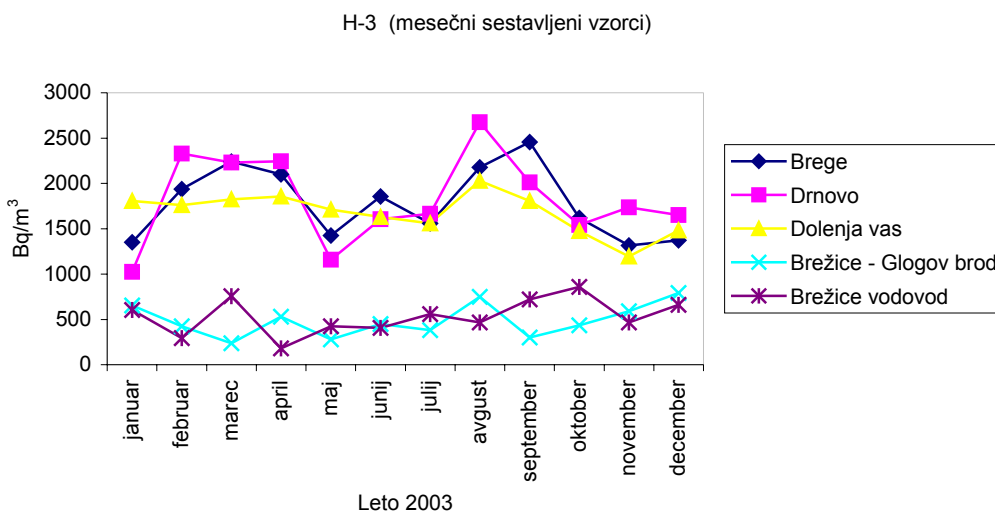
V tabelah T-35, T-36 in T-V1 so predstavljene meritve sevalcev gama in specifičnih analiz Sr-90/Sr-89 in H-3 v podtalnici. Eno vzorčevalno mesto je v bližini NEK, dve pa na Hrvaškem.

Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (UV2) [6] navaja meje letnega vnosa (MLV) izbranih radionuklidov z ingestijo ter izpeljane koncentracije (IK) v pitni vodi. Izpeljane koncentracije za nekatere radionuklide za pitno vodo za skupino posameznikov iz prebivalstva so predstavljene v tabeli 2.1.

**Tabela 2.1:** Izpeljane koncentracije naravnih in umetnih radionuklidov v pitni vodi.

Radionuklid	Bq/m <sup>3</sup>
U-238	3 E+03
Ra-226	4,8 E+02
Pb-210	1,9 E+02
Th-232	5,8 E+02
I-131	6,1 E+03
Cs-134	7,0 E+03
Cs-137	1,0 E+04
Sr-90	4,8 E+03
H-3	7,4 E+06*

\* predpisana meja je 1,0 E+05 Bq/m<sup>3</sup>.



**Slika 2.1:** Vsebnost H-3 v mesečnih sestavljenih vzorcih.

**H-3** Na sliki 2.1 so predstavljene meritve H-3 v mesečnih sestavljenih vzorcih črpališč krškega in brežiškega vodovoda.

Po podatkih NEK o izpustih H-3 v letu 2003 so bili le-ti najvišji v januarju in aprilu.

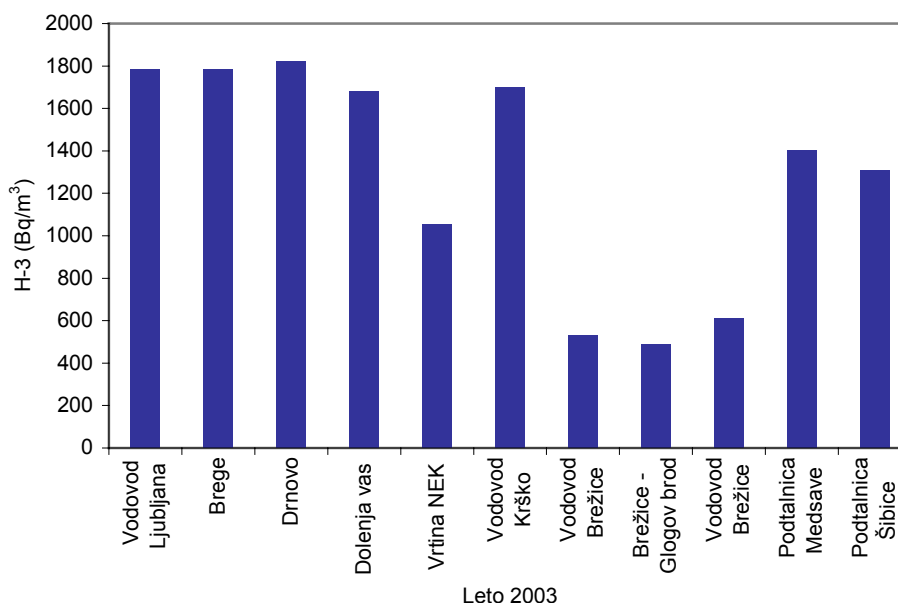
Iz tabel T-30 do T-34 in slike 2.1 je razvidno, da so bile najvišje vrednosti H-3 izmerjene v črpališčih vodovoda Krško (Brege, Drnovo, Dolenja vas), medtem ko so bile izmerjene vrednosti v črpališču in v vodovodu v Brežicah nižje. V črpališču Brege, ki je od jezca NEK oddaljeno 1,4 km, sta bili v marcu in aprilu izmerjeni vrednosti 2240 oziroma 2100 Bq/m<sup>3</sup>. Najvišja vrednost 2455 Bq/m<sup>3</sup> pa je bila izmerjena v mesecu septembru. Letno povprečje mesečnih meritev H-3 v črpališču Brege znaša 1783 ± 396 Bq/m<sup>3</sup>. Prav tako so bile v mesecih februar, marec in april ter avgust in september izmerjene vrednosti nad 2000 Bq/m<sup>3</sup> v črpališču Drnovo, ki je od jezca NEK oddaljeno 3,1 km. Povprečne letne vrednosti H-3 v črpališču Drnovo so bile v območju 1800 Bq/m<sup>3</sup>, medtem ko so bile izmerjene vrednosti v črpališču Dolenja vas pod 1700 Bq/m<sup>3</sup>. Enaka vsebnost H-3 je bila dobljena tudi v odvzetem vzorcu pitne vode na bencinskem servisu Petrol v Krškem. Vrednosti H-3 v mesečnih sestavljenih vzorcih iz črpališč vodovoda v Brežicah so nižje in znašajo 533 in 485 Bq/m<sup>3</sup>. Tema dvema vrednostima je primerljiva vsebnost H-3 v odvzetem vzorcu pitne vode na bencinskem servisu Petrol v Brežicah, ki znaša 611 Bq/m<sup>3</sup>. Povprečne mesečne vrednosti H-3, izmerjene v letu 2003, so v črpališčih krškega vodovoda nekoliko višje kot leta 2002 in so podobne vrednostim, ki so bile izmerjene v letu 2001. Razlika v vsebnosti H-3 med krškim in brežiškim vodovodom izvira iz tega, ker se brežiški vodovod napaja iz globoke vrtine (dobrih 140 m), ki črpa staro vodo. Vrtine za krški vodovod niso tako globoke, prav tako za ljubljanski vodovod, kar se kaže v višjih koncentracijah H-3. V ljubljanskem vodovodu sta bili dobljeni vrednosti H-3 2015 in 1550 Bq/m<sup>3</sup>. Vrednosti sta primerljivi z vrednostmi v krškem vodovodu.

Meritve vsebnosti H-3 v podtalnici iz vrtine znotraj ograje NEK kažejo konstantne vrednosti skozi celo leto od 800 do 1200 Bq/m<sup>3</sup>. Povprečje štirih enkratnih odvzemov znaša 1055 Bq/m<sup>3</sup>. Ta vrednost je precej nižja od vrednosti, izmerjene v letu 2002 (1600 Bq/m<sup>3</sup>).



V podtalnici vrtin Medsave in Šibice na področju Republike Hrvaške so bile povprečne izmerjene vrednosti 1400 za Medsave oziroma 1309 Bq/m<sup>3</sup> za Šibice. Vrednosti za obe lokaciji sta precej nižji od vrednosti, dobljenih v letu 2002, in primerljive z vrednostmi v letu 2001.

Kompletna primerjava vsebnosti H-3 za leto 2003 v vzorcih vode iz črpališč, vodovodov in podtalnice je prikazana na sliki 2.2. Na sliki je predstavljena tudi vrednost H-3 v ljubljanskem vodovodu. Rezultati potrjujejo, da je v brežiškem vodovodu zaradi globljih vrtin stara voda. Primerjava z ljubljanskim vodovodom pa kaže na to, da ni zaznati povečanja H-3 zaradi obratovanja NEK.



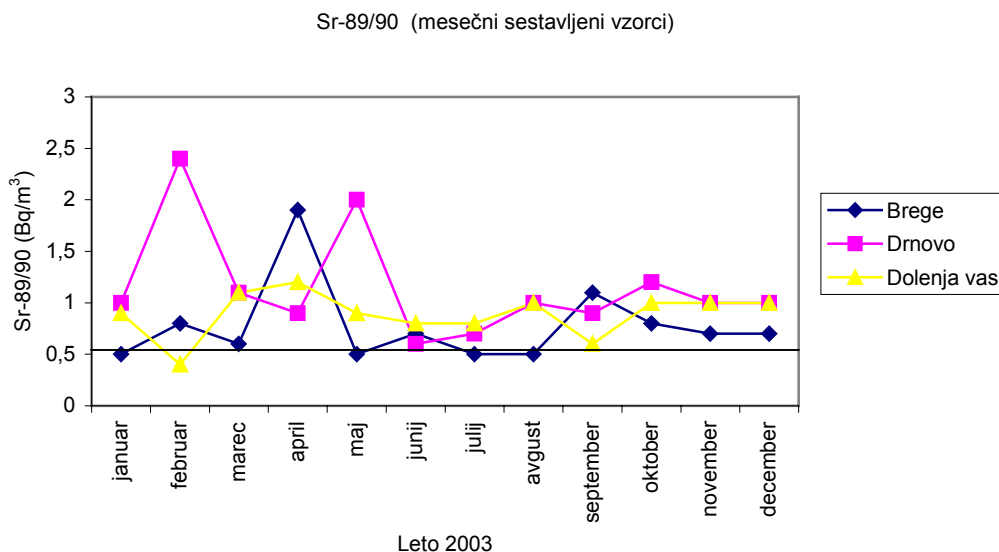
**Slika 2.2:** Primerjava vrednosti H-3 v črpališčih, vodovodih in podtalnici za leto 2003.

### Sr-90/Sr-89

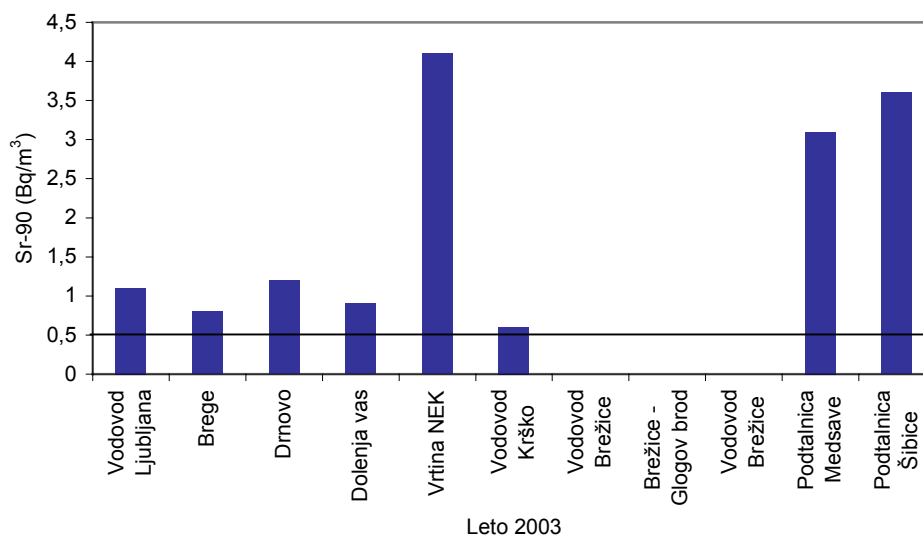
V črpališčih krškega vodovoda so meritve Sr-90/Sr-89 pokazale povprečne vrednosti od 0,8 do 1,2 Bq/m<sup>3</sup>. Vrednost 0,6 Bq/m<sup>3</sup> je bila dobljena tudi v odvzetem vzorcu pitne vode v Krškem. Vrednosti Sr-90/Sr-89 v črpališču brežiškega vodovoda in pitne vode v Brežicah so bile pod < 0,5 Bq/m<sup>3</sup>. Slika 2.3 prikazuje vsebnosti Sr-90/Sr-89 v mesečnih vzorcih črpališč krškega vodovoda.

Povprečne vrednosti štirih meritev vsebnosti Sr-90/Sr-89 v podtalnici v bližini NEK so bile 4,1 Bq/m<sup>3</sup>, medtem ko so bile povprečne vrednosti mesečnih meritev vsebnosti Sr-90/Sr-89 v podtalnici na Hrvaškem v Medsavah 3,1 Bq/m<sup>3</sup> in v Šibicah 3,6 Bq/m<sup>3</sup>. Dobljene vrednosti so primerljive z vrednostmi iz leta 2002.

Kompletna primerjava za vsebnost Sr-90/Sr-89 v pitni vodi, črpališčih in podtalnici za leto 2003 je prikazana na sliki 2.4. Na sliki je posebej označena tudi meja detekcije 0,5 Bq/m<sup>3</sup>.



Slika 2.3: Mesečne vrednosti Sr-90/Sr-89 v črpališčih krškega vodovoda



Slika 2.4: Primerjava vrednosti za Sr-90/Sr-89 v črpališčih, vodovodih in podtalnici.

**Cs-137** Meritve Cs-137 v črpališčih vodovoda Krško in Brežice so pokazale vrednosti v sledovih, ki pa so bile povsod nižje od  $0,4 \text{ Bq/m}^3$ . V pitni vodi v Brežicah Cs-137 ni bil detektiran, medtem ko so bile v pitni vodi v Krškem detektirane vsebnosti nižje od  $0,2 \text{ Bq/m}^3$ . Cs-137 je bil detektiran tudi v črpališču Drnovo, prav tako pod  $0,4 \text{ Bq/m}^3$ . V črpališču vodovoda Brežice je bila izmerjena vrednost Cs-137 marca  $0,28 \text{ Bq/m}^3$ , julija pa  $0,21 \text{ Bq/m}^3$ .

V vrtini znotraj ograje NEK so bile detektirane vsebnosti Cs-137 pod  $0,7 \text{ Bq/m}^3$ . Prav tako so bile detektirane vsebnosti Cs-137 v vrtinah na Hrvaškem in so tudi znašale pod  $0,7 \text{ Bq/m}^3$ .

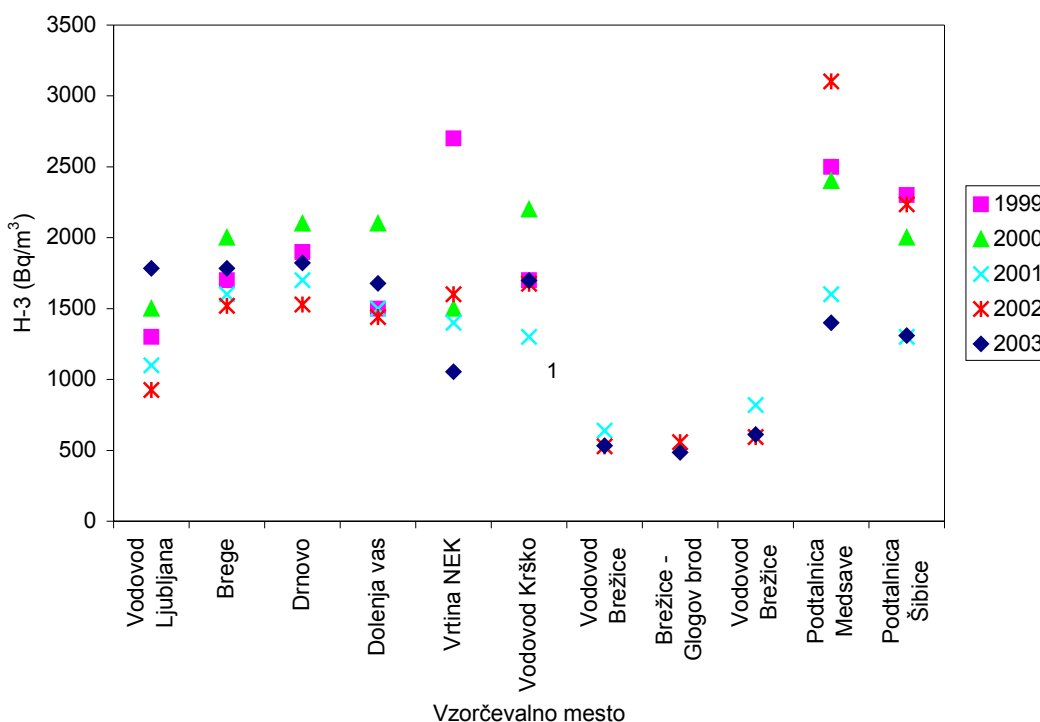


Primerjave vsebnosti Cs-137 v črpališčih pitne vode, vodovodni vodi in v podtalnici so primerljive z rezultati preteklih let. Vsebnost Cs-137 je bila v posameznih vzorcih sicer detektirana, vendar pa v večini vzorcev ni bila možna natančna določitev.

**I-131** V nobenem vzorcu ni bil detektiran I-131.

### Naravni radionuklidi

V letu 2003 so bile opravljene meritve aktivnosti raztopljenih dolgoživih radionuklidov v podtalnici in pitni vodi. Naravni radionuklidi so bili sicer detektirani, vendar so bili razen K-40 na večini lokacij pod mejo kvantifikacije. Vsekakor pa je njihova vsebnost odvisna od geološke strukture, ki je v Sloveniji zelo raznolika. Voda na vzorčevalnih mestih na krško-brežiškem polju se namreč zbira iz treh virov: podtalnice v Krškem, povodja potoka, ki je zajezen nad Dolenjo vasjo, in globokega vodonosnika, od koder se po letu 1990 v glavnem napaja brežiški vodovod. Razlike v koncentraciji naravnih radionuklidov v vzorcih so odvisne od razlik v sestavi tal, v katerih se vodonosi nahajajo, in od koncentracij v dotokih, iz katerih se vodonosi napajajo. Vsebnosti K-40 so bile izmerjene na vseh vzorčevalnih mestih in kažejo vrednosti od 15 do 90 Bq/m<sup>3</sup> v črpališčih, zajetju in vodovodu v Krškem, v Brežicah pa od 12 do 40 Bq/m<sup>3</sup>. Koncentracije vodilnih naravnih radionuklidov iz uran-radijeve in torijeve vrste v vodah niso višje v primerjavi z vrednostmi, ki smo jih določili v preteklih letih, prav tako pa so primerljive tudi z meritvami vzorcev z drugih lokacij v Sloveniji. Nad mejo kvantifikacije smo v nekaterih vzorcih določili le U-238, Ra-226 in Pb-210. Vendar pa so bile njihove vrednosti za uran in radij pod 5 Bq/m<sup>3</sup> in za Pb-210 pod 10 Bq/m<sup>3</sup>. Za primerjavo navajamo vrednosti naravnih radionuklidov v pitni vodi v Sloveniji, ki znašajo za U-238 in Ra-226 do 10 Bq/m<sup>3</sup> ter Pb-210 do 15 Bq/m<sup>3</sup>. Tudi koncentracija Be-7 je bila v večini vzorcev pod mejo detekcije. Detektiran je bil v vseh črpališčih, vrednosti do 6 Bq/m<sup>3</sup> pa so bile določene samo v nekaterih mesecih. To kaže na prisotnost sledi deževnice v vzorcih.



**Slika 2.5:** Povprečne letne koncentracije H-3 v vodovodih, črpališčih in podtalnici v zadnjih petih letih.





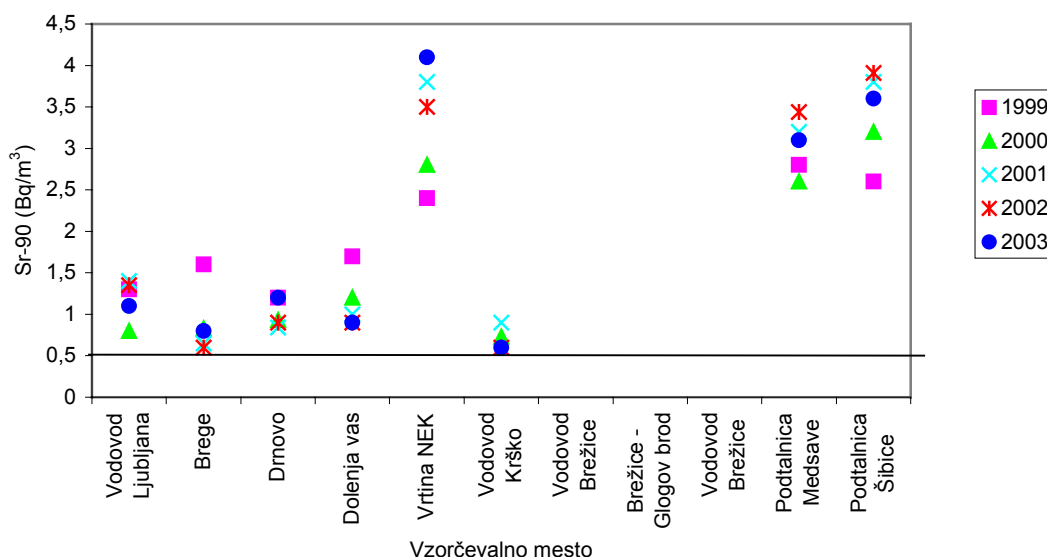
## e) DISKUSIJA

Povprečne mesečne vrednosti vsebnosti H-3, ki so bile izmerjene v letu 2003, so podobne vrednostim, ki so bile izmerjene v preteklem letu. Primerjava vrednosti za zadnjih 5 let je prikazana na sliki 2.5.

Kot je razvidno iz podatkov, so vrednosti za vsebnost H-3 v povprečju zadnjih petih let. Vrednosti za H-3 v ljubljanskem vodovodu ter v črpališčih Brege, Drnovo in Dolenja vas so med sabo popolnoma primerljive, vrednosti v krškem in brežiškem vodovodu so enake kot v letu 2002, medtem ko so pa vrednosti H-3 v vrtini NEK in v podtalnici na Hrvaškem precej nižje kot leta 2002.

Primerjava vrednosti za Sr-90/Sr-89 za zadnjih pet let ne kaže nobenega odstopanja oziroma morebitne kontaminacije s tem radionuklidom. Vrednosti so popolnoma primerljive z letom 2002. Primerjava rezultatov je prikazana na sliki 2.6. Povišane koncentracije Sr-90/Sr-89 v vrtini NEK v primerjavi koncentracijami v pitni vodi ne pripisujemo vplivu jedrske elektrarne, ker so podobne koncentracije izmerjene tudi v podtalnicah Medsave in Šibice. Ker sta lokaciji Medsave in Šibice tako oddaljeni od NEK, da je pričakovati zmanjšanje njenega vpliva, in ker je vzorčevanje in meritve na teh lokacijah opravil isti izvajalec, omenjeno povišanje pripisujemo neustreznemu postopku vzorčevanja ali neupoštevanim sistematskim vplivom pri pripravi vzorcev in meritvah koncentracije radionuklida Sr-90/Sr-89.

Dobljene vsebnosti za Cs-137 in naravne radionuklide v letu 2003, kakor tudi v večini vzorcev v zadnjih petih letih, so bile pod mejo detekcije. V kolikor pa so bile njihove vrednosti nad mejo kvantifikacije, pa niso pokazale odstopanja od vrednosti na drugih lokacijah v Sloveniji.



**Slika 2.6:** Vsebnosti Sr-90/Sr-89 v vodovodni vodi, v črpališčih in podtalnici v zadnjih petih letih.

## f) OCENA VPLIVOV

V preglednicah 2.1a in 2.1b so zbrane povprečne koncentracije posameznih radionuklidov za vsa vzorčevalna mesta črpališč, vodovodov in podtalnice v letu 2003. Edini radionuklid, ki se pojavlja v tekočih izpustih NEK in katerega vsebnost je bila izmerjena na vseh vzorčevalnih mestih, je H-3, medtem ko sta bila Sr-90/Sr-89 in Cs-137 na meji oziroma pod mejo kvantifikacije. V tabelah



2.1a (povzetek) in 2.1b (povzetek) so ocenjene efektivne enakovredne doze odraslih (starejših od 17 let) in otrok (1 - 2 leti), ki uporabljajo to vodo za pitje. Za primerjavo so podane tudi vrednosti v vodovodu Ljubljana. V tabeli 2.1a (povzetek) smo pri oceni doz upoštevali povprečja, izračunana po novem postopku. Prispevek umetnih radionuklidov v brežiškem vodovodu v letu 2003 k obremenitvi referenčnega človeka je znašal **za odrasle 0,008  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  in za otroke (1 - 2 let) 0,010  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$** . Te vrednosti predstavljajo manj kot 5 promilov celoletne obremenitve z umetnimi in naravnimi radionuklidi, ki so za odrasle 5  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  in za otroke 12  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ . Rezultati so primerljivi z vrednostmi za zadnjih pet let. Ocenjeni prispevek obremenitve zaradi naravnih radionuklidov se v primerjavi z letom 2002 ni spremenil. Vsebnosti teh radionuklidov so bile z uporabljenimi metodo na meji določitve.

Če za izračun doz uporabimo povprečja vsebnosti naravnih radionuklidov, izračunana po starem postopku, bi bil ocenjeni prispevek umetnih radionuklidov k obremenitvi referenčnega človeka **za odrasle 0,020  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  in za otroke (1 - 2 let) 0,026  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$** . Razlog, da so doze, izračunane iz povprečij po novem postopku manjše, je v tem, da vsebnosti radionuklidov na meji kvantifikacije ne prispevajo k dozi, temveč k merski negotovosti.

Vpliva NEK na koncentracije radionuklidov v vzorcih iz vodovodov in črpališč v letu 2003 ni bilo mogoče zaznati. Višje vrednosti H-3 v črpališčih krškega vodovoda v primerjavi z brežiškim so bile opažene tudi v preteklih letih. Teh višjih vrednosti ne pripisujemo vplivu NEK, ker so primerljive z vsebnostjo H-3 v ljubljanskem vodovodu.

Da bi predstavili vpliv novega načina računanja povprečij na prejete doze, smo na slikah 2.7 in 2.8 prikazali doze, izračunane s povprečji po novem postopku (2003) in po starem postopku (2003a), ter primerjavo le-teh z letom 2002. Pri računanju povprečij aktivnosti posameznih radionuklidov je bila za Pb-210 v Bregah po starem postopku dobljena vrednost 6,4 Bq/m<sup>3</sup>, po novem postopku računanja povprečij pa 1,2 Bq/m<sup>3</sup>, kar je vzrok za znatno razliko v prejeti dozi.

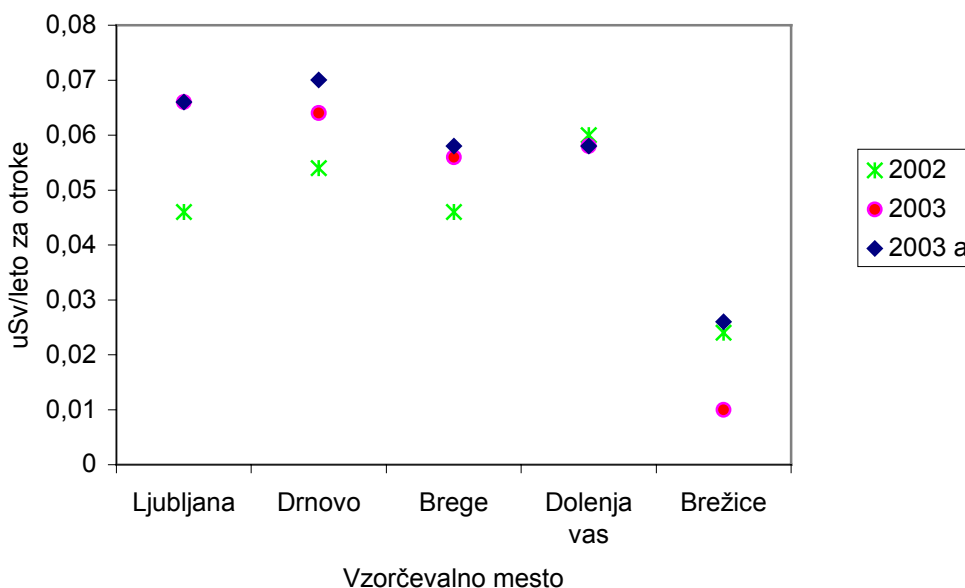
## g) ZAKLJUČKI

Vsebnosti umetnih in naravnih radionuklidov pri meritvah vzorcev vode iz črpališč in vodovodov na krško-brežiškem področju v letu 2003 so primerljive z vrednostmi v zadnjih petih letih. Prispevek vseh umetnih radionuklidov iz brežiškega vodovoda k letni obremenitvi prebivalca zaradi pitja te vode, ocenjen iz povprečij, izračunanih po novem postopku, je v letu 2003 znašal **0,008  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  za odrasle in 0,010  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  za otroke (1 - 2 let)**. Celotna obremenitev zaradi vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov je bila v brežiškem vodovodu ocenjena na 2,6  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  za odrasle in 6,3  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  za otroke (1 - 2 let). V črpališčih krškega vodovoda znaša ocenjeni prispevek k dozi vseh umetnih radionuklidov 0,044  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  za odrasle in 0,056  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  za otroke. Celoletna obremenitev na teh črpališčih zaradi umetnih in naravnih radionuklidov pa je ocenjena na 1,2  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  za odrasle in 3,0  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  za otroke. Višje vrednosti obremenitev so tu v primerjavi z Brežicami v nekoliko višjih koncentracijah H-3 in Sr-90/Sr-89. Vendar pa za oba radionuklida velja, da njune višje vrednosti niso posledica izpustov NEK, pač pa globine vrtine. Za primerjavo smo po enaki metodologiji ocenili letne doze pri pitju vode iz ljubljanskega vodovoda. Ocenjeni prispevek umetnih radionuklidov v ljubljanskem vodovodu pa znaša 0,052  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  za odrasle in 0,066  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  za otroke, za vse radionuklide pa 1,7  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  za odrasle in 4,8  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  za otroke. Ocenjene doze zaradi prisotnosti umetnih radionuklidov predstavljajo povprečno manj kot 5 promilov vrednosti, ki jo posamezniki prejmejo na istem področju zaradi vsebnosti naravnih radionuklidov. Izmerjene koncentracije umetnih radionuklidov so na vseh mestih nižje od izpeljanih koncentracij za pitno vodo [6]. Prav tako so nižje od koncentracij, izpeljanih iz dozne omejitve 1/30 avtorizirane mejne doze (50  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ ), ki jo predpisuje pravilnik Z2 za zadovoljivo občutljivost meritev specifičnih koncentracij radionuklidov. Dobljene vrednosti na vseh vzorčevalnih mestih so mnogo nižje od vrednosti, ki so dovoljene za pitno vodo. To velja tako za umetne kot naravne radionuklide.

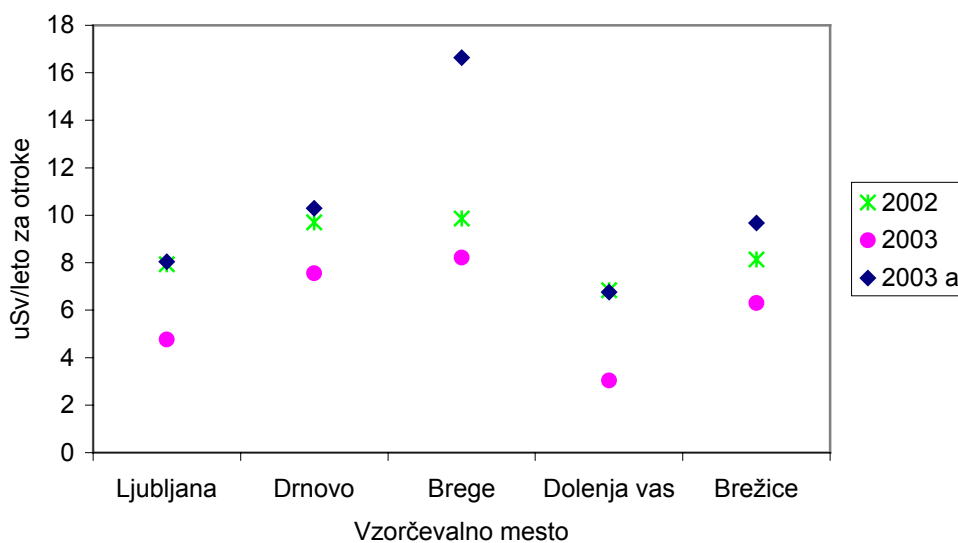


Na sliki 2.9 je primerjava vrednosti ocenjenih prispevkov umetnih radionuklidov zaradi pitja vode iz ljubljanskega vodovoda, krških črpališč in brežiškega vodovoda za otroke. Kot je razvidno s slike, se te vrednosti po letu 1999 znižujejo. Slika 2.10 prikazuje ocenjene prispevke za vse radionuklide, tako naravne kot umetne. Iz slik 2.9 in 2.10 je razvidno, da ni korelacije med vzorčevalnim mestom, to je razdaljo od NEK, ter prispevkom radionuklidov k prejeti dozi. Iz tega sledi, da je vpliv prispevka NEK k dozi manjši od vpliva lokalnih variacij koncentracije radionuklidov na dozo. To potrjujejo tudi analize vode iz ljubljanskega vodovoda.

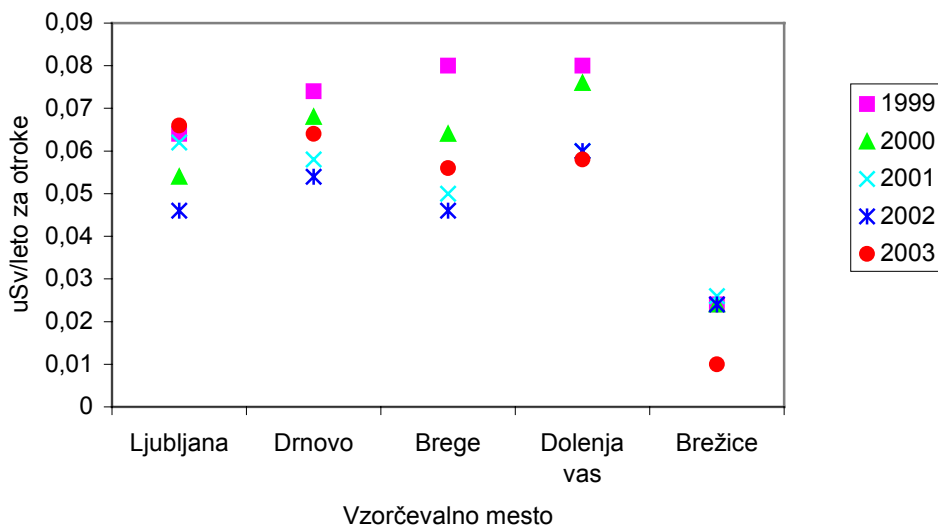
Meritve vode iz vrtine znotraj ograje NEK in na Hrvaškem kažejo vrednosti, ki so primerljive s prejšnjimi leti. Ni pa bilo zaslediti kratkoživih radionuklidov, ki bi pokazali na morebiten vpliv NEK.



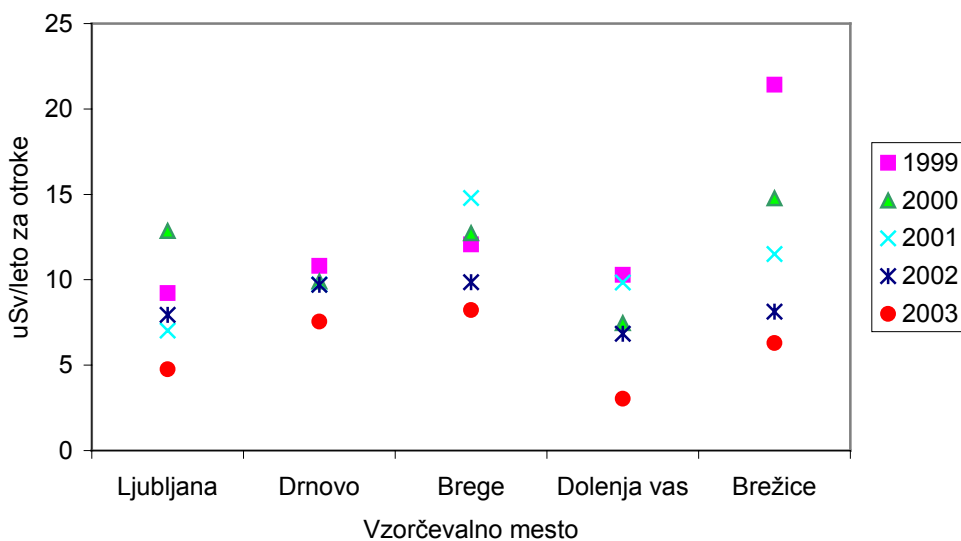
**Slika 2.7:** Primerjava prispevkov k dozi za otroke zaradi vsebnosti umetnih radionuklidov, ocenjenih po starem (2003a) in novem postopku računanja povprečij (glej str. M22/M136) ter primerjava z letom 2002.



**Slika 2.8:** Primerjava prispevkov k dozi za otroke zaradi vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov, ocenjenih po starem (2003a) in novem postopku računanja povprečij (glej str. M22/M136) ter primerjava z letom 2002.



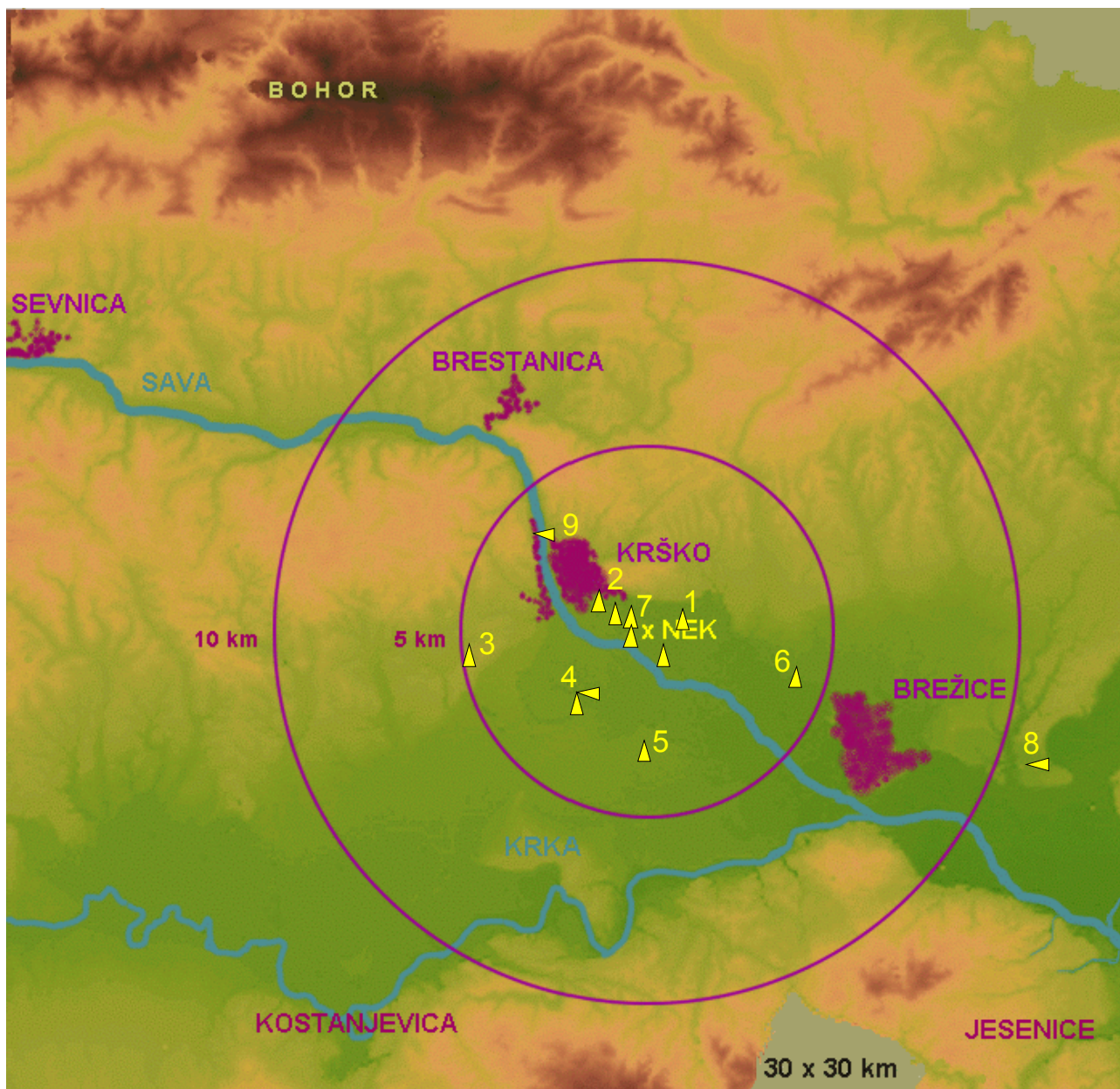
**Slika 2.9:** Primerjava prispevkov k dozi za otroke zaradi vsebnosti umetnih radionuklidov v zadnjih petih letih. Prispevek za leto 2003 je bil ocenjen iz povprečij, izračunanih po novem postopku (glej str. M22/M136).



**Slika 2.10:** Primerjava prispevkov k dozi za otroke zaradi vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov v zadnjih petih letih. Prispevek za leto 2003 je bil ocenjen iz povprečij, izračunanih po novem postopku (glej str. M22/M136).

## h) REFERENCE

- [6] Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Uredba UV2), osnutek, 14. november 2003.



## PADAVINE IN SUHI USEDI

- ▲ LOVILNE PLOŠČE USEDIA
- ▶ PADAVINE IN USEDIA

- 1 - STARI GRAD
- 2 - STARA VAS
- 3 - LESKOVEC
- 4 - BREGE
- 5 - VIHRE
- 6 - GORNJI LENART
- 7 - VRBINA
- 8 - DOBOVA
- 9 - KRŠKO



## PADAVINE IN TALNI USEDI

Aerosoli in plini, ki so v ozračju, se izpirajo z dežjem in z usedanjem na površje zemlje. Izpiranje z dežjem mnogo učinkoviteje čisti ozračje kot usedanje. Radioaktivne snovi, ki so v ozračju, se zaradi omenjenih procesov koncentrirajo na površinah. Z zbiralniki deževnice in suhega useda jih zbiramo, kontaminacija zbranih vzorcev pa kaže na prisotnost radioaktivnih snovi v ozračju.

Deževnice in suhega useda ljudje sicer ne uživajo, vendar pa rastline vsrkajo odložene radioaktivne snovi prek korenin ali listov ter skozi koristne dele pridejo v prehransko verigo. Razen tega odložene radioaktivne snovi sevajo in tako neposredno prispevajo k prejeti dozi.

Poleg naravnih radionuklidov, ki nastanejo v ozračju ali pa pridejo v ozračje z emanacijo ali resuspenzijo iz zemlje, so v ozračju prisotni tudi radionuklidi, ki so posledica človekove dejavnosti. Jedrske elektrarne izpuščajo v ozračje karakteristične radioaktivne snovi, ki se ločijo od radioaktivnih snovi, ki so v ozračju prisotne zaradi drugih dejavnosti. Pri oceni vpliva elektrarniških izpustov v ozračje na ljudi in okolje je zato potrebna primerjalna ocena vplivov glede na naravne radionuklide. Rezultati meritev kažejo, da je vpliv kontaminacije deževnice in suhega useda zaradi zračnih izpustov NEK zanemarljiv.

### a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST

Vzorčevalna mesta za padavine so v Bregah, Krškem in v Dobovi. Vzorčevalna mesta za suhi used (vazelinske plošče) so na območju ob ograji NEK ter na osmih lokacijah na razdalji do 5 km v okolici NEK. Referenčno vzorčevalno mesto za padavine in suhi used je v Ljubljani. Za zbiranje vzorcev tekočih padavin se uporabljajo zbiralniki iz nerjavnega jekla z odprtino 0,25 m<sup>2</sup>. Za zbiranje suhih usedov so postavljene plošče iz pleksi stekla 1,8 do 2 m nad površino tal, površine 0,3 m<sup>2</sup> in premazane s tanko plastjo vazelina. Vzorčevanje poteka kontinuirno, vzorce pa se pobira enkrat mesečno.

### b) ZNAČILNOSTI MERITEV

Za določanje koncentracij sevalcev gama v suhih ostankih po izparevanju vzorcev padavin se uporablja visokoločljivostna spektrometrija gama (VLG), za merjenje koncentracij Sr-90/Sr-89 v suhih ostankih vzorcev padavin pa radiokemična analiza. Aktivnosti H-3 v padavinah se merijo s tekočinskim scintilacijskim števcem, pred tem pa se vzorce tekočin elektrolitsko obogati.

### c) OBRAVNAVA REZULTATOV

Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v datotekah **NOVI/PadavineUsedi2003.pdf** in **STARI/PadavineUsedi2003.pdf**.

Rezultati meritev vzorcev padavin in suhih usedov so prikazani v tabelah T-37 (Padavine - Brege), T-38 (Padavine - Krško), T-39 (Padavine - Dobova), T-40 (Padavine - Ljubljana), T-42/1 (Vazelinske plošče - širša okolica NEK), T-42/2 (Vazelinske plošče - ožja okolica NEK), T-42/3 (Vazelinske plošče- ograja NEK) in T-42/4 (Vazelinske plošče - Ljubljana).

V letu 2003 je bila količina padavin zelo nestalna. V prvi polovici leta je bila količina padavin na posameznih vzorčevalnih mestih do nekaj več kot 86 mm na mesec, z najmanjšo količino v mesecu marcu, ko skoraj ni deževalo. V jesenskih mesecih pa je bila mesečna količina padavin tudi do


**Preglednica 3.1a: TALNI USED V LETU 2003 - meritve IJS (povprečja izračunana po starem postopku)**

 "A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov zaradi letnega useda v deževnici in na vazelinskih ploščah v (Bq/m<sup>2</sup>)

Vzorčevalno mesto	LOVILNIKI DEŽEVNICE (LETNI USED)					VAZELINSKE PLOŠČE (LETNI USED)			
	OKOLICA NEK				LJUBLJANA - IJS Republiški program	3 lokacije PV3	5 lokacij PV2	8 lokacij	LJUBLJANA - IJS
	BREGE	KRŠKO	DOBOVA	POVPREČJE 3 lokacij		neposredno izmerjen			
IZOTOP	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	
U (Th-234)	< 4,9E+00	< 4,3E+00	< 7,9E+00	< 5,7E+00	< 6,0E+00	< 2,3E+00	< 1,4E+00	< 1,7E+00	< 4,7E+00
Ra - 226	< 3,5E-01	< 6,6E-01	< 8,7E-01	< 6,2E-01	< 7,5E-01	< 6,5E-01	< 5,1E-01	< 5,7E-01	< 1,4E+00
Pb - 210	< 4,7E+01	6,5E+01	6,7E+01	< 5,3E+01	3,9E+01	4,2E+01	4,4E+01	4,3E+01	5,2E+01
Th (Ra-228)	< 1,2E+00	< 1,0E+00	< 9,6E-01	< 1,1E+00	< 1,2E+00	< 1,0E+00	< 7,9E-01	< 8,8E-01	< 1,7E+00
Th - 228	< 8,0E-01	< 6,8E-01	< 8,8E-01	< 7,8E-01	< 8,6E-01	< 8,3E-01	< 1,2E+00	< 1,0E+00	< 1,1E+00
K - 40	< 1,2E+01	< 4,9E+00	< 5,9E+00	< 7,6E+00	< 9,5E+00	< 5,3E+00	< 6,5E+00	< 6,0E+00	< 4,0E+00
Be - 7	1,3E+02	4,3E+02	4,5E+02	3,4E+02	2,3E+02	2,0E+02	2,1E+02	2,1E+02	2,3E+02
I - 131		1,4E-01	2,1E-01	1,2E-01	1,7E-01				
Cs - 134									
Cs - 137	< 4,0E-01	< 2,8E-01	< 4,7E-01	< 3,8E-01	< 4,2E-01	< 4,9E-01	< 6,0E-01	< 5,6E-01	< 6,5E-01
Co - 58									
Co - 60							9,7E-03	6,1E-03	
Cr - 51									
Mn - 54									
Zn - 65									
Nb - 95									
Ru,Rh - 106									
Sb - 125									
Fe-59									
Sr-90/Sr-89	< 1,1E+00	< 8,0E-01	< 1,2E+00	< 1,0E+00	< 6,1E-01				
H - 3	1,3E+03	7,5E+02	1,2E+03	1,1E+03	1,7E+03				



**Preglednica 3.1b: TALNI USED V LETU 2003 - meritve IJS (povprečja izračunana po novem postopku)**

"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov zaradi letnega useda v deževnici in na vazelinskih ploščah v (Bq/m<sup>2</sup>)

Vzorčevalno mesto	LOVILNIKI DEŽEVNICE (LETNI USED)					VAZELINSKE PLOŠČE (LETNI USED)			
	OKOLICA NEK				LJUBLJANA - IJS Republiški program	3 lokacije PV3	5 lokacij PV2	8 lokacij	LJUBLJANA - IJS
	BREGE	KRŠKO	DOBOVA	POVPREČJE 3 lokacij		neposredno izmerjen			
IZOTOP	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	(Bq/m <sup>2</sup> )	
U (Th-234)	2,9E+00	2,6E-01	7,8E-01	1,3E+00	1,1E+00	1,3E+00	7,1E-01	9,3E-01	2,0E+00
Ra - 226	5,1E-02	1,1E-01	7,3E-02	7,9E-02	3,0E-01	3,7E-01	2,7E-01	3,1E-01	1,8E-01
Pb - 210	4,0E+01	6,5E+01	6,7E+01	5,7E+01	3,9E+01	4,2E+01	4,4E+01	4,3E+01	5,2E+01
Th (Ra-228)	3,7E-01	4,7E-01	5,3E-01	4,5E-01	3,3E-01	5,1E-01	5,2E-01	5,1E-01	4,4E-01
Th - 228	1,1E-01	2,2E-01	3,6E-01	2,3E-01	2,1E-01	5,2E-01	1,0E+00	8,5E-01	5,4E-01
K - 40	1,1E+01	2,1E+00	3,7E+00	5,6E+00	8,3E+00	3,6E+00	4,7E+00	4,3E+00	3,3E+00
Be - 7	1,3E+02	4,3E+02	4,5E+02	3,4E+02	2,3E+02	2,0E+02	2,1E+02	2,1E+02	2,3E+02
I - 131		1,4E-01	2,1E-01	1,1E-01	1,7E-01				
Cs - 134									
Cs - 137	2,4E-01	1,6E-01	1,8E-01	1,9E-01	2,2E-01	3,7E-01	5,4E-01	4,8E-01	3,6E-01
Co - 58									
Co - 60							9,7E-03	6,1E-03	
Cr - 51									
Mn - 54									
Zn - 65									
Nb - 95									
Ru,Rh - 106									
Sb - 125									
Fe-59									
Sr-90/Sr-89	9,6E-02	5,4E-02		5,0E-02	1,4E-03				
H - 3	1,3E+03	7,5E+02	1,2E+03	1,1E+03	1,7E+03				





**Tabeli 3.1a in 3.1b:** Največje izmerjene specifične aktivnosti in letna povprečja specifičnih aktivnosti H-3, Be-7, Pb-210, K-40, Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v suhih ostankih po izparevanju padavin v Bregah, Krškem, Dobovi in Ljubljani v letu 2003.

**Tabela 3a** - stara povprečja

3a	BREGE			KRŠKO			DOBOVA			LJUBLJANA		
	Povprečna vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost/ Povprečna vrednost	Povprečna vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost/ Povprečna vrednost	Povprečna vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost/ Povprečna vrednost	Povprečna vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost/ Povprečna vrednost
H-3	1800	2400	1,3	1700	2400	1,4	1800	2700	1,5	1500	2200	1,5
Be-7	210	470	2,2	780	2100	2,7	620	1600	2,6	220	440	2,0
Pb-210	100	490	4,9	140	230	1,6	100	160	1,6	96	690	7,2
K-40	21	85	4,0	17	75	4,4	9,7	28	2,9	8,8	41	4,7
Cs-137	1,1	7,2	6,5	1,8	15	8,3	1,1	4,8	4,4	0,4	2,2	5,5
Sr-90/Sr-89	2,3	10	4,3	2,7	12	4,4	2,4	10	4,2	0,6	0,9	1,5

**Tabela 3b** - nova povprečja

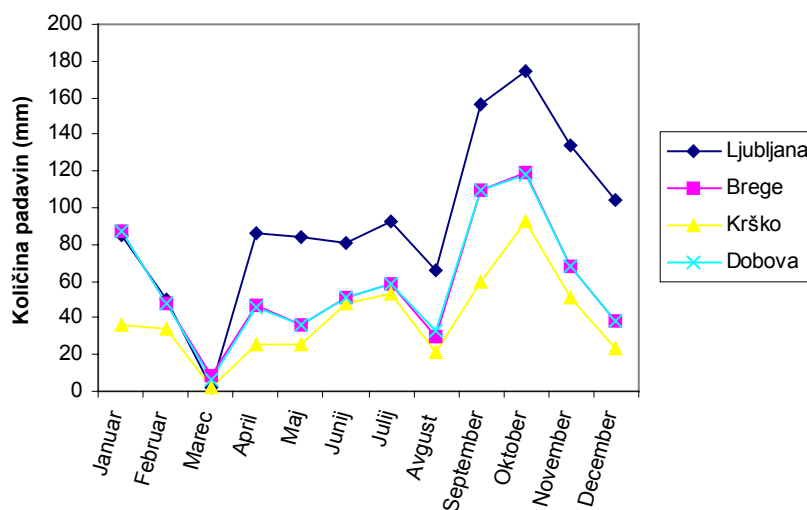
3b	BREGE			KRŠKO			DOBOVA			LJUBLJANA		
	Povprečna vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost/ Povprečna vrednost	Povprečna vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost/ Povprečna vrednost	Povprečna vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost/ Povprečna vrednost	Povprečna vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Največja vrednost/ Povprečna vrednost
H-3	1800 ± 100	2400 ± 300	1,3	1700 ± 100	2400 ± 300	1,4	1800 ± 200	2700 ± 200	1,5	1500 ± 100	2200 ± 300	1,5
Be-7	210 ± 40	470 ± 40	2,2	780 ± 200	2100 ± 100	2,7	620 ± 100	1600 ± 100	2,6	220 ± 30	440 ± 200	2,0
Pb-210	85 ± 40	490 ± 50	5,8	140 ± 20	230 ± 60	1,6	100 ± 10	160 ± 20	1,6	96 ± 60	690 ± 90	7,2
K-40	20 ± 7	85 ± 30	4,3	5,3 ± 7	24 ± 8	4,5	6,6 ± 3	28 ± 7	4,2	8,2 ± 4	41 ± 7	5,0
Cs-137	0,88 ± 0,6	7,2 ± 4	8,2	0,29 ± 1	2,6 ± 0,4	9,0	0,28 ± 0,5	1,3 ± 0,4	4,6	0,28 ± 0,2	2,2 ± 0,8	7,9
Sr-90/Sr-89	0,09 ± 0,9	1,1 ± 0,4	12	0,13 ± 1	1,5 ± 0,6	12	0 ± 1	<10	-	0,23 ± 0,08	0,9 ± 0,3	3,9



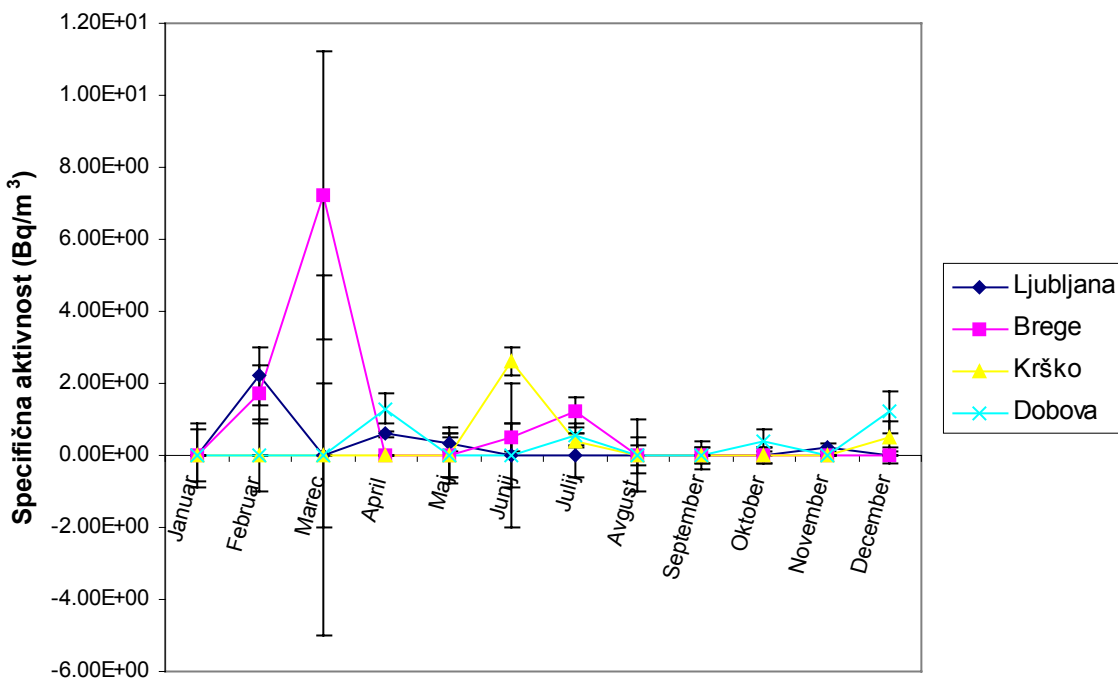
dvakrat višja v primerjavi s povprečno količino padavin v pomladnih mesecih. Največ padavin na vseh vzorčevalnih mestih je bilo v mesecu oktobru. Letna količina padavin v Krškem je bila kar za več kot polovico nižja kot v Ljubljani. Letna vsota padavin v Ljubljani v letu 2003 je bila 1117 mm, v Bregah 700 mm, v Krškem 470 mm in v Dobovi 701 mm. Mesečne porazdelitve padavin v Ljubljani, Krškem in Dobovi vidimo na sliki 3.1.

V vzorcih padavin in suhih usedov so bili prisotni naravni radionuklidi H-3, Be-7, K-40, potomci uranove in torijeve razpadne vrste ter umetna radionuklida Cs-137 in Sr-90/Sr-89. V tabelah 3.1a in 3.1b so podatki o največjih izmerjenih specifičnih aktivnostih in letna povprečja specifičnih aktivnosti H-3, Be-7, Pb-210, K-40, Cs-137 in Sr-90/Sr-89. Povprečja v tabeli 3.1a so bila izračunana po starem postopku, v tabeli 3.1b pa po novem postopku. Najvišja vrednost H-3 je bila izmerjena v Dobovi 2700 Bq/m<sup>3</sup>; v Ljubljani je bila ta vrednost 2200 Bq/m<sup>3</sup>. Najvišje specifične aktivnosti Be-7 so bile od 440 Bq/m<sup>3</sup> v Ljubljani do 2100 Bq/m<sup>3</sup> v Krškem. Povprečne vrednosti Be-7 v Krškem in Dobovi so bile do dvakrat višje kot v Bregah in Ljubljani. Najvišje specifične aktivnosti Pb-210 so bile od 160 Bq/m<sup>3</sup> v Dobovi do 690 Bq/m<sup>3</sup> v Ljubljani. Povprečne vrednosti K-40 so bile v Bregah približno dvakrat višje kot na ostalih vzorčevalnih mestih. Iz tabele 3.1a se vidi, da so povprečne vrednosti obeh umetnih radionuklidov Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v širši okolici NEK v povprečju do 4 krat višje od povprečne vrednosti v Ljubljani. Sistematsko višje povprečne vrednosti za Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v tabeli 3.1a v primerjavi z vrednostmi v tabeli 3.1b so posledica metodoloških razlik v računanju povprečja. V tabeli 3.1a namreč k povprečju prispevajo rezultati na meji kvantifikacije, medtem ko v tabeli 3.1b le-ti prispevajo le k negotovosti povprečja. To je tudi razlog, da so povprečne vrednosti radionuklidov, katerih koncentracije so blizu meje kvantifikacije, v tabeli 3.1b znatno nižje kot v tabeli 3.1a. V tabelah 3.1a in 3.1b so prikazana razmerja najvišjih vrednosti specifičnih aktivnosti in letnih povprečij. Ta razmerja so ponekod visoka, kar gre v veliki meri pripisati nihanju v količini padavin in višjih vrednosti za nekatere radionuklide v pomladnih mesecih. V tabeli 3.1b so razmerja za Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v splošnem višja kot v tabeli 3.1a.

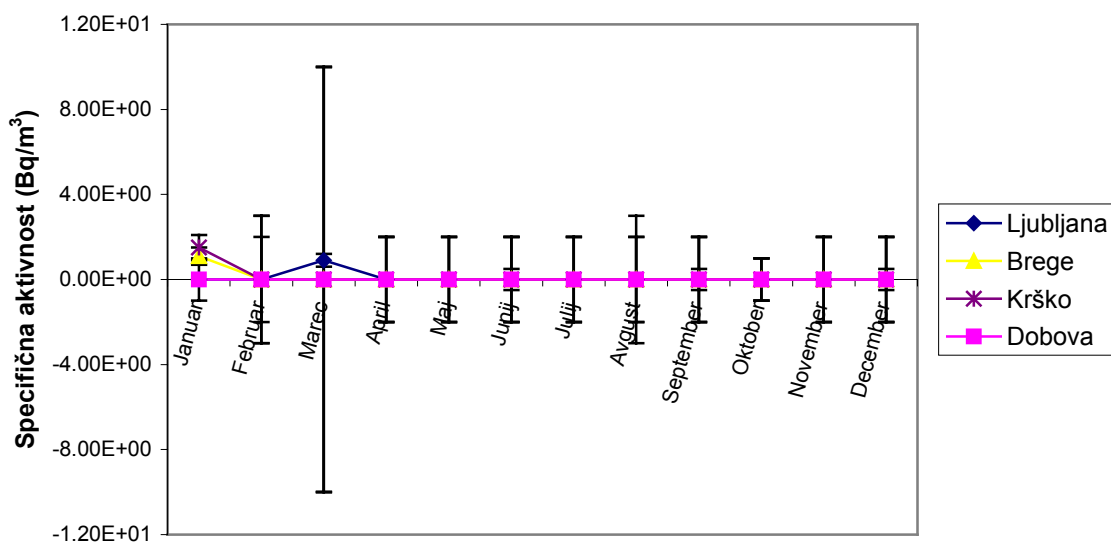
Mesečne specifične aktivnosti Cs-137, Sr-90/Sr-89 in H-3 v deževnici v Bregah, Krškem, Dobovi in v Ljubljani so prikazane na slikah 3.2 –3.4. Najvišje vrednosti Cs-137 in Sr-90/Sr-89 so bile določene v prvi polovici leta, z najvišjo vrednostjo Cs-137 v mesecu marcu v Bregah. V času, ko so bile količine padavin najvišje, so bile vrednosti nizke, npr. za Sr-90/Sr-89 pod mejo detekcije. Iz grafa, ki prikazuje specifične aktivnosti H-3 v deževnici za vsa štiri vzorčevalna mesta, je opaziti velika nihanja znotraj intervala 840-2700 Bq/m<sup>3</sup>, sicer pa večjih odstopanj, ki bi jih lahko povezali z zračnimi izpusti iz NEK, ni opaziti.



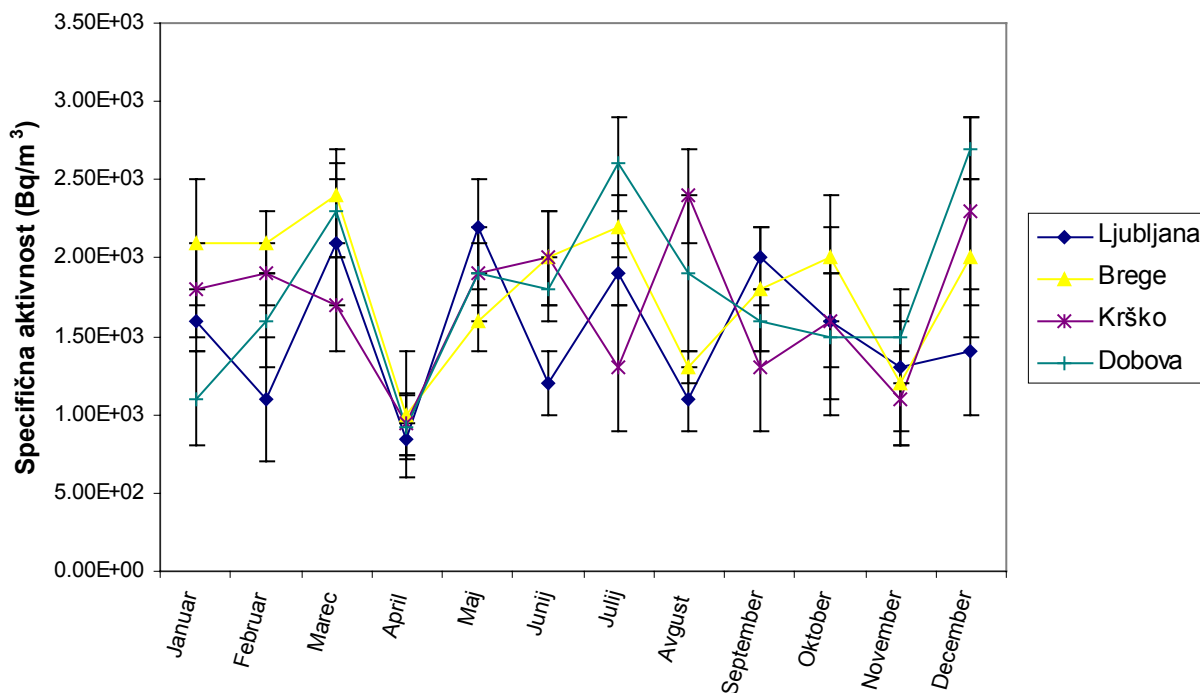
Slika 3.1: Količina padavin v Ljubljani, Bregah, Krškem in Dobovi v letu 2003.



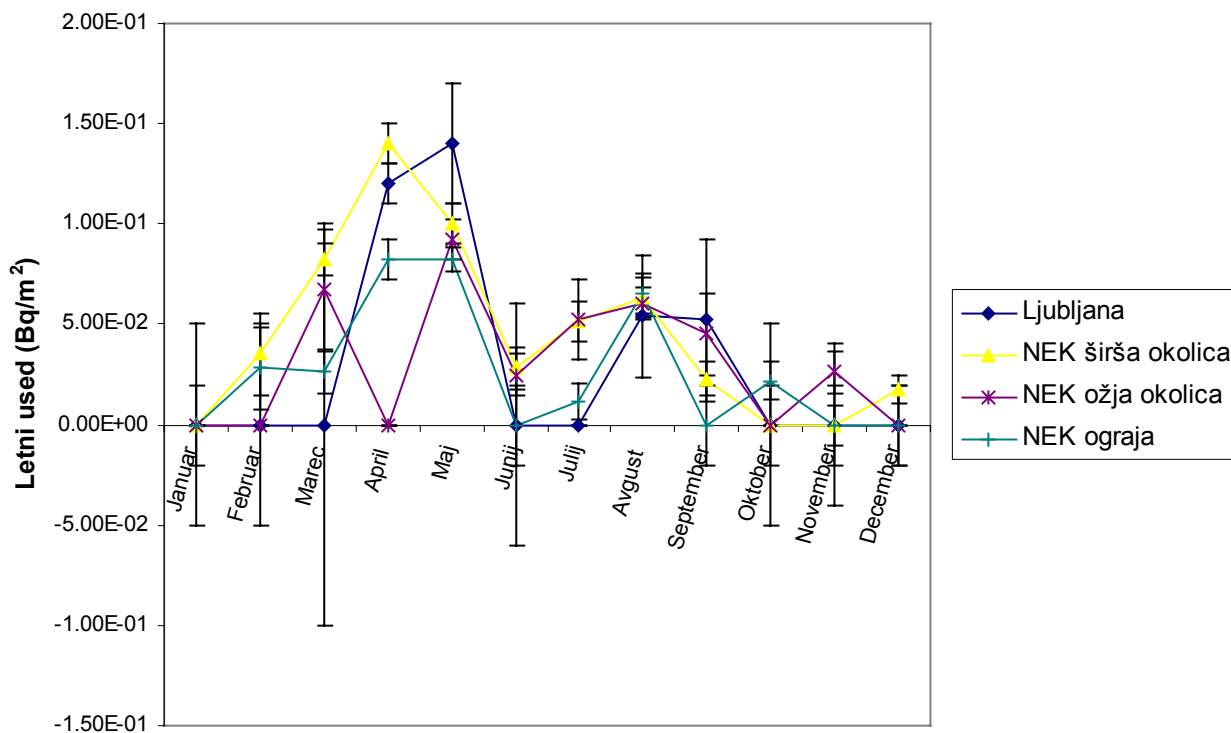
Slika 3.2: Specifične aktivnosti Cs-137 v deževnici v Bregah, Krškem, Dobovi in Ljubljani.



Slika 3.3: Specifične aktivnosti Sr-90/Sr-89 v deževnici v Bregah, Krškem, Dobovi in Ljubljani.



Slika 3.4: Specifične aktivnosti H-3 v deževnici v Bregah, Krškem, Dobovi in Ljubljani.



Slika 3.5: Specifične aktivnosti Cs-137 v suhem usedu na vazelinskih ploščah.



Slika 3.5 prikazuje mesečne specifične aktivnosti Cs-137 v suhem usedu na vazelinskih ploščah. Zopet so vrednosti primerljive z atmosferskim dogajanjem oziroma količino padavin, nihanja pa so podobna kot pri Cs-137 v deževnici. Opazno je povečanje Cs-137 v mesecu aprilu in maju na referenčni lokaciji v Ljubljani, katerega pa pri analizi deževnice ni bilo opaziti. Razmerje povprečnega useda Cs-137 v letu 2003 v okolici NEK glede na predhodno leto je 0,6. Spremembe povprečnega useda Cs-137 so si za obdobje po černobilski onesnažitvi v okolici NEK sledile takole:

**Razmerja velikosti dveh zaporednih letnih usedov Cs-137 v okolici NEK (vazelinske plošče):**

1988/1987	0,5	1994/1993	0,7	2000/1999	1,1
1989/1988	0,5	1995/1994	3,6	2001/2000	0,7
1990/1989	0,7	1996/1995	0,4	2002/2001	1,5
1991/1990	0,7	1997/1996	0,3	2003/2002	0,6
1992/1991	1,0	1998/1997	1,3		
1993/1992	0,8	1999/1998	1,0		

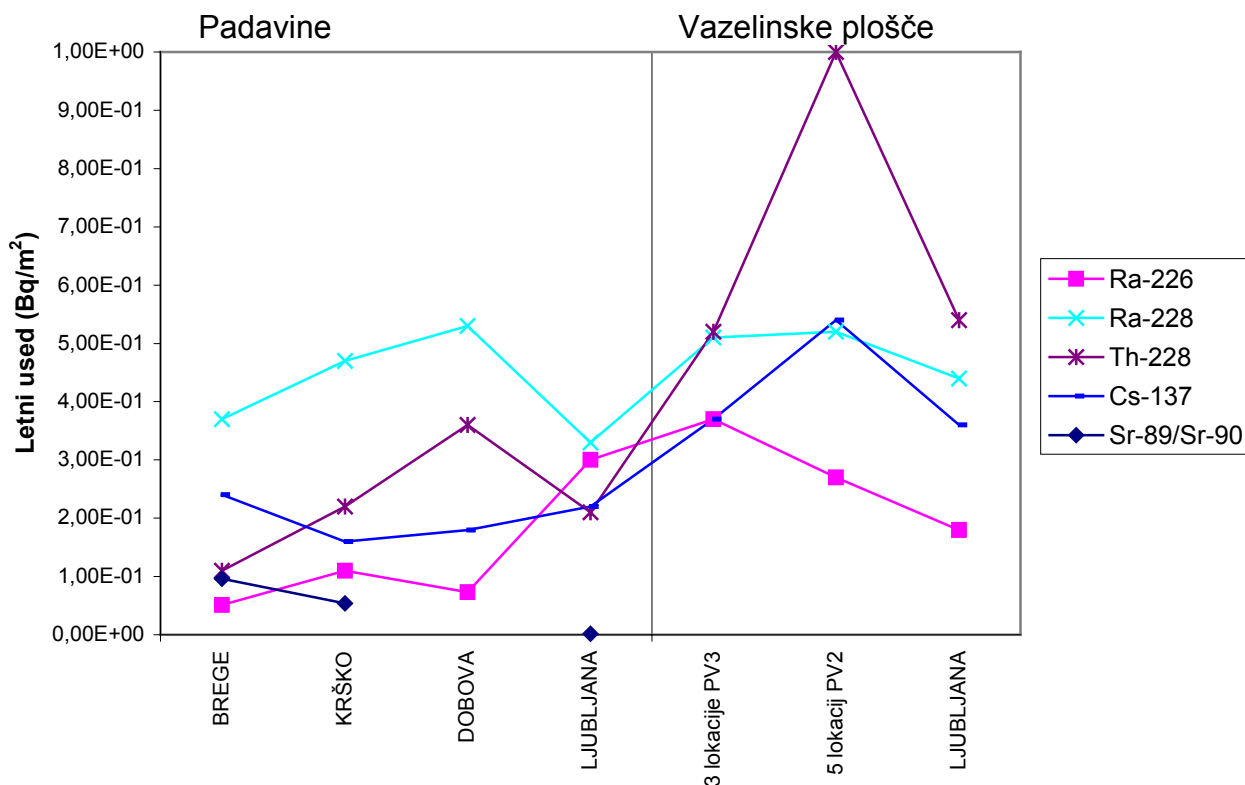
V mesecu marcu je bilo opaziti tudi prisotnost Co-60 na vazelinskih ploščah v širši okolici NEK. V mesecu aprilu pa je bilo na treh lokacijah opaziti merljive specifične aktivnosti I-131 v deževnici. Podatki so zbrani v tabeli 3.2.

**Tabela 3.2:** Specifične aktivnosti I-131 v deževnici v mesecu aprilu.

Lokacija	I-131 (Bq/m <sup>3</sup> )
Krško	5,4 ± 3
Dobova	4,6 ± 1
Ljubljana	1,9 ± 0,8

V vzorcih suhih usedov na vazelinskih ploščah v mesecu aprilu ni bilo opaziti prisotnosti I-131, v mesecu maju pa je bila na ograji NEK izmerjena vrednost I-131 0,024 Bq/m<sup>2</sup>. Prisotnost I-131 tako v okolici NE Krško kot tudi v Ljubljani si razlagamo kot posledico nezgode pri čiščenju goriva v jedrski elektrarni Paks na Madžarskem. Skupna količina izpusta I-131 v času od 9. do 20. aprila 2003 je bila 360 GBq. Kljub temu da je bila nesreča klasificirana v 3. stopnjo po INES lestvici in dejstvu, da ima I-131 relativno kratek razpolovni čas (8 dni), se je z zračnimi tokovi prenesel na sosednje države, kjer ga je v Sloveniji uspešno detektirala merska mreža za nadzor vpliva NEK na okolje.

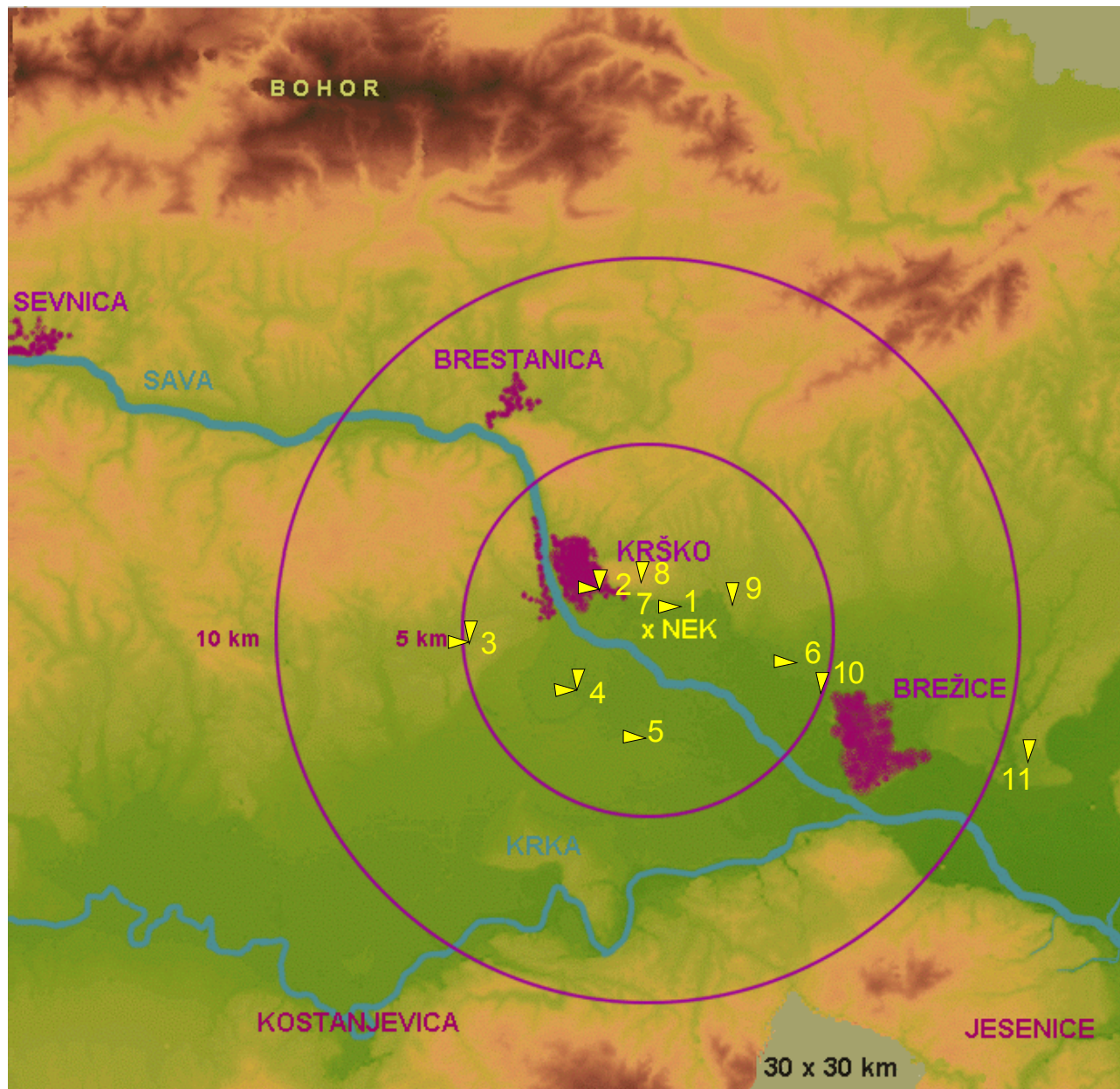
Na sliki 3.6 je prikazana primerjava vrednosti letnih usedov za izbrane radionuklide v padavinah in na vazelinskih ploščah na vzorčevalnih mestih okrog NEK in v Ljubljani. Za Cs-137 in Th-228 so bile vrednosti v povprečju nekoliko višje na vazelinskih ploščah v primerjavi z letnim usedom v padavinah. Letni used za Ra-226 je v okolici NEK višji na vazelinskih ploščah v primerjavi z usedom v padavinah, medtem ko je v Ljubljani used na vazelinske plošče za faktor 1,7 nižji kot v padavinah.



**Slika 3.6:** Povprečni letni usedi v padavinah, zbranih v lovnikih deževnice in na vazelinskih ploščah na različnih lokacijah okrog NEK in v Ljubljani v letu 2003 (izračunano po novem postopku, kjer so merski rezultati, manjši od meje kvantifikacije, upoštevani s pričakovano vrednostjo 0 in z negotovostjo, ki je enaka meji kvantifikacije).

#### d) OCENA VPLIVOV

Analiza rezultatov meritev radionuklidov v padavinah je pokazala, da prispevki umetnih radionuklidov, ki jih lahko najdemo v zraku, ne vplivajo zaznavno na skupno letno dozo okoliškega prebivalstva. Za izračun dodatnih doz radionuklidov, ki so v izpustih NEK, se uporabljajo vrednosti letnih usedov za umetne radionuklide Cs-137 in Sr-90/Sr-89. Glede na to, da sta Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v okolju splošno prisotna, njune vsebnosti ne moremo pripisati izpustom NEK. To potrjujejo rezultati iz preglednic 3.1a, b, kjer je razvidno, da je letni used za Cs-137 v Ljubljani višji od povprečja v okolici NEK, za Sr-90/Sr-89 pa nižji.



## ZRAK

- ▼ ZRAČNE ČRPALKE ZA AEROSOLE
- ▶ ZRAČNE ČRPALKE ZA JOD IN AEROSOLE

- 1 - STARI GRAD
- 2 - STARA VAS
- 3 - LESKOVEC
- 4 - BREGE
- 5 - VIHRE
- 6 - GORNJI LENART
- 7 - VRBINA
- 8 - LIBNA
- 9 - PESJE
- 10 - ŠENTLENART
- 11 - DOBOVA



## Z R A K

### a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST

Vzorčevanje zraka je v letu 2003 potekalo na istih mestih kot v preteklih letih. Vzorčevalna mesta, ki so bila izbrana kot reprezentativna mesta za oceno sevalnih vplivov zračnih izpustov NEK na okoliško prebivalstvo, so podrobneje opisana v poročilih za leto 1982 in leto 1995.

Vzorčevanje **aerosolov** je potekalo na sedmih mestih v okolici NEK, ki so v zračni oddaljenosti 1,4 km do 12 km od NEK. To so Libna pri Krškem (ZR = 1,4 km), Stara vas (ZR = 1,8 km), Brege (ZR = 2,3 km), Leskovec (ZR = 3 km), Pesje (ZR = 3 km), Šentlenart (ZR = 5,9 km) in Dobova (ZR = 12 km). Na Libni je potekalo tudi vzorčevanje za specifično meritev **Sr-90/Sr-89**.

**Kontrolne meritve** so bile opravljene na vzorcih, ki so bili pridobljeni z vzorčevanjem na dveh mestih v Ljubljani (ZVD in IJS).

Vzorčevanje **I-131** je potekalo na šestih mestih v okolici NEK, v zračni oddaljenosti 1,8 km do 5,9 km od NEK: Spodnji Stari Grad (ZR = 1,8 km), Stara vas (ZR = 1,8 km), Vihre (ZR = 2 km), Brege (ZR = 2,3 km), Leskovec (ZR = 3 km) in Gornji Lenart (ZR = 5,9 km).

Vzorčevanje **emisij** je potekalo na glavnem oddušniku NEK, kjer se pripravljajo vzorci za meritve jodov, tritija (H-3), ogljika C-14, partikulatov ter opravlja meritev žlahtnih plinov.

### b) ZNAČILNOSTI MERITEV

Način vzorčevanja zračnih emisij iz NEK in koncentracij radionuklidov v zraku je ostal tak kot v preteklih letih in je bil podrobno opisan v poročilu za leto 1982.

Vzorčevanje **aerosolov** je potekalo s kontinuiranim prečrpavanjem zraka skozi aerosolne filtre. Filtri, ki so bili zbrani z dnevno menjavo tekom enega meseca, so bili ovrednoteni z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Vzorčevanje in meritve vzorcev na vseh sedmih mestih ter vzorčevanje in meritev na enem mestu v Ljubljani (republiški program) je opravil ZVD. Dodatno (primerjalno) meritev na vzorcih iz Stare vasi (okolica NEK) in dodatno vzorčevanje ter meritev na referenčni lokaciji v Ljubljani ter ovrednotenje rezultatov je opravil IJS.

Zaradi specifičnih lastnosti **I-131** in njegovih spojin je vzorčevanje I-131 potekalo ločeno s črpalkami z manjšim pretokom in posebnimi filtri (stekleni mikrofiber, aktivno oglje + TEDA - trietilendiamin). Filtri zbirajo atomarni in molekularni jod (I, I<sub>2</sub>), metiljodid (CH<sub>3</sub>I), HI, HOI in jod, vezan na aerosole. Filtri se menjajo vsakih 15 dni. Specifične meritve I-131 in izotopska analiza partikulatov se izvaja s pomočjo visokoločljivostne spektrometrije gama. Vzorčevanje in specifične meritve joda je opravil IJS.

Vzorčevanje **emisij** na glavnem oddušniku NEK se opravi z odvzemom reprezentančnega vzorca, ki se črpa skozi več radioloških monitorjev in vrača v oddušnik. Posebej se vzorčuje tritij (H-3), ogljik C-14, Sr-90/Sr-89 (specifične analize s scintilacijskim spektrometrom beta) ter partikulati za izotopsko analizo sevalcev s spektrometrijo gama. Meritev žlahtnih plinov poteka kontinuirno v posebnem merilnem zbiralniku. Specifične analize vzorčevanja tritija (H-3) in ogljika C-14 je opravil IJS, meritve vzorcev filtrov za vzorčevanje partikulatov na ventilacijskem kanalu pa NEK in IJS. NEK je opravil tudi meritve emisij joda ter žlahtnih plinov.



### Preglednica 4.1: AEROSOLNI FILTRI V LETU 2003 - meritve ZVD, IJS

"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov v aerosolih v (mBq/m<sup>3</sup>) prefiltriranega zraka.

"E<sub>50</sub>" Ocena prispevkov k predvideni efektivni dozi odraslih E<sub>50</sub> za aerosole (\*)

Vzorčevalno mesto	Krško -		Stara vas - 15C		Leskovec	Brege	Pesje	Šentlenart	Dobova	POVPREČJE KRAJEV		LJUBLJANA (Republiški program)			
	Libna 16B	ZVD	IJS(a)	13D	10C	5D	10C	6F	1	-	7	IJS	ZVD	POVPREČJE	
IZOTOP	A (mBq/m <sup>3</sup> )	A (mBq/m <sup>3</sup> )	A (mBq/m <sup>3</sup> )	A (mBq/m <sup>3</sup> )	A (mBq/m <sup>3</sup> )	A (mBq/m <sup>3</sup> )	A (mBq/m <sup>3</sup> )	A (mBq/m <sup>3</sup> )	A (mBq/m <sup>3</sup> )	E <sub>50</sub> (μSv/leto)	A (mBq/m <sup>3</sup> )	A (mBq/m <sup>3</sup> )	A (mBq/m <sup>3</sup> )	E <sub>50</sub> (μSv/leto)	
U (Th-234)	7,8E-03	6,3E-03	9,7E-03	3,3E-03	1,4E-02	< 1,3E-02	< 1,3E-02	1,2E-02	< 9,8E-03	8,8E+00	3,2E-03	9,4E-03	6,3E-03	5,7E+00	
Ra - 226	< 9,0E-03	< 9,9E-03	4,0E-03	< 1,0E-02	7,6E-03	7,3E-03	< 1,5E-02	5,0E-03	< 8,4E-03	7,2E-01	5,7E-03	3,5E-03	5,7E-03	4,9E-01	
Pb - 210	7,4E-01	< 1,0E+00	8,8E-01	< 8,7E-01	1,4E+00	8,1E-01	9,6E-01	1,1E+00	< 9,7E-01	4,9E+01	8,8E-01	8,5E-01	8,7E-01	4,4E+01	
Th (Ra-228)	4,2E-03	1,5E-02	1,9E-03	4,9E-03	7,7E-03	< 4,4E-03	1,3E-03	5,6E-03	< 5,6E-03	6,4E+00	2,0E-03	2,6E-03	2,0E-03	2,3E+00	
Th - 228	< 4,3E-03	< 6,2E-03	1,6E-03	< 5,9E-03	5,2E-03	< 6,0E-03	< 7,2E-03	1,5E-03	< 4,7E-03	2,1E+00	8,7E-02	9,0E-03	8,7E-02	3,9E+01	
K - 40	< 2,3E-01	< 1,3E-01	1,4E-01	< 1,7E-01	< 2,2E-01	< 8,4E-02	< 1,9E-01	< 1,9E-01	< 1,7E-01	3,2E-03	2,8E-01	2,2E-01	2,5E-01	4,7E-03	
Be - 7	2,4E+00	2,9E+00	3,9E+00	3,6E+00	3,3E+00	2,6E+00	3,2E+00	3,4E+00	3,2E+00	1,6E-03	3,6E+00	3,4E+00	3,5E+00	1,7E-03	
Cs - 134											1,7E-04		8,6E-05		
Cs - 137	< 3,4E-03	< 3,7E-03	2,2E-03	< 3,8E-03	< 4,5E-03	3,3E-03	< 3,3E-03	3,8E-03	< 3,5E-03	1,2E-03	2,9E-03	3,9E-03	3,4E-03	1,2E-03	
Co - 58															
Co - 60															
Mn - 54															
Ru,Rh - 106															
Sb - 125															
Ce - 141															
Ce - 144															
Sr-90/Sr-89	< 2,6E-03								< 2,6E-03	3,8E-03					
Vsota E <sub>50</sub> za umetne radionuklide (μSv/leto)											0,005		0,001		
Vsota E <sub>50</sub> za umetne in naravne radionuklide (μSv /leto)											67		91		

(a) Interkomparacijske meritve IJS na mesečnih zbirnih vzorcih ZVD, opravljene od januarja 2003 do decembra 2003 in preračunane na sredino ustreznih vzorčevalnih mesecev.

(\*) Predvidene efektivne doze so izračunane iz predpostavke, da odrasel referenčni posameznik vdahne 9E+3 m<sup>3</sup> zraka letno (povprečna hitrost dihanja 17 l/min), oziroma da otrok (1-2 let) vdahne 1,4E+3 m<sup>3</sup> zraka letno (povprečna hitrost dihanja 2,7 l/min)



**POVZETEK VSOT PREDVIDENIH EFEKTIVNIH DOZ (\*)  
ZA ODRASLE IN OTROKE (1-2 LETI)**

izračunani iz merskih podatkov preglednice 4.1 ter doznih faktorjev iz reference [4]

Preglednica 4.1 (povzetek): AEROSOLNI FILTRI v letu 2003 (ZVD, IJS)

STAROSTNA SKUPINA	VRSTA VSOTE ( $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ )	AEROSOLNI FILTRI - POVPREČJE	
		OKOLICA NEK**	LJUBLJANA
ODRASLI $E_{50}$	umetni radionuklidi	0,005 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$	0,001 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$
	umetni in naravni radionuklidi	67 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$	91 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$
OTROCI 1-2 let $E_{70}$	umetni radionuklidi	0,002 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$	0,001 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$
	umetni in naravni radionuklidi	31 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$	41 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$

(\*) Predvidene efektivne doze so izračunane iz predpostavke, da odrasel referenčni posameznik vdahne  $9\text{E}+3 \text{ m}^3$  zraka letno (povprečna hitrost dihanja 17  $\ell/\text{min}$ ), oziroma da otrok (1-2 let) vdahne  $1,4\text{E}+3 \text{ m}^3$  zraka letno (povprečna hitrost dihanja 2,7  $\ell/\text{min}$ ).

(\*\*) Prispevek umetnih radionuklidov v okolici NEK vsebuje tudi prispevek Sr-90/Sr-89, ki je posledica poskusnih jedrskih eksplozij in je izmerjen zaradi resuspenzije.

**c) ZNAČILNOSTI OBDELAV**

Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v datotekah **NOVI/Zrak2003.pdf** in **STARI/Zrak2003.pdf**.

Iz meritev visokoločljivostne spektrometrije gama na aerosolnih in jodovih filtrih ter znanih podatkov o volumnu prečrpanega zraka je bilo možno določiti **povprečne vsebnosti posameznih radionuklidov** v prečrpanem zraku.

Podatki o izmerjenih vsebnostih joda I-131 za šest vzorčevalnih mest so zbrani v tabeli T-43.

Podatki o izmerjenih vsebnostih aerosolov za sedem vzorčevalnih mest v okolici NEK (meritve ZVD in IJS) so v tabelah T-44 do T-50, podatki o izmerjenih vsebnostih radionuklidov v aerosolih v Ljubljani (meritve ZVD in IJS) pa so v tabelah T-51 in T-52. Za vsa vzorčevalna mesta in vse merjene radionuklide so določena letna povprečja, ki so zbrana v preglednici 4.1. V preglednici so tudi povprečne vsebnosti posameznih radionuklidov za vseh sedem krajev v okolici NEK, kjer je potekalo vzorčevanje, ter povprečje vsebnosti posameznih radionuklidov za Ljubljano (povprečje meritev vzorčevanja na dveh mestih).

Iz povprečij za okolico NEK ter povprečij za Ljubljano so določene **predvidene efektivne doze  $E_{50}$  in  $E_{70}$**  za referenčnega posameznika iz prebivalstva za dve starostni skupini: odrasle, starejše od 17 let in otroke, stare 1 do 2 let. Pri tem so bili upoštevani dozni pretvorbeni faktorji  $e(g)$  (predvidena efektivna doza na enoto vnosa) iz reference [4] in hitrosti dihanja 17  $\ell/\text{min}$  za odraslega posameznika in 2,7  $\ell/\text{min}$  za otroka. S seštevanjem predvidenih efektivnih doz za posamezne radionuklide dobimo predvideno efektivno dozo  $E_{50}$  oziroma  $E_{70}$  za inhalacijo umetnih radionuklidov ter za inhalacijo vseh radionuklidov v aerosolih, vključno z naravnimi.

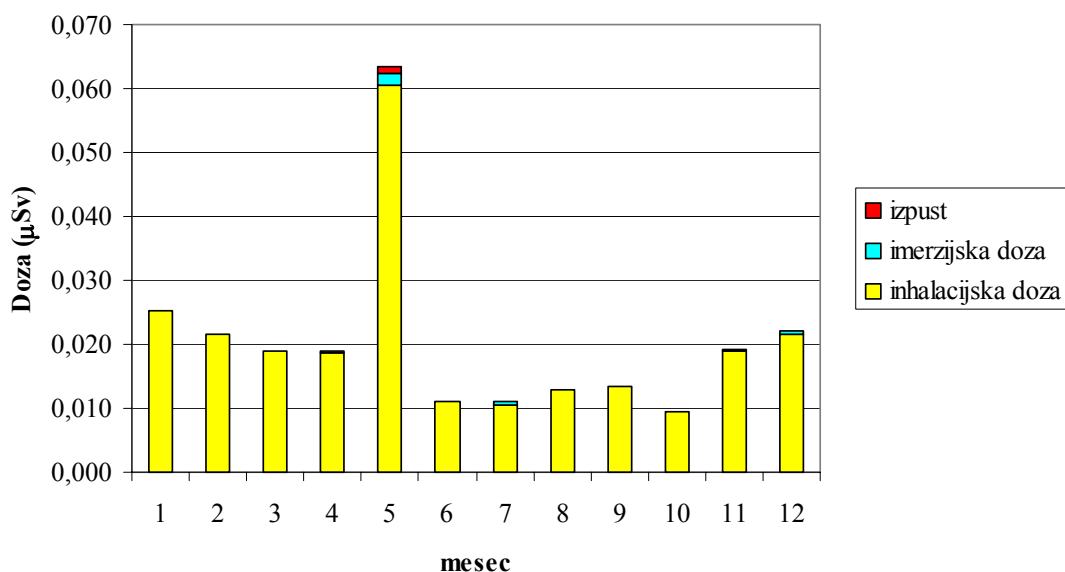
Iz podatkov o meritvah vsebnosti plinov v izpuhu NEK, ki sta jih opravila NEK in IJS, ter iz podatka o nominalnem dnevnem izpuhu skozi oddušnik (42  $\text{m}^3/\text{s}$  oz 3.628.800  $\text{m}^3/\text{dan}$ ) so določene mesečne emisije ter **letne vsote emisij posameznih radionuklidov**. Podatki o mesečnih emisijah ter letne vsote so podane v **preglednici 4.2a, delu A1** ter **preglednici 4.2b, delu A2**.



**KONSERVATIVNO OCENJENE MESEČNE DOZE IZ ZRAKA (OBLAKA)**  
**za referenčno skupino prebivalcev za leto 2003**  
**(smer ENE, razdalja 0,8 km)**

Vir: - mesečni emisijski podatki NEK  
 - IJS analize mesečnih sestavljenih emisijskih vzorcev H-3, C-14 in partikulatov  
 - povprečni mesečni razredčitveni faktorji " $\chi/Q$ " Agencije RS za okolje za prizemni izpust

Največji prispevek k inhalacijski dozi daje C-14 in H-3, k imerzijski pa Ar-41 in Xe-131m.



Slika 4.1

Tabela 4.1: Povprečni mesečni razredčitveni faktorji " $\chi/Q$ " ( $s/m^3$ ), za naselja v okolici NEK in za referenčno točko (500 m od reaktorja), ki jih je pripravila ARSO.

	Stari Grad	Vrbina	Brežice	Vihre	Mrtvice	Brege	Žadovinek	Leskovec	Krško-Stara vas	Pesje	Dobova	Referenčna točka (500 m)
januar	2,1E-05	2,3E-05	1,1E-06	2,3E-06	5,3E-06	6,0E-06	9,1E-06	8,5E-07	5,4E-06	3,4E-06	2,9E-07	3,7E-05
februar	2,2E-05	4,9E-05	1,3E-06	1,5E-06	6,9E-06	7,7E-06	5,7E-06	1,1E-06	5,3E-06	4,0E-06	1,9E-07	4,0E-05
marec	1,7E-05	8,8E-06	1,0E-06	2,1E-06	2,0E-06	2,6E-06	2,2E-06	4,2E-07	8,6E-07	3,4E-06	2,6E-07	3,7E-05
april	1,2E-05	9,8E-06	8,5E-07	2,6E-06	2,3E-06	3,5E-06	1,8E-06	4,0E-07	3,4E-06	2,6E-06	3,3E-07	2,3E-05
maj	1,6E-05	7,6E-06	1,2E-06	2,3E-06	8,9E-07	1,4E-06	1,8E-06	5,0E-07	7,2E-07	3,7E-06	2,8E-07	3,6E-05
junij	1,0E-05	3,4E-06	8,6E-07	2,2E-06	2,1E-06	2,3E-06	9,5E-07	4,1E-07	5,6E-07	2,6E-06	2,6E-07	3,6E-05
julij	1,6E-05	5,0E-06	8,8E-07	2,8E-06	8,1E-07	1,7E-06	1,4E-06	1,3E-07	5,9E-07	2,6E-06	3,4E-07	3,3E-05
avgust	1,8E-05	9,8E-06	9,1E-07	2,5E-06	9,5E-07	1,9E-06	1,9E-06	3,6E-07	1,5E-06	2,9E-06	3,0E-07	4,0E-05
september	2,1E-05	9,8E-06	1,2E-06	3,4E-06	2,6E-06	3,9E-06	1,4E-06	4,6E-07	6,8E-07	3,8E-06	4,2E-07	4,1E-05
oktober	9,3E-06	1,2E-05	7,8E-07	1,3E-06	3,4E-06	3,6E-06	2,6E-06	1,3E-07	3,1E-06	2,4E-06	1,4E-07	3,9E-05
november	2,5E-05	1,5E-05	1,3E-06	2,1E-06	4,5E-06	3,5E-06	3,3E-06	7,2E-07	4,4E-06	4,0E-06	2,4E-07	4,0E-05
december	2,3E-05	2,4E-05	1,1E-06	1,0E-06	4,9E-06	5,7E-06	3,8E-06	7,4E-07	3,1E-06	3,4E-06	1,3E-07	3,4E-05
10. maj 2003	3,3E-04									5,6E-05		7,3E-04

Iz podatkov o mesečnih emisijah posameznih radionuklidov, ki sta jih opravila NEK in IJS, ter iz



izračunanih povprečnih mesečnih razredčitvenih faktorjev " $\chi/Q$ " ( $s/m^3$ ), ki jih je za posamezne mesece ter mesta v okolici NEK pripravila Agencija RS za okolje (tabela 4.1), je bilo mogoče izračunati **povprečne mesečne vsebnosti posameznih radionuklidov** na posameznih mestih.

Ob upoštevanju dogovorjenih hitrosti dihanja za določeno starostno skupino nam podatki o povprečnih mesečnih vsebnostih posameznih radionuklidov v preglednici 4.2a omogočajo oceno vnosa posameznega radionuklida v telo. Če te podatke pomnožimo z ustreznimi **doznimi pretvorbeni faktorji e(g) (Sv/Bq)** za posamezne radionuklide in ustrezno starostno skupino, dobimo oceno za **mesečni prispevek posameznega izotopa k letni dozi**. Preglednica 4.2a, del B1 podaja oceno mesečnih prispevkov inhalacijski dozi ter ocenjeni **letni inhalacijski prispevek k letni predvideni efektivni dozi** odraslega človeka (starost >17 let), narejeno na osnovi meritev mesečnih izpustov tritija (H-3), ogljika C-14 ter meritev partikulatov. Izračun v preglednici je narejen ob upoštevanju povprečnih mesečnih razredčitvenih faktorjev " $\chi/Q$ " za naselje Spodnji Stari Grad, ki je na podlagi mesečnih izračunov izbrana kot referenčno naselje z najvišjo izračunano dozo.

Iz podatkov o povprečnih mesečnih vsebnostih žlahtnih plinov na posameznih mestih in doznih pretvorbenih faktorjev, ki podajajo hitrost efektivne doze zaradi zunanje obsevanosti iz polneskončnega oblaka žlahtnih plinov, so bili ocenjeni mesečni prispevki k dozi zaradi imerzije. Preglednica 4.2b, del B2, podaja oceno imerzijskih mesečnih prispevkov efektivni dozi ter ocenjeni **imerzijski prispevek k letni efektivni dozi** zaradi izpusta žlahtnih plinov za naselje Spodnji Stari Grad.

Ocene inhalacijskih in imerzijskih doz ter skupna (ocenjena) doza za odrasle (starost >17 let) in otroke (starost 1-2 let), ki je posledica izpustov jodov, tritija (H-3), ogljika C-14, partikulatov ter žlahtnih plinov za mesta v okolici NEK, so zbrane v preglednici 4.2c.

#### d) OBRAVNAVA REZULTATOV

##### Zračni I-131: Tabela T-43 (IJS)

Meritve na vseh vzorcih razen tistih, ki so bili pridobljeni v prvi polovici aprila 2003, so pokazale, da je bila vsebnost joda stalno pod vrednostjo  $0,1 \text{ mBq/m}^3$ , ki jo prevzamemo kot potrebno nadzorno (merilno) mejo za izračun doz. Meritve, opravljene na treh izmed šestih vzorcev iz prve polovice aprila (vzorci, pridobljeni v Spodnjem Starem Gradu, Bregah in Vihrah), pa so pokazale prisotnost joda I-131. V mesecu aprilu je I-131 izmeril tudi ZVD na mesečnih vzorcih v Ljubljani ( $41 \pm 14 \mu\text{Bq/m}^3$ ) in Šentlenartu ( $17 \pm 8 \mu\text{Bq/m}^3$ ). Jod je torej bil detektiran, vendar zaradi porazdelitve izmerjenih vrednosti, časovne koincidence, kot tudi simulacije gibanja zračnih mas z gotovostjo lahko sklepamo, da je njegova prisotnost posledica prihoda zračnih mas, ki so prinesle jod, ki je bil sproščen ob nesreči pri čiščenju goriva v jedrski elektrarni Paks na Madžarskem. Ocenjena količina izotopov joda, sproščenih ob nesreči, do katere je prišlo v noči med 10. in 11. aprilom 2003, je okrog 300 GBq.

##### Aerosoli: Tabele T-44 do T-50 (ZVD); T-45/i (IJS); T-51) (IJS); T-52 (ZVD - republiški program)

Zbirni podatki vseh meritev so podani v preglednici 4.1. Izmed vseh **naravnih radionuklidov** (do vključno Be-7) je bila spodnja detekcijska meja presežena pri dveh glavnih predstavnikih uranove vrste, **Ra-226** in **Pb-210** ter kozmogenem **Be-7**.

**Preglednica 4.2a: ZRAČNE EMISIJE 2003**

A1) Podatki NEK (*) oz. IJS (**) o mesečnih plinskih emisijah NEK v (Bq)																								
IZOTOP	Hlapi, plini								Partikulati															
	I-131	I-132	I-133	I-135	HTO	HT	<sup>14</sup> CO <sub>2</sub>	<sup>14</sup> CH <sub>4</sub>	Cr-51	Mn-54	Fe-59	Co-57	Co-58	Co-60	Zr-95	Nb-95	Sn-113	Te-123m	Te-125m	Sb-125	Cs-134	Cs-137	Ce-141	Sr-90
januar					1,0E+11	9,1E+09	7,3E+08	4,3E+09						2,6E+03					6,5E+02					
februar					4,9E+10	1,5E+10	6,2E+08	4,5E+09		6,1E+02				1,5E+03					1,4E+03					
marec					5,0E+10	4,6E+09	9,5E+08	5,5E+09						1,3E+03					5,0E+03					1,1E+03
april					9,2E+10	7,0E+09	1,4E+09	7,0E+09		3,3E+02				2,6E+03					4,4E+03			1,2E+03		
10-maj-03																								
maj					1,6E+11	8,0E+09	5,9E+10	1,8E+10	9,3E+03	5,4E+02		1,7E+02	3,5E+04	4,9E+03	1,6E+03	3,4E+03			5,2E+03			1,8E+03		
junij	2,2E+05	1,4E+05			1,4E+11	6,2E+09	1,3E+10	2,4E+09	3,5E+03				3,0E+04						2,8E+03					
julij					9,8E+10	1,3E+10	3,3E+09	1,2E+09		2,4E+02		7,6E+01	1,8E+03	4,0E+03				1,3E+02	3,0E+03			6,5E+02		
avgust					1,1E+11	7,6E+09	1,9E+09	1,1E+09		3,0E+02		1,1E+02	4,9E+02	7,0E+02					2,7E+03			8,4E+02		
september					9,1E+10	8,6E+09	1,1E+09	1,3E+09		7,9E+02		8,4E+01	6,2E+02	1,1E+04					2,6E+03	1,7E+03		1,3E+03		
oktober					1,2E+11	5,5E+09	8,6E+08	2,8E+09					1,8E+03	2,1E+04					1,0E+03			5,0E+03		
november					8,2E+10	3,2E+09	7,5E+08	2,2E+09						3,1E+03					9,5E+02			1,6E+03		
december					1,0E+11	4,9E+09	8,3E+08	2,8E+09		1,3E+03			1,0E+03	5,1E+03	2,5E+03	5,3E+03				1,4E+03		9,7E+02		
Letna vsota (Bq/leto)	2,2E+05	1,4E+05			1,2E+12	9,3E+10	8,4E+10	5,3E+10	1,3E+04	4,1E+03		4,4E+02	7,1E+04	5,8E+04	4,1E+03	8,6E+03			1,3E+02	3,0E+04	3,2E+03		1,3E+04	1,1E+03

**Preglednica 4.2a: ZRAČNE EMISIJE 2003 – nadaljevanje**

<b>B1) Prispevki radionuklidov k letni inhalacijski dozi E<sub>50</sub> v (μSv/leto) (***)</b>																									
	<b>Hlapi, plini</b>								<b>Partikulati</b>														Seštetna doza (μSv)		
<b>IZOTOP</b>	I-131	I-132	I-133	I-135	HTO	HT	<sup>14</sup> CO <sub>2</sub>	<sup>14</sup> CH <sub>4</sub>	Cr-51	Mn-54	Fe-59	Co-57	Co-58	Co-60	Zr-95	Nb-95	Sn-113	Te-123m	Te-125m	Sb-125	Cs-134	Cs-137	Ce-141	Sr-90	
januar					1,0E-02	9,4E-06	2,7E-05	1,5E-02						4,8E-07					1,6E-08						2,5E-02
februar					5,3E-03	1,7E-05	2,4E-05	1,6E-02		5,8E-09				2,9E-07					3,6E-08						2,2E-02
marec					4,1E-03	3,7E-06	2,7E-05	1,5E-02						2,0E-07					9,8E-08					1,0E-06	1,9E-02
april					5,2E-03	4,0E-06	2,8E-05	1,3E-02		1,6E-09				2,6E-07					6,1E-08				1,5E-07		1,9E-02
10-maj-03																									
maj					1,3E-02	6,2E-06	1,6E-03	4,6E-02	1,5E-09	3,6E-09		7,6E-10	3,3E-07	6,8E-07	4,2E-08	2,7E-08			9,8E-08				3,1E-07		6,1E-02
junij	4,6E-06	4,3E-08			7,0E-03	3,0E-06	2,3E-04	3,9E-03	3,6E-10				1,8E-07					3,4E-08							1,1E-02
julij					7,5E-03	9,9E-06	8,9E-05	3,1E-03		1,6E-09		3,3E-10	1,7E-08	5,5E-07				2,8E-09	5,6E-08				1,1E-07		1,1E-02
avgust					9,6E-03	6,5E-06	5,8E-05	3,2E-03		2,2E-09		5,6E-10	5,1E-09	1,1E-07					5,5E-08				1,6E-07		1,3E-02
september					9,1E-03	8,6E-06	3,8E-05	4,2E-03		6,8E-09		4,8E-10	7,5E-09	1,9E-06					6,3E-08	1,2E-07			2,9E-07		1,3E-02
oktober					5,3E-03	2,5E-06	1,4E-05	4,1E-03					1,0E-08	1,7E-06					1,1E-08				5,0E-07		9,4E-03
november					9,9E-03	3,9E-06	3,2E-05	9,0E-03						6,6E-07					2,8E-08				4,2E-07		1,9E-02
december					1,1E-02	5,4E-06	3,3E-05	1,0E-02		1,2E-08			1,4E-08	1,0E-06	9,4E-08	6,0E-08				1,1E-07			2,4E-07		2,2E-02
Letna doza (μSv/leto)	4,6E-06	4,3E-08			9,7E-02	8,0E-05	2,2E-03	1,4E-01	1,9E-09	3,4E-08		2,1E-09	5,6E-07	7,9E-06	1,4E-07	8,8E-08		2,8E-09	5,6E-07	2,3E-07			2,2E-06	1,0E-06	2,4E-01
Skupna letna inhalacijska doza E <sub>50</sub> = 2,4E-01 μSv/leto																									
<b>Skupna letna inhalacijska in imerzijska doza E<sub>50</sub> = 2,5E-01 μSv/leto</b>																									

(\*) NEK kontinuirno meri jod in žlahtne pline ter opravlja analize vzorcev filtrov za partikulate na izpuhu.

(\*\*) IJS opravlja analize vsebnosti tritija in ogljika C-14 v mesečnih sestavljenih vzorcih ter analizo VLG mesečnih sestavljenih vzorcev aerosolnih filtrov za partikulate. Ocena mesečnih emisij je narejena na podlagi mesečnih meritev in nominalnega dnevnega izpuha skozi dimnik 3.628.800 m<sup>3</sup>/dan.

(\*\*\*) Ocena doz, narejena na podlagi inhalacijskih in imerzijskih doznih faktorjev iz ref. [4] in predpostavke o hitrosti dihanja 17 ℓ/min ter mesečnih prizemnih razredčitvenih faktorjih χ/Q za razdaljo 0,8 km okoli smeri ENE - naselje Spodnji Stari Grad. Slednje naselje je bilo na podlagi mesečnih izračunov doz po 11 naseljih za leto 2003 izbrano kot referenčno z najvišjo izračunano dozo.



Preglednica 4.2b: ZRAČNE EMISIJE 2003 – nadaljevanje

A2) Podatki NEK (*) oz. IJS (**) o mesečnih plinskih emisijah NEK v (Bq)											
IZOTOP	Žlahtni plini										
	Xe-131m	Xe-133	Xe-133m	Xe-135	Xe-135m	Xe-138	Ar-41	Kr-85	Kr-85m	Kr-87	Kr-88
januar											
februar											
marec											
april	4,8E+10										
10-maj-03		1,4E+09		3,6E+07							
maj				6,1E+08	3,4E+03		1,7E+09				
junij											
julij	6,0E+10										
avgust											
september											
oktober											
november	3,4E+10										
december	6,3E+10				5,3E+03						
Letna vsota (Bq/leto)	2,0E+11	1,4E+09		6,5E+08	8,6E+03		1,7E+09				

B2) Prispevki radionuklidov k letni imerzijski dozi E v (μSv/leto) **)												
IZOTOP	Žlahtni plini											Sešeta doza (μSv)
	Xe-131m	Xe-133	Xe-133m	Xe-135	Xe-135m	Xe-138	Ar-41	Kr-85	Kr-85m	Kr-87	Kr-88	
januar												
februar												
marec												
april	2,1E-04											2,1E-04
10-maj-03		2,3E-04		8,1E-04								1,0E-03
maj				1,1E-04	1,0E-09		1,6E-03					1,8E-03
junij												
julij	3,6E-04											3,6E-04
avgust												
september												
oktober												
november	3,3E-04											3,3E-04
december	5,5E-04				2,3E-09							5,5E-04
Leta doza (μSv/leto)	1,5E-03	2,3E-04		9,2E-04	3,3E-09		1,6E-03					4,2E-03
Skupna letna imerzijska doza E =								4,2E-03	μSv/leto			
<b>Skupna letna inhalacijska in imerzijska doza E =</b>								<b>2,5E-01</b>	<b>μSv/leto</b>			

(\*) NEK kontinuirno meri jod in žlahtne pline ter opravlja analize vzorcev filtrov za partikulate na izpuhu.

(\*\*) IJS opravlja analize vsebnosti tritija in ogljika C-14 v mesečnih sestavljenih vzorcih ter analizo VLG mesečnih sestavljenih vzorcev aerosolnih filtrov za partikulate. Ocena mesečnih emisij je narejena na podlagi mesečnih meritev in nominalnega dnevnega izpuha skozi dimnik 3.628.800 m<sup>3</sup>/dan.

(\*\*\*) Ocena doz, narejena na podlagi inhalacijskih in imerzijskih doznih faktorjev iz ref [4] in predpostavke o hitrosti dihanja 17 l/min ter mesečnih prizemnih razredčitvenih faktorjih  $\chi/Q$  za razdaljo 0,8 km okoli smeri ENE - naselje Spodnji Stari Grad. Slednje naselje je bilo na podlagi mesečnih izračunov doz po 11 naseljih za leto 2003 izbrano kot referenčno z



najvišjo izračunano dozo.





**Preglednica 4.2c: OCENE INHALACIJSKIH IN IMERZIJSKIH DOZ ZA OKOLICO NEK V LETU 2003**

Ocena je narejena z emisijskimi podatki za potencialno prizemni izpust za najbližja naselja. Uporabljeni so podatki za dozne faktorje iz reference [4] za odrasle in otroke (1 - 2 leti).

PREGLED SKUPNIH LETNIH DOZ - ODRASLI IN OTROCI							
Naselje	Razdalja od NEK (km)	Inhalacija (μSv)		Imerzija (μSv)		Skupna doza (μSv)	
		Odrasli	Otroci	Odrasli	Otroci	Odrasli	Otroci
Sp. Stari Grad	0,8	2,4E-01	1,2E-01	4,2E-03	4,2E-03	2,5E-01	1,2E-01
Vrbina	0,8	2,0E-01	9,3E-02	1,9E-03	1,9E-03	2,0E-01	9,5E-02
Brežice	5,6	1,5E-02	7,3E-03	2,1E-04	2,1E-04	1,6E-02	7,5E-03
Vihre	2,5	3,2E-02	1,5E-02	4,2E-04	4,2E-04	3,2E-02	1,5E-02
Mrtvice	2,4	3,9E-02	1,8E-02	3,3E-04	3,3E-04	3,9E-02	1,9E-02
Brege	2,1	4,8E-02	2,3E-02	4,4E-04	4,4E-04	4,8E-02	2,3E-02
Žadovinek	1,6	4,2E-02	2,0E-02	4,0E-04	4,0E-04	4,2E-02	2,0E-02
Leskovec	2,3	7,6E-03	3,6E-03	9,3E-05	9,3E-05	7,7E-03	3,7E-03
Krško – Stara vas	1,8	3,3E-02	1,6E-02	2,9E-04	2,9E-04	3,3E-02	1,6E-02
Pesje	2,6	4,8E-02	2,3E-02	8,3E-04	8,3E-04	4,9E-02	2,4E-02
Dobova	12,0	3,8E-03	1,8E-03	5,1E-05	5,1E-05	3,9E-03	1,9E-03
Referenčna točka	0,5	5,2E-01	1,7E-01	8,7E-03	8,7E-03	5,3E-01	1,7E-01

Če kozmogeni **Be-7** uporabimo kot referenco za primerjanje posameznih meritev, ugotovimo, da so meritve konsistentne in tako v okolici NEK kot tudi v Ljubljani odstopajo od povprečja le v okviru statistične negotovosti. To velja samo, če ločeno upoštevamo meritve ZVD in IJS. Kot v preteklih letih so vrednosti IJS nekoliko višje. Razlike v rezultatih meritev gre pripisati delno načinu priprave vzorca v ZVD (sežiganje filtrov), ki pa ga je ZVD med letom opustil.

Izmed **umetnih radionuklidov** je bil zaznan le **Cs-137**. Najvišja vrednost (mesečno povprečje) je bila izmerjena na IJS v okviru Republiškega programa ( $13 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ), vendar ta ne odstopa bistveno od najvišjih vrednosti, ki so bile izmerjene v posameznih krajih okrog NEK in se gibljejo med 7 in  $8 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ . Najvišje letno povprečje  $4,5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  je bilo izmerjeno v Bregah, ostala so med 2,2 in  $3,8 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ . Povprečna vrednost krajev okrog NEK je za 30 % nižja kot leta 2002 in je približno takšna kot leta 2001. Povprečna vrednost, izmerjena v Ljubljani ( $3,4 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  – Republiški program), je skoraj enaka kot v letu 2002 in je praktično enaka povprečju krajev okoli NEK ( $3,5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ). Ker so vsa povprečja pod spodnjo detekcijsko mejo (podobno kot v letu 2002), ne gre sklepati o dejanskih večjih spremembah vsebnosti Cs-137.

Meritve **Sr-90/Sr-89** so potekale le na Libni pri Krškem. Za razliko od leta 2002, ko so bile najvišje vrednosti izmerjene v na začetku poletja (maj – julij), so bile v letu 2003 najvišje vrednosti izmerjene ob koncu poletja in jeseni (avgust – november). Najvišja izmerjena vrednost je  $11 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  (oktobra), kar je trikrat toliko kot najvišja vrednost iz leta 2002. Pri meritvah mesečnih vzorcev je bila detekcijska meja praviloma presežena (razen v juliju in decembru), kar se pozna tudi na letnem povprečju ( $2,6 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ), ki je skoraj 100 % višje od povprečja leta 2002 ( $1,4 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ) in je hkrati najvišje povprečje v zadnjih sedmih letih (drugo najvišje povprečje  $1,9 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  je bilo leta 2001).

Podobno kot v letu 2002 drugi umetni radionuklidi niso bili izmerjeni.



## e) OCENA VPLIVOV

**Meritve I-131** v zraku kažejo (Tabela T-43), da praktično v vseh obdobjih, razen v prvi polovici meseca aprila, ko je jod bil zaznan na vzorcih iz Spodnjega Starega Grada, Breg in Viher, merilna meja ni bila presežena. Izmerjene vsebnosti ( $49 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ,  $46 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  in  $75 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ) so pod vrednostjo  $100 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ , ki jo sicer privzamemo kot merilno mejo.

Za jod, ki je bil izmerjen na vzorcih iz Spodnjega Starega Grada, Breg in Viher, lahko z gotovostjo trdimo, da je posledica prihoda zračnih mas iz Madžarske, ki so prinesle jod, sproščen ob nesreči v jedrski elektrarni Paks 10. in 11. aprila 2003. Izračun predvidene efektivne oziroma ekvivalentne doze na ščitnico za Vihre, kjer je izmerjena najvišja vsebnost I-131, da vrednost  $0,2 \text{ nSv}$  in  $4 \text{ nSv}$  za odraslo osebo ter  $0,3 \text{ nSv}$  in  $6 \text{ nSv}$  za otroka (1-2 leti).

Kot kažejo modelski izračuni iz emisij (glej Diskusijo), pa je dejanski prispevek NEK še vsaj dva velikostna reda manjši.

Meritve na **aerosolnih filtrih** v okolici NEK (preglednica 4.1) kažejo, da je med naravnimi radionuklidi najpomembnejši prispevek k dozi tisti zaradi radonovega potomca Pb-210, in sicer  $49 \mu\text{Sv}/\text{leto}$ . Prispevek Ra-226, ki je prav tako presegel detekcijsko mejo, je  $0,72 \mu\text{Sv}/\text{leto}$ . Ocenjeni prispevki Th-230 in Th-234, ki so del U(Th-234) podniza, in ocenjeni prispevek Ra-228, ki je del Th(Ra-228) podniza, so primerljivi in znašajo  $8,8$  in  $6,4 \mu\text{Sv}/\text{leto}$ . Ocenjeni prispevek prvega podniza je bil v letu 2002 desetkrat višji od prispevka drugega podniza.

Prispevka umetnih radionuklidov Cs-137 in Sr-90/Sr-89 sta bistveno manjša in znašata skupno  $5 \text{ nSv}/\text{leto}$ . Vpliva Sr-90/Sr-89 na dozo ne moremo pripisati vplivu NEK, ker je Sr-90/Sr-89 v okolju prisoten kot posledica poskusnih jedrskih eksplozij in se v vzorcih filtrov pojavlja zaradi resuspenzije.

Za **totalni prispevek k predvideni efektivni dozi** vseh detektiranih radionuklidov za **odraslega človeka v okolici NEK** dobimo vrednost  **$67 \mu\text{Sv}/\text{leto}$** . Podobno dobimo za **otroka** (1-2 leti) v okolici NEK vrednosti  **$31 \mu\text{Sv}/\text{leto}$**  za celotni prispevek vseh radionuklidov in  **$2 \text{ nSv}/\text{leto}$**  za umetna radionuklida (Cs-137 in Sr-90/Sr-89).

Podobno kot v letu 2002 sta v **Ljubljani totalna prispevka k predvideni efektivni dozi** nekoliko večja ( **$91 \mu\text{Sv}/\text{leto}$**  za **odraslega** ter  **$41 \mu\text{Sv}/\text{leto}$**  za **otroka**), za umetni radionuklid (Cs-137) pa nekoliko manjša ( $1 \text{ nSv}/\text{leto}$  za odraslo osebo ter  $1 \text{ nSv}/\text{leto}$  za otroka).

Prispevek naravnih radionuklidov je bil v Ljubljani večji zaradi bistveno večje prisotnosti Th-228, podobno kot v letu 2002. Vrednosti za umetne radionuklide so v Ljubljani manjše, ker ni bil detektiran Sr-90/Sr-89, sam prispevek Cs-137 pa je praktično enak v okolici NEK in Ljubljani.

V obeh primerih lahko sklepamo, da **glavni prispevek k inhalacijski dozi zaradi aerosolov prihaja od naravnih radionuklidov, prispevek umetnih radionuklidov pa je zanemarljiv**.

**Meritve emisij** na izpuhu NEK (preglednica 4.2, dela A1 in A2) in podatki o **izračunanih povprečnih mesečnih razredčitvenih faktorjih " $\chi/Q$ " ( $\text{s}/\text{m}^3$ )** nam omogočajo, da izračunamo inhalacijski in imerzijski prispevek k letni efektivni dozi zaradi zračnih emisij NEK. V preglednici 4.2, v delih B1 in B2, so zbrani prispevki posameznih radionuklidov, izračunani za odraslega človeka v vasi Spodnji Stari Grad, ki je najbližje naselje.

Iz preglednice je razvidno, da je **praktično vsa inhalacijska doza posledica zračnih emisij ogljika C-14 ter tritija**. Ogljik C-14 prispeva  $0,14 \mu\text{Sv}/\text{leto}$ , tritij pa  $0,10 \mu\text{Sv}/\text{leto}$ . Prispevki vseh ostalih radionuklidov so za več velikostnih redov manjši. Pri tem niso upoštevane posledice prehoda radionuklidov iz zraka v druge prenosne poti (voda, hrana, sevanje useda). **Skupna letna inhalacijska doza za Spodnji Stari Grad znaša  $0,24 \mu\text{Sv}/\text{leto}$** . Za referenčno točko (**500 m od reaktorja**) je **skupna letna inhalacijska doza za odraslega človeka  $0,52 \mu\text{Sv}/\text{leto}$** , kar se ujema z



navedbo v Poročilu o radioaktivnih emisijah iz NE Krško za leto 2003 [7] **0,56  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$** .

**Zunanje obsevanje zaradi radioaktivnih izotopov v zraku (imerzijska doza)** določajo predvsem žlahtni plini Ar-41, Xe-131m in Xe-135. Prispevek slednjega je bil leto prej bistven. V preglednici je upoštevan tudi izpust ob preprihovanju zadrževalnega hrana dne 10. maja 2003, kjer sta prevladovala Xe-133 in Xe-135. **Skupna letna imerzijska doza za Spodnji Stari Grad znaša 0,004  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$** . Za referenčno točko (500 m) je skupna letna imerzijska doza za odraslega človeka **0,009  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$** .

**Celotna letna doza za odraslega človeka v Spodnjem Starem Gradu, ki je posledica inhalacije in imerzije, je 0,25  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ , za referenčno točko (500 m) pa 0,53  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$** .

V preglednici 4.2c so zbrani izračuni za odraslega človeka in otroka (1-2 leti), izračunani iz emisij in povprečnih mesečnih razredčitvenih faktorjev " $\chi/Q$ " za različna mesta v okolici NEK. Skupne doze za odraslega človeka v naseljih se gibljejo od 0,004  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  (Dobova) do 0,25  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  (Spodnji Stari Grad), za otroka pa od 0,002  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  (Dobova) do 0,12  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  (Sp. Stari Grad).

## f) DISKUSIJA

### PRIMERJAVA S PREJŠNJI LETI

Na sliki 4.2 so predstavljene **totalne predvidene efektivne doze in predvidene efektivne doze zaradi umetnih radionuklidov** (v  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ ) za odraslega človeka, izračunane iz meritev aerosolnih filtrov v okolici NEK in v Ljubljani v letih 1997 do 2003.

Vidimo, da se doze ne spreminjajo bistveno. Prispevka naravnih radionuklidov v okolici NEK in Ljubljani sta zelo podobna, le da je prispevek v Ljubljani zadnjih pet let nekoliko večji od izmerjenega prispevka v okolici NEK. Prispevka umetnih radionuklidov sta prav tako podobna, s tem, da je prispevek v okolici NEK že več let stalen, v Ljubljani pa meritve kažejo postopno upadanje po letu 1999.

Slika 4.3 predstavlja povzetek ocen inhalacijskih in imerzijskih doz, izračunanih iz podatkov o emisijah NEK za Spodnji Stari Grad in iz povprečnih mesečnih razredčitvenih faktorjev " $\chi/Q$ ", ki so jih izračunali na Agenciji za okolje Republike Slovenije. Po nekajletnem stalnem zniževanju po letu 1997 se skupna doza zaradi inhalacije in imerzije od leta 2000 bistveno ne spreminja. Imerzijska doza kaže stalen trend upadanja (razen v letu 2001 zaradi izpustov Ar-41) in je bila leta 2003 nižja kot leto prej. Za razliko od leta 1999, ko je bila nekoliko višja inhalacijska doza posledica izpustov tritirane vode (HTO), je višja inhalacijska doza v letu 2003 posledica skoraj 50 % večjega izpusta ogljika C-14.

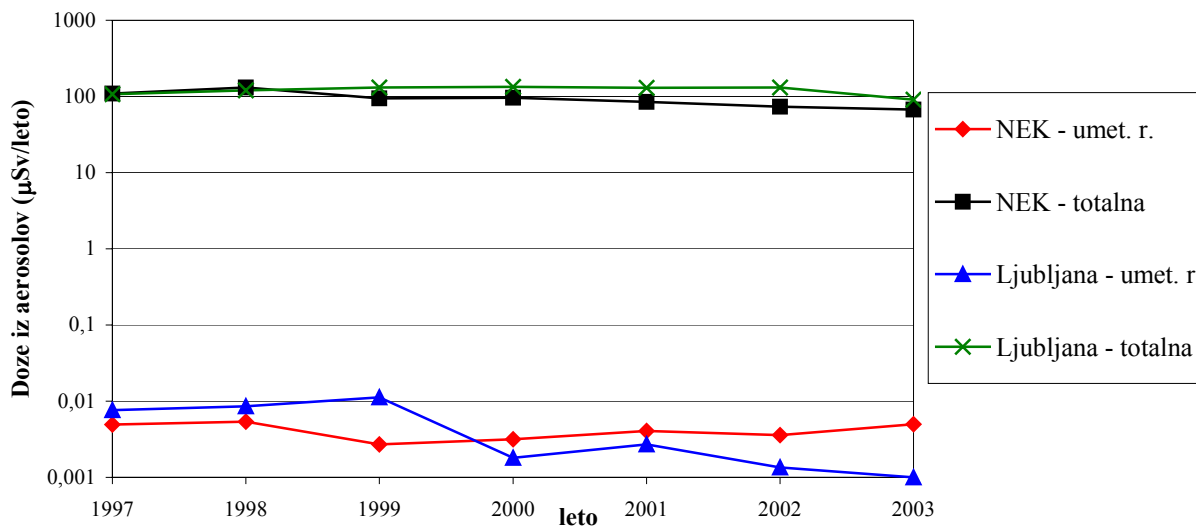
### PRIMERJAVE PODATKOV O KONCENTRACIJAH, IZRAČUNANIH IZ EMISIJ NEK IN POVPREČNIH MESEČNIH RAZREDČITVENIH FAKTORJEV " $\chi/Q$ "

Na slikah 4.4 in 4.5 so podane izračunane povprečne mesečne vsebnosti joda I-131 za mesec junij 2003 (edini mesec, ko je I-131 bil zaznan na ventilacijskem kanalu elektrarne) za različna naselja v odvisnosti od razdalje od NEK ter primerjave izračunanih povprečnih mesečnih vsebnosti Cs-137 za naselja Krško–Stara vas (ZR = 1,8 km) in Dobova (ZR = 12 km).

Iz predstavljenih podatkov vidimo, da so izračunane povprečne mesečne vsebnosti joda I-131 vsaj za dva, za večino naselij pa tri velikostne rede pod orientacijsko spodnjo detekcijsko mejo (okrog 0,1  $\text{mBq}/\text{m}^3$ ). Podobno velja za izračunane povprečne mesečne vsebnosti Cs-137, ki so tudi v primeru najvišje izračunane mesečne vsebnosti tri velikostne rede pod orientacijsko spodnjo detekcijsko mejo (približno 0,06  $\text{mBq}/\text{m}^3$ ).

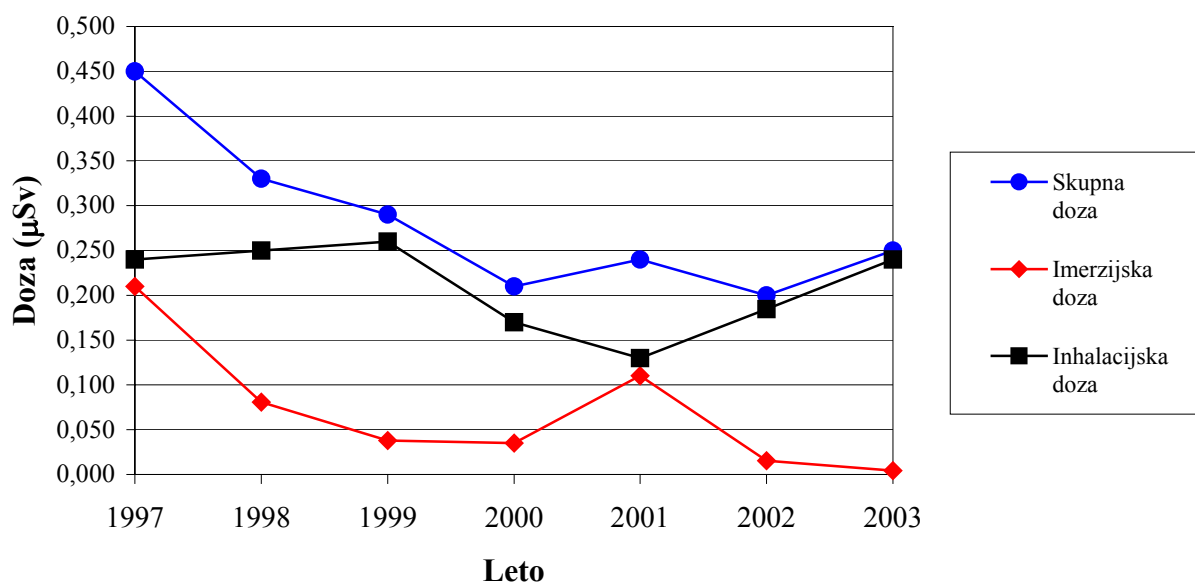


**Primerjava predvidenih učinkovitih doz v okolici NEK in Ljubljani za odrasle osebe iz meritev aerosolov ( $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ )**



Slika 4.2

**Ocena inhalacijskih, imerzijskih in skupnih doz za odrasle za Spodnji Stari Grad v letih 1997-2003 v ( $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ )**



Slika 4.3



### PRIMERJAVA Z DRUGIMI EVROPSKIMI TLAČNOVODNIMI ELEKTRARNAMI (PWR)

V preglednici 4.3 je primerjava podatkov o emisijah tritija, žlahtnih plinov, joda I-131, ogljika C-14 in beta-gama sevalcev (preostali pomembni). Podatki za tlačnovodne elektrarne EU so iz reference [11], podatki za NEK pa so izmerjeni emisijski podatki za leto 2003, preračunani na GWh proizvedene električne energije (skupna proizvodnja NEK v letu 2003 je bila 4963 GWh).

Iz preglednice je razvidno, da so zračne emisije vseh radionuklidov razen tritija precej manjše od evropskega povprečja. To velja predvsem za radionuklide, ki so fisijski produkti in v primarno hladilo prodirajo skozi srajčke gorivnih palic.

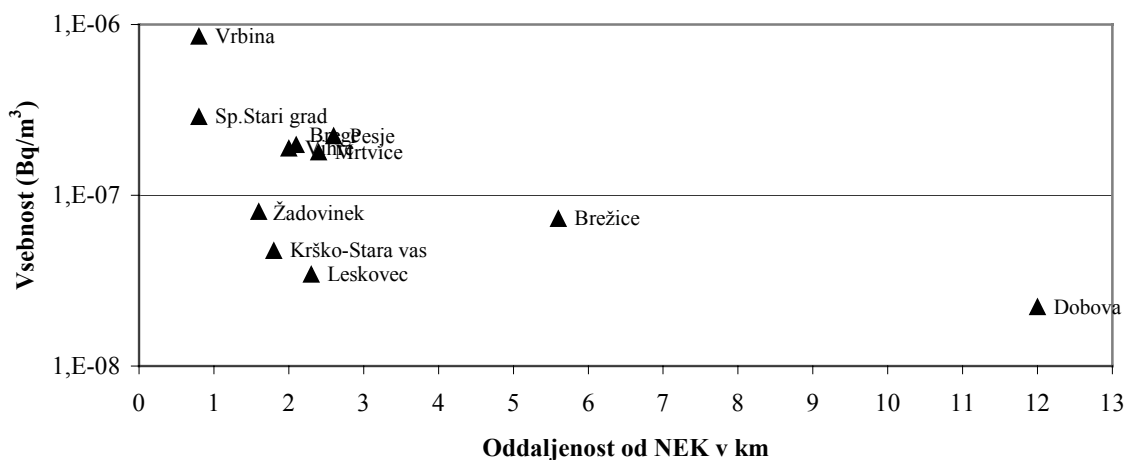
Primerjava z podatki iz leta 2002 pa pokaže veliko zmanjšanje emisij žlahtnih plinov (razmerje NEK/EU za žlahtne pline v ekvivalentu Xe-133 se je zmanjšalo z 28,5 % na 2,1 %), emisije C-14 pa so se povečale (razmerje NEK/EU za emisije  $^{14}\text{CO}_2$  se je povečalo z 39 % na 76 %).

### INGESTIJSKE DOZE ZARADI ATMOSFERSKIH IZPUSTOV C-14

Modelske ocene kažejo, da pri atmosferskih izpustih radioaktivnih snovi iz podobnih elektrarn PWR prevladuje ingestijska doza zaradi vgrajevanja izotopa C-14 v rastline, ki jih uživajo ljudje in živali [ref 8 iz poročila 2002] [9] [10]. Pri tem so najpomembnejši izpusti  $^{14}\text{CO}_2$ , ki je edina oblika, s katero C-14 vstopa v prehransko verigo. Ogljikovodiki, kot je  $^{14}\text{CH}_4$ , se šele v nekaj letih pretvorijo v  $^{14}\text{CO}_2$ . [10].

Kot je razvidno iz preglednice 4.3, je emisija  $^{14}\text{CO}_2$  iz NEK primerljiva z emisijami drugih jedrskih elektrarn v EU. Zato lahko sklepamo, da ocene, ki so narejene za druge elektrarne [9], veljavne tudi za NEK. To pomeni, da je predvidena učinkovita doza zaradi ingestije ogljika C-14, sproščenega v atmosferskih emisijah, okrog  $1 \mu\text{Sv}/\text{leto}$ , prenosna pot pa je uživanje mleka pri enoletnem otroku oziroma žitaric pri starejših skupinah. Pomembnejši vir ogljika C-14 v naravi je kozmično sevanje, katerega prispevek letni predvideni učinkoviti dozi zaradi ingestije ocenjujejo na  $12 \mu\text{Sv}/\text{leto}$  [10].

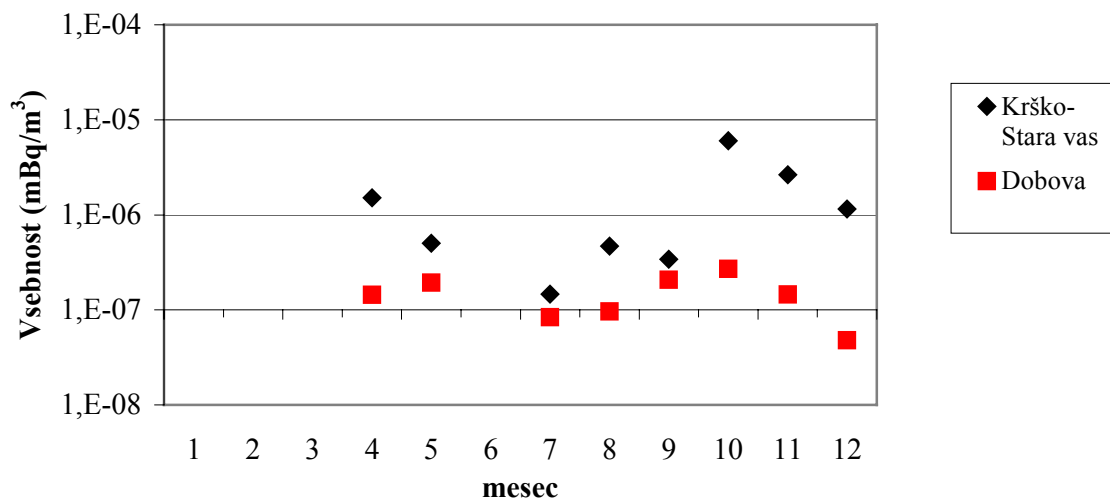
Primerjava izračunanih povprečnih vsebnosti joda I-131 za mesec junij 2003 v različno oddaljenih naseljih



Slika 4.4



Primerjava izračunanih povprečnih mesečnih vsebnosti Cs-137 v naseljih  
Krško-Stara vas (ZR=1,8 km) in Dobova (ZR=12 km)



Slika 4.5

Preglednica 4.3: Normalizirani podatki zračnih emisij (v GBq/GWh) za PWR v EU (povprečje 1995 - 1999) in primerljivi podatki za NEK v letu 2003

	EU (GBq/GWh)	NEK celotna (GBq)	NEK normalizirana (GBq/GWh)	Razmerje NEK/EU (%)	Opomba za NEK
<b>Tritij</b> (brez Francije in Švedske)	1,20E-01	1,20E+03	2,42E-01	<b>201,0 %</b>	Ekvivalent HTO
<b>Žlahtni plini</b> (brez Francije)	5,87E-01	6,18E+01	1,24E-02	<b>2,1 %</b>	Ekvivalent Xe-133
<b>I-131</b>	3,16E-06	2,20E-04	4,43E-08	<b>1,4 %</b>	Ekvivalent I-131
<b>C-14</b> (brez Francije, Belgije, Španije in Švedske)	2,24E-02	8,4E+01	1,70E-02	<b>75,8 %</b>	<sup>14</sup> CO <sub>2</sub>
<b>Beta-gama</b> (brez Francije)	1,63E-06	7,3E-05	1,47E-08	<b>0,9 %</b>	Ekvivalent Cs-137



### g) PRIPOROČILA

Trenutni program vzorčevanja in meritev omogoča primeren vpogled in nadzor zračnih emisij NEK in koncentracij radionuklidov v ozračju v okolici NEK. Tako merilne kot tudi evalvacijske metode dajejo konsistentne in zanesljive podatke, ki omogočajo primerjavo za vrsto let nazaj.

Prehod radionuklida C-14 iz zračne prenosne poti v ingestijsko povzroča po modelskih ocenah za podobne jedrske elektrarne relativno veliko učinkovito dozo, kar pa je podobno kot pri ostalih jedrskih elektrarnah, kadar so izpusti ostalih fizijskih in aktivacijskih produktov izredno nizki. Zato predlagamo, da se v prihodnosti ta prispevek podrobneje ovrednoti z modelskimi ocenami, ki temeljijo na specifičnih podatkih za razmere v okolici NEK in upoštevajo populacijsko gostoto, vegetacijo in meteorološke razmere.

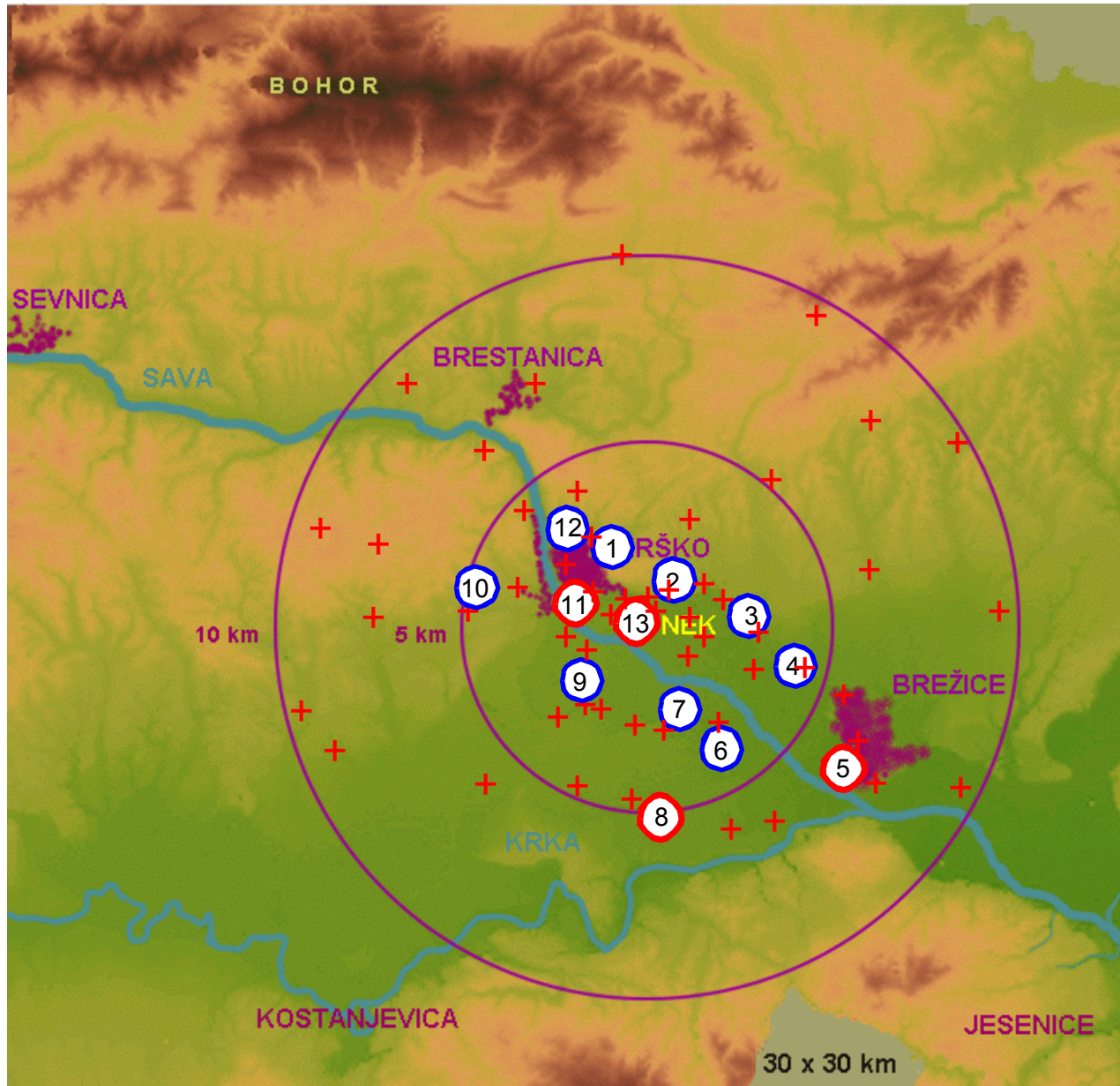
### h) ZAKLJUČKI

Ovrednotenje atmosferskih emisij z modelskimi izračuni razredčitvenih faktorjev, temelječimi na realnih vremenskih podatkih, je za leto 2003 pokazalo sledeče:

- vsebnost žlahtnih plinov v zraku povzroča glavnino zunanega sevanja, ki znaša za odraslega posameznika iz prebivalstva (referenčna točka) 0,009  $\mu\text{Sv}$  na leto;
- izpusti hlapov in plinov, ki vsebujejo ogljik C-14 in tritij, povzročajo največjo učinkovito dozo zaradi inhalacije. Ta znaša za odraslega posameznika iz prebivalstva v referenčni točki 0,52  $\mu\text{Sv}$  na leto;
- Za podobne jedrske objekte modelske ocene kažejo, da prevladuje kot posledica atmosferskih izpustov ingestijska doza zaradi C-14, ki je velikostnega reda 1  $\mu\text{Sv}$  na leto. Zaradi primerljivosti izpustov C-14 iz NEK z drugimi elektrarnami privzemamo tudi za NEK gornjo oceno.

### i) REFERENCE

- [7] Poročilo o radioaktivnih emisijah iz NE Krško za leto 2003, Krško, marec 2004.
- [8] Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment, Radiation Protection 72, European Commission, Report EUR 15760 EN, 1995.
- [9] K.A. Jones et al., Guidance on the assessment of radiation doses to members of the public due to the operation of nuclear installations under normal conditions, commissioned and funded by the EU's Directorate General Environment, brez navedbe letnice izdaje.
- [10] United Nations. UNSCEAR 2000 Report, Vol. I: Sources.
- [11] Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Union, 1995-1999, RP127, European Commission, Brussels, 2001.
- [12] Effluent Release Options from Nuclear Installations - Technical Background and Regulatory Aspects, OECD/NEA, 2003.



## DOZA ZUNANJEGA SEVANJA

+ TL DOZIMETRI

KONTINUIRNI MERILNIKI  
HITROSTI DOZE ZUNANJEGA  
SEVANJA

① Z METEOROLOŠKO POSTAJO

① IN BREZ NJE

- 1 - LIBNA
- 2 - SPODNJI STARI GRAD
- 3 - PESJE
- 4 - GORNJI LENART
- 5 - BREŽICE
- 6 - SKOPICE
- 7 - VIHRE
- 8 - CERKLJE
- 9 - BREGE
- 10 - LESKOVEC
- 11 - KRŠKO
- 12 - KRŠKO
- 13 - NEK





## DOZA ZUNANJEGA SEVANJA

### a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST

#### Termoluminiscenčni dozimetri TLD

V okviru nadzora radioaktivnosti v okolici NEK se zunanje doze sevanja (sevanje gama in ionizirajoča komponenta kozmičnega sevanja) merijo s 57 termoluminiscenčnih dozimetri v okolici NEK in z devetimi TLD na ograji NEK. Dozimetri se uporabljajo za več namenov:

- meritev doze zunanjega naravnega sevanja zaradi ugotavljanja lokalnih posebnosti, razponov in časovnih trendov
- oceno vplivov NEK v primeru povečanih atmosferskih izpustov radioaktivnih snovi in preverjanju modelskih ocen
- oceno izpostavitve zunanjemu sevanju v primeru nezgode
- oceno izpostavitve zunanjemu sevanju zaradi nelokalnih vplivov (npr. po černobilski nesreči ali drugih podobnih vplivih).

Dozimetri so nameščeni radialno okoli NEK na razdaljah do 10 km. Postavljeni so na lokacijah, ki vključujejo tako urbano kot ruralno okolje z obdelanim in neobdelanim zemljiščem. Seznam dozimetrov zunaj in znotraj ograje NEK z osnovnimi podatki je v tabelah T-53a, porazdelitev pa je razvidna s slike na predhodni strani.

V Sloveniji dodatno poteka v okviru republiškega nadzornega programa meritev doze zunanjega sevanja s TLD na 50 lokacijah v vsej državi (podatki v tabeli T-54).

V okviru nadzornega programa NEK je na Hrvaškem nameščenih 10 TLD (podatki v tabeli T-55).

#### Kontinuirni merilniki sevanja

V okolici NEK je nameščenih 13 kontinuirnih merilnikov (prav tako so označeni na sliki na predhodni strani). Namenjeni so

- sprotnemu spremljanju zunanjega sevanja in
- zgodnjemu opozarjanju.

Poleg teh je po vsej Sloveniji še 31 kontinuirnih merilnikov, ki jih nadzirajo: Agencija RS za okolje – Urad za meteorologijo ARSO UM (19), URSJV (7 + 1 pri NEK), Termoelektrarna Trbovlje TET (2), Termoelektrarna Brestanica TB (1) in Elektro Institut Milan Vidmar (2). Na Hrvaškem je devet kontinuirnih merilnikov. Podatki o lokacijah vseh kontinuirnih merilnikov so v tabeli T-56a.

### b) ZNAČILNOSTI MERITEV

Vsi TLD se odčitavajo dvakrat letno: v začetku julija in v začetku januarja. Odčitavanje TLD v Sloveniji poteka na sistemu MR-200 v dozimetričnem servisu IJS. Pred namestitvijo TLD se opravi individualno kalibracijo tabletk po postopku *Umerjanje (kalibracija) dozimetrov IJS TLD-05 (LMR-DN-25)*.



### c) ZNAČILNOSTI OBDELAV

Talni usedi zaradi atmosferskih izpustov radioaktivnih snovi in ustrezne zunanje doze so bili v okviru nadzornega programa NEK ocenjeni prvič v poročilu za leto 2002. Ocene so bile narejene s pomočjo PC programa RASCAL 3.0.3 [16]. Za leto 2003 je ponovno obdelan ta vidik.

### d) OBRAVNAVA REZULTATOV

Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v datotekah **NOVI/ZunanjeSevanje2003.pdf** in **STARI/ZunanjeSevanje2003.pdf**.

## TERMOLUMINISCENČNI DOZIMETRI

### Leto 2003

Rezultati meritev zunanjega sevanja (sevanja gama in ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja) za leto 2003 so v tabelah T-53b in T-53c za okolico NEK in za TLD znotraj ograje NEK.

Povprečna letna doza v **okolici NEK** je znašala **(0,775 ± 0,078) mSv na leto** z razponom od 0,618 do 0,983 mSv na leto. Pri ostalih 50 TLD v **Sloveniji** v okviru republiškega nadzornega programa je bila v letu 2003 povprečna letna doza zelo podobna in je znašala **(0,791 ± 0,133) mSv na leto** z razponom od 0,618 do 0,983 mSv na leto.

Tako v okolici NEK kot drugje po Sloveniji variacije med letnimi dozami na različnih lokacijah pripisujemo lokalnim dejavnikom, kot so različne vsebnosti naravnih radionuklidov v zemljišču, konfiguracija zemljišča in umetni objekti, kot so zgradbe in asfaltirane ali betonirane površine, ki slabijo sevanje gama naravnih radionuklidov iz zemljišča.

Za devet dozimetrov znotraj ograje NEK je značilna nižja letna doza, ki je bila **(0,565 ± 0,041) mSv na leto** z razponom od 0,490 do 0,602 mSv na leto. Primerljive so letne doze TLD, ki jih je na 6 mestih na notranji ograji meril NEK [14]: **(0,556 ± 0,035) mSv na leto** z razponom od 0,497 do 0,595 mSv na leto. Tako je povprečna letna doza v okolici NEK za dobro tretjino višja od tiste znotraj ograje NEK. Razliko pripisujemo zaščitnemu delovanju zgradb in asfaltiranih površin znotraj ograje NEK, ki slabijo zunanje sevanje naravnih izotopov iz zemljišča. Neposredni vpliv sevanja iz elektrarniških objektov na ograji ni merljiv. Ta sklep potrjujejo meritve sevanja z ionizacijsko celico na krožni poti znotraj ograje ob rednih obhodih mobilne enote v NEK (ROMENEK). Nekoliko povišane vrednosti so opazne le v bližini skladišča RAO in rezervoarja RWST, drugod pa so nižje od tistih v običajnem okolju.

### Rezultati v preteklosti

Na sliki 5.1 so povzeti rezultati meritev letnih doz s TLD v okolici NEK, znotraj ograje NEK, v Sloveniji in na Hrvaškem.

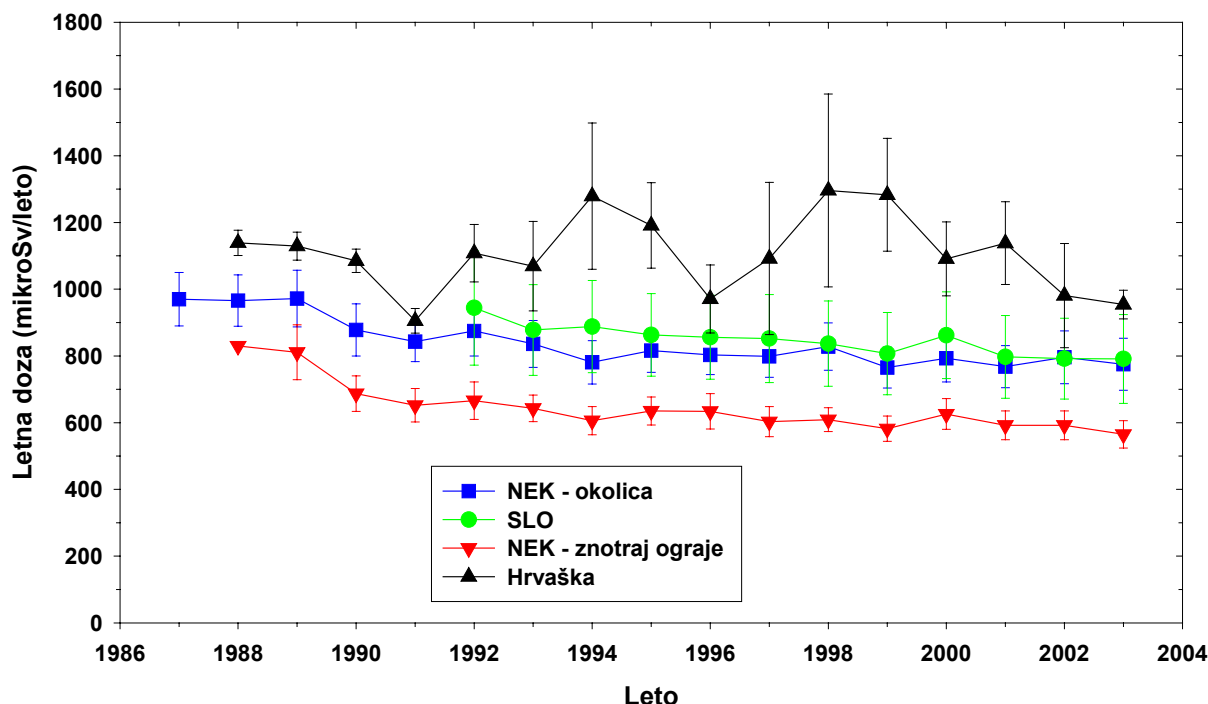
Za meritve v Sloveniji je v vseh primerih značilno zmanjševanje letne doze predvsem v prvih letih po černobilski nesreči, ko so razpadli kratkoživi izotopi, ki so največ prispevali k zunanjemu sevanju, in zaradi difuzije Cs-137 v globino. V zadnjih desetih letih, ko je v okolju prisoten le še Cs-137, trend upadanja ni več opazen, saj se zaradi radioaktivnega razpada njegova aktivnost zmanjša le za 2,3 % na leto. Neposredni prispevek Cs-137 k zunanjemu sevanju je iz meritev s TLD težko oceniti, ker ne razpolagamo s primerljivimi podatki iz predčernobilskega obdobja. Zato smo ga ocenili iz meritev vsebnosti Cs-137 v zemlji. Zaključki so v podpoglavju e3.



V vsem obdobju so doze v Sloveniji neznatno višje od tistih v okolici NEK. Razlog je verjetno večja pestrost točk republiškega programa, ki vključuje tudi lokacije, kjer pričakujemo višje ravni sevanja. Doze znotraj ograje NEK so bile za okrog tretjino nižje od tistih v okolici.

V letu 1998 je bila s TLD izmerjena doza v 100 prostorih 27 stanovanjskih enot v okolici NEK. Opravljene so bile nekajmesečne meritve in ekstrapolirane na celo leto. Povprečna vrednost je znašala  $(0,774 \pm 0,202)$  mSv na leto v razponu od 0,338 do 1,49 mSv na leto.

Vrednosti letnih doz TLD na Hrvaškem so sistematično višje od tistih v Sloveniji. Poleg tega je med letoma 1992 in 2002 opazno znatnejše stresanje vrednosti na različnih lokacijah pa tudi trend ne kaže upadanja. Ker gre dvomiti, da se naravne radiološke razmere na Hrvaškem znatno razlikujejo od tistih v Sloveniji, bi bilo smiselno preveriti kalibracijo dozimetrov.

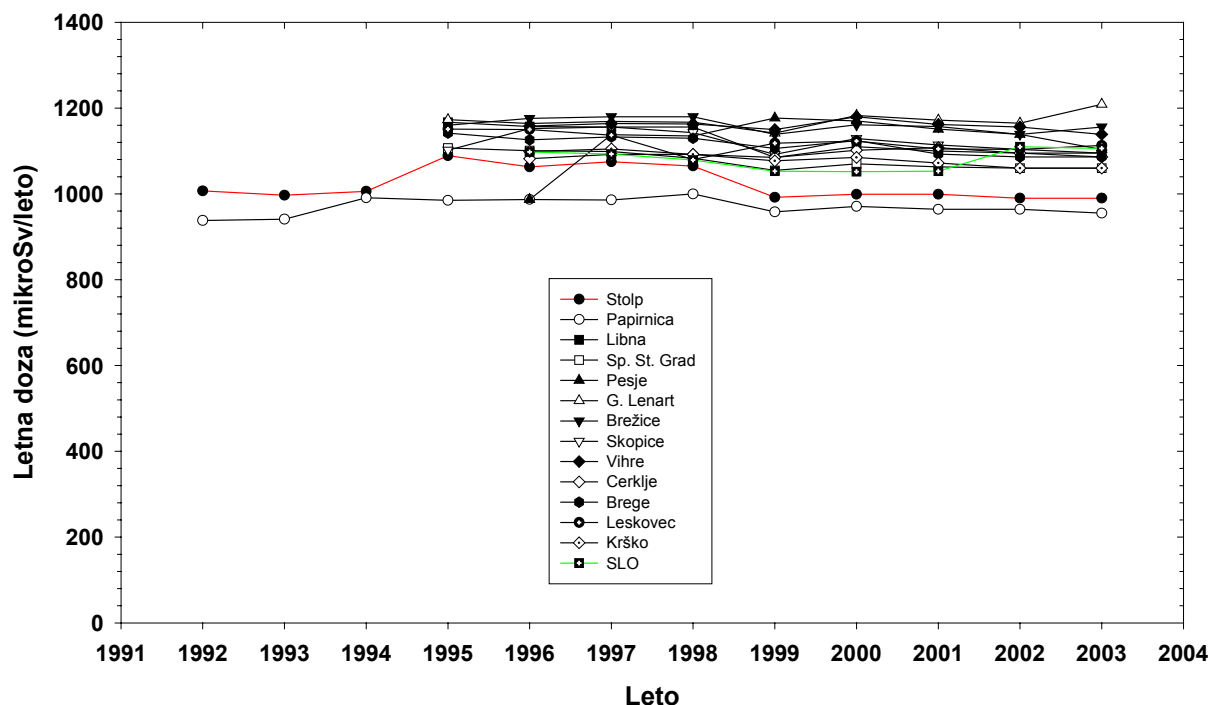


Slika 5.1: Povprečne letne doze TLD v okolici in znotraj NEK, 50 TLD v okviru republiškega programa v Sloveniji (SLO) in 10 TLD na Hrvaškem.

### KONTINUIRNI MERILNIKI SEVANJA

Letne doze kontinuirnih merilnikov MFM-202 za okolico NEK v celotnem obdobju meritev so na sliki 5.2, kjer je vrisano tudi povprečje ostalih merilnikov v Sloveniji. V vsem obdobju so bile najnižje letne doze pri papirnici v Krškem in na stolpu v NEK. Pri ostalih merilnikih v okolici NEK so letne doze primerljive s povprečno vrednostjo, izmerjeno z MFM-202 drugje v Sloveniji.

Primerjava z letnimi dozami, izmerjenimi s TLD (slika 5.1), kaže, da so vrednosti iz meritev z MFM-202 sistematično višje. Čeprav v večini primerov ne gre za ista merilna mesta in zato razlike v letnih dozah niso nemogoče, predlagamo preveritev odziva kontinuirnih merilnikov pri nizkih doznih hitrostih.



Slika 5.2: Letne doze merilnikov MFM-202 v okolici NEK in povprečje v Sloveniji.

### e) OCENA VPLIVOV

Prebivalstvo v okolici NEK je izpostavljeno več virom zunanjega sevanja:

- sevanju gama zaradi naravnih izotopov v okolju
- kozmičnemu sevanju
- sevanju gama zaradi černobilske kontaminacije in kontaminacije ob poskusnih jedrskih eksplozijah
- zunanjemu sevanju zaradi vplivov NEK
- medicinskim izpostavitvam, zlasti RTG pregledom.

Vpliv NEK je mogoč po treh prenosnih poteh:

- neposredno sevanje žarkov gama in nevtronov iz objektov znotraj ograje NEK
- sevanje gama ob prehodu oblaka pri atmosferskih izpušnih radioaktivnih snovi iz NEK
- sevanje gama zaradi usedlih radioaktivnih snovi iz oblaka pri atmosferskih izpušnih.



## e1) PRISPEVKI NEK

### Neposredno sevanje iz objektov znotraj ograje NEK

V poglavju o rezultatih meritev TLD je bilo ugotovljeno, da je prispevek sevanja gama iz objektov znotraj ograje NEK k dozi na ograji zanemarljiv.

V preteklosti so bili nekajkrat izmerjeni počasni in hitri nevtroni v bližini odprtine za vnos in iznos opreme v zadrževalnem hramu (*equipment hatch*). Rezultati so v poročilih ROMENEK 2/98, ROMENEK 3/99 in ROMENEK 3/00. V letu 1995 je bila opravljena tudi meritev zunaj ograje NEK. Meritev za oceno prispevka nevtronov k spektru žarkov gama je bila opravljena z VLG spektrometrom z ustreznimi konverterji na desnem bregu Save na razdalji 450 m od zadrževalnega hrama. Izmerjeno je bilo le naravno ozadje kozmičnih nevtronov [15].

Zaključujemo, da je prispevek sevanj iz objektov znotraj ograje NEK k zunanji dozi zunaj ograje zanemarljiv.

### Sevanje iz oblaka

Letne submerzijske doze ob prehodu oblaka pri atmosferskih izpustih iz NEK so bile ocenjene v poglavju Zrak na podlagi podatkov o izpuščenih aktivnostih in ob upoštevanju razredčitvenih faktorjev, dobljenih iz merjenih vremenskih podatkov. Rezultati so v tabeli 5.1 Glavnina izpostavitve je zaradi izpustov žlahtnih plinov, medtem ko so prispevki partikulatov in I-131 bistveno nižji. Ocenjene letne doze za leto 2003 segajo od **1 E-6 do 1 E-8 mSv na leto** in po pričakovanju pojemajo z oddaljenostjo od NEK. Glede na značilno velikost letne doze naravnega ozadja zunanjega sevanja (okrog mSv na leto) ta prispevek NEK ne more biti merljiv.

**Tabela 5.1:** Letne efektivne doze iz oblaka (leto 2003)

Lokacija	Razdalja (km)	Letna doza ( $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ )
Sp. Stari Grad	8,00E-01	2,4 E-3
Vrbina	8,00E-01	1,1 E-3
Brežice	5,60E+00	8,7 E-5
Vihre	2,50E+00	1,8 E-4
Mrtvice	2,40E+00	2,4 E-4
Brege	2,10E+00	3,0 E-4
Žadovinek	1,60E+00	2,1 E-4
Leskovec	2,30E+00	4,1 E-5
Krško - Stara vas	1,80E+00	2,1 E-4
Pesje	2,60E+00	4,0 E-4
Dobova	1,20E+01	2,2 E-5
<b>Referenčno mesto</b>	<b>5,00E-01</b>	<b>4,5 E-3</b>



### Used radioaktivnih snovi iz oblaka

Izpostavitev zunanjemu sevanju zaradi usedlih radioaktivnih snovi iz oblaka je bila za leto 2003 ocenjena z uporabo računalniškega programa RASCAL 3.0.3 [16]. Ocenjeni so bili talni usedi posameznih radionuklidov in njihov prispevek k zunanji dozi. Ker je program namenjen kratkoročnim vplivom ob izrednih dogodkih, neposredno ne omogoča ocene celoletnega vpliva zaradi atmosferskih izpustov radioaktivnih snovi iz jedrskega objekta. Zato smo privzeli, da se celoletna izpuščena aktivnost sprosti v kratkem času (privzeta 1 ura). Program omogoča oceno doze iz useda do 4 dni po izpustu. Tako dobljene doze smo ekstrapolirali na vse leto z upoštevanjem radioaktivnih razpadov posameznih radionuklidov. Štiridnevne doze smo zato pomnožili s faktorjem  $ft$ :

$$ft = \frac{1}{4\lambda}(1 - e^{-\lambda t})$$

$\lambda$     razpadna konstanta ( $d^{-1}$ )

$t$     365 d

V oceno niso vključeni radioaktivni žlahtni plini, ker se ne usedajo iz oblaka [17]. Ocene so bile narejene za razne vremenske pogoje, ki jih vključuje program. Pokazalo se je, da konservativno oceno dobimo s naslednjimi vremenskimi pogoji: zimsko jutro, razred stabilnosti E, hitrost vetra 6,4 km/h, brez padavin. Ocena je bila narejena za razdaljo 500 m od NEK. Za izpuščene aktivnosti so bile privzete emisijske vrednosti. Rezultati za leto 2003 so v tabeli 5.2. Ocena je skrajno konservativna, saj vključuje predpostavko, da gre ves letni izpust zgolj v eni smeri, ne upoštevajoč rože vetrov, s čimer najmanj za velikostni red precenjuje realne vrednosti.

Rezultati kažejo, da gre za letne doze velikostnega reda nekaj nSv na leto. Tega prispevka NEK ni mogoče izmeriti s TLD in MFM-202 v okolici NEK.

### Zaključek o prispevkih NEK k zunanji izpostavitvi

**Prispevki NEK k zunanjemu sevanju zunaj ograje zaradi sevanja iz objektov NEK in atmosferskih izpustov radioaktivnih snovi so zanemarljivi in nemerljivi z mrežo TLD in kontinuirnimi merilniki MFM-202. Posredno konservativno ocenjujemo, da je letna efektivna doza manjša od 0,0001 mSv na leto.**

### Primerjava s podobnimi objekti

V oceni izpostavitve prebivalstva v okolici švicarskih jedrskih elektrarn za leto 1995 so navedeni prispevki posameznih prenosnih poti [13]. Za primerjavo smo izbrali tri elektrarne tipa PWR: lokacijo Beznau z dvema blokoma po 364 MW<sub>e</sub>, (skupaj 730 MW<sub>e</sub>) in elektrarno Goesgen z 965 MW<sub>e</sub>. V obeh primerih **letno dozo zaradi izpustov žlahtnih plinov ocenjujejo na manj kot 0,0001 mSv na leto**, kar se ujema z zgoraj navedeno oceno za NEK v letu 2003.


**Tabela 5.2: Ocena letne doze zaradi useda radioaktivnih snovi (500 m od NEK).**

IZOTOP	$t_{1/2}$	enota	$t_{1/2}$ (d)	Bq/a	Bq/m	E/4d(Sv/Bq)	ft	Sv/a
I-131	8,04	d	8,04	2,2 E5	3,1 E-1	1,57 E-16	2,899	1,0 E-10
I-132	2,3	h	0,0958	1,4 E5	3,8 E-2	3,94 E-17	0,03455	1,9 E-13
Cr-51	27,7	d	27,7	2,6 E4	3,7 E-2	1,45 E-17	9,997	3,8 E-12
Mn-54	312	d	312	4,1 E3	5,9 E-3	3,98 E-16	62,51	1,0 E-10
Co-57	271	d	271	4,4 E2	3,7 E-5	5,64 E-17	59,32	1,5 E-12
Co-58	70,8	d	70,8	7,1 E4	1,0 E-1	4,59 E-16	24,82	8,1 E-10
Co-60	5,27	a	1924	5,8 E4	8,3 E-2	1,16 E-15	85,51	5,8 E-9
Zr-95	64	d	64	4,1 E3	5,9 E-3	3,63 E-16	22,64	3,4 E-11
Nb-95	35,1	d	35,1	8,6 E3	1,2 E-2	3,54 E-16	12,65	1,6 E-11
Te-123m	120	d	120	1,3 E2	1,9 E-4	6,97 E-17	38,02	3,4 E-13
Te-125m	58	d	58	3,0 E4	4,3 E-2	1,74 E-17	20,65	1,1 E-11
Sb-125	2,77	a	1011	3,2 E3	4,6 E-3	2,09 E-16	80,73	5,4 E-11
Cs-134	2,06	a	752	-	-	7,47 E-16	77,49	-
Cs-137	30	a	10950	1,6 E4	2,3 E-2	2,08 E-16	90,20	3,0 E-10
							<b>Vsota</b>	<b>7,2 E-9</b>

## e2) NARAVNO SEVANJE

V poglavju e1 je bilo ocenjeno, da prispevkov NEK k zunanji dozi ni mogoče neposredno meriti. Mreža TLD zato odraža dozo sevanja gama naravnih radionuklidov v okolju, ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja in prispevka černobilskega Cs-137. Ker pa je sedanjí prispevek černobilskega Cs-137 v povprečju na ravni odstotka naravnega ozadja, meritve dejansko kažejo doze naravnega sevanja in njihove lokalne variacije. Povprečna doza v okolici NEK v letu 2003 je bila 0,775 mSv na leto in je bila enaka letni dozi v zaprtih prostorih v okolici NEK, izmerjeni leta 1998 (povprečno 0,774 mSv na leto). Povprečna letna doza v letu 2003 je bila za bivanje na prostem in v zaprtih prostorih v okolici NEK **0,78 mSv na leto**.

Dozimetri ne merijo doze nevtronske komponente kozmičnega sevanja, zato smo le to privzeli iz poročila [9]. Pri izpostavitvi svetovnega prebivalstva poročilo ocenjuje po prebivalstvu uteženo povprečje, upoštevajoč nadmorsko višino in geografsko širino. Tako ocenjena letna doza za kozmične nevtrone znaša 0,100 mSv na leto. Ker leži območje Krškega le okrog 200 m nad morskó gladino, smo privzeli podatek iz poročila [9], kjer za gladino morja na geografski širini 50° ocenjujejo letno nevtronsko dozo na 0,080 mSv na leto. Upoštevajoč zaščitni faktor 0,8 v zgradbah in faktorja bivanja 0,8 v bivališčih in 0,2na prostem, znaša letna efektivna doza kozmičnih nevtronov za prebivalstvo okolice NEK:

$$E_n = (0,080 \cdot 0,2 + 0,080 \cdot 0,8 \cdot 0,8) \frac{mSv}{leto} = 0,070 \frac{mSv}{leto}$$

**Celotna letna doza naravnega ozadja zaradi naravnih sevalcev gama, ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja, kozmičnih nevtronov in prispevka černobilskega Cs-137 v okolici NEK znaša 0,850 mSv na leto in se dobro sklada z oceno iz poročila [9] za svetovno prebivalstvo (0,870 mSv na leto).**



### e3) PRISPEVEK ČERNOBILSKE KONTAMINACIJE

V poglavju Zemlje je bila ocenjena hitrost doze nad neobdelanim in obdelanim zemljiščem v okolici NEK zaradi kontaminacije zemljišča s Cs-137. Vrednosti v letu 2003 so bile od 3 do 6 nGy/h, na vse leto ekstrapolirane vrednosti pa so med 0,026 in 0,052 mSv na leto. To predstavlja od 3 % do 6 % povprečne letne doze v okolici NEK (0,80 mSv na leto iz meritev s TLD). Ob predpostavki, da v bivalnih prostorih ni černobilske kontaminacije in ob upoštevanju faktorja bivanja 0,8 v bivališčih in 0,2 na prostem, znaša prispevek černobilske kontaminacije za skrajna primera zemljišč od **0,005 do 0,010 mSv na leto** oziroma od 0,6 do 1 %. Ocena je konservativna, saj pri zadrževanju na prostem predpostavlja stalno zadrževanje na takem zemljišču, medtem ko je pri zadrževanju v naseljih z asfaltiranimi površinami pričakovati bistveno manjši prispevek černobilskega Cs-137.

**Prispevek Cs-137 k zunanji dozi v letu 2003 ocenjujemo na velikostni red 0,01 mSv na leto.**

### f) Povzetek letnih zunanjih doz za prebivalstvo v okolici NEK

V tabeli 5.3 so povzete ocenjene letne efektivne doze zunanjega sevanja za prebivalstvo v okolici NEK. Dominantna je izpostavitve zaradi naravnega sevanja (100 %), černobilski used Cs-137 prispeva le kak odstotek, medtem ko je prispevek NEK pod 0,01 %.

**Tabela 5.3:** Letne efektivne doze zunanjega sevanja v letu 2003 za prebivalstvo v okolici NEK.

Vir	Podatki	Letna efektivna doza (mSv/leto)
sevanje gama + ionizirajoča komponenta kozmičnega sevanja	TLD	0,78 (92 %)
kozmični nevtroni	[9]	0,070 (8 %)
<b>naravno sevanje - skupaj</b>		
kontaminacija zaradi černobilske nesreče in poskusnih jedrskih eksplozij	Cs-137 v zemlji + model	< 0,01 (<1 %)
<b>NEK – atmosferski izpusti</b>	<b>oblak + used</b>	<b>&lt; 0,0001 (&lt;0,01 %)</b>
<b>Skupaj</b>		<b>0,850</b>



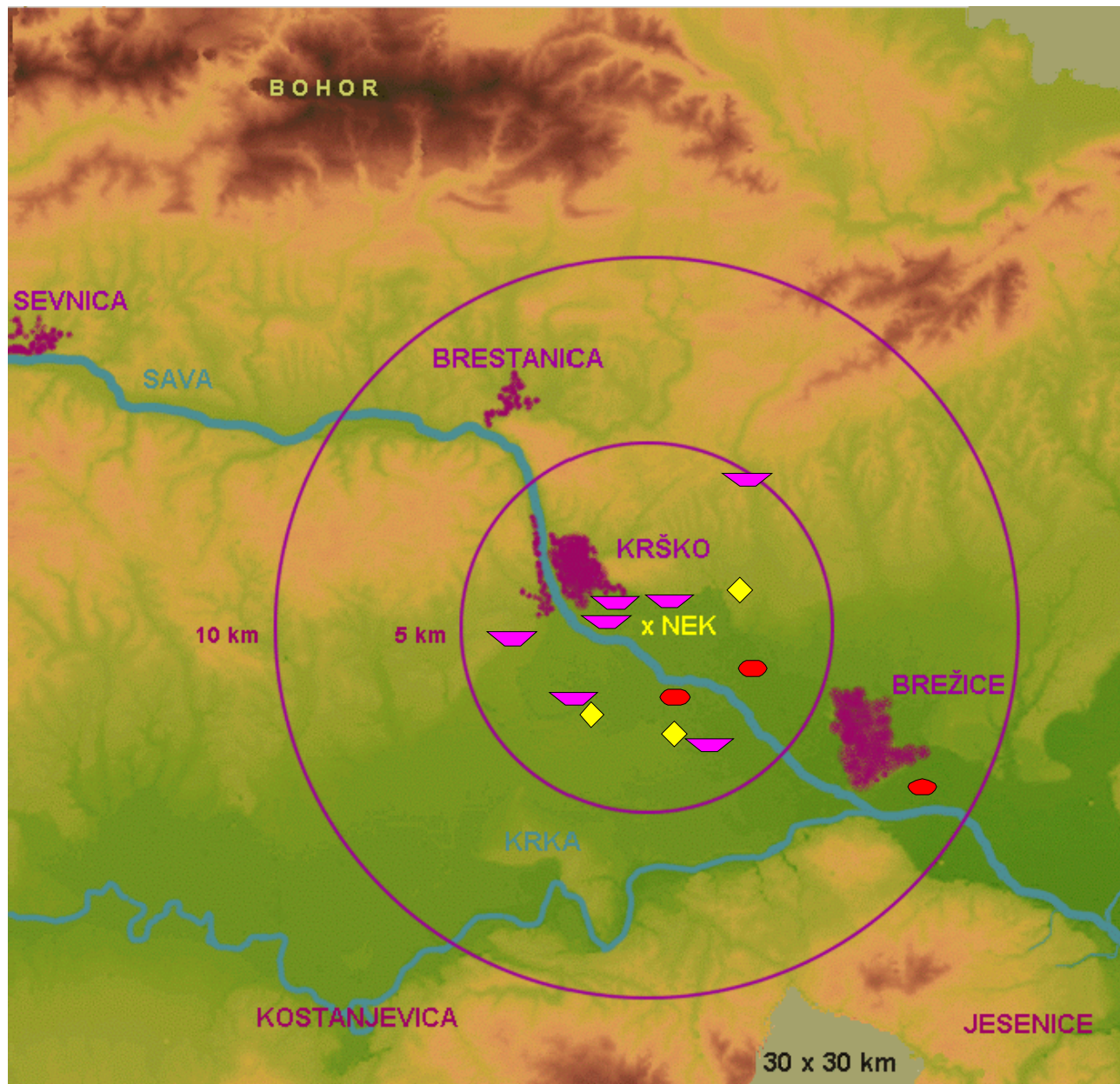


### g) ZAKLJUČKI

- Celotna letna doza naravnega ozadja zaradi naravnih sevalcev gama, ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja in kozmičnih nevtronov v okolici NEK je v letu 2003 znašala 0,85 mSv na leto in se sklada z oceno za svetovno prebivalstvo.
- Prispevki NEK k zunanjemu sevanju zunaj ograde zaradi sevanja iz objektov NEK in atmosferskih izpustov radioaktivnih snovi so zanemarljivi in jih neposredno ni mogoče izmeriti. Posredno konservativno ocenjujemo, da je letna efektivna doza manjša od 0,0001 mSv na leto.
- Ocena zunanje izpostavitve prebivalstva zaradi atmosferskih izpustov NEK v letu 2003 se ujema z ocenami treh primerljivih švicarskih jedrskih elektrarn.
- Prispevek kontaminacije zemljišča s Cs-137 (černobilska nesreča in poskusne jedrske eksplozije) k letni dozi na prostem v letu 2003 je velikostnega reda odstotka naravnega ozadja oziroma okrog 0,01 mSv na leto.

### h) REFERENCE

- [13] HSK – Annual Report 1995 Tables 1-5  
(<http://www.hsk.psi.ch/english/files/pdf/annual-report1995.pdf>).
- [14] Poročilo o meritvah sevanja na lokaciji NE Krško v letu 2003, Krško, april 2004.
- [15] Matjaž Korun, osebno sporočilo, 2003.
- [16] PC program: Radiological Assessment System for Consequence Analysis RASCAL 3.0.3, NRC, June 2002.
- [17] Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment, Radiation Protection 72, European Commission, Report EUR 15760 EN, 1995.



## ZEMLJA IN HRANA

-  SEZONSKO VZORČEVANJE HRANIL
-  MESEČNO VZORČEVANJE MLEKA
-  SEZONSKO VZORČEVANJE POPLAVNE ZEMLJE



## Z E M L J E

### a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST

Namen jemanja vzorcev zemlje v okolici NEK je ugotoviti in ovrednotiti morebitni vpliv elektrarne na vsebnost radionuklidov v zemlji, določiti prispevek naravnih radionuklidov v njej k zunanji dozi sevanja, saj glede nanj določimo pomembnost morebitnega vpliva NEK, ter izmeriti specifične aktivnosti umetnih radionuklidov, ki ne izvirajo iz NEK, v vzorcih in njihov prispevek k zunanji dozi sevanja. Vzorce zemlje se jemlje na štirih lokacijah poplavnih zemljišč sotočno od NEK, kjer so vzorčevalna mesta po letu 1986, torej po jedrski nesreči v Černobilu: Amerika (oznaka točke 6D, levi breg, sotočna obrežna razdalja od NEK 3,5 km, tip zemlje rjava naplavina), Gmajnice ob vrtini 7 (7C, levi breg, razdalja 2,5 km, mivkasta borovina), Gmajnice ob vrtini 6 (6D, desni breg razdalja 3,6 km, njiva, rjava naplavina) in Kusova vrbina - Trnje (5E, levi breg, sotočna razdalja od NEK 9 km, mivkasta borovina). Tri izmed lokacij so neobdelane površine, četrta lokacija (Gmajnice, 6D) je obdelana. Poplavljanje lokacij se navadno pripeti vsaj enkrat letno in je najpogostejše na lokaciji Trnje.

### b) ZNAČILNOSTI MERITEV

Na vseh štirih lokacijah se vzorce zemlje vzame dvakrat letno in sicer po posameznih plasteh do globine 30 cm za neobdelane in 50 cm za obdelano površino. Meritve se opravi z visokoločljivostno spektrometrijo gama v vzorcih s premerom 90 mm po predhodni pripravi vzorca (predvsem sušenje, mletje in homogenizacija), ki je podrobno opisana v delovnem navodilu *Zbiranje in priprava vzorcev zemlje (LMR-DN-07)*. Posebej se zbere, pripravi in izmeri vzorce trave. Vsebnost stroncija v vzorcih se nato določi z destruktivno radiokemijsko analizo.

### c) ZNAČILNOSTI OBDELAV

Pri ovrednotenju meritev smo določili prispevek naravnih in umetnih radionuklidov k zunanji dozi sevanja, ki je edina pomembna izpostavitvev sevanju pri radionuklidih v zemlji. Razmerje med obema prispevkoma bi lahko bilo pokazatelj vpliva NEK na okolje, če bi umetni radionuklidi izvirali iz NEK, sicer pa nekaj pove o splošni obremenjenosti okolja z umetnimi radionuklidi.

### d) OBRAVNAVA REZULTATOV

Tabele: T-57 do T-60 (IJS)

Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v datotekah **NOVI/Zemlja2003.pdf** in **STARI/Zemlja2003.pdf**.

Glavna ugotovitev obdelave rezultatov je, da poleg Cs-137 in Sr-90/Sr-89, ki sta radionuklida, katerih prisotnost v okolju je posledica atomskih poskusov v ozračju v 50. in 60. letih ter nesreče v Černobilu, v nobenem od vzorcev nismo našli radionuklida umetnega izvora, ki bi lahko izviral iz NEK. Radionuklida Cs-134 v vzorcih letos ni bilo več, kar potrjuje tezo, da je bila njegova prisotnost v prejšnjih letih posledica nesreče v Černobilu in da ni izviral iz NEK. Specifične aktivnosti radionuklida Sr-90/Sr-89 (0,6 – 2,2 Bq/kg) so nizke in v skladu z vrednostmi iz prejšnjih let. Razpon specifičnih aktivnosti naravnih radionuklidov, povprečen po globini zemlje, je 300 – 470 Bq/kg za K-40, 25 - 36 Bq/kg za U-238 in 25 - 37 Bq/kg za Th-228, kar se ujema s povprečnimi uteženimi



vrednostmi 420 Bq/kg za K-40, 33 Bq/kg za U-238 in 45 Bq/kg za Th-232, ki jih za svet navaja poročilo UNSCEAR za leto 2000. Povprečni prispevek naravnih radionuklidov iz razpadnih verig U-238, Th-232k ter K-40 k hitrosti doze zunanjšega sevanja je po metodologiji ICRU [18] 50 nGy/h.

#### e) OCENA VPLIVOV

Edini pomemben prispevek umetnih radionuklidov k letni absorbirani dozi zaradi zunanjšega sevanja je tako prispevek Cs-137. Pri tem lahko iz globinske porazdelitve tega radionuklida razberemo, da ne gre za sveže odložitve radionuklida in torej za prispevek NEK, temveč za difuzijo in migracijo Cs-137, ki je bil odložen ob nesreči v Černobilu, kajti nobena od porazdelitev nima vrha na površini zemlje. Ta zaključek velja tudi za radionuklid Sr-90/Sr-89. Povprečne hitrosti zunanje doze zaradi Cs-137 v zemlji so navedene v Tabeli 6.1 za posamezne lokacije v maju in septembru 2003 in so podobne tistim iz leta 2002. Izračunali smo jih tako, da smo privzeli, da je celotna aktivnost Cs-137 v zemlji zbrana do globine 30 cm, po globini pa porazdeljena enakomerno. Iz večjih globin namreč žarki gama z energijo 662 keV, ki jih seva Cs-137, ne dosežejo površine in tudi specifična aktivnost Cs-137 na večjih globinah je majhna. Tako poenostavitev računa upravičuje tudi neproblematičnost hitrosti doz s stališča varstva prebivalstva pred sevanjem, saj so njihove vrednosti manj kot 10 % hitrosti doze zaradi sevanja naravnih radionuklidov. Pretvorbene količnike med specifično aktivnostjo Cs-137 in hitrostjo doze zunanjšega sevanja smo povzeli po [19].

**Tabela 6.1:** Povprečne hitrosti absorbirane doze zunanjšega sevanja zaradi Cs-137 v zemlji v nGy/h v maju in septembru 2003.

Lokacija / Čas vzorčevanja	Maj	September
Amerika	5	4
Gmajnice neobdelana površina	5	6
Gmajnice njiva	4	3
Kusova vrbina - Trnje	3	3

#### f) ZAKLJUČKI IN PRIPOROČILA

V meritvah specifičnih aktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov v vzorcih zemlje vpliva NEK nismo zaznali. V okviru visokih, a omejenih občutljivosti uporabljenih merskih metod, je mogoče pripisati prisotnost umetnih radionuklidov v okolju posledicam nesreče v Černobilu. Povprečna zunanja doza sevanja, ki jo ti radionuklidi povzročajo v okolici NEK, je manj kot desetina povprečne doze, ki jo povzročajo naravni radionuklidi v zemlji, slednja pa je v skladu s slovenskim in svetovnim povprečjem.

#### g) REFERENCI

- [18] ICRU Report 53, Gamma-ray Spectrometry in the Environment, ICRU, Bethesda, Maryland, 1994.  
 [19] A. Likar, T. Vidmar, B. Pucelj, Monte Carlo Determination of Gamma-ray Dose Rate with the GEANT System, Health Physics, Volume 75, Number 2, August 1998.



## KRMILA IN HRANILA

Namen določanja aktivnosti sevalcev gama v hrani je, da se preveri morebiten vpliv izpustov NEK na kontaminacijo prehrabene verige. Pri izračunu sevalne obremenitev zaradi hrane smo predpostavili, da prebivalci uživajo le hrano s krško-brežiškega področja. Ocenili smo, da je obremenitev prebivalstva v okolici NEK z umetnimi radionuklidi Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v letu 2003 znašala 1,2  $\mu$ Sv, pa še ta izvira iz kontaminacije zaradi jedrskih poskusov in nesreče v Černobilu.

### a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST

Na več kot polovici kmetijskih zemljišč na krško-brežiškem polju se prideluje hrana (žitarice, sadje, zelenjava). Odvzemna mesta vzorcev hrane v letu 2003, ki so označena na priloženem zemljevidu (v prilogi na koncu poročila), so bila: sadovnjak ob NEK (sadje) Drnovo (mleko), Spodnje Skopice (mleko), Pesje (mleko), Zgornja Pohanca (sadje), Brežice (sadje, žitarice), Brege (zelenjava, povrtnina, poljščine, žitarice), Vrbina (zelenjava, povrtnina, žitarice, meso), Spodnji Stari Grad (zelenjava, povrtnina, poljščine, žitarice, meso), Vihre (meso).

### b) ZNAČILNOSTI MERITEV

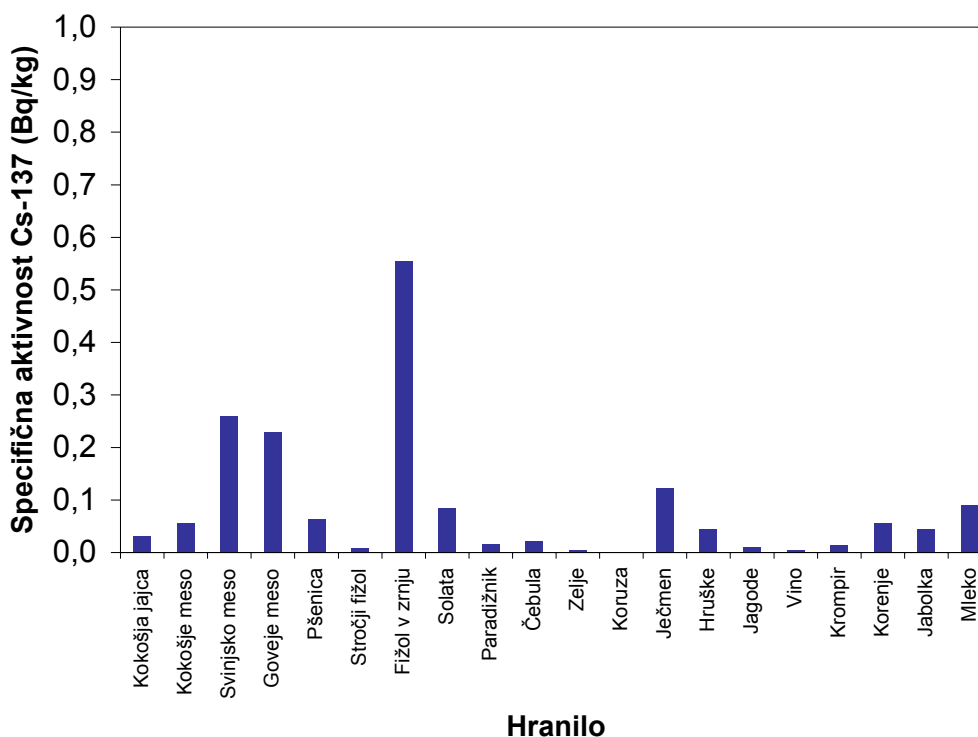
V vzorcih hrane so bile izmerjene aktivnosti sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama (VLG) in aktivnost Sr-90/Sr-89 z radiokemijsko metodo. Laboratorij za radiološke merilne sisteme in meritve radioaktivnosti (LMR) Instituta Jožef Stefan (IJS) je opravil vzorčevanje, meritve in analize vseh vzorcev hrane razen vzorcev mleka. Vzorce mleka so zbirali sodelavci Zavoda za varstvo pri delu (ZVD), kjer so opravili tudi meritve in analize.

### c) OBRAVNAVA REZULTATOV

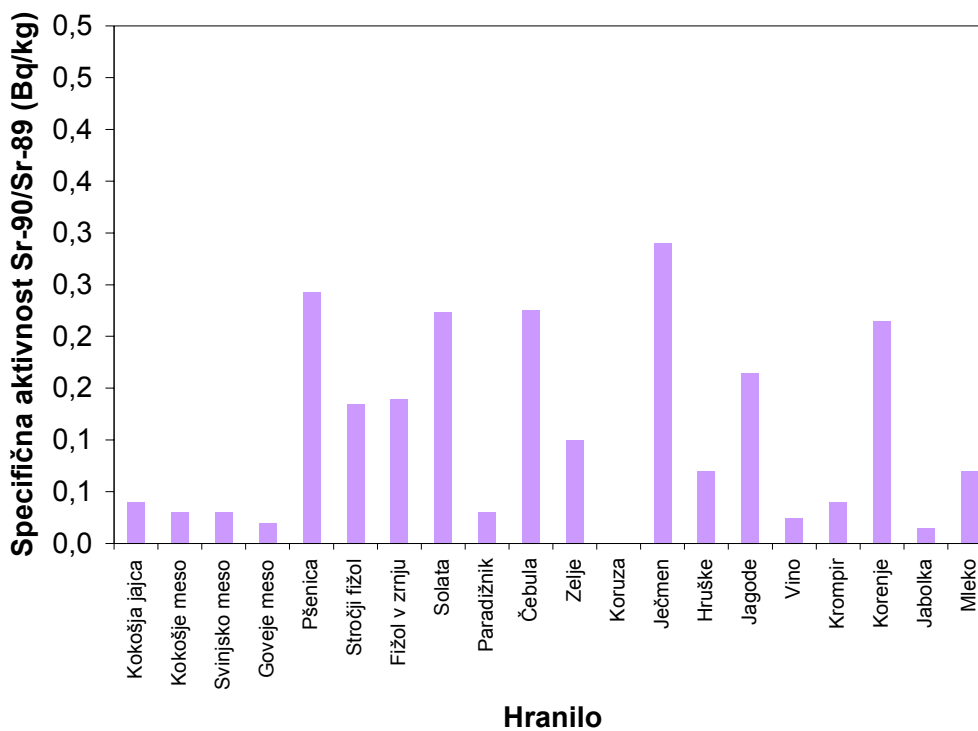
Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenkni v datotekah **NOVI/Hrana2003.pdf** in **STARI/Hrana2003.pdf**.

Rezultati meritev vzorcev hrane so prikazani v tabelah T-61 do T-64 (Mleko), T-65 (Kokošje meso in jajca), T-66 (Svinjsko in goveje meso), T-67 (Povrtnine in poljščine - pšenica), T-68 (Povrtnine in poljščine - koruza, ječmen), T-69 (Povrtnine in poljščine - fižol), T-70 (Povrtnine in poljščine - krompir, korenje), T-71 (Povrtnine in poljščine - peteršilj), T-72 (Povrtnine in poljščine - solata), T-73 (Povrtnine in poljščine - zelje), T-74 (Povrtnine in poljščine - paradižnik, čebula), T-75 (Sadje - jabolka), T-76 (Sadje - hruške), T-77 (Sadje - jagode) in T-78 (Sadje - vino). V letu 2003 nismo vzorčevali hmelja, ker so ga na krško-brežiškem področju prenehali pridelovati.

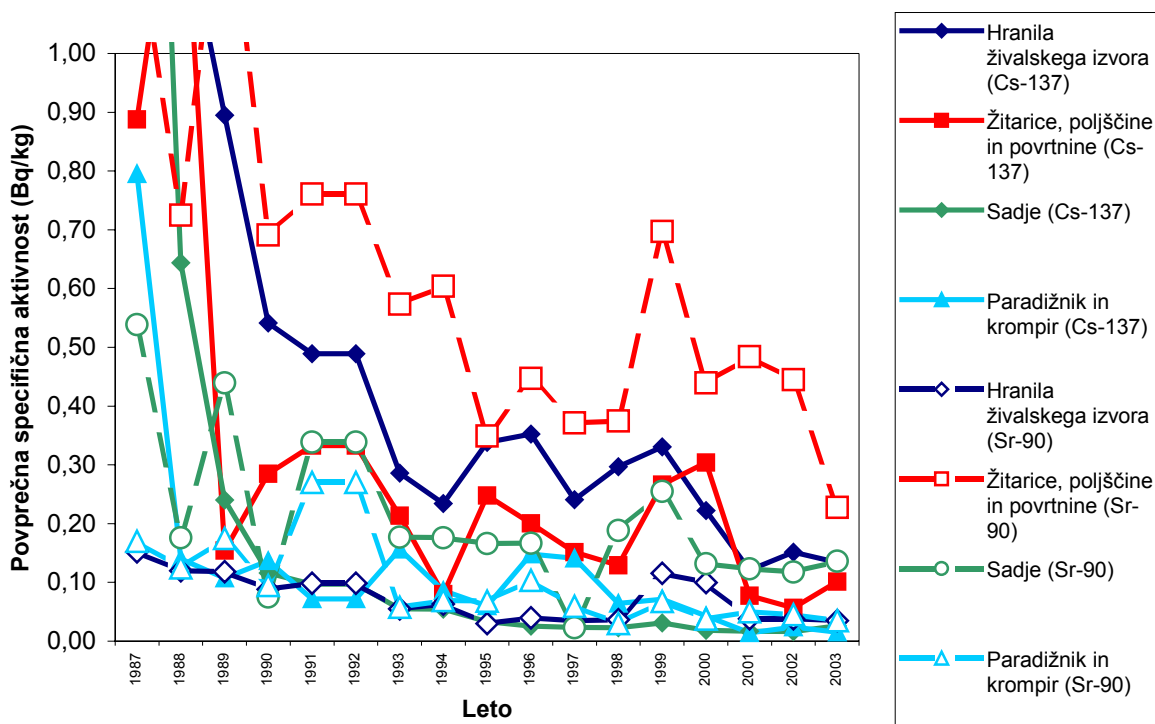
V vseh vzorcih hrane so bili detektirani naravni radionuklidi K-40 in radionuklidi iz razpadnih vrst U-238 in Th-232. Med umetnimi radionuklidi sta bila detektirana le radionuklida Cs-137 in Sr-90/Sr-89. Oba radionuklida se pojavljata kot kontaminacija v plasti zemlje do globine 15 cm zaradi jedrskih poskusov in nesreče v Černobilu. Specifična aktivnost radionuklidov Sr-90/Sr-89 je nekaj Bq/kg, Cs-137 pa do nekaj deset Bq/kg [20].



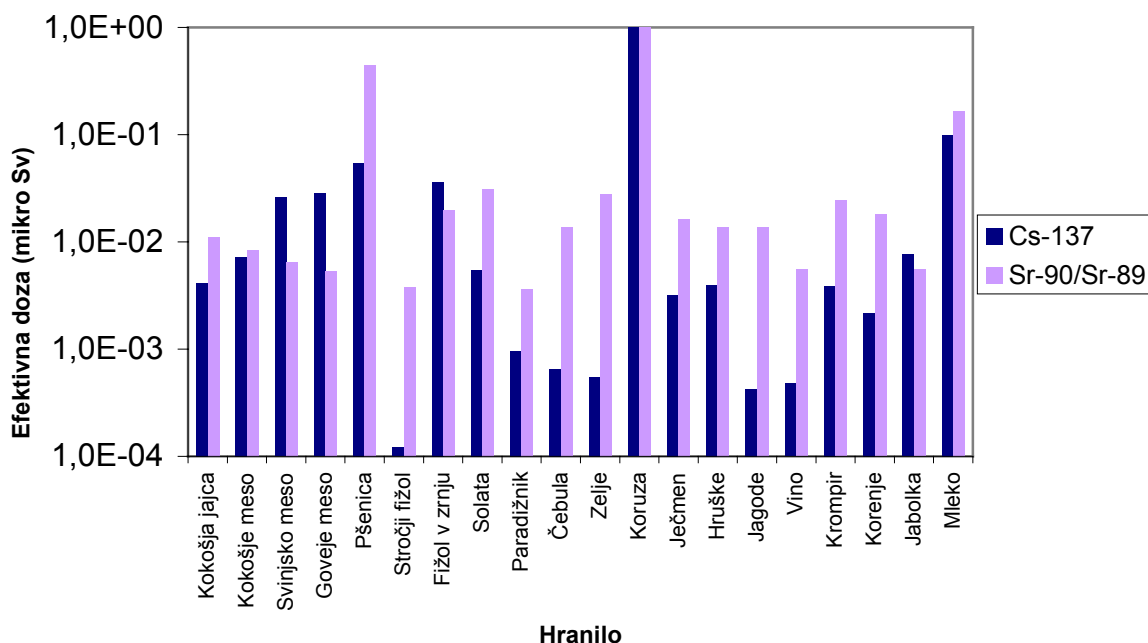
Slika 7.1: Izmerjene specifične aktivnosti (Bq/kg) radionuklida Cs-137 v različnih vrstah hrane v letu 2003.



Slika 7.2: Izmerjene specifične aktivnosti (Bq/kg) radionuklida Sr-90/Sr-89 v različnih vrstah hrane v letu 2003.



Slika 7.3: Povprečje specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v različnih skupinah hranil od leta 1987 do 2003. Prekinjene črte označujejo povprečja specifičnih aktivnosti Sr-90/Sr-89, neprekinjene črte pa povprečja specifičnih aktivnosti Cs-137.



Slika 7.4: Izračunane efektivne doze Cs-137 in Sr-90/Sr-89 za odraslega človeka v različnih vrstah hrane. Skala na ordinatni osi je logaritemska.



Iz rezultatov meritev vzorcev hrane v letu 2003 lahko razberemo, da so izmerjene specifične aktivnosti radionuklida Cs-137 v hrani od  $4,2 \cdot 10^{-3}$  Bq/kg v zelju do 0,55 Bq/kg v fižolu v zrnju. Povprečna izmerjena specifična aktivnost Cs-137 v hrani je  $9,8 \cdot 10^{-2}$  Bq/kg. Izmerjene specifične aktivnosti radionuklida Sr-90/Sr-89 v hrani so od 0,015 Bq/kg v svinjskem mesu in jabolkah do 0,29 Bq/kg v ječmenu. Povprečna specifična aktivnost Sr-90/Sr-89 v hrani je znašala 0,14 Bq/kg. Na slikah 7.1 in 7.2 so prikazane povprečne specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v različnih vrstah hrane za leto 2003. Specifične aktivnosti umetnih radionuklidov so podobne tistim iz prejšnjih let (slika 7.3), v letošnjem letu pa glede na različna hranila odstopajo povprečni specifični aktivnosti Sr-90/Sr-89 v hruškah in jagodah ter specifična aktivnost Cs-137 v fižolu v zrnju. Specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v hrani z leti nihajo, vendar je opazen trend zmanjševanja njihovih koncentracij. Glede na prisotnost Cs-137 in Sr-90/Sr-89 lahko hranila razdelimo v tri skupine: a) hrana živalskega izvora, kjer je koncentracija Cs-137 najvišja in koncentracija Sr-90/Sr-89 najnižja, b) žitarice, poljščine in povrtnine razen paradižnika in krompirja, kjer je koncentracija Cs-137 nizka (največja je v solati, fižolu v zrnju in ječmenu), koncentracija Sr-90/Sr-89 pa za red velikosti višja kot koncentracija Cs-137 in c) sadje, kjer sta koncentraciji Sr-90/Sr-89 in Cs-137 najnižji, vendar je koncentracija Sr-90/Sr-89 višja kot koncentracija Cs-137. To razdelitev hranil primerjalno prikazujemo na sliki 7.3, glede na koncentracije Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v hranilih iz različnih skupin v časovnem obdobju od 1987 do 2003. Kot lahko še opazimo, sta najnižji koncentraciji obeh umetnih radionuklidov v paradižniku in krompirju.

**Tabela 7.1:** Primerjava povprečnih specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90/Sr-89 in K-40 v hrani, travi, zemlji in padavinah. Koncentracije radionuklidov so podane v Bq/kg sveže snovi razen pri travi, kjer so podane v Bq/kg suhe snovi.

	Cs-137	Sr-90/Sr-89	K-40
	Specifična aktivnost (Bq/kg)		
<b>Hrana povprečje</b>	9,8E-02	1,4E-01	1,0E+02
<b>Meso</b>	1,8E-01	2,7E-01	1,0E+02
<b>Poljščine</b>	5,0E-02	1,7E-01	1,4E+02
<b>Trava</b>	6,2E+00	1,7E+00	3,4E+02
<b>Zemlja (0-15cm)</b>	4,0E+01	1,4E+00	3,8E+02
<b>Padavine povprečje</b>	1,1E-03	2,0E-03	1,4E-02

Radionuklid Sr-90/Sr-89 se v hrani nalaga pri črpanju hranilnih snovi iz zemlje. Največ Cs-137 je v hrani živalskega izvora (mleko, meso), ker se v živalih nalaga v mehkem tkivu, kamor pride po resuspenziji snovi z delov rastlin, ki jih živali zaužijejo. To predpostavko lahko podkrepimo s podatki iz tabele 7.1, kjer lahko preberemo, da je v travi specifična aktivnost Cs-137 desetkrat večja kot v hrani živalskega izvora, ko specifične aktivnosti preračunamo na delež suhe snovi. Presežek koncentracije Cs-137, ki se ne prenese v telo živali, se odloži nazaj na zemljo. V zemlji je povprečna specifična aktivnost petkrat večja kot v travi. V deževnici je letna povprečna specifična aktivnost Cs-137 za tri rede velikosti manjša kot v travi. V hranilih rastlinskega izvora se Cs-137 absorbira pretežno pri črpanju mineralnih snovi preko koreninskih sistemov. Mehanizem črpanja mineralnih snovi preko koreninskih sistemov je težko kvantificirati, saj je zemlja zelo kompleksen sistem. Številni parametri, kot so: tip zemlje, pH vrednost zemlje, kapacitivnost sorpcije, delež ilovice, delež organskih snovi in še drugi močno vplivajo na prenos snovi. Merilo za mehanizem črpanja





mineralnih snovi preko koreninskih sistemov je prenosni faktor. To je kvocient med specifično aktivnostjo radionuklida v hranilu in specifično aktivnostjo istega radionuklida v zemlji. Iz slike 7.5 lahko ugotovimo, da se prenosni faktorji za Cs-137 v različnih vrstah hranil približno eksponentno zmanjšujejo s časom. Od sredine 90-ih let pa so značilno konstantni, v posameznih letih pa so opazna nihanja pri posameznih vrstah hrane. Te anomalije lahko pripišemo uporabi različnih vrst gnojil, ki upočasnjujejo sorpcijo Cs-137 preko koreninskih sistemov. Značilne vrednosti prenosnih faktorjev so med 0,001 (povrtine) do 0,1 (sadje). Vrednosti prenosni faktorjev za Sr-90/Sr-89 v različnih vrstah hrane so značilno večji kot v primeru prenosnih faktorjev za Cs-137. Značilne vrednosti se gibljejo med 0,01 (povrtine) in 0,2 (žitarice).

V poljščinah je povprečna specifična aktivnost Cs-137 trikrat manjša kot v mesu. Koncentracije Sr-90/Sr-89 v travi in zemlji so približno enake, okrog 1 Bq/kg, saj radionuklid zlahka pronica. V deževnici je koncentracija Sr-90/Sr-89 za tri rede velikosti manjša kot v zemlji, povprečna specifična aktivnost Sr-90/Sr-89 v hrani pa je prav tako manjša, 0,3 Bq/kg.

Za primerjavo doznih obremenitev prebivalstva v okolici NEK pri ingestiji hrane, ki jih povzročajo posamezni radionuklidi, koncentracijo posameznega radionuklida v hrani pomnožimo z doznim faktorjem. Za izračun doze pri ingestiji hrane, kjer upoštevamo še letno porabo posamezne vrste hrane,  $m_i$ , velja enačba (glej dokument *Ocena sevalnih obremenitev (LMR-RP-01)*):

$$E_{50-70, i} = a_i f_i m_i \quad [\mu\text{Sv}], \quad (1)$$

kjer sta  $a_i$  specifična aktivnost posameznega radionuklida in  $f_i$  dozni faktor istega radionuklida.

Celotna efektivna doza pri ingestiji hrane je vsota posameznih prispevkov doz ob zaužitju posamezne vrste hrane. Podatke za letno porabo posamezne vrste hrane smo ocenili iz tabele o povprečni količini nabavljenih živil in pijač na člana gospodinjstva, ki jo je pripravil Statistični urad Republike Slovenije [21].

Izračun doze pri ingestiji hrane smo naredili na osnovi povprečnih specifičnih aktivnosti, dobljenih z uporabo dveh postopkov računanja povprečij izmerkov.

V prvem primeru (stari postopek) računamo povprečja tako, da v primeru, če je bil radionuklid identificiran, vendar je bila njegova specifična aktivnost pod mejo kvantifikacije, upoštevamo mejo kvantifikacije kot specifično aktivnost radionuklida. Iz enačbe (1) potem izračunamo, da je efektivna doza, ki jo dobi odrasla oseba ob zaužitju vseh vrst hrane, 436  $\mu\text{Sv}$ . Pri tem največ prispevata naravna radionuklida K-40, 160  $\mu\text{Sv}$ , kar je 36 % celotne efektivne doze in radionuklid Pb-210, 90  $\mu\text{Sv}$ , kar je 21 % celotne efektivne doze. Delež umetnih radionuklidov v prispevku celotne efektivne doze pri ingestiji je 0,3 % ali 1,2  $\mu\text{Sv}$ . Med umetnima radionuklidoma je prispevek Sr-90/Sr-89 k celotni efektivni dozi dvakrat višji kot prispevek Cs-137. Doze umetnih radionuklidov Sr-90/Sr-89 in Cs-137, ki bi jih posameznik prejel ob zaužitju hrane, so prikazane na sliki 7.3. Iz slike 7.3 lahko razberemo, da je prispevek Cs-137 k celotni efektivni dozi največji pri hrani živalskega izvora (mleko, meso), medtem ko Cs-137 sploh ni prisoten, ali pa le v sledovih, v poljščinah (gomoljnice, žitarice) in povrtini. Nekaj več je Cs-137 v sadju, vendar bistveno manj kot Sr-90/Sr-89.

Da bi odstranili odvisnosti doz od občutljivosti merske metode, ki se izraža z mejo kvantifikacije, računamo v drugem primeru (novi postopek) povprečja tako, da v primerih, ko je bil radionuklid identificiran in bila njegova specifična aktivnost pod mejo kvantifikacije, upoštevamo kot specifično aktivnost radionuklida nič, kot negotovost te specifične aktivnosti pa mejo kvantifikacije. Tako lahko iz enačbe (1) izračunamo, da je efektivna doza, ki jo dobi odrasla oseba ob zaužitju vseh vrst hrane,  $262 \pm 44 \mu\text{Sv}$ . Tudi pri tem računu je največji prispevek radionuklida K-40, in sicer 160  $\mu\text{Sv}$ , medtem ko je prispevek Pb-210 k celotni dozi trikrat manjši in je primerljiv z doznimi prispevki drugih naravnih radionuklidov (U-238, Ra-228).



**Tabela 7.2:** Deleži doz, ki pripadajo posameznim radionuklidom v posameznih vrstah hrane zaradi uživanja hrane glede na celotno učinkovito dozo določenega radionuklida. V oklepajih so predstavljeni deleži, ki so izračunani z uporabo drugega postopka pri računanju povprečnih specifičnih aktivnosti radionuklidov.

	Cs-137	Sr-90/Sr-89	K-40	Pb-210	Drugi naravni radionuklidi
<b>Sadje</b>	< 0,1 %	0,2 %	37 % (58 %)	35 % (15 %)	28,8 % (26,8 %)
<b>Povrtnine</b>	0,1 % (0,2 %)	0,3 % (0,4 %)	62 % (80 %)	29 % (13 %)	8,6 % (6,6 %)
<b>Poljščine</b>	< 0,1 %	0,2 % (0,4 %)	37 % (58 %)	21 % (5 %)	41,8 % (36,4 %)
<b>Meso in mleko</b>	0,1 % (0,2 %)	0,1 % (0,2 %)	28 % (55 %)	17 % (23 %)	55,8 % (21,6 %)

**Tabela 7.3:** Efektivne doze zaradi uživanja nekaterih vrst hrane in njihovi relativni deleži, izračunane z uporabo obeh postopkov pri računanju povprečnih specifičnih aktivnosti radionuklidov.

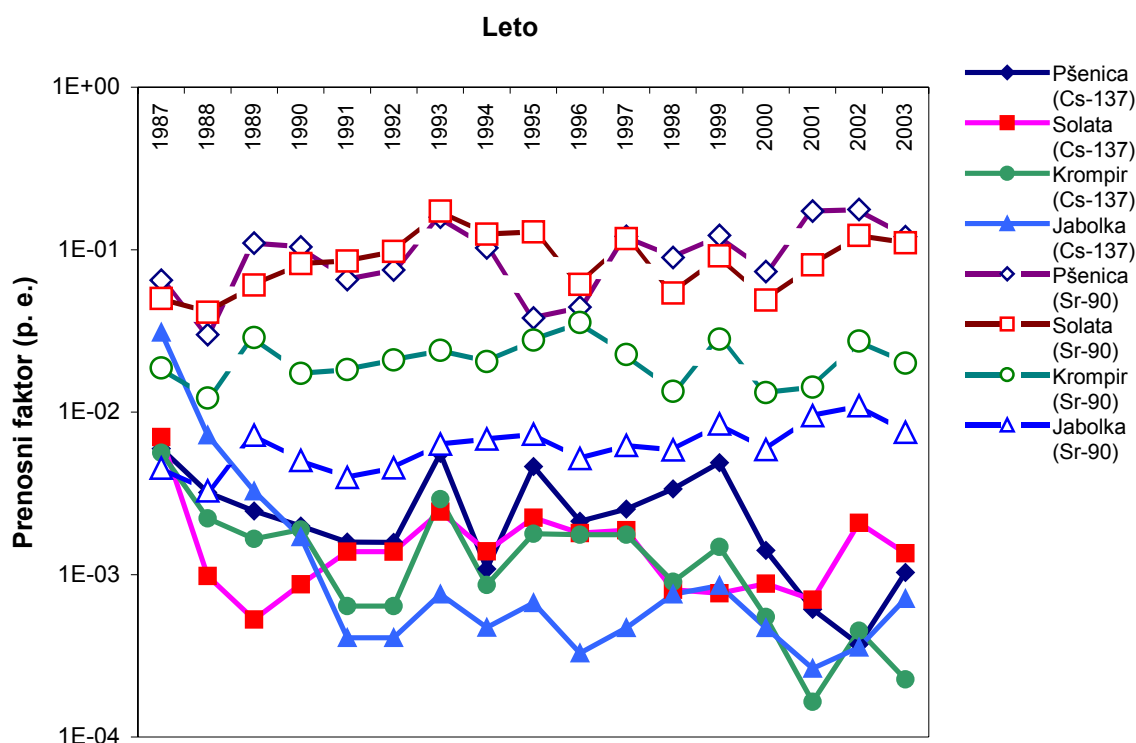
	$E_{50}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ )	Delež (%)	$E_{50}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ )	Delež (%)	Poraba (kg)
	Postopek 1		Postopek 2		
<b>Kokošja jajca</b>	8,7	2	5,7	2,2	10
<b>Goveje meso</b>	7,7	1,8	5,8	2,2	10
<b>Pšenica</b>	188,9	43,2	106,9	40,7	65
<b>Ječmen</b>	4,9	1,1	4,9	1,9	2
<b>Fižol v zrnju</b>	19,1	4,4	13,7	5,2	5
<b>Krompir</b>	26,7	6,1	26,7	10,2	21,6
<b>Solata</b>	3,9	0,9	3,5	1,3	5
<b>Jabolka</b>	14	3,2	8,8	3,3	13,5
<b>Vino</b>	2,4	0,5	2,1	0,8	7,9 L
<b>Mleko in mlečni izdelki</b>	50,4	11,5	50,4	19,2	85

Če upoštevamo prvi postopek za izračun doze pri ingestiji hrane, lahko ugotovimo, da so deleži doz zaradi radionuklidov Cs-137, Sr-90/Sr-89 in Pb-210 glede na celotno učinkovito dozo, večji, kot če uporabimo drugi postopek. Deleži omenjenih radionuklidov v sadju, povrtninah, poljščinah in mesu so zbrani tabeli 7.2. Opazimo lahko, da so deleži doz radionuklidov Sr-90/Sr-89, K-40 in Pb-210 v različnih vrstah hrane zelo različni, saj so prispevki umetnih radionuklidov zanemarljivi, med naravnimi pa izstopata K-40, še posebej v poljščinah in povrtninah, ter Pb-210 v sadju in povrtninah.

V tabeli 7.3 so prikazane efektivne doze, ki jih prebivalci dobijo pri uživanju posameznih vrst hrane, njihovi relativni deleži glede na celotno učinkovito dozo in ocena porabe posameznih živil odraslega človeka na leto. Razberemo lahko, da glede na delež celotne efektivne doze med živili izstopa



pšenica. To lahko pojasnimo s tem, da je poraba pšenice na prebivalca sorazmerno velika, prav tako pa so v rastlini zastopani prav vsi umetni in naravni radionuklidi razen Be-7. Ta radionuklid se nasploh med vsemi radionuklidi v hrani najredkeje pojavlja, njegove specifične aktivnosti so primerjavi z drugimi radionuklidi nizke, dozna obremenitev pa je prav tako najmanjša. Nizke koncentracije Be-7 v hrani potrjujejo domnevo, da rastlina pretežno absorbira radionuklide preko črpanja preko korenin in da je foliarni vnos radionuklidov v rastlino zanemarljiv. Pri vsaki vrsti hrani je podan tudi izračun efektivne doze z različnima postopkoma pri računanju povprečij specifičnih aktivnosti radionuklidov, kar pa, kot to lahko razberemo iz tabele 7.3, ne predstavlja bistvene razlike.



**Slika 7.5:** Prenosni faktorji za Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v različnih vrstah hrane od leta 1987 do 2003. S prekinjenimi črtami so prikazani prenosni faktorji za Sr-90/Sr-89, z neprekinjenimi črtami pa prenosni faktorji za Cs-137.

#### d) OCENA VPLIVOV IN ZAKLJUČKI

V letu 2003 je bilo opravljenih 40 meritev različnih vrst hrane iz neposredne okolice NEK. Poljščine, povrtnine in sadje smo vzorčevali od junija do oktobra, odvzem mesa je bil v novembru in decembru, mleko pa so sodelavci ZVD vzorčevali kontinuirno in analizirali mesečno.

Izračuni efektivnih doz zaradi uživanja hrane, ki vsebuje umetne in naravne radionuklide, so pokazali, da je celotna efektivna doza zaradi umetnih radionuklidov v hrani 0,3 % celotne efektivne doze zaradi vseh radionuklidov v hrani. Pri tem je celotna efektivna doza zaradi Cs-137 pri ingestiji hrane 0,3  $\mu\text{Sv}$  na leto, celotna efektivna doza zaradi Sr-90/Sr-89 pa 0,9  $\mu\text{Sv}$  na leto. Prisotnost Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v hrani pripisujemo kontaminaciji okolja zaradi jedrskih poskusov in nesreče



v Černobilu. V podatkih o zračnih izpustih NEK lahko zasledimo tudi druge umetne radionuklide, ki pa jih v hrani nismo detektirali, kar pomeni, da vpliv zračnih izpustov NEK v hrani ni določljiv. Zaradi uživanja hrane, ki je bila pridelana ali predelana na krško-brežiškem polju, znaša efektivna doza  $262 \pm 44 \mu\text{Sv}$ . To pojasnimo s tem, da se zaradi drugačne metodologije obravnave specifičnih aktivnosti zmanjša povprečna specifična aktivnost Pb-210 v hrani, ki ima v primerjavi z drugimi radionuklidi velik dozni faktor. Na podlagi rezultatov meritev aktivnosti sevalcev gama v hrani, zemlji in deževnici lahko ugotovimo, da sta v deževnici stalno prisotna Cs-137 in Sr-90/Sr-89. Pri primerjavi rezultatov meritev sevalcev gama v hrani, opravljenih v letu 2003, glede na prejšnja leta, ni zaznati povečanja specifične aktivnosti radionuklidov K-40, Cs-137, Pb-210 in Sr-90/Sr-89. Na podlagi rezultatov meritev iz obdobja zadnjih 20 let smo ugotovili značilno eksponentno zmanjševanje specifičnih aktivnosti umetnih radionuklidov v hrani. To lahko pripišemo temu, da so atomi Cs-137 delno difundirali v globino, deloma pa prešli v kemijsko stabilnejše stanje, zato jih je rastlina preko korenin z leti črpala vse manj. To smo predstavili z sliko 7.5, kjer prikazujemo empirične prenosne faktorje za umetna radionuklida v različnih vrstah hrane kot funkcijo časa. Da poteka vnos radionuklidov v rastlino pretežno preko črpanja preko korenin, pa lahko podkrepimo še s primerjavami specifičnih aktivnosti Be-7 z ostalimi radionuklidi. Opazimo lahko, da je Be-7 v hrani redko prisoten in z majhnimi koncentracijami.

Na podlagi dolgoletnega monitoringa v okolici NE Krško in na podlagi podatkov Statističnega urada Republike Slovenije [21] lahko predlagamo, da se v letu 2005 uvede odvzem dodatnih vzorcev hrane, kot so: paprika, špinača, bučke, slive in med. Omenjena živila predstavljajo pomemben delež v prehranjevalni verigi prebivalcev na krško-brežiškem polju. Poleg tega predlagamo še, da se na lokacijah, kjer bodo odvzeta hranila, vzame tudi vzorec zemlje.

#### e) REFERENCE

[20] Human Health Fact Sheet, ANL, October 2001

[21] Statistične informacije, Statistični urad RS, št. 05, 30. julij 2002.



## OCENA LETNIH DOZ REFERENČNE SKUPINE ZA SAVSKE PRENOSNE POTI ZA LETO 2003

Pri vrednotenju vplivov jedrskih objektov na okolje predstavlja eno od osnovnih nalog ocenjevanje izpostavitve prebivalstva sevanju zaradi atmosferskih in tekočinskih izpustov radioaktivnih snovi. Pri normalnem obratovanju so izpuščene aktivnosti praviloma za zelo majhne, ki so običajno pod detekcijsko mejo meritev v okolju, zato je mogoče vplive ocenjevati le posredno. Izpostavitve prebivalstva se zato ocenjuje na podlagi neposrednih meritev izpustov (emisij) in z uporabo ustreznih modelov.

Za modelno oceno obremenitev, ki bi jih lahko prinesle zgolj prenosne poti, ki potekajo preko Save, je bila izbrana kot referenčna (t.j. tista, ki potencialno prejme najvišje doze) skupina brežiških športnih ribičev in članov njihovih družin.

V letu 2003 je bil izdelana na IJS nova metodologija za oceno doz pri izpostavitvi prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NE Krško v reko Savo (IJS-DP-8801) [22]. Recenzijo metodologije je opravil IRB. V novi metodologiji so identificirane glavne prenosne poti, načini izpostavitve in referenčne skupine za Slovenijo in Hrvaško. Izdelana je bila metoda, ki s pomočjo programa EXCEL omogoča oceno učinkovite doze referenčnih skupin in najbolj izpostavljenega prebivalca za glavne prenosne poti iz merjenih podatkov o inventarju izpuščenih radioaktivnih snovi in osnovnih podatkov o reki Savi. Nova metodologija je omejena izključno na tekočinske izpuste v reko Savo. Uporabna je le za celoletno vrednotenje vplivov, ne pa za primer akcidentalnega tekočinskega izpusta.

Mednarodni standardi in direktive Evropske unije pri podrobni oceni notranje izpostavitve prebivalstvo delijo na šest starostnih skupin z različnimi doznimi pretvorbenimi faktorji. Za oceno vplivov izpuščenih radioaktivnosti v okolje ob normalnem obratovanju jedrskega objekta se priporočila EU omejujejo na tri starostne skupine: 1 leto, 10 let in odrasli, ki smo jih privzeli tudi v novi metodologiji.

Zaradi kontinuitete s preteklimi poročili v zaključku podajamo tudi oceno prejetih doz, dobljeno po stari metodologiji s programom LADTAP (stare prenosne poti in faktorji porabe in starostne skupine).



a) **VHODNI PODATKI ZA OCENO PREJETIH DOZ  
RAZŠIRJENI INVENTAR LETNIH IZPUSTOV V LETU 2003**

**Tabela 8.1:** Emisijske vrednosti so vzete iz meritev NEK in IRB.

IZOTOP	IZPUST (Bq/leto)	IZOTOP	IZPUST (Bq/leto)
H! 3	1,03E+13	Ag! 110m	2,77E+6
F! 18	-	Sn! 113	-
Na! 24	-	Sb! 124	-
Cr! 51	-	Sb! 125	3,35E+7
Mn! 54	5,62E+5	Te! 123m	-
Fe! 55	1,03E+8	Te! 125m	-
Fe! 59	-	Te! 127m	-
Co! 57	-	Te! 129m	-
Co! 58	7,16E+7	Te! 132	-
Co! 60	1,27E+8	I! 129	-
Zn! 65	-	I! 131	-
Se! 75	-	I! 132	-
Sr! 85	-	I! 133	-
Sr! 89	-	I! 134	-
Sr! 90	2,46E+5	Cs! 134	1,91E+5
Y! 92	-	Cs! 137	1,49E+7
Zr! 95	2,84E+6	Cs! 136	-
Nb! 95	2,84E+6	Cs! 138	-
Nb! 97	2,00E+6	Xe! 131m	-
Mo! 99	-	Xe! 133	-
Tc! 99m	-	Xe! 133m	-
Kr! 85	-	Xe! 135	-
Kr! 85m	-	Xe! 135m	-
Kr! 87	-	Ba! 140	-
Kr! 88	-	La! 140	-
Rb! 88	-	Ce! 141	-
Ru! 103	-	Ce! 144	-
Ru! 106	-	Hg! 203	-

Od naštetih radionuklidov v izračunih doz po novi metodologiji in s programom LADTAP niso bili upoštevani žlahtni plini Xe! 131m, Xe-133, Xe-133m, Xe-135 in Kr-85m ter Te! 123m, ker zanje v LADTAP knjižnici ni doznih faktorjev in ker ne predstavljajo dejavnikov, ki bi bili pri ingestiji pomembni.

**Za izračun doz po novi metodologiji s pomočjo preglednice EXCEL so bili uporabljeni:**

- podatki o letnih izpustih radionuklidov iz poročil NEK (nadzorni tanki in kaluža uparjalnikov);
- razredčitveni faktor in prirastek h koncentraciji na posameznih mestih je izračunan tako, da celotno vsebino WMT razredčimo v letni količini pretočene Save;
- podatki o povprečnem pretoku reke Save v Brežicah, 130 m<sup>3</sup>/s v letu 2003;
- generična vrednost za koncentracijo suspendirane snovi 5,0 E-2 kg/m<sup>3</sup>.



**Za izračun doz po stari metodologiji s programom LADTAP so bili uporabljeni:**

- podatki o letnih izpustih radionuklidov iz poročil NEK (nadzorni tanki in kaluža uparjalnikov);
- povprečni razredčitveni faktor, določen iz razmerja letnih povprečnih specifičnih aktivnosti H-3 (letna aktivnost  $1,03 \text{ E}+13 \text{ Bq}$  in količina izpuščene vode iz WMT je  $1850 \text{ m}^3$ ) v izpustnih tankih NEK, ki znašajo  $5,56 \text{ GBq/m}^3$ , in letnih povprečnih izmerjenih narastkov specifičnih aktivnosti H-3 v Brežicah ( $1,53 \text{ kBq/m}^3$ ). Iz povprečne koncentracije H-3 in povprečnega narastka koncentracije H-3 v Brežicah smo naredili oceno za faktor razredčitve D, ki znaša  $3,7 \text{ E}+6$  v letu 2003. Za primerjavo smo uporabili tudi faktor razredčitve, vzet v preteklih letih;
- program LADTAP za oceno učinkovite doze, prirejen z novejšimi doznimi faktorji za učinkovito dozo iz ref. [4] ter
- realni podatki in za primerjavo najbolj konzervativni vhodni podatki po priporočilih IAEA ali ocenjeni iz varnostnega poročila.

**b) RAZREDČITVENI FAKTOR, UPORABLJEN V PROGRAMU LADTAP IN V NOVI METODOLOGIJI**

V letu 2003 je bil razredčitveni faktor  $D = 3,7 \text{ E}+6$  izračunan na podlagi izmerjenega povprečnega letnega narastka H-3 v Savi pri Brežicah in letne razredčitve WMT.

Zelo podobno vrednost za razredčitveni faktor  $2,21 \text{ E}+6$  dobimo tudi iz preprostega preračuna ob predpostavki, da razredčimo celotno vsebino WMT v letni količini pretočene Save (upoštevali smo povprečni pretoka Save  $130 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Slednji razredčitveni faktor je uporabljen tudi v novi metodologiji. Tako ocenjeni razredčitveni faktor se le malo razlikuje od razredčitvenega faktorja, ki smo ga dobili iz izmerjenih vrednosti.

Izmerjeni razredčitveni faktor je šestkrat višji kot faktor v preteklih letih ( $3,4 \text{ E}+5$ ). Slednji je bil privzet iz leta 1997 zaradi nezanesljivih izmerkov H-3 v Brežicah iz preteklih let.

Za primerjavo je podana tudi najneugodnejša ocena iz Končnega varnostnega poročila (FSAR) [24], ki je enaka kot vrednost iz leta 1997. Za oceno učinkovite doze sta uporabljena izmerjeni ( $3,7 \text{ E}+6$ ) in konzervativni razredčitveni faktor ( $3,4 \text{ E}+5$ ).

Te vrednosti lahko podobno kot v preteklih letih prevedemo v "dimenzionalno obliko", s tem da jih pomnožimo z letnim volumnom WMT v ( $\text{m}^3$ ), kar nam da letni volumen savske vode, s katero je bil v letnem povprečju razredčen letni inventar emitiranih radionuklidov (Bq).



### OCENJENI RAZREDČITVENI FAKTOR ZA BREŽICE

	D	(m <sup>3</sup> )	FSAR (m <sup>3</sup> )
1983	1,8 E+5	11,3 E+8	<b>6,3 E+8</b>
1984	5,9 E+5	30 E+8	
1985	4,4 E+5	16 E+8	
1986	3,5 E+5	12 E+8	
1987	5,2 E+5	17 E+8	
1988	4,0 E+5	12,5 E+8	
1989	4,0 E+5	12,5 E+8	
1990	3,2 E+5	7,5 E+8	
1991	3,3 E+5	4,9 E+8	
1992	3,3 E+5	6,4 E+8	
1993	3,5 E+5	7,3 E+8	
1994	2,5 E+5	40 E+8	
1995	3,4 E+5	6,2 E+8	
1996	3,0 E+5	5,6 E+8	
1997	<b>3,4 E+5</b>	<b>6,3 E+8</b>	
1998	3,4 E+5	5,5 E+8	
1999	3,4 E+5	6,7 E+8	
2000	3,4 E+5	6,4 E+8	
2001	3,4 E+5	5,8 E+8	
2002	1,77 E+6	3,6 E+9	
<b>2003</b>	<b>3,7 E+6</b>	<b>6,8 E+9</b>	

#### c) FAKTORJI PORABE

##### *NOVA METODOLOGIJA*

Podrobne podatke o navadah ribičev smo dobili od gospodarja Ribiške družine Brestanica – Krško. Ribiška družina šteje 150 članov, od tega jih je bilo v letu 2002 aktivnih 120. Letno jim je dodeljenih 1500 lovnih dni, maksimalno 45 dni na posameznika. Omejitev dnevnega ulova je 2 kg rib. V letu 2002 je 120 aktivnih ribičev ujelo 927 kg rib. Iz teh podatkov smo v tabeli 8.2 ocenili povprečni in maksimalni čas, ki ga ribič preživi na bregu, ter povprečno in maksimalno količino ujetih rib. Po informaciji gospodarja ribiške družine morda tretjina ribičev uživa ujete ribe. Ti ribiči predstavljajo referenčno skupino, ki šteje 36 ljudi.

**Tabela 8.2:** Značilnosti referenčne skupine in maksimalno izpostavljenega posameznika za Slovenijo in Hrvaško, uporabljene v novi metodologiji

	Referenčna skupina		Maksimalno izpostavljeni posameznik	
	Slovenija	Hrvaška	Slovenija	Hrvaška
čas, ki ga ribič preživi na bregu	<b>200 ur</b>	<b>200</b>	<b>500 ur</b>	<b>500 ur</b>
čas, ki ga ob ribiču preživi njegov otrok	<b>100 ur</b>	<b>100 ur</b>	<b>250 ur</b>	<b>250 ur</b>
letna poraba rib iz Save – ribič	<b>10 kg</b>	<b>36</b>	<b>45 kg</b>	<b>45 kg</b>
letna poraba rib iz Save - otrok	<b>3 kg</b>	<b>5 kg</b>	<b>10 kg</b>	<b>10 kg</b>
velikost referenčne (kritične) skupine	<b>36 ljudi</b>	-	-	-





Za oceno izpostavljenosti pri pitju savske vode (malo verjetna prenosna pot) smo uporabili podatke za porabo Evropske Unije: 260 l/leto (otroci 1-2 leti), 350 l/leto (mladinci 7-12 let) in 600 l/leto (odrasli >17 let).

### LADTAP

Faktorji porabe za LADTAP so bili izbrani ali ocenjeni skrajno konservativno in so razvidni iz tabele 8.3. Izbrane so bile večje vrednosti izmed virov v referencah [24] in [25] razen v primeru porabe vode za dojenčke, porabe rib za odrasle in mladince ter čas, prebit na obrežju, za slednji starostni grupi, ko so bile naše ocene višje in zato uporabljene.

**Tabela 8.3:** Poraba in čas zadrževanja uporabljeni v programu LADTAP.

	odrasli	mladinci	otroci	dojenčki
poraba rib kg/leto	36	30	6,9	0
poraba vode l/leto	760	510	510	220
čas na obrežju h/leto	650	69	14	14
plavanje h/leto	12	69	14	0

## d) REZULTATI NOVE METODOLOGIJE

Od številnih možnih prenosnih poti smo za prebivalce v okolici NEK kot najverjetnejše identificirali tiste, ki so navedeni v tabeli 8.4. Po dostopnih informacijah napajanje živine in zalivanje pridelkov z rečno vodo nista značilnosti tega področja, zato ju nismo podrobneje analizirali. Direktno pitje rečne vode prav tako ni realno zaradi onesnaženosti reke.

**Tabela 8.4:** Načini in poti izpostavitve v okolici NEK.

Način izpostavitve	Pot izpostavitve
zunanje obsevanje	<b>zadrževanje na bregu</b> plavanje
ingestija	<b>ribe</b> rečna voda pitna voda iz Save (Zagreb) <i>napajanje živine (meso, mleko)</i> <i>zalivanje pridelkov</i>



Analiza izpostavitve s programom PC-CREAM je pokazala, da do najvišjih izpostavitve pride zaradi zadrževanja na bregu in uživanja rečnih rib. Oboje je značilno za ribiče, ki v našem primeru predstavljajo referenčno (kritično) skupino.

Ocenjevali smo tudi izpostavitve pri plavanju v reki Savi, vendar se ta prenosna pot zdi malo verjetna, saj je savski breg pod NEK težko dostopen in neprijazen. Mnogo verjetneje je kopanje v reki Krki. Razčlenitev prejetih doz po prenosnih poteh je podana v preglednici 8.1.

#### e) REZULTATI PROGRAMA LADTAP

Razčlenjen izračun efektivnih enakovrednih doz za odrasle, mladince, otroke in dojenčke po posameznih prenosnih poteh je razviden iz preglednice 8.2a in 8.2b, kjer smo uporabili izmerjeni in konzervativni razrečitveni faktor. Poleg "standardne prenosne poti", ki vključuje dejansko pet ločenih prispevkov (ribe, voda, zadrževanje na obali, čolnarjenje, plavanje (glej tabelo 8.3), lahko ocenimo še dve:

- napajanje živine s savsko vodo in pitje mleka te živine;
- napajanje živine s savsko vodo in uživanje mesa te živine.

Izračunane efektivne doze za našeti dodatni prenosni poti so posebej navedene v preglednicah 8.2a in 8.2b.

#### f) ZAKLJUČEK

Rezultati prejetih doz z novo metodologijo ob največjih predpostavkah porabe (Preglednica 8.1) nam dajo vrednosti, **manjše od 0,1  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$**  kar je tudi primerljivo z rezultati dobljenimi na podlagi meritev koncentracij radionuklidov v vzorcih iz okolja (primerjava v poglavju Reka Sava).

Iz rezultatov prejetih doz po stari metodi s programom LADTAP z upoštevanjem **izmerjenega razrečitvenega** faktorja je razvidno, da je efektivna doza za standardno prenosno pot prav tako manjša od **0,1  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$**  za najbolj obremenjeno starostno skupino. Primerjava doz, narejenih iz preračunov v preteklih letih ob upoštevanju **konzervativnega razrečitvenega** faktorja, kaže vrednosti istega velikostnega reda. Iz preglednice 8.2b je razvidno, da je efektivna enakovredna doza za **standardno prenosno pot**  $< 0,5 \mu\text{Sv}/\text{leto}$  za katero koli starostno skupino.

**Preglednica 8.1: EFEKTIVNA ENAKOVREDNA DOZA POSAMEZNIKA IZ REFERENČNE SKUPINE PREBIVALSTVA V BREŽICAH ( $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ ) ZA LETO 2003 PO NOVI METODOLOGIJI [22].  
Upoštevamo maksimalno izpostavljenega posameznika (ekstremna poraba).**

Starostna skupina	Prenosna pot	
	Standardna Brežice (rečni breg in ingestija ribe)	Pitje savske vode Brežice
odrasli (>17 let)	0,028	0,027
mladinci (od 7 do 12 let)	0,012	0,02
otroci (od 1 do 2 let)	0	0,032



**Preglednica 8.2a: EFEKTIVNA ENAKOVREDNA DOZA POSAMEZNIKA IZ REFERENČNE SKUPINE PREBIVALSTVA V BREŽICAH ( $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ ) ZA LETO 2003 PO STARI METODOLOGIJI (*PROGRAM LADTAP*) OB UPOŠTEVANJU IZMERJENEGA RAZREČITVENEGA FAKTORJA  $D = 3,7 \text{ E}+6$ .**

Starostna skupina	P r e n o s n a p o t			
	standardna	mleko	meso	skupaj
odrasli (>17 let)	<b>0,03</b>	0,02	0,006	<b>0,05</b>
mladinci (od 7 do 12 let)	0,02	0,02	0,003	<b>0,04</b>
otroci (od 1 do 2 let)	<b>0,04</b>	0,03	0,003	<b>0,07</b>
dojenčki (<1 leta)	0,02	-	-	<b>0,02</b>

**Preglednica 8.2b: EFEKTIVNA ENAKOVREDNA DOZA POSAMEZNIKA IZ REFERENČNE SKUPINE PREBIVALSTVA V BREŽICAH ( $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ ) ZA LETO 2003 PO STARI METODOLOGIJI (*PROGRAM LADTAP*) OB UPOŠTEVANJU IZMERJENEGA KONZERVATIVNEGA RAZREČITVENEGA FAKTORJA  $D = 3,4 \cdot 10^5$ .**

Starostna skupina	P r e n o s n a p o t			
	standardna	mleko	meso	skupaj
odrasli (>17 let)	<b>0,27</b>	0,09	0,03	<b>0,39</b>
mladinci (od 7 do 12 let)	0,18	0,11	0,02	<b>0,31</b>
otroci (od 1 do 2 let)	<b>0,41</b>	0,25	0,03	<b>0,69</b>
dojenčki (<1 leta)	0,23	-	-	<b>0,23</b>

Oceno učinkovite enakovredne doze posameznika iz referenčne skupine prebivalstva po stari metodologiji s programom LADTAP bomo v prihodnje opustili.

## g) REFERENCE

- [22] Izpostavitve prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NE Krško v reko Savo, IJS-DP-8801 (2003)
- [23] M.Pavšič, A.Trkov: Ocenjevanje doz s programom LADTAP, IJS-DP-3897 (84).
- [24] NEK Final Safety Analysis Report.
- [25] Users Manual for the LADTAP Program.
- [26] Principles for Establishing Limits for the Release of Radioactive Materials into Environment Annex 1982, IAEA Safety Series No. 45.





## PROGRAM B

### a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST IN MERITEV

Meritve nadzornega dela programa B so namenjene dodatnemu preverjanju oziroma dopolnjevanju emisijskih meritev na izvoru, ki jih stalno opravljajo službe NEK, in jih razvrščamo na

- primerjalne rutinske meritve tekočinskih in zračnih izpustov (vključno s kratkoživimi izotopi, merjenimi v ELME "in situ") radiološkega laboratorija NEK z meritvami neodvisnih merilnih sistemov in moštav;
- nadzorne specifične meritve elementov, ki jih NEK rutinsko ne opravlja:
  - Sr-90/Sr-89 in Fe-55 v alikvotno sestavljenih mesečnih vzorcih tekočinskih izpustov iz WMT-jev in SGBD-jev, meritve je opravil IRB;
  - H-3 in C-14 v zračnih izpustih dimnika, štirinajstdnevni kontinuirano zbirani vzorci za analize H-3 (T) v vodnih hlapih (HTO), vodiku (HT) ter tritiranih ogljikovodikih ( $\text{CH}_3\text{T}$ ) in analize C-14 v ogljikovem dioksidu ( $^{14}\text{CO}_2$ ) ter ogljikovodikih ( $^{14}\text{CH}_4$ ) oziroma neoksidiranem ogljiku so se na IJS analizirali mesečno;
  - Sr-90/Sr-89 v sestavljenih vzorcih partikulatnih filtrov, radiokemijske analize Sr-90 na sestavljenih trimesečnih vzorcih, meritve je opravil IJS;
- določanje povprečnih mesečnih tekočinskih izpustov na podlagi analiz na visokoločljivostni spektrometriji gama, analize karakterističnih rentgenskih žarkov ter specifičnih analiz H-3 alikvotno sestavljenih reprezentančnih mesečnih vzorcev iz izpustnih tankov (WMT) in kaluže uparjalnikov (SGBD), meritve je opravil IRB, ter
- meritve na izvoru zračnih izpustov, visokoločljivostna spektrometrija gama v partikulatnih filterih, meritve je opravil IJS.

Rezultati primerjalnih meritev iz prve točke, opravljenih v septembru, novembru in decembru, so podani v ustreznih tabelah posebnih poročil ROMENEK 1/03 (IJS-DP-8818), ROMENEK 2/03 (IJS-DP-8865) in ROMENEK 3/03 (IJS-DP-8910). Podrobno poročilo o organizaciji, pripravljenosti in delu ELME v letu 2003 je v Poročilu za leto 2003 - Radiološki del (IJS-DP-8913).

Vse meritve iz druge, tretje in četrte točke so bile v letu 2003 redno izvedene. Rezultati meritev NEK tekočinskih izpustov v preglednici 9.1, rezultati meritev NEK in IJS za zračne izpuste pa v preglednici 4.2a, b. Podrobni rezultati so v zbirnem poročilu Poročilo o radioaktivnih emisijah iz NE Krško za leto 2003, ki ga je pripravil NEK.

### b) OBRAVNAVA REZULTATOV

Obravnavanje rezultatov meritev je podana v ustreznih predhodnih poglavjih o zračnih in tekočinskih emisijah. Ovrednotenje primerjalnih meritev, ki jih je izvedel ELME, je v posebnem poročilu o pripravljenosti ELME in v posameznih poročilih ROMENEK.

Vzporedne primerjalne meritve izpustnih tankov (WMT) in kaluže uparjalnikov (SGBD) kot tudi meritve radionuklidov Fe-55 in Sr-90/Sr-89 v WMT in SGBD je tudi v letu 2003 izvajal IRB.

V preglednici 9.1 je podan pregled tekočinskih izpustov v reko Savo v letu 2003; rezultati so povzeti iz rednih mesečnih poročil o radioaktivnih emisijah iz NE Krško.



## c) OCENA VPLIVOV

### ZRAČNI IZPUSTI

Meritve emisij na izpuhu NEK (Preglednica 4.2a, 4.2b, dela A1 in A2) in podatki o izračunanih povprečnih razredčitvenih faktorjih, ki jih je za posamezne mesece in mesta v okolici NEK pripravila Agencija RS za okolje, nam omogočajo, da izračunamo prispevek zaradi inhalacije in imerzije k letni efektivni dozi za prebivalstvo v okolici NEK zaradi zračnih emisij NEK. V preglednicah 4.2a in 4.2b (dela B1 in B2) so zbrani prispevki efektivni dozi od posameznih radionuklidov v zračnih emisijah NEK, izračunani za odraslega človeka v naselju Spodnji Stari Grad, v preglednici 4.2c pa ocene inhalacijskih in imerzijskih doz ter skupna (ocenjena) doza za odrasle (starost >17 let) in otroke (starost 1-2 let) za mesta v okolici NEK in referenčno točko (500 m).

Iz preglednic 4.2a, b lahko razberemo, da je skoraj celotna inhalacijska doza posledica zračnih emisij ogljika C-14 in tritija. Prispevek ogljika C-14 je bil v letu 2003 približno 50 % večji kot v letu 2002 in je znašal 0,14  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ , prispevek tritija pa je ostal približno na ravni iz leta 2002 in je znašal 0,10  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ . Prispevki vseh ostalih radionuklidov, ki so bili detektirani v hlapih, plinih in partikulatih, so bistveno manjši od prispevkov ogljika C-14 in tritija tako, da celotna inhalacijska predvidena efektivna doza zaradi emisij NEK za odraslega človeka v naselju Stari Spodnji Grad znaša 0,24  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ . Za otroka, starega med 1 in 2 leti, je celotna inhalacijska predvidena efektivna doza 0,12  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ . Ocenjene inhalacijske doze za odraslega človeka v referenčni točki (500 m) je 0,52  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ .

Pri imerzijski dozi sta prevladujoča približno enaka prispevka argona Ar-41 in ksenona Xe-131m (skupaj skoraj 75 % imerzijske doze), pomemben pa je tudi prispevek kratkoživega Xe-135 (20 %) predvsem zaradi količine ksenona, sproščene ob preprihovanju zadrževalnega hrama ob začetku letnega remonta. Preostala dva detektirana radionuklida ne prispevata bistveno k imerzijski dozi, ki je enaka za vse starostne skupine in znaša 0,004  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ . V referenčni točki (500 m) je imerzijska doza 0,009  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ .

Skupna efektivna doza za odraslega človeka v Spodnjem Starem Gradu, ki je posledica inhalacije in imerzije, je bila v letu 2003 0,25  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ , za otroka v starosti od enega do dveh let pa 0,12  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ . Na drugih lokacijah okrog NEK, razen v referenčni točki, kjer je skupna efektivna doza za odraslo osebo 0,53  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$  in za otroka v starosti ena do dveh let 0,17  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ , so bile te doze še manjše.

Čeprav so se inhalacijske doze nekoliko povečala v odnosu na leto 2002 (predvsem na račun večjih emisij ogljika C-14, so se istočasno zmanjšale imerzijske doze tako, da se skupne efektivne doze ne razlikujejo bistveno od doz iz leta 2002.

K ingestijski dozi zaradi prehoda radionuklidov iz zraka v rastline, ki jih uživajo ljudje in živali, odločujoče prispeva radionuklid C-14 v obliki  $^{14}\text{CO}_2$ , v kateri lahko edino vstopa v prehrabeno verigo. Pri enoletnem otroku je glavna prenosna pot uživanje mleka, pri vseh ostalih skupinah pa uživanje žitaric. Primerjava izpustov NEK in drugih elektrarn omogoča, da prevzamemo modelsko oceno za letno predvideno efektivno dozo, ki je posledica zračnega prenosa ogljika C-14, od drugih elektrarn. Za vse navedene starostne skupine je ocenjena vrednost približno 1  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ , kar kaže, da je prispevek ingestije C-14 k efektivni dozi najpomembnejši od vseh prispevkov zračnih emisij NEK.

Vsi zračni izpusti iz NEK, preračunani na proizvedeno enoto električne energije, so bili tudi v letu 2003 bistveno manjši od povprečja EU, razen emisij tritija, ki so to povprečje presegle za skoraj 100 % in emisij ogljika C-14, ki so primerljive z emisijami drugih elektrarn.



## TEKOČINSKI IZPUSTI

V reko Savo je bilo izpuščenih 1850 m<sup>3</sup> vode iz WMT in 4700 m<sup>3</sup> iz SGBD. Primerjava z letom 2002 (2060 m<sup>3</sup> iz WMT in 2700 m<sup>3</sup> iz SGBD) kaže zmanjšanje volumna iz WMT in povečanje volumna izpuščene vode iz SGBD.

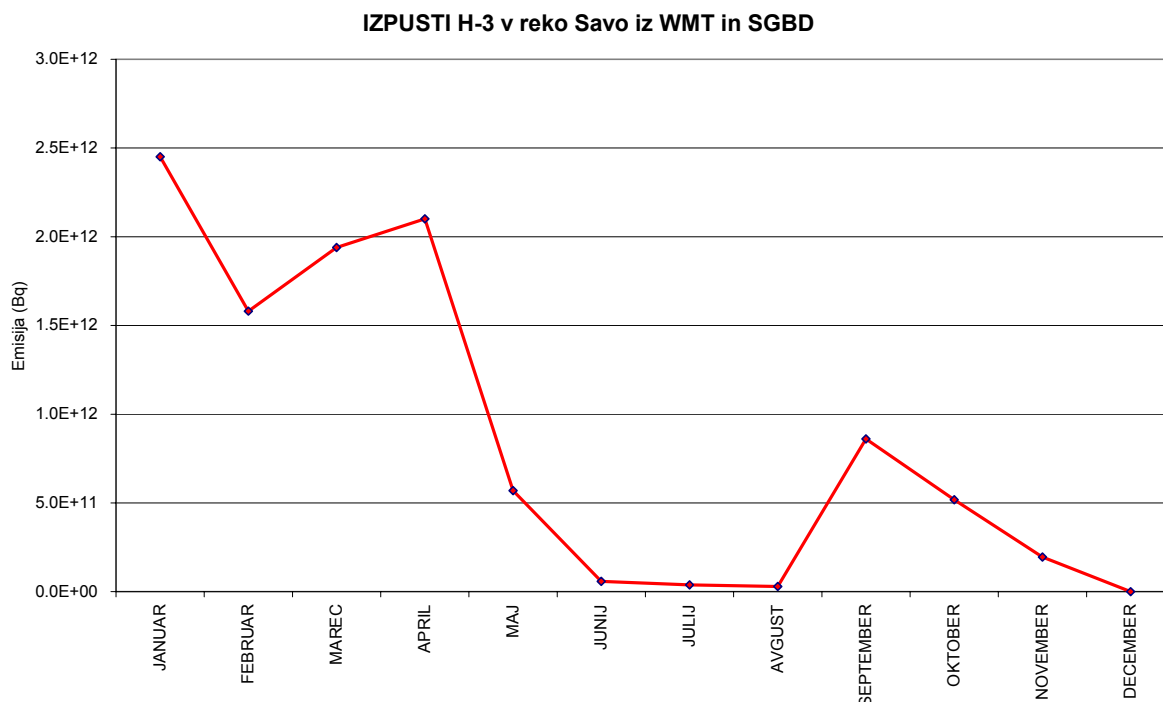
Meritve nerazredčenih efluentov v WMT zadrževalnikih in meritve kaluž uparjalnikov, ki jih je opravil NEK, so v letu 2003 pokazale nižje emisije kot v predhodnem letu. Tekoči izpusti H-3 v letu 2003 so bili 1,03 E+13 Bq/leto, kar lahko primerjamo z preteklimi leti: 1,32 E+13 Bq (2002), 5,0 E+12 Bq (2001), 1,1 E+13 (2000). V letošnjem letu ni bilo opaziti izrazitejših mesečnih skokov kakor v preteklem letu (slika 9.1). Normaliziran izpust H-3 glede na količino proizvedene energije je tako znašal **2,08 GBq/GWh** (letna proizvodnja 4,96 TWh).

Primerjava tekočih izpustov H-3 glede na proizvedeno električno energijo kaže primerljive vrednosti, kot v državah EU z PWR elektrarnami (leta 1999 je znašal povprečen normalizirani izpust 2,14 GBq/GWh za PWR reaktorje).

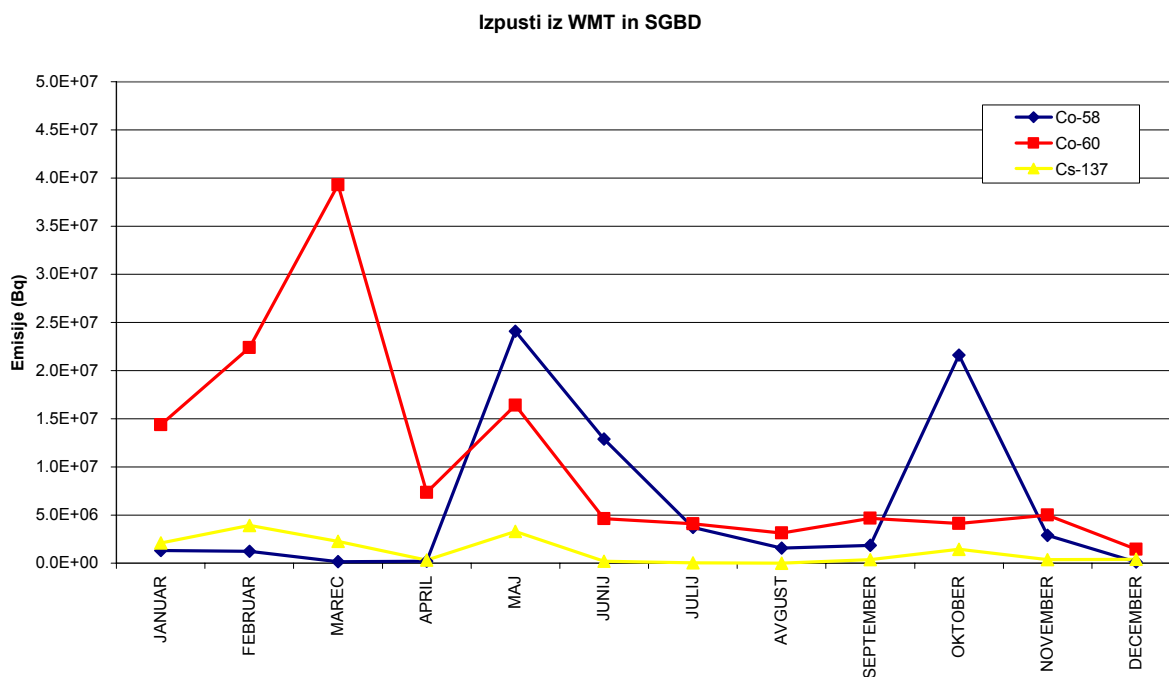
Letna omejitev tekočih izpustov H-3 v NEK znaša 2,0 E+13 Bq/leto. Omejitev za ostale radionuklide je 100 krat nižja.

Analize Sr-90/Sr-89 v alikvotnih tekočih vzorcih so dale oceno velikosti emisij 2,5 E+5 Bq/leto (meritve IRB), kar lahko primerjamo z naslednjimi vrednostmi v preteklih letih: 1,92E+5 Bq/leto (2002); 4,1E+5 Bq/leto (2001); 3,0E+5 Bq/leto (2000); 2,2E+5 Bq/leto (1999); 1,1E+5 Bq/leto (1998); 2,5E+5 Bq/leto (1997); 9,0E+5 Bq/leto (1996); 2,4E+5 Bq/leto (1995); 5,7 E+5 Bq/leto (1994); 1,1 E+5 Bq/leto (1993) in 4,3 E+4 Bq/leto (1992, 1991).

Mesečni izpusti kobalta in cezija so podani na sliki 9.2. Skupna aktivnost izpuščenega Co-60 v reko Savo znaša 1,27 E+8 Bq/leto (v letu 2002: 4,44E+8 Bq/leto - meritev IRB) in aktivnost izpuščenega Cs-137 1,49 E+7 Bq/leto (v letu 2002: 1,63E+7 Bq/leto – meritev IRB).



**Slika 9.1:** Izpusti H-3 v reko Savo. Največ izpustov so izvedli v prvi polovici leta.



**Slika 9.2:** Izpusti Co-58, Co-60 in Cs-137 v reko Savo.



**Preglednica 9.1: Pregled tekočinskih izpustov v reko Savo - meritve NEK**  
 - rezultati povzeti iz rednih mesečnih poročil o radioaktivnih emisijah iz NE Krško

WMT - MESEČNI IZPUST - voda + filter (Bq)

IZOTOP	m3	Cr-51	Mn-54	Fe-59	Co-57	Co-58	Co-60	Zn-65	Zr-Nb-95	Nb-97	Ru-103	Ru-106	Ag-110m	Sn-113	Sb-124	Sb-125	Te-123m	I-131
JANUAR	1,18E+02		2,88E+05			1,31E+06	1,44E+07										1,28E+06	
FEBRUAR	1,36E+02					1,23E+06	2,24E+07			1,31E+06							1,12E+07	
MAREC	1,46E+02		4,96E+04			1,69E+05	3,93E+07			3,62E+05							9,12E+06	
APRIL	3,86E+02					2,01E+05	7,37E+06											
MAJ	4,02E+02		1,79E+05			2,41E+07	1,64E+07		5,29E+05				2,77E+06					
JUNIJ	1,19E+02					1,29E+07	4,63E+06										2,22E+06	
JULIJ	5,21E+01					3,72E+06	4,10E+06		9,34E+04									
AVGUST	4,33E+01					1,56E+06	3,12E+06											
SEPTEMBER	1,14E+02		4,58E+04			1,84E+06	4,68E+06											
OKTOBER	2,30E+02					2,16E+07	4,12E+06										1,19E+07	
NOVEMBER	5,94E+01					2,88E+06	5,00E+06		3,34E+05									
DECEMBER	4,81E+01					1,19E+05	1,44E+06											
LETNA VSOTA	1,85E+03		5,62E+05			7,16E+07	1,27E+08		2,84E+06	2,00E+06			2,77E+06			3,35E+07		

SGBD - MESEČNI IZPUST - voda + filter (Bq)

IZOTOP	m3	Cr-51	Mn-54	Fe-59	Co-57	Co-58	Co-60	Zn-65	Zr-Nb-95	Nb-97	Ru-103	Ru-106	Ag-110m	Sn-113	Sb-124	Sb-125	Te-123m	I-131
JANUAR																		
FEBRUAR																		
MAREC																		
APRIL																		
MAJ	5,70E+02																	
JUNIJ	1,96E+03																	
JULIJ																		
AVGUST	4,00E+02																	
SEPTEMBER	3,50E+01																	
OKTOBER																		
NOVEMBER	1,12E+03																	
DECEMBER	6,60E+02																	
LETNA VSOTA	4,7E+03																	

WMT +SGBD - MESEČNI IZPUST - voda + filter (Bq)

IZOTOP	m3	Cr-51	Mn-54	Fe-59	Co-57	Co-58	Co-60	Zn-65	Zr-Nb-95	Nb-97	Ru-103	Ru-106	Ag-110m	Sn-113	Sb-124	Sb-125	Te-123m	I-131
JANUAR	1,2E+02		2,9E+05			1,3E+06	1,4E+07										1,3E+06	
FEBRUAR	1,4E+02					1,2E+06	2,2E+07			1,3E+06							1,1E+07	
MAREC	1,5E+02		5,0E+04			1,7E+05	3,9E+07			3,6E+05							9,1E+06	
APRIL	3,9E+02					2,0E+05	7,4E+06											
MAJ	9,7E+02		1,8E+05			2,4E+07	1,6E+07		5,3E+05				2,8E+06					
JUNIJ	2,1E+03					1,3E+07	4,6E+06		2,2E+06									
JULIJ	5,2E+01					3,7E+06	4,1E+06		9,3E+04									
AVGUST	4,4E+02					1,6E+06	3,1E+06											
SEPTEMBER	1,5E+02		4,6E+04			1,8E+06	4,7E+06											
OKTOBER	2,3E+02					2,2E+07	4,1E+06										1,2E+07	
NOVEMBER	1,2E+03					2,9E+06	5,0E+06		3,3E+05									
DECEMBER	7,1E+02					1,2E+05	1,4E+06											
LETNA VSOTA	6,60E+03		5,62E+05			7,16E+07	1,27E+08		2,84E+06	2,00E+06			2,77E+06			3,35E+07		





## MEDLABORATORIJSKE PRIMERJALNE MERITVE POOBLAŠČENIH IZVAJALCEV MONITORINGA V LETU 2003

Tabele z rezultati mednarodnih primerjalnih meritev in primerjalnih meritev pooblaščenih laboratorijev so na priloženi zgoščenci v datotekah:

**MednarodnePrimerjave2003.pdf** in **MedsebojnePrimerjave2003.pdf**.

### a) MEDNARODNE PRIMERJALNE MERITVE IN PREVERJANJA USPOSOBLJENOSTI LABORATORIJEV

V tabeli 10.1 je prikazano sumarno število medlaboratorijskih primerjav, pri katerih je sodelovala posamezna pogodbeno organizacija glede na vrsto analiziranih vzorcev. Odebeljene številke veljajo za udeležbo v mednarodnih primerjalnih meritvah, ležeče pa za sodelovanje v domačih medlaboratorijskih primerjalnih meritvah. V primerjavi z letom 2002 opazimo precejšnje spremembe pri številu udeležb v medlaboratorijskih meritvah. Pri IJS in IRB je večja udeležba pri mednarodnih in domačih medlaboratorijskih primerjalnih meritvah vzorcev vode. Istočasno je ZVD povečal svojo udeležbo v mednarodnih primerjalnih meritvah v vzorcih zraka in zemlje. V vseh primerih pa navedene spremembe niso bistveno vplivale na pokritje posameznih tipov vzorcev z ustreznimi medlaboratorijskimi primerjavami.

**Tabela 10.1:** Sodelovanje pooblaščenih organizacij v (**mednarodnih** / *domačih*) medlaboratorijskih primerjalnih meritvah glede na vrsto vzorca.

Tip vzorca	SODELUJOČA ORGANIZACIJA			
	IJS	IMI	IRB	ZVD
ZRAK	<b>2</b>			<b>2</b>
VEGETACIJA	<b>1</b>		<b>1</b>	<b>1</b>
ZEMLJA	<b>2 / 1</b>	<i>1</i>	<b>1 / 1</b>	<b>2 / 1</b>
SEDIMENT	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
VODA	<b>11 / 2</b>		<b>6 / 2</b>	
URIN	<b>4</b>			
MLEKO V PRAHU	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
VODNE RAZTOPINE S SOLMI	<b>9</b>			
Σ	<b>29 / 5</b>	<i>3</i>	<b>8 / 5</b>	<b>5 / 3</b>



Program kontrolnih meritev lahko razdelimo na tri področja:

1. Preverjanje usposobljenosti laboratorijev za meritve v okolju.
2. Preverjanje usposobljenosti laboratorijev za meritve izpustov (emisij). Emisije redno spremljata laboratorija NEK, ki preverjata svojo usposobljenost z meritvami vzorcev, ki jima pošilja Analytics (ZDA) z aktivnostmi radionuklidov, ki so sledljive do vrednosti nacionalnih standardov NIST (USA) in NLP (UK). Te meritve niso vključene v pričujoče ovrednotenje, rezultati teh preverjanj so objavljeni v Poročilu o radioaktivnih emisijah iz NE Krško za leto 2003. Laboratoriji pooblaščenih izvajalcev, ki izvajajo kontrolne meritve emisij, izvajajo svoje neodvisne meritve za preverjanje usposobljenosti.
3. Preverjanje usposobljenosti izvajalcev za meritve emisij, ki jih laboratoriji NEK ne izvajajo, zato jih pa NEK naroča pri pooblaščenih izvajalcih. To so meritve koncentracij Fe-55 in C-14 ter meritve Sr-89 in Sr-90 v aerosolih, ki so v izpuhu NEK.

V tabeli 10.2 je prikazano število primerjav po področjih, kot jih kontrolne meritve pokrivajo. V tej tabeli je podan le pregled mednarodnih primerjalnih meritev, saj program domačih primerjalnih meritev pooblaščenih laboratorijev obsega le primerjalne meritve vzorcev iz okolja.

**Tabela 10.2:** Sodelovanje pooblaščenih organizacij v mednarodnih medlaboratorijskih primerjavah glede na področje primerjave.

Področje	SODELUJOČA ORGANIZACIJA			
	IJS	IMI	IRB	ZVD
1	20		4	5
2	8		4	
3	1			

Med marcem in majem 2003 je Environmental Measurements Laboratory (EML) iz ZDA organiziral medlaboratorijske primerjave določanja radionuklidov v vzorcih zračnega filtra, zemlje, vegetacije in vode – Quality Assessment Program 58 [27]. IJS je sodeloval pri analizah vseh štirih tipov vzorcev, IRB pri analizi vzorcev vegetacije, zemlje in vode, ZVD pa pri analizah zračnega filtra, vegetacije in zemlje. V zračnih filterih so bile določene vrednosti radionuklidov Am-241, Co-60, Cs-37 in Mn-54. Ujemanje rezultatov IJS in ZVD z vrednostmi, podanimi s strani EML, je v vseh primerih v okviru 13 % ali boljše. Po kriterijih organizatorja so bili vsi podani rezultati sprejemljivi. Kljub temu pa velja omeniti, da je vzorec filtra deloval na pogled nehomogeno. Enako je bilo opaženo že v prejšnjih letih. Zaradi tega so na IJS analizirali vzorec v dveh različnih merilnih geometrijah, in sicer v geometriji normalnega filtra  $\Phi 47 \times 0,5$  mm in stisnjen filter z merilno geometrijo  $\Phi 8 \times 4$  mm. Zanimivo je, da so vsi rezultati izmerjeni na stisnjenem filtru za približno 10 % višji, kar potrjuje domnevo o nehomogenosti vzorca. Podatek je pomemben, vendar ne doprinese k boljšemu ujemanju rezultatov s podanimi vrednostmi. Omeniti je treba, da odstopanje verjetno odraža pomanjkljivo pripravo in karakterizacijo vzorcev s strani organizatorja in da organizator ne navaja sledljivosti svojih rezultatov k nacionalnim standardom. Ujemanje rezultatov merjenj vzorcev vegetacije za Am-241, Co-60, Cs-137 in K-40, podanih s strani IJS, ZVD in IRB, je bilo v primerjavi z vrednostmi organizatorja v okviru 10 %. Vsi rezultati so bili po kriterijih organizatorja sprejemljivi. Pozornost pa zahteva rezultat določitve Sr-90 na ZVD. Rezultat je za 30 % prenizek. Organizator je ta rezultat ZVD ovrednotil z opozorilom. Kljub temu pa mora ZVD raziskati razloge za prenizek rezultat (npr. korekcija kemijskega izkoristka ali podobno) in



zagotoviti, da prenizek rezultat ni stalen pojav pri tovrstnih meritvah. Pri rezultatih analize vode, ki sta jih podala IJS in IRB, je ujemanje za radionuklide Am-241, Co-60, Cs-134 in Cs-137 zelo dobro in za večino radionuklidov v mejah nekaj odstotkov. Slabše pa je ujemanje IRB rezultata za H-3, ki je v primerjavi z vrednostjo organizatorja prenizek za 18 % in Sr-90, ki je za 50 % previsok. Ta rezultat tudi po kriterijih organizatorja ni sprejemljiv. Ujemanje rezultatov IJS za H-3 in Sr-90 je v okviru 2 %. Nesprejemljiv pa je rezultat analize U-238, ki je za 34 % previsok. Razloge za ta odstopanja morajo laboratoriji sami analizirati in odstraniti. Rezultati analize zemlje podani s strani IJS so v okviru dobrih 10 %. Aktivnosti radionuklidov Bi-214 in Pb-214 so bile zopet določene na dva načina in sicer z maksimalno ekshalacijo radona in brez. Zaradi znanega problema pri določanju Bi-214 in Pb-214, je tudi rezultat ZVD za 16 % prenizek in sprejet z opozorilom. Ostali rezultati ZVD so vsi v okviru nekaj % in sprejemljivi. Rezultati analize zemlje podani s strani IRB za Am-241, Bi-214, Pb-214 in Sr-90 so bili sprejeti z opozorilom in zahtevajo analizo vzrokov in ustrezne korektivne ukrepe.

IJS je sodeloval tudi v jesenskem krogu medlaboratorijskih primerjalnih meritev EML vzorcev zračnega filtra, zemlje in vode, ZVD pri meritvah vzorcev zemlje in filtra ter IRB pri meritvi vzorca vode – EML Quality Assessment Program 59 (2003) [28]. Vsi rezultati so bili v primerjavi z vrednostmi organizatorja v okviru nekaj %. Ujemanje med rezultati IJS in ZVD pa je še boljše. Za določitev radionuklidov Am-241, Co-60, Cs-137, Mn-54 je IJS zopet podal po dva rezultata. Znova opažena nehomogenost vzorca (filtra) je razlog za razlike rezultatov dobljenih z merjenji ob različnih geometrijah in sicer tudi do 10 % in več. Kljub temu, da so bili vsi rezultati po kriterijih organizatorja sprejemljivi, so ti podatki pomembni, ker kažejo in opozarjajo na omejitve tovrstnih medlaboratorijskih primerjav in določene pomankljivosti predvsem v strogem metrološkem smislu.

Avgusta 2003 je IJS prejel končne rezultate primerjalnih meritev, ki jih je v letu 2002 organiziral National Physics Laboratory (NPL) iz Velike Britanije [29]. Medlaboratorijske primerjalne meritve so zajemale analizo vodnih raztopin z dodanimi različnimi kombinacijami in stopnjami aktivnosti sevalcev alfa in beta, oziroma sevalcev beta in gama. Za ovrednotenje teh medlaboratorijskih primerjav je organizator uporabil tako imenovani u- test. Za razliko od klasičnega z- testa, kjer se preverja le pravilnost rezultatov v odnosu na predpisano vrednost s strani organizatorja (certificirano vrednost ali srednjo vrednost sodelujočih laboratorijev), se pri u- testu upošteva tudi merilna negotovost, tako pri certificirani vrednosti, kot tudi pri vrednosti laboratorija. Informacija, ki jo dobimo z vrednotenjem u- testa je bolj razdelana in temelji na signifikantnosti eventualno opažene razlike med rezultati. Numerično gledano so rezultati razdeljeni v pet kategorij, od katerih lahko pri rezultatu u- testa večjem od 3,29 trdimo, da se rezultati podani s strani sodelujočega laboratorija signifikantno razlikujejo od sprejetih vrednosti organizatorja. V vseh primerih vrednotenja rezultatov IJS, tako za sevalce alfa in beta nizkih aktivnosti, alfa in beta visokih aktivnosti, kakor tudi za sevalce beta in gama nizkih in enako visokih aktivnosti so rezultati sprejemljivi. Nekaj pozornosti je potrebno nameniti določitvi nizkih aktivnosti Sr-90 v vodni raztopini in določanju povišanih aktivnosti Ru-106, kjer sta bila pripadajoča rezultata za slabih 14 oziroma 6 % prenizka. Kot je bilo poudarjeno že v poročilu za leto 2002, so tovrstni primerjalni vzorci pripravljene s sledljivimi vsebnostmi radionuklidov in so zato vrednosti organizatorju povsem poznane. Dobro ujemanje rezultatov v teh primerih daje zelo trdno informacijo o pravilnosti rezultatov, kakor tudi o ustreznosti določitve pripadajoče merilne negotovosti.

V letu 2003 sta IJS in IRB sodelovala tudi pri primerjalnih meritvah, ki jih je organiziral Analytics iz ZDA v okviru *Radiochemical Cross-Check Program* [30, 31, 32, 7]. Poudariti je potrebno, da so vrednosti Analyticsovih vzorcev sledljive do vrednosti nacionalnih standardov - NIST (ZDA) ali NPL (Velika Britanija). IJS je sodeloval pri treh meritvah in sicer pri analizi tekočinskega vzorca Fe-55, tekočinskega vzorca Sr-89 in Sr-90 in enega vodnega vzorca H-3; IRB pa pri štirih neodvisnih meritvah sevalcev gama, meritvah Sr-89 in Sr-90, H-3 in Fe-55. Rezultati vseh meritev so bili ocenjeni kot skladni s certificiranimi vrednostmi. Ujemanje rezultatov meritev sevalcev gama IRB je boljše od 15 % [7], povprečno ujemanje pa je dobre 3 %. Opazen je vpliv zaporedja korektivnih ukrepov, saj je ujemanje v prvem četrtletju 4.2%, v drugem 3.8 %, v tretjem in četrtem



četrletju pa 2.9%. Omeniti je treba, da je v zadnjem četrletju disperzija odmikov od certificiranih vrednosti le dobra 2 %. Povprečno ujemanje pri meritvah stroncija je 9%, pri meritvah tritija 2% in pri meritvah Fe-55 pa 30%. Pri rezultatih IJS je ujemanje pri meritvah stroncija 4 %, pri meritvi tritija 8 %, pri meritvi Fe-55 pa 21 %. Ob tem je treba omeniti, da je bil vzorec za meritev Fe-55 posebej pripravljen tako, da je bila poudarjena interferenca z izotopoma Co-57 in Co-58. Pri separaciji se iz vzorca z železom izloči tudi kobalt in sevanje omenjenih izotopov interferira s sevanjem iz Fe-55.

Kot v prejšnjih letih, so tudi v letu 2003 trije Odseki IJS (F-2, K-3 in O-2) sodelovali pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah stroncija-90 in sevalcev gama v urinu [33]. Organizator, Procorad iz Francije je testne vzorce pripravil iz referenčnih materialov proizvajalca Amersham. V primerjavi s podobnimi rezultati iz leta 2002 so vsi rezultati izredno skladni in se s predpisanimi vrednostmi organizatorja ujemajo v okviru nekaj odstotkov.

Med januarjem in marcem 2003 je IJS sodeloval pri testnih določitvah radionuklidov v vodnih vzorcih in standardnih raztopinah organiziranih s strani Mednarodne Agencije za Atomske Energije (IAEA) [34]. Določeni so bili Ra-226, Ra-228 in U-238. Ob času priprave tega poročila končnih rezultatov še ni, dostopni so samo preliminarni rezultati, ki so informacijsko podani v tabelah v datoteki MednarodnePrimerjave2003.pdf, zato celokupno vrednotenje rezultatov v okviru tega poročila še ni mogoče.

## b) MEDLABORATORIJSKI TESTI POOBLAŠČENIH IZVAJALCEV

V letu 2003 je vzorce za medlaboratorijske teste pripravil ZVD. Pripravljen je bilo komercialno dostopno mleko v prahu Pomurskih mlekarn, sediment reke Todraščice, vzorec gornje plasti zemlje iz okolice Borovnice, poleg tega pa je IJS pripravil še vzorec vode reke Pake in sintetično pripravljen vzorec vode za analizo vsebnosti H-3.

Rezultati analize mleka v prahu za K-40, Cs-137 in Sr-90/Sr-89, ki jih je bilo v tem tipu vzorca možno kvantitativno določiti, kažejo na precejšnje neskladje med sodelujočimi laboratoriji. Res je, da je prisotnost radionuklidov v mleku v prahu nizka, in je zato tudi pripadajoča merilna negotovost relativno visoka, vendar disperzija rezultatov znatno presega poročane negotovosti, kar kaže na to, da vsi viri negotovosti, ki vplivajo na rezultate, niso bili pravilno upoštevani. Posebej opazna so razhajanja rezultatov za Cs-137 in Sr-90/Sr-89. Ta dva izotopa sta tudi najbolj vprašljiva pri analizah sedimenta. Zaradi višjih aktivnosti radionuklidov v sedimentu je bilo tudi število rezultatov znatno večje in zajema radionuklide U-238, Ra-226, Pb-210, Bi-212, Th-228, K-40, Be-7, Cs-137 in Sr-90/Sr-89. Posebej vprašljivi so rezultati analize Sr-90/Sr-89. Normalizirani na vrednost IJS kažejo rezultati IRB in ZVD popolnoma nesprejemljiva razmerja, tudi do 4 krat in več. Pri rezultatih analize zemlje je ujemanje za radionuklid Cs-137 mnogo boljše, ni pa zadovoljivo za Sr-90/Sr-89, Ra-226 in Pb-210, kjer so opažena razhajanja tudi do 50 % in več. Ta razhajanja verjetno izvirajo iz različnih ocen za ekshalacijo radona iz vzorcev in atenuacije v vzorcu. Podatkov o ekshalaciji radona in kemijski sestavi vzorca pripravljalec ni navedel, zato so merilni laboratoriji uporabili različne predpostavke, ki se odražajo v neujemanju rezultatov. Razhajanje pri rezultatih meritev Sr-90/Sr-89 za faktor 4 pri vzorcu sedimenta in za faktor 12 pri vzorcu zemlje je preveliko, da bi ga lahko pojasnili z pomanjkljivostmi pri ocenjevanju negotovosti. Ker so ujemanja pri mednarodnih primerjalnih meritvah Sr-90/Sr-89 mnogo boljša, je verjeten vzrok za neujemanje v nehomogenosti pripravljenega materiala. Material je bil vestno pripravljen, vendar pa so bili opuščeni testi homogenosti [35].

Pri analizah H-3 v vzorcu reke Pake je sipanje rezultatov podanih s strani IRB in IJS, kakor tudi s strani Bajje precej veliko, kar je delno tudi posledica nizkih aktivnosti H-3 v naravnem vzorcu. Pri analizah sintetično pripravljenega vzorca H-3, s specifično aktivnostjo višjo za nekaj redov velikosti (specifična aktivnost H-3 okrog  $3 \times 10^7$  Bq/m<sup>3</sup>), je ujemanje rezultatov med IRB, IJS in Bajjo po pričakovanju boljše in sicer v okviru 10 odstotkov.



### c) ZAKLJUČKI

Tudi v letu 2003 so vsi pogodbeni laboratoriji sodelovali pri mednarodnih in / ali domačih medlaboratorijskih primerjalnih meritvah. S temi meritvami je bil pokrit celoten spekter vzorcev in radionuklidov, ki jih laboratoriji določajo v sklopu programa nadzora NEK. Redno sodelovanje testnih laboratorijev v medlaboratorijskih primerjalnih meritvah je eden od najbolj učinkovitih načinov za pridobitev neodvisne informacije o kakovosti opravljenih analiz. Rezultati sodelovanja v mednarodnih primerjalnih meritvah v tem smislu kažejo v večini primerov na dobre rezultate vseh sodelujočih organizacij. Kritična primerjava z rezultati podobnih meritev v letu 2002 kaže na znatno povečanje števila sprejemljivih rezultatov. Pri vzorcih EML je IJS imel izmed 30 podanih rezultatov enega neustreznega in enega sprejetega z opozorilom, kar je praktično enako kot leto poprej v smislu števila rezultatov in njih kvalitete. IRB je od 32 rezultatov imel 24 sprejemljivih, 7 rezultatov sprejemljivih z opozorilom in enega nesprejemljivega. To je bistveno boljša slika kot leta 2002, ko je od 25 rezultatov bilo 6 sprejemljivih, 13 sprejemljivih z opozorilom in 6 nesprejemljivih. Tudi ZVD je svoje rezultate izboljšal, saj je za isto število 19 rezultatov prejel oceno 17 sprejemljivih in 2 rezultata sprejemljiva z opozorilom. Leto poprej je ZVD imel 5 rezultatov sprejemljivih z opozorilom.

Bolj vprašljiva pa je primerljivost rezultatov domačih medlaboratorijskih primerjav. Pri vseh tipih vzorcev opazimo poleg ostalih znatna razhajanja rezultatov določitve Sr-90, K-40 in Cs-137. Ti izotopi so posebej poudarjeni, ker so, kot predhodno opisano, zajeti v mednarodnih primerjalnih meritvah in kjer zasledimo boljšo usklajenost laboratorijev. Za tako majhno merilno sredino, kot so pogodbeni laboratoriji pri nadzoru okolja NEK, so opažena neskladja prevelika. Razlogi so lahko različni. Eden od razlogov je lahko tip vzorcev uporabljenih za domače medlaboratorijske primerjave. Z izjemo sintetičnega vzorca za H-3, so vsi vzorci naravni vzorci. Koncentracijski nivo radionuklidov je v glavnem nizek. Drug razlog je lahko v pomanjkljivem ocenjevanju negotovosti. Normalizacija na rezultate IJS namreč ne kaže na sistematska neujemanja. Pri meritvah vzorcev zemlje in sedimenta je 55 % rezultatov pogodbenih organizacij manjših od rezultatov IJS, 45 % pa večjih. Glede nato, da so nekateri laboratoriji že pridobili akreditacijo po standardu SIST EN ISO/IEC 17025, ki zahteva popolno obvladovanje vseh virov negotovosti, nekateri laboratoriji pa so v že v procesu pridobivanja, je smiselno pričakovati izboljšanje ujemanja rezultatov. Akreditirani laboratoriji in tisti, ki so v procesu akreditacije, so obvezani udeleževati se primerjalnih meritev, zato bo v bodoče motivacija za udeležbo v primerjalnih meritvah na samih laboratorijih in ne več na naročniku meritev.

### d) PRIPOROČILA

- Pri pripravi vzorcev za primerjalne meritve je potrebno opraviti vsaj najenostavnejši test nehomogenosti, na primer test s segregacijo [36].
- Pri oceni negotovosti rezultatov Ra-226 in Pb-210 je potrebno upoštevati negotovosti predpostavk o ekshalaciji Rn-222 iz vzorca in negotovosti kemijske sestave vzorca [37].
- V letu 2004 se izteka program interkomparacijskih meritev v organizaciji Environmental Measurements Laboratory. Interkomparacijske meritve aerosolnih filtrov, posušene vegetacije in zemlje iz EML naj pogodbene organizacije nadomestijo z meritvami vzorcev aerosolnih filtrov, mleka in zemlje, ki jih dobavlja firma Analytics.



e) **REFERENCE**

- [27] Semi-Annual Report of the Department of Energy, Office of Environmental Management, QAP 0303, Quality Assessment Program 58 (EML-621), P. D. Greenlaw, A. Berne, New York, June 2003; poročilo je v celoti dostopno na internetu na strani <http://www.eml.doe.gov/qap/reports/>.
- [28] QAP 0309 Instant Results by Laboratory, Department of Energy, Office of Environmental Management, Quality Assessment Program 59, New York, January 2004; poročilo je dostopno na internetu na strani <http://www.eml.doe.gov/qap/>.
- [29] NPL REPORT CHAIR 5, Environmental Radioactivity Comparison Exercise 2002 (Overseas report), D. H. Woods, A. Arinc, J. C. J. Dean, A. K. Pearce, S. M. Collins, A. V. Harms, A. J. Stroak, NPL, UK, August 2003.
- [30] Results of Radiochemistry Cross Check Program, Jožef Stefan Institute, Fourth Quarter 2003, Analytics, U.S.A., poročilo Analytica z dne 15. januar 2004, primerjava rezultatov za Fe-55.
- [31] Results of Radiochemistry Cross Check Program, Jožef Stefan Institute, Second Quarter 2003, Analytics, U.S.A., poročilo Analytica z dne 14. avgust 2003, primerjava rezultatov za Sr! 89 in Sr! 90.
- [32] Results of Environmental Cross Check Program, Jožef Stefan Institute, Second Quarter 2003, Analytics, U.S.A., poročilo Analytica, 15. december 2003, primerjava rezultatov za H-3.
- [33] Strontium and Gamma-Ray Emitters in Urine, Robert Fottorino, Procorad, Association pour la promotion du controle de qualite des analyses de biologie medical en radiotoxicologie, Dijon, Francija, 2003.
- [34] Determination of radium and uranium radionuclides in water, Property values for Ra-226, Ra-228, U-234, U-238,  $U_{nat}$ , IAEA, Analytical Quality Control Services, Seibersdorf, 30. junij 2003.
- [35] P. Jovanovič, ZVD, osebno sporočilo.
- [36] ISO Guide 35, Certification of reference materials – Generical and statistical principles, Switzerland, 1989, točka 5.3.2.
- [37] M. Korun, Propagation of uncertainties in sample properties to the uncertainty of the counting efficiency in gamma-ray spectrometry, Appl. Radiat. Isot. 55 (2001) 685.





## P R E G L E D   R E F E R E N C

- [1] Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2002, Ljubljana, april 2003, interna oznaka 12/2003, ISSN 1318-2161.
- [2] Basic Safety Standards for Radiation Protection, Safety Series No. 9, IAEA, Vienna 1982.
- [3] Dosisfaktoren für Inhalation oder Ingestion von Radionuklidverbindungen, ISH-Heft 79, München, November 1985.
- [4] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, SS No. 115, IAEA, Vienna, 1996.  
Mednarodni temeljni varnostni standardi za varstvo pred ionizirajočim sevanjem in za varnost virov sevanja, Zbirka o varnosti Št. 115, MAAE, Dunaj, 1996.
- [5] EU Council Directive 96/29/EUROATOM of 13 May 1996; Official Journal of the European Communities, OJ No. 159, 29. 6. 1996, p.1.
- [6] Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Uredba UV2), osnutek, 14. november 2003.
- [7] Poročilo o radioaktivnih emisijah iz NE Krško za leto 2003, Krško, marec 2004.
- [8] Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment, Radiation Protection 72, European Commission, Report EUR 15760 EN, 1995.
- [9] K.A. Jones et al., Guidance on the assessment of radiation doses to members of the public due to the operation of nuclear installations under normal conditions, commissioned and funded by the EU's Directorate General Environment, brez navedbe letnice izdaje.
- [10] United Nations. UNSCEAR 2000 Report, Vol. I: Sources.
- [11] Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Union, 1995-1999, RP127, European Commission, Brussels, 2001.
- [12] Effluent Release Options from Nuclear Installations - Technical Background and Regulatory Aspects, OECD/NEA, 2003.
- [13] HSK – Annual Report 1995 Tables 1-5  
(<http://www.hsk.psi.ch/english/files/pdf/annual-report1995.pdf>).
- [14] Poročilo o meritvah sevanja na lokaciji NE Krško v letu 2003, Krško, april 2004.
- [15] Matjaž Korun, osebno sporočilo, 2003.
- [16] PC program: Radiological Assessment System for Consequence Analysis RASCAL 3.0.3, NRC, June 2002.
- [17] Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment, Radiation Protection 72, European Commission, Report EUR 15760 EN, 1995.
- [18] ICRU Report 53, Gamma-ray Spectrometry in the Environment, ICRU, Bethesda, Maryland, 1994.
- [19] A. Likar, T. Vidmar, B. Pucelj, Monte Carlo Determination of Gamma-ray Dose Rate with the GEANT System, Health Physics, Volume 75, Number 2, August 1998.
- [20] Human Health Fact Sheet, ANL, October 2001
- [21] Statistične informacije, Statistični urad RS, št. 05, 30.julij 2002.
- [22] Izpostavitve prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NE Krško v reko Savo, IJS-DP-8801 (2003)
- [23] M.Pavšič, A.Trkov: Ocenjevanje doz s programom LADTAP, IJS-DP-3897 (84).
- [24] NEK Final Safety Analysis Report.
- [25] Users Manual for the LADTAP Program.
- [26] Principles for Establishing Limits for the Release of Radioactive Materials into Environment Annex 1982, IAEA Safety Series No. 45. Semi-Annual Report of the Department of Energy, Office of Environmental Management, QAP 0303, Quality Assessment Program 58 (EML-621), P. D. Greenlaw, A. Berne, New York, June 2003; poročilo je v celoti dostopno na internetu na strani <http://www.eml.doe.gov/qap/reports/>.
- [27] QAP 0309 Instant Results by Laboratory, Department of Energy, Office of Environmental



- Management, Quality Assessment Program 59, New York, January 2004; poročilo je dostopno na internetu na strani <http://www.eml.doe.gov/qap/>.
- [28] NPL REPORT CHAIR 5, Environmental Radioactivity Comparison Exercise 2002 (Overseas report), D. H. Woods, A. Arinc, J. C. J. Dean, A. K. Pearce, S. M. Collins, A. V. Harms, A. J. Stroak, NPL, UK, August 2003.
- [29] Results of Radiochemistry Cross Check Program, Jožef Stefan Institute, Fourth Quarter 2003, Analytica, U.S.A., poročilo Analytica z dne 15. januar 2004, primerjava rezultatov za Fe-55.
- [30] Results of Radiochemistry Cross Check Program, Jožef Stefan Institute, Second Quarter 2003, Analytica, U.S.A., poročilo Analytica z dne 14. avgust 2003, primerjava rezultatov za Sr! 89 in Sr! 90.
- [31] Results of Environmental Cross Check Program, Jožef Stefan Institute, Second Quarter 2003, Analytica, U.S.A., poročilo Analytica, 15. december 2003, primerjava rezultatov za H-3.
- [32] Strontium and Gamma-Ray Emitters in Urine, Robert Fottorino, Procorad, Association pour la promotion du controle de qualite des analyses de biologie medical en radiotoxicologie, Dijon, Francija, 2003.
- [33] Determination of radium and uranium radionuclides in water, Property values for Ra-226, Ra-228, U-234, U-238,  $U_{nat}$ , IAEA, Analytical Quality Control Services, Seibersdorf, 30. junij 2003.
- [34] P. Jovanovič, ZVD, osebno sporočilo.
- [35] ISO Guide 35, Certification of reference materials – Generical and statistical principles, Switzerland, 1989, točka 5.3.2.
- [36] M. Korun, Propagation of uncertainties in sample properties to the uncertainty of the counting efficiency in gamma-ray spectrometry, Appl. Radiat. Isot. 55 (2001) 685.

## **MERSKI REZULTATI**



## **PROGRAM REDNEGA NADZORA RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NE KRŠKO ZA LETO 2003**

- (i) Program obsega: **A - Imisijske meritve (meritve v okolju);**  
**B - Emisijske meritve (primerjalne in dopolnilne meritve efluentov na izvoru);**  
**C - meritve Mobilnega radiološkega laboratorija (vzdrževanje pripravljenosti).**

Program A se deli na program rednih meritev, ki nosi oznako A-1, in program dopolnilnih meritev, ki nosi oznako A-2. Dopolnilni program A-2 se v "normalnih" okoliščinah ne izvaja in v bistvu zajema vse tiste lokacije in medije, za katere že obstajajo določeni merski podatki, ki lahko služijo kot referenčni v slučaju akcidenta. V pričujočem programu je naveden zgolj redni Program A-1, podatki o dopolnilnem Programu A-2 so podani v Poročilu za leto 1990, IJS DP-6120 in v predhodnih poročilih.

- (ii) Oznaka Sr-90/Sr-89 pomeni dodatno selektivno analizo Sr-89 le v primerih, ko je Sr-90 bistveno povišan nad "normalno" vrednostjo in obstaja upravičena domneva, da izvira navedeno povečanje iz prispevkov manj radiotoksičnega Sr-89. V "normalnih" vzorcih se Sr-89 ne analizira.

## PROGRAM RADIOLOŠKIH MERITEV V OKOLICI NE KRŠKO ZA LETO 2003

### PROGRAM A

#### IMISIJE

#### 10. VODA

##### 11. REKA SAVA

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
11.G Izotopska analiza z VL gama spektrometrijo	1. Krško - 3.2 km gorvodno od NEK (desni breg), 13B	voda+susp.snov filterski ostanek #1	sestavljen vzorec, ki se je zvezno zbiral skozi 31 dni in to v presledkih, ki niso daljši od 2 uri  Avtomatsko vzorčevanje v Krškem, Brežicah in na Jesenicah	1 x na 92 dni	4 x 1 4 x 1
	2. Brežice - 7.8 km dolvodno od NEK (levi breg), 7D	voda+susp.snov filterski ostanek #1		1 x na 31 dni	12 x 1 12 x 1
	3. Jesenice na Dol., 17,5 km dolvodno od NEK, 6E	voda+susp.snov filterski ostanek #1		1 x na 31 dni	12 x 1 12 x 1
11.H H-3 Specifična analiza, scintilac. spektr.	1. Krško 2. Brežice 3. Jesenice na Dol.	vodni destilat	sestavljen vzorec, zvezno zbiran skozi 31 dni	1 x na 31 dni	12 x 1 12 x 1 12 x 1
11. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza (radiokemična izolacija Sr-90/Sr-89, detekcija s proporcionalnim števcem)	1. Krško	voda+susp.snov filterski ostanek #1	sestavljen vzorec, zvezno zbiran skozi 31 dni	1 x na 92 dni	4 x 1
	2. Brežice	voda+susp.snov filterski ostanek #1		1 x na 92 dni	4 x 1
		voda+susp.snov filterski ostanek #1		1 x na 31 dni	12 x 1
3. Jesenice na Dolenjskem	voda+susp.snov filterski ostanek #1	1 x na 92 dni	4 x 1		

#1 groba suspendirana snov zadržana na filtrnem papirju "črni trak"

## 111. REKA SAVA - SEDIMENTI, VODNA BIOTA

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
111.G Izotopska analiza z gama spektrometrijo	1. Obala 0,5km protitočno od NEK, levi breg, 13B	enkratni sočasno vzeti vzorci (do 6 vzorcev na vsakem mestu)	1 x na 92 dni	1 x na 92 dni	36
111. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza	2. Obala pri Brežicah, 4-7,8km, sotočno od NEK, levi breg, 7E	voda + suspendirana snov	enkratni sočasno vzeti vzorci (do 6 vzorcev na vsakem mestu)		36
111. H H-3 Specifična analiza (samo za vodo)	3. Obala pri Jesenicah, 17,5km sotočno od NEK, desni breg, 6F	sedimenti, ribe			12x1

## 12. VODOVODI, VODNJAKI

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
12.G Izotopska analiza z gama spektrometrijo	1. Krško (vodovod)	enkratno vzeti vzorec vode	1 x na 92 dni	1 x na 92 dni	4 x 3
12. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza	2. Brežice (vodovod)				4 x 3
12.H H-3 Specifična analiza, scintilacijski spektrometer	3. sadovnjak pri NEK - (podtalnica iz vrtine blizu vodnjaka 0071)				4 x 3

Pripomba: V poročilu naj bodo podani še rezultati meritev vodovoda v Ljubljani in Mariboru.

## 13. ČRPALIŠČA, ZAJETJA

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
13.G Izotopska analiza z gama spektrometrijo	1. Črpališče vod. Krško-Beli breg (Drnovo)	sestavljeni vzorci vode  vzorec se zbira 31 dni	1 x na 1 dan	1 x na 31 dni	12 x 5
13.H H-3 Specifična analiza, scintilacijski spektrometer	2. Črpališče vod. Krško- Brege 3. Zajetje Dolenja vas		1 x na 1 dan vzorec se zbira 31 dni	1 x na 31 dni	12 x 5
13. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza	4. Črpališče vod. Brežice VT1 (novo) 5. Črpališče vod. Brežice 481 (staro)		1 x na 1 dan vzorec se zbira 31 dni	1 x na 31 dni	12 x 5

Pripomba: V Brežicah se vzorčujejo zgolj aktivna črpališča, ki napajajo vodovodno omrežje.

## 15. PADAVINE IN USEDJI

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
15.G Izotopska analiza z gama spektrometrijo	1. Libna ZR=1,6 km, 1C 2. Brege ZR=2,3 km, 10C 3. Dobova ZR=12 km, 6F	padavine z usedji	zbirni vzorec, kontinuirano zbiranje skozi 31 dni	1 x na 31 dni	12 x 3
15.H H-3 Specifična analiza, scintilacijski spektrometer					12 x 3
15. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza					12 x 3

## 16. USEDJI - VAZELINSKE PLOŠČE

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
16.G Izotopska analiza z gama spektrometrijo	7 vzorčevalnih mest pri črpalkah za jod (točka 20.I) + sadovnjak ob NEK (3 skupine lokacij)	sestavljeni mesečni vzorec useda iz 3 skupin lokacij, oz. celomesečni vzorec iz posamezne lokacije pri povišanih rednostih	kontinuirano zbiranje vzorca skozi 31 dni	1 x na 31 dni	12 x 3



## 20. ZRAK

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
20.I Specifična meritev I-131, izotopska analiza partikulatov, določanje (občasno) žlahtnih plinov  VL spektrometrija gama	1. Sp. Stari Grad ZR=1,8km, 4C1  2. Stara vas Z=1,8km, 16C  3. Leskovec ZR=3km, 13D  4. Brege ZR=2,3km, 10C  5. Vihre ZR=2km, 8D  6. Gornji Lenart ZR=5,9km, 6E	filtrski ostanek	1 x na 15 dni  kontinuirano črpanje skozi "stekleni mikrofiber+oglje+TEDA" filter skozi 15 dni	1 x na 15 dni	24 x 6
20.G Izotopska analiza aerosolov, VL spektrometrija gama	1. Krško-Libna ZR=1,4km 16B  2. Dobova ZR=12km, 6F  3. Stara vas (Krško) ZR=1,8km, 16C  4. Leskovec ZR=3km, 13D  5. Pesje ZR=3km, 6E  6. Šentlenart ZR=5,9km, 6E  7. Brege ZR=2,3km, 10C	filterski ostanek	1 x na 31 dni kontinuirano črpanje skozi aerosolni filter skozi 31 dni (menjava filtra glede na mašitev)	1 x na 31 dni	12 x 7
20. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza aerosolov	1. Libna ZR=1.4km, 16B ali Stara vas ZR=1,8km, 16C	filterski ostanek	kontinuirano črpanje skozi aerosolni filter (menjava filtra glede na mašitev)	1 x 92 dni	4 x 1

### 30. ZUNANJE SEVANJE

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
30.T Meritev doze z okoljskimi TLD dozimetri, najmanj 2 dozimetra na merilno mesto	67 merilnih točk, sektorsko razporejenih v krogih v pasu od 1,5-10 km okoli elektrarne  Določene v NUID.	doza zunanjega sevanja	kontinuirano, z menjavo TLD 1 x na 182 dni	1 x na 182 dni	2 x 67
30. S Kontinuirana meritev hitrosti doze s sprotnim beleženjem	najmanj 10 merilnih mest, ki obkrožajo lokacijo NEK	hitrost doze zunanjega sevanja	neprekinjeno	registracija rezultatov merjenja v polurnih intervalih	

### 40. ZEMLJA

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
40.G Izotopska analiza z gama spektrometrijo	1. Amerika, ZR=3,2km, 5D poplavno področje, rjava naplavina	enkratni vzorec zemlje iz 4 globlin (0-5cm, 5-10cm, 10-15cm, 15-30cm), odvzem glede na poplave	2 x v 365 dneh	2 x v 365 dneh	2 x (3 x 4)
40. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza	2. Trnje (Kusova Vrbina), ZR=8,5km, 6E, poplavno področje, borovina  3. Gmajnice (Vihre) ZR=2,6km, 7D, poplavno področje, rjava naplavina				2 x (3 x 4)

Pripomba: v plasti neobdelane poplavljenе zemlje od 0 do 5 cm se posebej merijo vzorci površinske vegetacije in koreninskega sloja, kot glavni zadrževalci useda.

## 50. HRANA

### 51. MLEKO

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
51.G Izotopska analiza z gama spektrometrijo	1. Pesje	mleko	enkratni vzorec vsakih 31 dni	1 x na 31 dni	12 x 3
51. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza	2. Drnovo	mleko	enkratni vzorec vsakih 31 dni		12 x 3
51. I I-131 Specifična analiza	3. Skopice	mleko	enkratni vzorec vsakih 31 dni v času paše - 8 mesecev		8 x 3

### 53. SADJE

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
53.G Izotopska analiza z gama spektrometrijo	izbrani kraji na krško-brežiškem polju: sadovnjak AKK pri NEK, AKK Sremič, sadovnjak Leskovec	enkratni sezonski vzorci raznega sadja: jabolka, hruške, ribez, jagode, vino	1 x na 365 dni	1 x na 365 dni	1 x 10
53. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza					1 x 10

### 54. POVRTNINE IN POLJŠČINE

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
54.G Izotopska analiza z gama spektrometrijo	izbrani kraji na krško-brežiškem polju:	enkratni sezonski vzorci širokolistnatih povrtnin in poljščin:	1 x na 365 dni	1 x na 365 dni	1 x 20
54. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza	Brege, Žadovinek, Vrbina, Sp. Stari grad, Trnje	solata, zelje, korenje, krompir, paradižnik, peteršilj, fižol, čebula, pšenica, ječmen, koruza, hmelj			1 X 20

## 55. MESO, PERUTNINA, JAJCA

VRSTA IN OPIS MERITEV	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
55.G Izotopska analiza z gama spektrometrijo	izbrani kraji na krško-brežiškem polju:  Žadovinek, Vrbina, Sp. Stari grad, Pesje.	enkratni vzorci raznega mesa in jajc	1 x na 365 dni	1 x na 365 dni	1 x 6
55. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza					1 x 6

## PROGRAM B

## EMISIJE

## 100. TEKOČI EFLUENTI

## 102. ZBIRNI VZORCI TEKOČIH EFLUENTOV

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
102.G Izotopska analiza z VL spektrometrijo gama #3	izpustni tanki WMT #4  kaluža uparjalnikov SGBD #4	aliquotno sestavljen mesečni vzorec (0,5 l vode)	stalno aliquotno sestavljeni mesečni vzorec	1 x na 31 dni	12 x 2
102. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza, proporcionalni števec		aliquotno sestavljen mesečni vzorec (1 l vode)			12 x 2
102.H H-3 Specifična analiza, scintilacijski spektrometer		aliquotno sestavljeni mesečni vzorec (0,3 l vode)			12 x 2
102.F Fe-55 Radiokemična izolacija Fe, VL spektrometrija žarkov X		aliquotno sestavljeni mesečni vzorec iz izpustnih tankov (1 l vode)			12 x 2

#3 primerjalne meritve pooblaščenih organizacij z meritvami NEK

#4 odvzeti aliquoti, ki tvorijo sestavljen vzorec, morajo biti sorazmerni volumnu tekočine izpuščene iz tankov ob vsakokratni izpraznitvi

103. ENKRATNI VZORCI TEKOČIH EFLUENTOV ZA PRIMERJALNE MERITVE

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
103.G Izotopska analiza z VL spektrometrijo gama #3	izpustni tanki WMT in ostala nadzorna mesta po izbiri: bazen za gorivo, primarna voda, kaluža, itd.	vzorec tekočine (0,5 l)	občasni vzorec	1 x na 122 dni	3 x 2
103. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza	nadzorna mesta po izbiri	vzorec tekočine (1l)			do 3
103.H H-3 Specifična analiza, scintilacijski spektrometer	nadzorna mesta po izbiri	vzorec tekočine (1l)			do 3
103.P Pu in transaktinidi Specifična analiza, radiokemična izolacija, elektrolitski vzorec, spektrometrija alfa	nadzorna mesta po izbiri	vzorec tekočine (3l)			do 9

#3 primerjalne meritve pooblaščene organizacije z meritvami NEK, interkomparacijske meritve

**200. PLINASTI IZPUSTI**

201. SESTAVLJENI VZORCI PLINASTIH EFLUENTOV

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
201. G Izotopska analiza sevalcev gama partikulati, VL spektrometer gama	glavni izpuh iz dimnika izza RM-14	prečrpavanje izpuha skozi aerosolni filter	zvezno vzorčevanje, sestavljeni mesečni vzorci	1 x na 31 dni	12 x 1

## PROGRAM INTERKOMPARACIJSKIH MERITEV V LETU 2003

Program interkomparacijskih meritev, ki ga izvajajo laboratoriji, vključeni v radiološki monitoring za NE Krško, obsega sledeče:

1. Mednarodne interkomparacijske meritve vzorcev, ki jih organizira IAEA (Mednarodna agencija za atomsko energijo) in druge priznane tuje organizacije (EML – Environmental Measurements Laboratory U.S.A., Analytics, U.S.A., itd), ki imajo sledljivost do NIST, NPL ali ustreznih standardov. Število interkomparacijskih vzorcev ne sme biti manjše od 5 (pet). Interkomparacijske meritve obvezno obsegajo meritve sledečih radionuklidov: Fe-55, Sr-89/90, H-3 ter C-14.
2. Medsebojne primerjalne meritve vzorcev iz okolja na vsebnost različnih radionuklidov (sevalci gama, Sr-90, H-3, C-14). Vzorce pripravi vsako leto drug sodelujoči laboratorij in sicer v prvi polovici leta. Število teh vzorcev ne sme biti manjše od 5 (pet).

Rezultati vseh interkomparacij in primerjalnih meritev morajo biti vključeni v zbirno letno poročilo. V poročilu morajo biti navedeno, kateri laboratoriji so uspešno prestali teste in zadoščajo postavljenim kriterijem. Ustreznost laboratorija se izkazuje s primerjalnim indeksom glede na certificirano vrednost in z ovrednotenjem rezultata (sprejemljivo, sprejemljivo z opozorilom ter nesprejemljivo).

## PROGRAM C

### PROGRAM VZDRŽEVANJA PRIPRAVLJENOSTI ZA PRIMER JEDRSKE NESREČE V NUKLEARNI ELEKTRARNI KRŠKO

Program vzdrževanja pripravljenosti NEK za primer izrednega dogodka obsega (1) zagotovitev, vzdrževanje in stalno preverjanje stacionarne in mobilne merilne in druge opreme namenjene za merjenje sevanja, ustrezno številčno popolnitev z usposobljenim tehničnim osebjem, opremljene prostore in prevozna sredstva ter postopke. Nadalje obsega program še (2) redna obdobja merjenja sevanja v okolici, meritve aktivnosti okoljskih vzorcev ter vzorcev visokih aktivnosti, skladno s programom, ki je okvirno zajet v tej prilogi.

#### 1. Referenčne nadzorne meritve, vezane na redne letne obhode mobilne enote

Obvezni del programa rednih obdobjnih merjenj izvajata ME NEK (mobilna enota NEK) in ELME RS (državni ekološki laboratorij z mobilno enoto) na rednih obhodih po okolici NEK. Redni letni obhodi se izvajajo predvidoma v mesecih aprilu, juliju in oktobru, delno po stalnih merilnih mestih delno pa po drugih mestih tako, da se glede na pretekle meritve sistemsko zajame celotno področje (po vseh sektorjih od 1.5-10 km od elektrarne) potencialnih merilnih mest v primeru nezgode. Navedeno je najmanjše število meritev, ki sestavljajo obvezni del tega programa.

- |      |   |           |
|------|---|-----------|
| 1.1  | Rutinske nespecifične meritve sevanja v okolju (na 1 obhod):            |           |
| -    | meritev hitrosti doze zunanjšega sevanja                                | 6 meritev |
| -    | meritev kontaminacije površin s sevalci alfa in beta                    | 6 meritev |
| 1.2  | Posebne referenčne meritve radioaktivnosti na terenu:                   |           |
| -    | <i>in-situ</i> VL gama spektrometrija tal                               | 1 meritev |
| -    | hitra VL gama analiza vzorca zemlje                                     | 1 meritev |
| -    | hitra VL gama analiza zračnega filtra                                   | 1 meritev |
| -    | hitra VL gama analiza vzorca iz prehrabene verige                       | 1 meritev |
| 1.3. | Meritve vzorcev s povišano aktivnostjo (vzorci iz tč. 103.G ali drugi): |           |
| -    | meritev aktivnosti tekočinskih izpustov                                 | 1 meritev |
| -    | meritev aktivnosti jodovega filtra                                      | 1 meritev |
| -    | meritev aktivnosti partikulatnih filtrov (ali brisa)                    | 1 meritev |
| 1.4. | Meritve meteoroloških parametrov na terenu (izvaja ELME RS)             | 1 meritev |

#### 2. Meritve, ki jih opravlja ELME RS in niso odvisne od rednih obhodov

- |      |   |  |
|------|---|--|
| 2.1. | Meritve radioaktivnosti useda na vazelinskih ploščah (izven rednega programa):  |  |
| -    | celokupna beta-alfa aktivnost useda na ploščah  |  |
| -    | <i>VL spektrometrija gama (v laboratoriju) suhega useda, polletno; na 2 lokacijah (plošči št. 9 in 10, ob ograji NEK)</i> |  |
| 2.2. | Meritve zunanjšega sevanja:   |  |
| -    | referenčne meritve doznih hitrosti v okolju s prenosnimi merilniki  |  |
| -    | referenčne meritve doz z okoljskimi TL dozimetri (v lab.), polletno, na 67 lokacijah (v vseh sektorjih, 1.5-10 km od NEK) |  |

Poleg teh meritev opravi ELME RS tudi menjavo TL dozimetrov in vazelinskih plošč.



## ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN

V tabelah so dosledno uporabljene enote in oznake, ki naj bi najbolj neposredno "omogočale izračun" obremenitve človeka in so v skladu z zakonodajnimi podatki (Uradni list).

### 1. **VODE** (Sava, vodovod, zajetja, vrtine)

1.1. - aktivnost se navaja v enotah:  $\text{Bq/m}^3$   
( $1 \text{ Bq/m}^3 = 1\text{E-}3 \text{ Bq/kg} = 1\text{E-}3 \text{ Bq/L}$ )

1.2. - Izraz "suspendirana snov" velja za ostanek filtracije nad  $0,45 \mu\text{m}$   
- aktivnost se navaja v enotah  $\text{Bq/m}^3$  prefiltrirane vode  
Izraz "groba suspendirana snov" (filtrski ostanek) velja za filtriranje skozi črni trak oz. velikosti delcev nad  $6 \mu\text{m}$   
- aktivnost se navaja v enotah  $\text{Bq/m}^3$  prefiltrirane vode, ki je dala ta filterski ostanek

### 1.3. **H-3** iz vode

- aktivnost se navaja v enotah  $\text{Bq/m}^3$  vode

### 2. **USEDI** (padavine): aktivnost se podaja z dvema podatkoma:

- aktivnost se navaja v enotah  $\text{Bq/m}^2$  terena (vodoravne prestrezne površine)  
- aktivnost se podaja v enotah  $\text{Bq/m}^3$  tekočih padavin

### 3. **HRANILA, ŽIVILA, KRMILA**

aktivnost se navaja v  $\text{Bq/kg}$  sveže snovi oz. snovi v takem stanju, kot se jo zauživa, z navedbo utežnega procenta "suhe snovi" v sveži snovi, kadar se pri meritvah uporablja osušena snov. Suha snov se dobi s sušenjem na temperaturi od  $60^\circ\text{C}$  do  $80^\circ\text{C}$ .

### 4. **BIOLOŠKI VZORCI**

- aktivnost se navaja v  $\text{Bq/kg}$  za sveže ribe, navede se tudi procent suhe snovi v sveži  
- za mahove, ribjo hrano in ostalo se podaja aktivnost v  $\text{Bq/kg}$  suhe snovi z navedbo % suhe snovi v trdni snovi, kadar je to smiselno.

### 5. **ZRAK**

- aktivnost se podaja za aerosole in jod v  $\text{Bq/m}^3$  oz. v  $\text{mBq/m}^3$  (pri približno normalnih pogojih)  
( $1 \text{ mBq/m}^3 = 1\text{E-}3 \text{ Bq/m}^3$ ).

### 6. **ZEMLJA**

- aktivnost se podaja v  $\text{Bq/kg}$  "osušene zemlje" in v  $\text{Bq/m}^2$ .

### 7. **ZUNANJA DOZA**

se podaja z absorbirano dozo v zraku (približno enaka absorbirani dozi v mehkem tkivu) v Gy (zrak).

Pretvorba obsevne doze v absorbirano:

$100 \text{ R} = 2,58 \text{ E-}2 \text{ C/kg}$     $1 \text{ Gy(zrak)} = 1 \text{ J/kg}$

Pod pogojem, da k merjeni absorbirani dozi prispeva samo sevanje z nizkim LET, je uporabna relacija:

$1 \text{ Gy(zrak)} = 1 \text{ Sv(mehko tkivo)}$




**TABELA RADIONUKLIDOV**

Seznam imen radioaktivnih izotopov, ki jih omenja poročilo o meritvah radioaktivnosti v okolici NEK ter njihovih simbolov in razpolovnih časov. Podatki o razpolovnih časih so iz vzeti iz E. Browne, R.B.Firestone, Table of Radioactive isotopes, John Wiley and Sons, 1986.

Element	Simbol izotopa ali izomera	Razpolovni čas
tritij	H-3	12.33 let
berilij	Be-7	53.29 dni
ogljik	C-14	5730 let
natrij	Na-24	14.66 ur
kalij	K-40	$1.277 \cdot 10^9$ let
argon	Ar-41	1.827 ure
krom	Cr-51	27.70 dni
mangan	Mn-54	312.2 dni
železo	Fe-55	2.73 let
kobalt	Co-57	271.77 dni
kobalt	Co-58	70.916 dni
železo	Fe-59	44.47 dni
kobalt	Co-60	5.271 let
cink	Zn-65	244.1 dni
stroncij	Sr-89	50.55 dni
stroncij	Sr-90	28.5 let
itrij	Y-90	2.671 dni
cirkonij	Zr-95	64.02 dni
niobij	Nb-95	34.97 dni
niobij	Nb-97	1.202 ure
molibden	Mo-99	2.748 dni
rutenij	Ru-103	39.254 dni
rutenij	Ru-106	1.020 leto
srebro	Ag-110m	249.76 dni
kositer	Sn-113	115.09 dni
kositer	Sn-117m	13.61 dni
telur	Te-123m	119.7 dni
antimon	Sb-124	60.20 dni
antimon	Sb-125	2.73 let
telur	Te-125m	57.4 dni
jod	I-125	60.14 dni
telur	Te-127m	109 dni
telur	Te-129m	33.6 dni
jod	I-131	8.040 dni
ksenon	Xe-131 m	11.9 dni
telur	Te-132	2.36 dni
ksenon	Xe-133	2.19 dni
jod	I-133	20.8 ur
cezij	Cs-134	2.062 let
ksenon	Xe-135	9,104 dni
cezij	Cs-137	30.0 let
barij	Ba-140	12.746 dni
lantan	La-140	1.678 dni
cer	Ce-141	32.50 dni
cer	Ce-144	284.9 dni
živo srebro	Hg-203	46.60 dni
svinec	Pb-210	22.3 let
radon	Rn-222	3.835 dni
radij	Ra-226	1600 let
radij	Ra-228	5.75 let
torij	Th-228	1.913 let
uran	U-238	$4.468 \cdot 10^9$ let



## M E R S K E M E T O D E

Koncentracije radioaktivnih snovi v okolju se merijo s specifičnimi metodami, ki omogočajo določanje njihove izotopske sestave. Uporaba nespecifičnih metod je dopustna le v primeru, da je izotopska sestava dobro znana in s časom ne spreminja. Metode morajo omogočiti merjenje množine radioaktivnih snovi, ki povzročijo manj kot tretjino avtorizirane mejne doze. Detekcijske meje metod, s katerimi se merijo posamezne specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih iz okolja, morajo biti manjše od aktivnosti, ki povzroči tridesetino avtorizirane dozne meje za posamezne radionuklide.

Seznam radionuklidov, katerih aktivnosti se merijo v okolju, mora ustrezati podatkom o emisiji in mora vsebovati najbolj radiotoksične izotope. Običajno se vzorci iz okolja merijo s spektrometrom gama, kjer se aktivnosti posameznih radionuklidov določi iz energije in intenzitete vrhov v spektru. Aktivnosti radionuklidov, ki ne sevajo žarkov gama, se merijo z metodami, ki vključujejo njihovo radiokemično separacijo. V okviru meritev radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško se po kemični separaciji merijo aktivnosti tritija in stroncijevih izotopov Sr-89 in Sr-90. V emisijah iz jedrske elektrarne pa se taka metoda uporablja še za meritve C-14 in Fe-55.

Pri izvedbi meritev sodeluje več institucij, pri katerih se izvedbe posameznih merskih metod razlikujejo. V nadaljevanju poglavja so opisane merske metode, ki jih uporabljajo posamezni izvajalci pri meritvah.

## INSTITUT "JOŽEF STEFAN"

### a) VISOKOLOČLJIVOSTNA SPEKTROMETRIJA GAMA

Aktivnosti sevalcev žarkov gama in rentgenskih žarkov (to so vsi izotopi, navedeni v tabelah razen H-3, Sr-89, Sr-90), so bile izmerjene s spektrometrijo gama. Vsi spektrometri gama, ki so bili uporabljeni za meritve in pogoji okolja, v katerem delujejo, ustrezajo kriterijem, ki so navedeni v [38]. Meritve so bile opravljene po postopku, opisanem v [39]. Rezultati meritev so sledljivi k aktivnostim primarnih standardov v francoskem laboratoriju LPRI. Sistematski vplivi geometrije vzorca, matrike vzorca, gostote vzorca, koincidenčnih korekcij in hitrosti štetja na rezultate, so upoštevani pri računu vseh aktivnosti. Negotovosti rezultatov so ocenjene v skladu z vodilom [40] in postopkom [41]. Poleg statistične negotovosti prispevajo k negotovosti rezultatov še negotovosti predpostavk pri računu ploščin vrhov, kalibracije detektorjev, lastnosti vzorca, razpadnih konstant, merjenja količine vzorca in trajanja meritve. Najmanjša negotovost aktivnosti, ki je dosegljiva pri rutinskih meritvah in v ugodnih merskih pogojih je 5%.



*Laboratorij za radiološke merilne sisteme in meritve radioaktivnosti je od marca 2003 akreditiran pri Slovenski akreditaciji pod zaporedno številko L-044 za laboratorijske meritve aktivnosti sevalcev gama in rentgenskih žarkov z visokoločljivostno spektrometrijo gama v energijskem območju od 5 do 3000 keV v cilindričnih vzorcih z največjim premerom 12 cm in največjo debelino 6 cm [42]. Vzorci morajo biti homogeni, kar pomeni, da so sevalci gama enakomerno porazdeljeni v vzorcu in da je matrika vzorca homogena. Vzorec se obravnava kot homogen, če je karakteristična dolžina, ki opisuje strukturo vzorca (npr. premer zrn ali debelina plasti), manjša od razdalje, na kateri se izkoristek za točkast vir spremeni za 2 %, ali pa če je najmanj desetkrat manjša od dimenzije vzorca. Obseg emisij iz vzorca je med 0.005 in 50000 s<sup>-1</sup>.*



Celovito poročilo o vseh meritvah, opravljenih v okviru pogodbe POG-3059 na IJS, in napisano v skladu z zahtevami standarda SIST EN ISO/IEC 17025, smo izdali ločeno pod zaporedno številko 5/2004. En izvod tega poročila smo poslali naročniku, en izvod pa arhivirali na IJS. Rezultati iz celovitega poročila 5/2004 se lahko v poročilu Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2003 (ISSN 1318-2161) poročajo na način, ki je najbolj ustrezen svojemu namenu. V tem poročilu se ob posameznih rezultatih ne podajata niti znak akreditacije niti besedilo, da je rezultat dobljen v okviru akreditirane metode.

*Reference:*

[38] Pravilnik o metroloških pogojih za polprevodniške števec - spektrometre za gama sevanje, Uradni list SFRJ 22 (1991) 418.  
 [39] *Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju (LMR-DN-10)*, Institut Jožef Stefan, Ljubljana.  
 [40] Guide on Expression of Uncertainty in Measurement, ISO 1995, Geneva.  
 [41] *Ocena merilne negotovosti (LMR-RP-05)*, Institut Jožef Stefan, Ljubljana.  
 [42] *PRILOGA K AKREDITACIJSKI LISTINI, Annex to the Accreditation Certificate, št./no. L-044, Slovenska akreditacija, 20. 03. 2003*

**ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE ZA VLG SPEKTROMETRIJO**

medij	ZRAK	ZEMLJA	SEDIM.	VODA	RIBE	ALGE	GOMOL.	MESO	SADJE	SOLATA	MLEKO
enota	m <sup>3</sup>	kg	kg	m <sup>3</sup>	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Velikost vzorca (*)	1000	1	0,1	0,05	0,1	0,1	2	1	2	3	1
Be7	6,0 E-4	2,6 E+0	9,0 E+0	4,0 E+0	8,8 E+0	3,8 E+0	1,4 E+0	2,8 E+0	1,5 E+0	7,0 E-1	1,8 E+0
Cr51	7,0 E-4	6,5 E+0	2,3 E+1	8,0 E+0	2,1 E+0	9,0 E+0	1,5 E+0	3,1 E+0	1,6 E+0	8,0 E-2	2,0 E+0
Mn 54	5,3 E-5	1,6 E-2	5,3 E-1	5,4 E-1	3,9 E-1	1,8 E-1	2,7 E-2	5,7 E-2	3,0 E-1	1,5 E-2	3,6 E-2
Cp57	4,5 E-5	1,1 E-1	4,0 E-1	2,7 E-1	3,6 E-1	1,5 E-1	2,7 E-2	5,4 E-2	2,7 E-2	1,2 E-2	3,3 E-2
Cp58	4,8 E-5	1,7 E-1	6,3 E-1	3,3 E-1	5,7 E-1	2,5 E-1	4,2 E-2	9,0 E-2	4,5 E-2	2,1 E-2	5,4 E-2
Fe59	8,4 E-5	1,2 E-1	4,1 E-1	7,2 E-1	4,0 E-1	1,7 E-1	5,0 E-2	6,0 E-2	2,8 E-2	1,5 E-2	4,0 E-2
Cp60	4,3 E-5	5,0 E-2	2,0 E-1	1,6 E-1	3,0 E-1	1,0 E-1	2,0 E-2	3,0 E-2	1,4 E-2	9,0 E-3	2,0 E-2
Zn65	1,0 E-4	2,4 E-1	9,0 E-1	6,0 E-1	8,0 E-1	3,5 E-1	6,0 E-2	1,2 E-1	6,0 E-2	3,0 E-2	7,5 E-2
Zr95	1,2 E-4	4,8 E-1	1,7 E+0	4,0 E-1	6,7 E-1	7,0 E-1	5,0 E-2	1,0 E-1	5,0 E-2	5,0 E-2	6,2 E-2
Nb95	3,1 E-3	9,2 E+0	2,7 E+1	5,4 E-1	1,3 E+0	1,7 E+1	1,0 E-1	2,0 E-1	1,1 E-1	5,0 E-2	1,2 E-1
Ru103	7,0 E-5	3,4 E-1	1,2 E+0	5,7 E-1	1,1 E+0	5,0 E-1	8,0 E-2	1,7 E-1	9,0 E-2	4,0 E-2	1,0 E-1
Ru106	5,4 E-4	1,2 E+0	3,4 E+0	3,0 E+0	3,9 E+0	1,7 E-1	3,0 E-1	6,0 E-1	3,0 E-1	1,4 E-1	3,6 E-1
Sb124	6,0 E-5	2,0 E-1	5,2 E-1	2,7 E-1	5,0 E-1	2,2 E-1	3,5 E-2	7,0 E-2	4,0 E-2	2,0 E-2	4,5 E-2
Sb125	1,3 E-4	4,5 E-1	1,0 E+0	7,0 E-1	9,0 E-1	4,0 E-1	6,5 E-2	1,3 E-1	7,0 E-2	3,3 E-2	8,7 E-2
I131 (**)	8,0 E-5	3,0 E+1	1,0 E+2	5,7 E+0	1,0 E+2	4,3 E+1	7,5 E+0	1,5 E+1	7,5 E+0	3,6 E+0	9,0 E+0
Cs134	6,0 E-5	1,2 E-1	4,2 E-1	1,7 E-1	2,6 E-1	1,7 E-1	2,0 E-2	3,0 E-2	2,0 E-2	1,0 E-2	2,0 E-2
Cs136	2,8 E-5	1,8 E+0	6,4 E+0	9,0 E-1	6,0 E+0	2,7 E+0	4,4 E-1	9,0 E-1	4,6 E-1	2,5 E-1	5,0 E-1
Cs137	6,0 E-5	1,2 E-1	4,5 E-1	3,3 E-1	5,2 E-1	1,8 E-1	3,0 E-2	6,0 E-2	3,0 E-2	1,5 E-2	4,0 E-2
Ba140	5,4 E-5	1,8 E+0	6,3 E+0	1,2 E+0	6,0 E+0	2,6 E+0	4,5 E-1	9,0 E-1	4,5 E-1	2,2 E-1	5,6 E-1

(\*) Velikost vzorca, podana v enotah druge vrstice, velja za sveže vzorce, razen pri zemlji, sedimentih in algah, kjer velja za suhi vzorec.

(\*\*) Zbiranje I-131 se opravlja s posebnimi filtri, opremljenimi z aerosolnim filtrom in filtrom iz aktivnega oglja, impregniranega s TEDA.

*Komentar:*

Tabelirane spodnje detekcijske meje veljajo:

- za nekontaminirani detektor, zaščiten z 10 cm svinčeno zaščito (s Cd in Cu notranjo oblogo) ob detekcijskem kriteriju  $n = 3$  standardne deviacije;
- za vzorec iz običajnega nekontaminiranega materiala. Prisotnost velikih koncentracij posameznih radionuklidov dvignejo (poslabšajo) detekcijsko mejo za radionuklide, katerih karakteristične črte ležijo v območju comptonskega praga intenzivnih črt v odvisnosti od vrste detektorja;
- ob privzeti predpostavki, da je čas zakasnitve  $t_n$  med časom vzorčevanja (postavljenim v sredo vzorčevalnega intervala) in časom meritve pri zraku 0 dni, pri vodi 30 dni in pri ostalih vzorcih



60 dni. Kadar je dejanska zakasnitev  $t_d$  različna od navedene nominalne  $t_n$ , potem se spodnja detekcijska meja dobi, če se tabelirana vrednost pomnoži s faktorjem

$$e^{-0.692 \frac{(t_n - t_d)}{T_{1/2}}}$$

kjer je  $T_{1/2}$  razpolovna doba opazovanega radionuklida.

## b) RADIOKEMIČNA ANALIZA Sr-90 / Sr-89

Topni stroncij radiokemično izločimo iz vzorcev vode, bioloških vzorcev, zemlje in sedimentov ter filtrov za aerosole. Analize opravljamo po postopku *ELME-R-P-27* [43, 44]. Aktivnosti vzorcev merimo na proporcionalnem števcu EBERLINE Multi-Low-Level Counter FHT 770 T. Števec je umerjen s certificiranim standardom francoskega laboratorija LEA, division de CERCA.

### Reference:

- [43] Radiokemična analiza in merjenje stroncija Sr-90/Sr-89 v vzorcih iz okolja (ELME-R-P-27), Institut Jožef Stefan, Ljubljana.
- [44] B. Vokal, Š. Fedina, J. Burger, I. Kobal, Ten year Sr-90 survey at the Krško Nuclear Power Plant, *Annali di Chimica*, 88, 1998, 731-741.

## ORIENTACIJSKA SPODNJA DETEKCIJSKA MEJA ZA RADIOKEMIČNO ANALIZO Sr-90 / Sr-89

Orientacijska spodnja detekcijska meja za radiokemično analizo Sr-90/Sr-89 je

$$SDM(Bq / enota) = \frac{2,9E - 2[Bq]}{m[enota]}$$

pri čemer je  $m$  količina analiziranega vzorca v kg oz. za tekočine v  $m^3$ . Velikosti posameznih vzorcev so podane v zgornji tabeli za orientacijske spodnje detekcijske meje za VLG spektrometrijo.

## c) RADIOKEMIČNA ANALIZA H-3

Tritij določamo v zračnih izpustih in v vodnih vzorcih po postopkih, ki so natančno opisani v [45] in [46]. Vse vzorce najprej destiliramo. V vzorcih vode tritij elektrolitsko obogatimo po proceduri IAEA [45-50]. Tako pripravljenim vzorcem dodamo scintilacijski koktajl ULTIMA GOLD LLT. Aktivnost mešanice merimo na instrumentu Tri Carb 3170 TR/SL, Super Low Level Liquid Scintillation Analyzer (Canberra Packard). Števec je umerjen s certificiranim standardom (tritiated water) proizvajalca Canberra Packard.

### Reference:

- [45] Priprava vzorcev in merjenje aktivnosti tritija ( $^3H$ ) (*RK-DN-01*), Institut Jožef Stefan, Ljubljana.
- [46] Izračun vsebnosti (aktivnosti) tritija iz merskih podatkov (*RK-DN-03*), Institut Jožef Stefan, Ljubljana.
- [47] B. Vokal, P. Dujmovič, T. Mohar, G. Uchrin, I. Kobal, Ten years  $^3H$  survey at the Krško Nuclear Power Plant; *Radioan Nucl Chem*; Vol.241, No.2, 1999, 257-263.
- [48] T. Florkowski, Tritium electrolytic enrichment using metal cells, Low level tritium measurement, Proc. Consultants Meeting, Vienna 1979, IAEA TECDOC-246, 1981, p. 133.



- [49] J. F. Cameron, B. R. Payne, Proc. 6<sup>th</sup> Intern. Conf. On Radiocarbon and Tritium Dating, Washington, 1965, US AEC Conf.-650652, 1965.
- [50] T. Florkowski, Low level tritium assay in water samples by electrolytic enrichment and liquid scintillation counting in IAEA Laboratory, IAEA-SM-252/63, 1975, p. 335.

#### d) RADIOKEMIČNA ANALIZA C-14

Ogljik C-14 določamo v zračnih izpušnih po postopku, ki je natančno opisan v [51]. Ogljik C-14 izločimo iz vzorca lužne raztopine CO<sub>2</sub>. Uprašeni oborini BaCO<sub>3</sub> dodamo reagent Cab-osil M-5, distilirano vodo in scintilacijski koktajl Insta-gel. Aktivnost mešanice merimo na instrumentu Tri Carb 3170 TR/SL, Super Low Level Liquid Scintillation Analyzer (Canberra Packard). Števec je umerjen s certificiranim standardom (tritiated water) proizvajalca Canberra Packard.

*Reference:*

- [51] Radiokemična analiza in merjenje ogljika C-14 v vzorcih iz okolja (*ELME-R-P-26*), Institut Jožef Stefan, Ljubljana.

#### e) TERMOLUMINISCENČNA DOZIMETRIJA

Merilni sistem MR 200 za termoluminiscenčno dozimetrijo, pečica za brisanje tablet, kontejner za shranjevanje tablet, računalnik in jeklenka z dušikom tvorijo celovit sistem, ki omogoča enostavno, hitro in precizno merjenje absolutnih sevalnih doz v okolju in osebni dozimetriji. Dozimetre sestavljajo tabletki CaF<sub>2</sub> : Mn z odličnimi odzivnimi lastnostmi. Tako lahko merimo zelo nizke doze, pod 40 μSv na mesec. Karakteristike merilnega sistema MR 200 so pregledno zbrane v [52]: a) ponovljivost sistema je 5 %, b) ponovljivost tabletk je 2%, c) detekcijski prag je 5,7 μSv, d) bledenje je manjše kot 10 %, e) linearnost sistema je ± 15 %, f) spomin znaša 0,1 % doze obsevanja, g) samoobsevanje je zanemarljivo. Vse karakteristike sistema, ki so bile preverjene v letu 2002 [52], so v skladu z standardom [53].

Meritve zunanje doze so bile opravljene po postopku, opisanem v [54]. V letu 2002 smo posodobili in izboljšali merilni sistem za termoluminiscenčno (TL) dozimetrijo, s katerim izvajamo dozimetrične meritve. Za referenco uporabljamo tudi dozimetre, kjer so tablete obdane s filtrom iz bron primerne debeline, na podlagi česar lahko ocenimo prispevek nizkoenergijskega sevanja (pod 150 keV).

*Reference:*

- [52] D. Jezeršek, diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, 2002.
- [53] International standard CEI/IEC 1066; Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring; First Edition, IEC Central Office Geneva, Switzerland, 1991.
- [54] Čitanje (merjenje) termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD), LMR-DN-22, Institut Jožef Stefan, Ljubljana.



## INSTITUT "RUĐER BOŠKOVIĆ"

Na Institutu "Ruđer Bošković" je bil leta 1990 uveden sistem zagotovitve kakovosti, da se zagotovi ustrezno kvaliteto rezultatov dela. Opisan je v [55] in ustreza zahtevam, navedenim v [56] in [57].

Zavod za istraživanje mora i okoliša ima delujoč "Program osiguranja kvalitete i merenja radioaktivnosti u okolišu NE Krško". Namen tega programa je zagotovitev kvalitete in opredelitev principov in ciljev programa za zagotovitev kvalitete pri izvajanju meritev radioaktivnosti v okolici NE Krško. Načrt zagotovitve kvalitete opredeljuje osnovne zahteve in odgovornosti, potrebne, da se v Zavodu za istraživanje mora i okoliša zagotovi učinkovito izvajanje Programa na delih, ki vključujejo meritve radioaktivnosti v okolici NE Krško.

Program zagotovitve kvalitete ima dva dela:

- Program zagotovitve kvalitete
- Delovne postopke za:
  - Zbiranje vzorcev
  - Vzdrževaje vzorčevalne opreme
  - Pakiranje in transport vzorcev
  - Pripravo vzorcev
  - Merjenje radioaktivnega stroncija
  - Meritve spektrometrije gama
  - Meritve tritija
  - Meritve  $^{55}\text{Fe}$
  - Meritve ozadja, kalibracijo, kontrolo delovanje merskih instrumentov in izdelavo virov za kalibracijo in kontrolo
  - Vodenje dokumentacije.

Laboratorij za radioekologijo ima "Rešenje o udovoljavanju uvjetima za potvrđeni meriteljski laboratorij" Državnega zavoda za normizaciju i meriteljstvo Republike Hrvške.

### *Reference:*

[55] Priručnik osiguranja kvalitete (Plan i postupci), Institut Ruđer Bošković, 1990

[56] Pravilnik o uvjetima za lokaciju, gradnju, pokusni rad, puštanje u rad i upotrebu nuklearnih objekata, Službeni list SFRJ, 52, 1998.

[57] Standard IAEA No. 50-C-QA Rev. 1, 1988.

### a) VISOKOLOČLJIVOSTNA SPEKTROMETRIJA GAMA

Spektre gama merimo na dveh detektorjih, ki sta potrjena od državnega urada za standardizacijo in metrologijo (State Office for Standardization and Metrology, Republic of Croatia) in sicer na germanijevem detektorju BE3830 z ločljivostjo

- 0,38 keV pri 5,9 keV (Fe-55)
- 0,55 keV pri 59,5 keV (Am-241)
- 0,69 keV pri 122 keV (Co-57)
- 2,05 keV pri 1332,5 keV (Co-60)

in na germanijevem detektorju GR2520 z izkoristkom 28,3% glede na izkoristek detektorja z natrijevim jodidom, ki ima kristal z dimenzijami 3x3 palcev. Germanijev detektor ima ločljivost 0,80 keV pri 122 keV, 1,82 keV pri 1332,5 keV in razmerje vrh/Compton 57,6.

Germanijeva detektorja sta povezana z računalnikom s programsko opremo GENIE2K. Ta programska oprema služi za kvalitativno in kvantitativno analizo izmerjenih spektrov. Izkoristke detektorjev merimo s standardi s certifikati proizvajalcev IAEA, Canberra, Oxford in Analytics. Standarde uporabljamo tudi za določitev koincidenčnih korekcij.



## b) RADIOKEMIČNA ANALIZA Sr-90

### Sediment in zemlja

Določeno množino vzorca premešamo z vodo in dodamo 1 ml Sr nosilca (20 mg Sr) in določeno množino (50 % mase vzorca) kationskega izmenjalca Amberlite IR-120. Vzorec z izmenjalcem mešamo (z zrakom ali z dušikom) nekaj ur. Po ločbi eluiramo katione, vezane na ionski izmenjalec, s 5 M raztopino HNO<sub>3</sub>. Eluat filtriramo, izparimo do suhega in raztopimo v 5 M HNO<sub>3</sub> in v metanolu. Vzorec spustimo skozi kolono, napolnjeno z izmenjalcem Amberlite CG-400, nato ločimo Sr od Ca z eluiranjem z 0,25 M raztopino HNO<sub>3</sub> v metanolu. Eluat (vsebuje Sr) izparimo do suhega, raztopimo v 5 M HNO<sub>3</sub> in prečistimo s Fe(OH)<sub>3</sub> in BaCrO<sub>4</sub>. Stroncij se obori kot SrCO<sub>3</sub>. Vzorec stoji 14 dni, da se vzpostavi radioaktivno ravnotežje Sr-90 in Y-90, nato izmerimo aktivnost na plinskem proporcionalnem števcu (2404 Alpha/beta/gamma System, Canberra).

### Tekočinski vzorci

Določenemu volumnu nakisanega tekočega vzorca dodamo Sr-nosilec (20 mg Sr) in Y-nosilec (10 mg Y) in izparimo do suhega. Suhi ostanek raztopimo v 5 M HNO<sub>3</sub> in pomešamo z raztopino etanol-metanol (1:1). Kolono (notranjega premera 1 cm) napolnimo z izmenjalcem Amberlite CG-400 (h = 10 cm) in namakamo čez noč. Preden spustimo vzorec skozi kolono, izmenjalec speremo s 5 M HNO<sub>3</sub> in 0,25 M raztopino HNO<sub>3</sub> v metanolu. Nato spustimo skozi kolono vzorec in kolono izperemo s 300 ml 0,25 M raztopine HNO<sub>3</sub> v metanolu. V prvih 50 ml se eluira Cs, v preostanku pa Sr in Y. Eluat izparimo do suhega, raztopimo v majhnem volumnu 5 M HNO<sub>3</sub>, prečistimo z obarjanjem s Fe(OH)<sub>3</sub>, nakar dodamo BaCrO<sub>4</sub>, da odstranimo sevalce alfa. Stroncij se obori kot SrCO<sub>3</sub>. Vzorec stoji 14 dni, da se vzpostavi radioaktivno ravnotežje Sr-90 in Y-90, nato izmerimo aktivnost na proporcionalnem števcu (2404 Alpha/beta/gamma System, Canberra).

## c) RADIOKEMIČNA ANALIZA H-3

Koncentracijo H-3 določamo tako, da merimo 7 ml vodne raztopine, ki smo ji dodali 13 ml scintilatorja (ULTIMA GOLD) v polietilenski plastični posodici volumna 20 ml (Low diffusion plastic vial), na scintilacijskem števcu Liquid scintillation Analyser (Tri-Carb, Packard, Model 2700Tr). Ozadnje je nižje od 1 impulza na minuto. Izkoristek določamo z uporabo quench standarda in certificiranih standardov H-3.

## d) DOLOČITEV Fe-55 Z RENTGENSKO FLUORESCENČNO SPEKTROMETRIJO

### Priprava standardnih raztopin Fe-55

Iz raztopine standarda Fe-55 z aktivnostjo 110 kBq/g, nabavljene pri DAMRI (Francija), pripravimo osnovno raztopino v 2x destilirani vodi z aktivnostjo okoli 110 Bq/g. Iz nje pripravimo raztopine različnih aktivnosti, s katerimi izmerimo umeritveno krivuljo.

### Postopek prekoncentracije vzorca

V 50 ml standardne raztopine ali vzorca dodamo nosilec Fe<sup>3+</sup> (0,1 ml raztopine nosilca Fe<sup>3+</sup> 26,6 mg/l). Nakisamo na pH okoli 4 z dodatkom raztopine amonijaka ali solne kisline in dodamo 1 ml 1 % raztopine amonijevega pirilidino ditiokarbamata (APDC). Tako pripravljeno raztopino mešamo 30 min z magnetnim mešalom, da se obori Fe kot karbamat. Oborino karbamata ločimo iz raztopine s filtriranjem (Milipore 0,45µm). Zatem filter vstavimo v nosilec, ki je sestavljen iz dveh prstanov enakih dimenzij in ga položimo na detektor, ki detektira karakteristične rentgenske žarke Fe-55, oborjenega kot karbamat na filtru. Filter je od detektorja oddaljen 2 mm, med vzorec in detektor pa postavimo folijo iz mylarja.



### Postopek merjenja

Za merjenje karakterističnih črt Mn ( $K\alpha = 5,9$  keV in  $K\beta = 6,4$  keV) uporabljamo Si(Li) polvodniški detektor Canberra. Aktivna površina detektorja je  $30\text{ mm}^2$ , aktivni premer je 6,2 mm, debelina 3 mm s 25  $\mu\text{m}$  berilijevim oknom. Za meritev spektrov uporabljamo program Genie (Canberra). Meritev traja, dokler je statistična negotovost števila sunkov v vrhu pri energiji 5,9 keV manjša od 5%.

## INSTITUT ZA MEDICINSKA ISTRAŽIVANJA I MEDICINU RADA

### a) TERMOLUMINISCENČNA DOZIMETRIJA

#### Priprava TL dozimetrov

Termoluminiscenčni dozimetri (TLD)  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$  se žarijo eno uro na temperaturi 350-400 °C. Temperatura žarenja se zabeleži.

V plastične kasete se vstavi po tri ohlajene dozimetre. Kasete se na terenu vstavi v plastični nosilec, ki je nameščen 1 m nad tlemi. Na kaseti sta napisana lokacija ter začetek in konec izpostavitve dozimetra. Kasete se menjajo vsakih šest mesecev. Podatke o lokaciji in času izpostavitve se vpiše na obrazec O-3.

#### Postopek odčitavanja

Napravo "Reader 2810" se pripravi po navodilih. Pravilnost delovanja naprave se kontrolira vsako uro s kontrolnimi neobsevanimi TLD tabletami. Nato se obsevan TL dozimeter vstavi v napravo, se ga odčita in izračuna ekspozicijska doza. Podatke se vpiše na obrazec O-3. Podatki se vnesejo v računalniško bazo TL dozimetrov, kjer se izračunajo letne ekspozicijske ter absorbirane in ekvivalentne doze.

Podrobnosti so zapisane v priročniku "Osiguranje kvalitete" in "Program osiguranja kvalitete", del "Mjerenje radioaktivnosti u okolici NE Krško", RP-IMI, 1987, zadnja revizija iz leta 1998.

## ZAVOD ZA VARSTVO PRI DELU

### a) VISOKOLOČLJIVOSTNA SPEKTROMETRIJA GAMA

Omenjena metoda je v našem laboratoriju LMSAR podrobno opisana v dokumentu DP-LMSAR-09 in sicer v petih sklopih: energijska kalibracija, izkoristek detektorja, izračun lokacije in površine vrha, identifikacija radionuklida ter izračun specifične aktivnosti in merilne negotovosti rezultata. Vse našteje korake izvajamo s pomočjo programske opreme GENIE 2000, katere algoritmi so opisani v knjigi GENIE 2000 – Customization Tools Manual. Opora temu programskemu paketu pa so naslednji mednarodni standardi:

- IEC-1452: Nuclear instrumentation - Measurement of gamma-ray emission rates of radionuclides-Calibration and use of germanium spectrometers.
- IEC-973: Test procedures for germanium gamma-ray detectors.
- IEC-759: Standard test procedures for semiconductor X-ray energy spectrometers.





- IEC-61976: Nuclear instrumentation-Spectrometry - Characterization of the spectrum background in HPGe gamma-ray spectrometry.
- ISO-11929-3: Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements.

Sledljivost rezultatov dosegamo z kalibracijskimi standardi specifičnih geometrij in matrik, ki so podobne vzorcem, katere merimo za naše naročnike. Te standarde naročamo vsako leto pri dveh organizacijah, ki sta akreditirani za pripravo teh standardov. Ti dve organizaciji sta Analytics iz ZDA in AEA Technology QSA GmbH iz Nemčije.

Vse sistematske vplive kot so razlike v gostoti vzorcev, parametrov, ki vplivajo na atenuacijo gama sevanja v matriki in odstopanja od geometrije vzorca glede na standardne vzorce izračunavamo s pomočjo validirane Canberine programske opreme, ki je navedena v dokumentu: Model S573/S574 ISOCS/LabSOCS, Validation & Verification Manual.

## **b) RADIOKEMIČNA ANALIZA Sr-89/Sr-90 IN I-131**

Natančen opis metod določitve Sr-89/90 v različnih vzorcih in določitve J-131 v mleku, kakor tudi vzorčenje in priprava vzorcev so predstavljene v naslednjih internih delovnih navodilih:

- Vzorčenje, pakiranje, pošiljanje vzorcev iz biosfere, hrane in drugih bioloških vzorcev (DP-LMSAR-02).
- Priprava bioloških in nebioloških vzorcev za gamaspektrometrično in radiokemično analizo (DP-LMSAR-03).
- Določanje aktivnosti Sr-89/90 v zemlji (DP-1.03.10.).
- Določanje aktivnosti Sr-89/90 v zračnih filtrih (DP-1.03.06.).
- Določanje aktivnosti Sr-89/90 v padavinah (DP-1.03.07.).
- Določanje aktivnosti Sr-89/90 v mleku (DP-1.03.08.).
- Določanje aktivnosti J-131 v mleku (DP-1.03.11.).

Sledljivost rezultatov je dosežena z redno kalibracijo instrumenta BERTHOLD LB770 s standardnimi raztopinami proizvajalca Amersham. Postopek kalibracije je opisan v internem delovnem navodilu:

Kontrola meritev na alfa, beta števcu Berthold LB770 (DP-2.01.03.).



## TABELARIČNI ZAPISI MERITEV

Izmerki v tabelah in posredno v preglednicah so zapisani po naslednjih pravilih:

- Specifične aktivnosti sevalcev gama pri enkratno odvzetih vzorcih so preračunane na datum vzorčevanja.

Specifične aktivnosti sevalcev gama pri kontinuirano zbiranih vzorcih so izračunane pri predpostavki, da sta bili hitrost zbiranja vzorca in kontaminacija konstantni v času vzorčevanja.
- Število, ki sledi znaku  $\pm$ , je številska vrednost združene standardne negotovosti specifične aktivnosti in se nanaša na interval zaupanja z 68% zanesljivostjo.

Združena standardna negotovost pri rutinskih meritvah na visokoločljivostni spektrometriji gama vključuje statistično negotovost števila sunkov v vrhovih v spektru, negotovost metode določanja števila sunkov v vrhovih, ozadja, umeritve spektrometra, jedrskih podatkov in količine vzorca. Negotovosti, ki izvirajo iz vzorčevanja, razen količine vzorca, niso upoštevane.

Pri radiokemičnih meritvah vsebuje merska negotovost statistično negotovost meritve (negotovost tipa A) in ostale ocenjene negotovosti tipa A in B, ki sledijo iz postopka in so bolj ali manj za določen postopek stalne.

Poročane negotovosti so izračunane v skladu z vodili GUM (1995).
- V tabele ne pišemo spodnjih **detekcijskih mej**, ki so konzervativno ocenjene iz velikosti ozadja in verjetnosti za detekcijo.

Mejo detekcije se poroča le za Pb-210, ki je zaradi visokega doznega faktorja pomemben pri oceni doz.

Za ostale nedektirane radionuklide se predpostavlja, da so njihove meje detekcije zanemarljive v primerjavi z ostalimi vrednostmi in se jih zaradi preglednosti v tabele ne piše. Pri izračunih letnih povprečij se prazna polja upoštevajo kot ničle.
- Če je pri detektirani prisotnosti radionuklida negotovost aktivnosti večja od 80 % vrednosti izmerka, se poroča **mejo kvantifikacije** - vrednost izmerka se prišteje k negotovosti, rezultat pa označi kot manjši (<) od dobljene številčne vrednosti.

Po postopku računanja povprečij, ki se je uporabljal do letos, so se pri računanju podatki, označeni z  $< a$ , upoštevali tako, da se je kot vrednost izmerka privzela vrednost  $a$ . Ta vrednost ni imela negotovosti, zato tudi tako izračunana povprečja niso imela negotovosti. Ob polletnih in letnih povprečjih se je za znakom  $\pm$  navajala disperzija populacije izmerkov (število, ki je sledilo znaku  $\pm$  je bila ocena nihanja posameznih izmerkov, izražena s standardnim odmikom, in ne negotovost ocenjenega povprečja izmerjenih vrednosti).

Opisani postopek računanja povprečij ima poleg omenjene slabosti še to pomanjkljivost, da daje sistematsko previsoke vrednosti. Če je bil radionuklid detektiran, se pri računanju kot izmerjena vrednost upošteva zgornja meja intervala verjetnih vrednosti. Če pa radionuklid ni bil detektiran, je privzeta vrednost izmerka njegove koncentracije nič. Omeniti je treba, da se pri računanju vsebnosti radionuklidov upošteva ozadje, to je vrednost izmerka v odsotnosti radionuklida. Če je ozadje pravilno določeno, potem mora biti v polovici vzorcev, ki radionuklida ne vsebujejo, rezultat odštevanja ozadja pozitiven, v drugi polovici pa negativen. Če je bil uporabljen pri računanju aktivnosti ta postopek, ima negativna vrednost aktivnosti statističen, vendar ne fizikalen pomen. Če je rezultat odštevanja pozitiven, se radionuklid obravnava kot detektiran, saj je tak rezultat neločljiv od rezultata meritve vzorca, v katerem je prava vrednost koncentracije v bližini detekcijske meje. Če pa je rezultat odštevanja negativen, se radionuklid obravnava kot da ni detektiran. V obeh primerih se torej pri računanju povprečja upošteva prevelika vrednost, v prvem primeru kot meja kvantifikacije, v drugem pa nič. Pri opisani metodi so izračunana povprečja odvisna od meje kvantifikacije, torej od pogojev merjenja.



Zaradi gornjih pomankljivosti smo spremenili postopek računanja povprečij tako, da podatke, ki so označeni z  $< a$ , pri računanju povprečja upoštevamo kot  $0 \pm a$  (meja kvantifikacije), kadar pa podatka ni, torej radionuklid ni bil detektiran, kar pomeni, da je njegova koncentracija pod mejo detekcije, privzamemo  $0 \pm 0$ .

Prednosti tega postopka so naslednje:

- Negotovost povprečja je mogoče oceniti iz apriorne in aposteriorne negotovosti, to je iz negotovosti posameznih izmerkov in iz disperzije populacije izmerkov. V tabelah z novimi povprečji se kot negotovost povprečja navaja večja od apriorne ali aposteriorne negotovosti.
- Povprečna vrednost ni odvisna od meje kvantifikacije, torej od pogojev merjenja. Od pogojev merjenja je odvisna le negotovost povprečja, podobno, kot so od pogojev merjenja odvisne negotovosti posameznih izmerkov.
- Povprečne vrednosti so manj precenjene kot pri starem postopku računanja povprečij. Vpliv negativnih vrednosti izmerkov, ki se pri računu povprečja upoštevajo kot ničle, se delno uravna z vplivom vrednosti, ki so pod mejo kvantifikacije, ki se prav tako upoštevajo kot ničle. Ker je meja kvantifikacije postavljena tik nad mejo detekcije, se vpliv negativnih vrednosti izmerkov dobro uravna z vplivom vrednosti, ki so pod mejo kvantifikacije.

Da bi zagotovili primerljivost novega ovrednotanja rezultatov s prejšnjimi ovrednotenji, so na zgoščenki datoteke z merskimi rezultati, v katerih so povprečja izračunana po novi in po stari metodi, v samih ovrednotenjih pa so podane ocene vpliva postopka računanja povprečja na zaključke overdnotenj.

5. Število za znakom  $<$  je torej ali meja kvantifikacije ali številska vrednost meje detekcije pri danih pogojih meritve in se nanaša na interval zaupanja z 68% zanesljivostjo (le pri Pb-210).
6. Pri računu doz za neko časovno obdobje  $T$  (npr. dan, mesec, leto) predpostavljamo, da poteka vnos medija (npr. vode, zraka) v organizem s stalno hitrostjo  $dV/dt = \dot{V} = \text{konst.}$  Ta predpostavka nam omogoča, da v organizem vnešeno aktivnost  $A$  posameznih radionuklidov izrazimo s:

- ! časovnim integralom specifične aktivnosti (časovnim integralom koncentracije aktivnosti) ali s
- ! povprečno specifično aktivnostjo v obdobju  $T$ , ki je enaka
- ! specifični aktivnosti sestavljenega vzorca, zbranega v obdobju  $T$ .

Velja namreč:

$$A[Bq] = \int_0^T \dot{V} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \cdot a(t) \left[ \frac{Bq}{m^3} \right] \cdot dt [s] = (\dot{V} \cdot T) \frac{1}{T} \int_0^T a(t) \cdot dt = V_T \cdot \langle a(t) \rangle = V_T \cdot a_T,$$

kjer je:

$V_T = (\dot{V} \cdot T)$  v času  $T$  vnešena količina (volumen) medija v organizem,

$\langle a(t) \rangle = a_T$  povprečna specifična aktivnost v obdobju  $T$ , ki je enaka specifični aktivnosti sestavljenega vzorca  $a_T$ , zbranega iz enako velikih delnih vzorcev (volumnov) skozi obdobje  $T$ .

Slednja enakost velja tudi za diskretno zbiranje sestavljenega vzorca, ko v enakih časovnih presledkih (skozi obdobje  $T$ ) nabereмо  $N$  delnih vzorcev z volumnom  $v$ :

$$a_T = \frac{1}{N \cdot v} \cdot \sum_{j=1}^N v \cdot a_j = \langle a \rangle$$



Kadar računamo vnešeno aktivnost za neko obdobje (npr. leto) iz zaporedja ločenih (diskretnih) meritev (npr. mesečnih sestavljenih vzorcev;  $T = \text{mesec}$ ), nadomestimo zgornji integral z vsoto:

$$A_{\text{Leto}} = \sum_{i=1}^{12} V_{\text{mes}} \cdot a_{\text{mes},i} = V_{\text{mes}} \sum_{i=1}^{12} a_{\text{mes},i} = (V_{\text{mes}} \cdot 12) \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} a_{\text{mes},i}$$

$$A_{\text{Leto}} = V_{\text{Leto}} \cdot \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} a_{\text{mes},i},$$

kjer je pomen veličin isti kot zgoraj.

6. Aktivnost Ra-226 je določena iz aktivnosti kratkoživih radonovih potomcev (Pb-214 in Bi-214) pri predpostavki, da 20% radona ekshalira iz vzorca.

Aktivnost urana je določena pri predpostavki, da je U-238 v ravnovesju s potomci Th-234 in Pa-234M, ter da sta koncentraciji izotopov U-235 in U-238 v naravnem razmerju.