

MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO

POROČILO ZA LETO 2004



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 2004**

Prva izdaja

Odgovorni za izdajo poročila: dr. Matjaž Korun

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

Recenzirali: mag. Denis Glavič-Cindro, dr. Matjaž Korun, mag. B. Pucelj

Lektoriral: dr. Jože Gasperič

Likovno-grafično uredila: mag. Denis Glavič-Cindro

Fotografija na naslovnici: Drago Brodnik

Oprema: ABO grafika in Institut "Jožef Stefan"

Založil: Institut "Jožef Stefan"

Razmnoževanje in vezava: Institut "Jožef Stefan" in ABO grafika, Ljubljana, 2005

ISSN 1318-2161

Redakcija poročila je bila končana aprila 2005.

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. kem.
- Naslov poročila:* **Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2004**
- Oznaka poročila:* 3/2005
- 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
Urška Repinc, univ. dipl. kem.
dr. Borut Smodiš
Matjaž Stepišnik, univ. dipl. fiz.
dr. Tim Vidmar
dr. Benjamin Zorko





**MERITVE RADIOAKTIVNOSTI
V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO
POROČILO ZA LETO 2004**

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,
Urška Repinc, univ. dipl. kem., dr. B. Smodiš, Matjaž Stepišnik, univ. dipl. fiz.,
dr. Tim Vidmar, dr. Benjamin Zorko

IZVAJALCI MERITEV

Institut "Jožef Stefan" (IJS), 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,
dr. M. Korun, dr. J. Kožar-Logar, mag. M. Mihelič, dr. M. Nečemer, mag. B. Pucelj,
U. Repinc, univ. dipl. kem., M. Ribič, J. Smrke, B. Svetek, inž. kem. tehnol.,
dr. J. Vaupotič, dr. T. Vidmar, mag. B. Vodenik, dr. B. Zorko, S. Žigon

Zavod za varstvo pri delu (ZVD), Ljubljana

Koordinator projekta za ZVD: dr. Gregor Omahen

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 (IRB - ZIMO), 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

Izvajalci na DHMZ RH: mag. Dunja Borovečki (odgovorna oseba),
I. Panjkret, V. Šojat, Z. Zeljković

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada (IMI), Zagreb

Koordinator projekta za IMI: dr. Gordana Marović

Izvajalci na IMI: dr. Z. Franić, B. Petrincec, J. Senčar

IZVAJALCI EMISIJSKIH MERITEV ZNOTRAJ OGRAJE NE KRŠKO

Nuklearna elektrarna Krško (NEK), Krško

Nosilec projekta za NE Krško: mag. Borut Breznik

Izvajalci v NEK: B. Devunić, Lj. Djurdjek, univ. dipl. kem., B. Grčić, dipl. kem., K. Jurinić,
D. Mešiček, M. Pavlin, dipl. str., M. Urbanč, A. Volčanšek, univ. dipl. kem.



NASLOV POROČILA:

Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2004

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 2004 za atmosferske emisije *efektivno dozo* manj kot 1 μSv na leto in za tekočinske emisije za referenčno skupino prebivalstva *efektivno dozo* manj kot 0,1 μSv na leto. Ta vrednost (manj kot 1 μSv 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 2004

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 2004 to a value of the *effective dose* smaller than 1 μSv per year for atmospheric discharges and smaller than 0,1 μSv per year for liquid discharges received by members of the reference (critical) population group. This value (less than 1 μSv 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

Izvleček	1 / 118
Summary	5 / 118
Reka Sava	11 / 118
Vodovodi in podtalnice	29 / 118
Padavine in talni usedi	45 / 118
Zrak	61 / 118
Doza zunanjega sevanja	79 / 118
Zemlja	89 / 118
Krmila in hranila	93 / 118
Ocena letnih doz referenčne skupine za savske prenosne poti za leto 2004	101 / 118
Program B	105 / 118
Medlaboratorijske primerjalne meritve pooblaščenih izvajalcev nadzornih meritev v letu 2004	111 / 118
Pregled referenc	117 / 118

MERSKI REZULTATI

Program rednega nadzora radioaktivnosti v okolici NEK za leto 2004	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 in B	M-25 / M-140
Program A in B	
Tabele merskih rezultatov	M-29 / M-140
Tabele interkomparacijskih rezultatov	
Mednarodne interkomparacije izvajalcev	M-121 / M-140
Medsebojne interkomparacije izvajalcev	M-134 / M-140

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





U V O D

Poročilo obravnava rezultate meritev, opravljenih v letu 2004 v skladu s "Programom nadzora radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško za leto 2004" (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 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 22. 03. 2002.

Med obratovanjem izpušča jedrska elektrarna majhne količine radioaktivnih snovi v zrak in vodo. Da bi zajeli vse vplive radioaktivnosti na prebivalstvo, meritve v okolici elektrarne obsegajo zunanje sevanje (sevanje radionuklidov v zraku, iz tal ter sevanje neposredno iz elektrarne) in koncentracije 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 zunaj dosega sevanja, ki ga povzroča elektrarna.

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.

Zunanje sevanje se meri z elektronskimi merilniki hitrosti doze, ki se uporabljajo pri sprotnem spremljanju zunanjega sevanja (MFM-202), in s pasivnimi termoluminiscenčnimi dozimetri (TLD). 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 iztekajo 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.

Izvajalci programa so: Institut "Jožef Stefan" (IJS) in Zavod za varstvo pri delu (ZVD) iz Ljubljane ter Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada (IMI) in Institut "Ruđer Bošković" - Zavod za istraživanje mora i okoliša (IRB-ZIMO) iz Zagreba.

Celotno poročilo sestavljajo: skupno poročilo IJS, IMI, IRB-ZIMO in ZVD, 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.

V skladu z veljavnim programom in glede na meritve iz ref. [1], opravljene v letu 2003, je bila v letu 2004 v okviru programa A in B uvedena naslednja bistvenejša sprememba:

- ocenjene so bile negotovosti doznih obremenitev



Za evalvacijo merskih podatkov in oceno doznih obremenitev so bili kot dopolnilni ali vzporedni podatki uporabljeni tudi:

- mesečna poročila NEK o tekočinskih in zračnih emisijah v letu 2004
- mesečni izračuni zračnih razredčitvenih faktorjev Agencije Republike Slovenije za okolje za okolico NEK v letu 2004 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

a) ZAGOTOVITEV KAKOVOSTI

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 poslovník 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 potrđeni meriteljski laboratorij", ki mu jo je podelil Državni zavod za normizaciju i meriteljstvo Republike Hrvatske. V okviru programa nadzora radioaktivnosti v okolici 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 potrđilo 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.

b) REFERENCA

- [1] Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2003, Ljubljana, april 2004, interna oznaka 6/2004, 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

Urška Repinc, univ. dipl. kem.

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 atmosferskih 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 koncentracije radioaktivnih snovi v okolju, to je posledic vnosa teh snovi v okolje. Ob delovanju jedrskih elektrarn so navadno koncentracije izpuščenih radionuklidov v okolju znatno pod detekcijskimi mejami. Zato njihov vpliv na človeka in okolje ovrednotimo iz podatkov o izpustih v ozračje in o tekočinskih izpustih, z uporabo modelov, ki opisujejo razširjanje radionuklidov po raznih prenosnih poteh v okolju pa se lahko izračunajo doze sevanja.

Neposredno zunanje sevanje iz objektov znotraj ograje NEK

V neposredni okolici nekaterih tehnoloških objektov znotraj ograje NEK je raven zunanjega sevanja nekoliko povečana. Vendar vpliv teh objektov na izpostavitve sevanju hitro pojema z razdaljo in je na ograji NEK in na večjih razdaljah zanemarljiv.

Atmosferski izpusti iz NEK

Radionuklidi v atmosferskih izpustih se močno razlikujejo po sevalnih 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 pomembni za zunanjo izpostavitve ob prehodu oblaka;
- **H-3 in C-14**, ki sevata le delce beta in sta biološko pomembna v primeru vnosa v telo; zlasti zaradi inhalacije, izotop C-14 pa tudi zaradi rastlinske prenosne poti;
- **sevalci beta / gama** na aerosolih (izotopi Co, Cs, Sr itd.) s prenosnimi potmi: inhalacija, zunanje sevanje iz useda, ingestija na rastline usedlih radionuklidov;
- **izotopi joda** v raznih fizikalnih in kemijskih oblikah, pomembni pri inhalaciji ob prehodu oblaka in zaradi vnosa v telo z mlekom.

Tabela A prikazuje ovrednotenje emisij z modelskimi izračuni razredčitvenih faktorjev v ozračju za leto 2004 in za posamezne skupine radionuklidov najpomembnejše prenosne poti. Vsi načini izpostavitve prebivalstva so bili zanemarljivi v primerjavi z naravnim sevanjem ali doznimi omejitvami. Po velikosti je izrazitejša ingestijska doza zaradi vnosa C-14 zaradi uživanja mleka pri najmlajših in žitaric pri drugih starostnih skupinah. Navedena efektivna doza za C-14 temelji na merjenih izpustih iz NEK in na modelskih ocenah za podobne jedrske objekte.



Tabela A: Izpostavitve sevanju prebivalstva zaradi atmosferskih izpustov iz NEK v letu 2004

Način izpostavitve	Prenosna pot	Najpomembnejši radionuklidi	Letna doza (mSv)
zunanje sevanje	sevanja iz oblaka sevanje iz useda	radioaktivni žlahtni plini (Ar-41) partikulati (Co-58, 60, Cs-137,...)	0,0001 < 0,0001
inhalacija	oblak	H-3, C-14	< 0,001
ingestija	mleko, žitarice	C-14	< 0,001

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)
- vsebnost radionuklidov v rastlinah, živalih, mleku
- vsebnost radionuklidov v zemlji na obdelanem in neobdelanem zemljišču ter na urbani površini
- doza in hitrost doze zunanjega sevanja na številnih lokacijah v okolici NEK

V številnih vzorcih 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 2004, podobno kot v preteklosti, po aktivnosti prevladoval H-3, medtem ko je bila skupna izpuščena aktivnost sevalcev beta / gama več kot 10000–krat nižja.

V okviru 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.

Izotop I-131 je bil zaznan v vzorcih vode, vzorčevanih tako protitočno kot sotočno od NEK. V letu 2004 je NEK poročala o manjšem tekočem izpustu I-131. Ker so bile koncentracije I-131 tako v sestavljenih kot trenutnih vzorcih vode, zbranih protitočno od NEK, višje od koncentracij v vzorcih, zbranih sotočno od NEK, sklepamo, da izpust I-131 v Savo iz NEK ni določljiv in da je prisotnost I-131 v Savi posledica njegove uporabe v medicini. Ker so tudi v sedimentih, zbranih nad NEK povprečne koncentracije I-131 višje kot v sedimentih, zbranih pod NEK, velja ta sklep tudi za I-131 v sedimentih.

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

V vodovodih in črpališčih v letu 2004 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 učinkovita doza zaradi izpustov v reko Savo v letu 2004 ni presegla 0,1 μ Sv na leto.



b) NARAVNO SEVANJE

Meritve zunanjega sevanja v okolici NEK so v letu 2004 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 0,77 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 nevtronskega kozmičnega sevanja, ki je za območje NEK 0,070 mSv na leto. Tako je bila skupna efektivna doza zunanjega sevanja v letu 2004 v okolici NEK **0,84 mSv na leto**, kar je primerljivo s povprečnim podatkom za svet (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 2,43 mSv, kar je zelo blizu svetovnega povprečja 2,4 mSv na leto [9].

Tabela B: Efektivne doze zaradi naravnih virov sevanja v okolici NEK

Vir	Letna efektivna doza (mSv)
sevanje gama in neposredno ionizirajoče kozmično sevanje kozmični nevtroni	0,77 0,070
ingestija (K, U, Th) [9]	0,29
inhalacija (kratkoživi potomci Rn-222) [#]	1,3
Skupaj	2,43

Opomba #: 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 2004 je bil v zemlji večinoma merljiv le še Cs-137, ki izvira iz černobilske nesreče in poskusnih jedrskih eksplozij. V enem primeru je bil v zemlji odkrit tudi Cs-134 iz černobilske kontaminacije, vendar je njegova vsebnost zanemarljiva.

Prispevek Cs-137 k zunanjemu sevanju je bil za **ruralno** okolje ocenjen med 1,5 % in 9 % naravnega ozadja zunanjega sevanja ob celoletnem zadrževanju na takem zemljišču. Upoštevajoč čas zadrževanja v zaprtih prostorih, je prispevek černobilskega Cs-137 k zunanji dozi od 0,3 % do 1,8 % naravnega ozadja.

Za **urbano** okolje je bila celoletna doza zunanjega sevanja zaradi Cs-137 ob celoletnem zadrževanju v takem okolju ocenjena na 0,4 % povprečne letne doze v okolici NEK.

Černobilski Cs-137 in Sr-90 iz jedrskih poskusov sta bila izmerjena v sledih v posameznih vrstah hrane. Efektivna doza zaradi ingestije te hrane je bila ocenjena na 0,4 μ Sv na leto za Cs-137 in 1,0 μ Sv na leto za Sr-90, kar je skupaj okrog 0,6 % letne efektivne doze zaradi naravnih radionuklidov v hrani.



d) SKLEPI

Povzetek izpostavitve prebivalstva v okolici NEK za leto 2004 je v tabeli C, kjer so navedeni prispevki naravnega sevanja, vplivi NEK in preostali vplivi črnbobilske kontaminacije ter poskusnih jedrskih eksplozij.

Tabela C: Povzetek letnih izpostavitvev prebivalstva v okolici NEK za leto 2004

Vir	Prenosna pot	Letna efektivna doza (mSv)
naravno sevanje	gama in ionizirajoče kozmično sevanje kozmični nevtroni	0,770 0,070
	ingestija (K, U, Th)	0,290
	inhalacija (kratkoživi potomci Rn-222)	1,300
	skupaj	2,430
NEK atmosferski izpusti (*)	neposredno sevanje iz objektov NEK zunanje sevanje iz oblaka zunanje sevanje iz useda inhalacija iz oblaka ingestija	zanemarljivo 0,0001 < 0,0001 < 0,001 < 0,001
NEK tekočinski izpusti (Sava) (*)	referenčna skupina	< 0,0001
črnbobilska kontaminacija in jedrski poskusi	zunanje sevanje ingestija	≤ 0,01 < 0,002

(*) Skupne vsote prispevkov NEK ne navajamo, saj vsi prispevki niso aditivni, ker ne gre za iste skupine prebivalstva

- V letu 2004 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).¹
- Ocenjena vrednost je zanemarljiva v primerjavi z letno dozno omejitvijo za prebivalstvo, ki je 1 mSv na leto.
- Ocenjena vrednost je nižja od 0,1 % značilnega neizogibnega naravnega ozadja.
- Atmosferski in tekočinski izpusti iz NEK so primerljivi s tistimi iz podobnih jedrskih elektrarn v Evropi.

¹ 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 measuring the activity concentrations of the radionuclides in the environment i.e. by 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. The impact of the of the NPP on the environment and man is assessed from the measurement results of the activities released using models, which describe the dispersion of the radionuclides in the environment.

Direct external 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 important contributorsto external exposure in case of a radioactive cloud immersion or submersion
- Pure beta emmitters **H-3 and C-14**, which are radiologically important as they get built into the body, mostly during inhalation and in case of C-14 due to grain and milk exposure pathways
- **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 2004 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 2004

Exposure type	Exposure pathway	Significant radionuclides	Annual effective dose (mSv)
external	radioactive cloud immersion fallout exposure	radioactive noble gases (Ar-41) aerosols (Co-58, 60, , ...)	0.0001 < 0.0001
inhalation	radioactive cloud	H-3, C-14	< 0.001
ingestion	milk, cereals	C-14	< 0.001

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 monitored by 66 TLDs and 13 continuous monitors MFM-202.

In some cases the radionuclides Cs-137 and Sr-90 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 2004 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 programme of measurements of radioactive contamination of the environment, 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.

The radionuclide I-131 was detected in all samples of water collected upstream and downstream of the Krško NPP. In the year 2004 the NPP reported a minor liquid discharge of I-131. Since the concentration of I-131 in composed as well as instantaneous water samples, collected upstream, are higher than the concentration in samples collected downstream, it is concluded the emission of I-131 due to the NPP into the river are not detectable and that the presence of I-131 in the river water is a consequence of its use in medicine. Since the average concentrations of I-131 in sediments, collected upstream are higher than the concentrations in sediments collected downstream, the same conclusion holds also for the sediments.

The presence of Cs-137 and Sr-90 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 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 less than 0.1 μ Sv per year.



b) NATURAL RADIOACTIVITY

Measurements of the external exposure around the Krško NPP showed in 2004 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 0.77 $\mu\text{Sv}/\text{year}$ in the open and in dwellings it was estimated at 0.77 $\mu\text{Sv}/\text{year}$. 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 $\mu\text{Sv}/\text{year}$. The total effective annual external dose in the vicinity of the Krško NPP thus amounted to **0.84 $\mu\text{Sv}/\text{year}$** in the year 2004, which is compatible with the average worldwide value of 0.87 $\mu\text{Sv}/\text{year}$.

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

Different contributions to the effective dose are shown in Table B. The total effective dose in 2004 amounts to 2.43 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)
external gamma radiation and the directly ionizing component of cosmic radiation	0.77
neutron component of cosmic radiation	0.070
ingestion (K, U, Th) [9]	0.29
inhalation (Rn and daughters) [#]	1.3
Total	2.43

Note #: 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 2004 the main remaining isotope originating from the Chernobyl accident and nuclear test explosions measured in soil samples was Cs-137. Once Cs-134 from Chernobyl accident was detected in soil but its concentration was negligible.

The contribution of Cs-137 to the natural background external dose in **rural** environment was estimated at 1.5 % to 9 %, 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 0.3 % to 1.8 %.

In **urbane** environment the annual dose from Cs-137 contamination was estimated at 0.4 % of natural background external dose, assuming an all-year-round presence on such ground.

Traces of Chernobyl and weapons-tests related Cs-137 and Sr-90 were detected in certain food samples. The effective dose due to ingestion of such food was estimated at 0.4 μSv per year for Cs-137 and at 1.0 μSv per year for Sr-90, which amounts in total to some 0.6 % 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 2004 are listed.

Table C: Summary of the annual exposure of the general public around the Krško NPP in 2004.

	Source	Annual effective dose (mSv)
natural radiation	- gamma radiation and the directly ionizing component of cosmic radiation	0.770
	- neutron component of cosmic radiation	0.070
	ingestion (K, U, Th)	0.290
	inhalation (Rn short-lived daughters)	1.300
	total	2.430
Krško NPP atmospheric discharges²	direct radiation from Krško-NPP external dose (immersion)	negligible
	deposition	0.0001
	inhalation	< 0.0001
	ingestion	< 0.001
Krško NPP liquid discharges²	reference group	< 0.0001
Chernobyl and nuclear-weapons tests	external dose	< 0.01
	ingestion	< 0.002

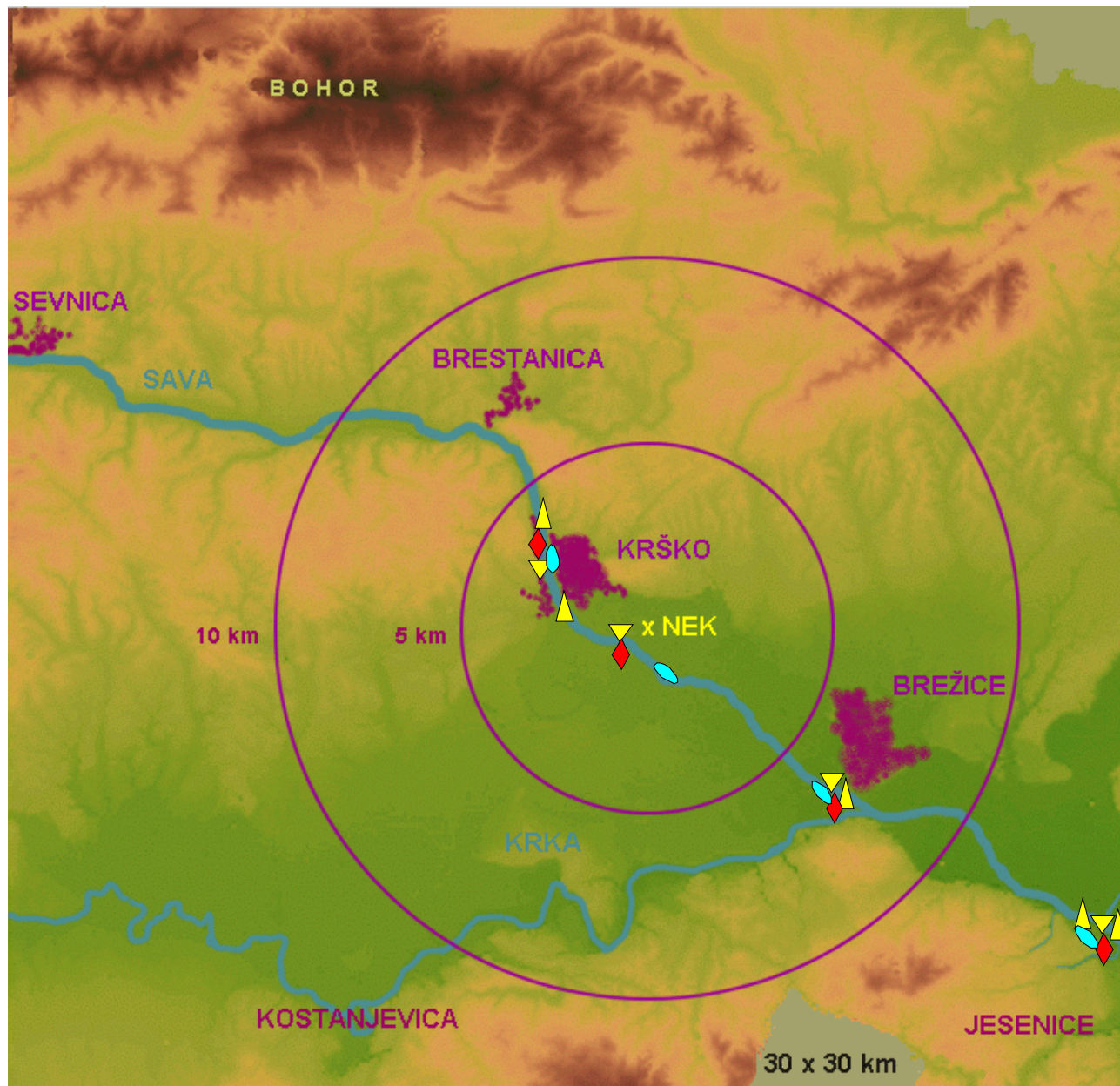
We can conclude that:

- In the year 2004 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.³
- 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.

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

³ 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 500m 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

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 v Savi 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 s fino suspendirano snovjo in meritve sušine 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 IJS) in gibljivih sedimentov (meritve IJS) reke Save;
3. vzorčevanje rib (vodne biote), ki obsega meritve pri mladica, meritve kosti in mišic rib ter meritve celih rib.

Poleg kontinuirnih avtomatskih vzorčevanj in meritev sestavljenih vzorcev, s katerimi določamo povprečne vsebnosti bolj dolgoživih izotopov, se izvajajo tudi vzorčevanja in meritve enkratnih vzorcev nefiltrirane vode. Iz rezultatov teh meritev lahko natančneje ocenimo koncentracije bolj kratkoživih izotopov, kot je npr. I-131.

Od leta 1997 deluje na referenčnem odvzemnem mestu Krško (v črpalni postaji za tehnološko vodo papirnice Vipap) kontinuirni vzorčevalnik, ki je nadomestil dotedanje ročno zbiranje vzorcev. Podobno od leta 2000 deluje na referenčnem mestu v Brežicah kontinuirno vzorčevanje vode, ki je v letu 2003 v celoti zamenjalo ročno vzorčevanje. V Jesenicah na Dolenjskem vzorčevanje še vedno poteka ročno.

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 datoteki **Sava2004.pdf**.

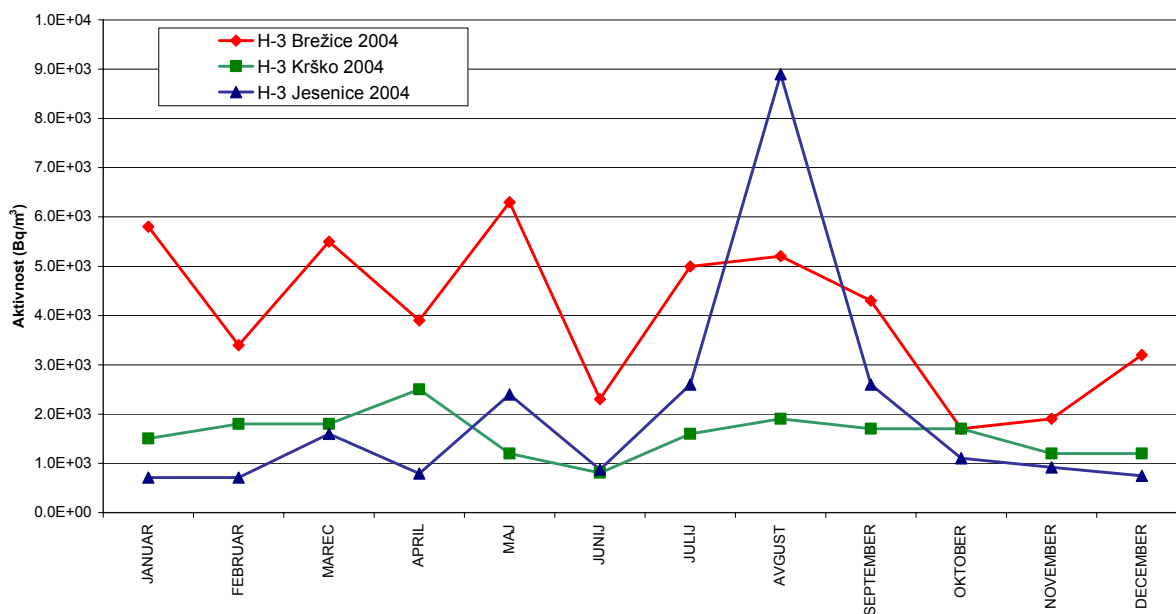


H-3 Na sliki 1.1 so prikazane primerjave vsebnosti tritija v savski vodi na lokacijah Krško, Brežice in Jesenice na Dolenjskem. Povprečna letna vsebnost H-3 v Brežicah ($4,0 \text{ kBq/m}^3$) kaže približno dvainpolkrat višjo vrednost, kot je dobljena na referenčnem odvzemu Krško (Vipap) ($1,6 \text{ kBq/m}^3$). Najvišji vrednosti mesečnih povprečij v Brežicah $5,8 \text{ kBq/m}^3$ in $6,3 \text{ kBq/m}^3$ sta bili doseženi v januarju in maju, ko sta bili vrednosti na referenčnem odvzemu Krško - Vipap $1,5 \text{ kBq/m}^3$ in $1,2 \text{ kBq/m}^3$ ob pretoku Save $224 \text{ m}^3/\text{s}$ oziroma $281 \text{ m}^3/\text{s}$ (letno povprečje $251 \text{ m}^3/\text{s}$). V Jesenicah na Dolenjskem so neodvisne meritve IRB pokazale letno povprečje $2,0 \text{ kBq/m}^3$, z največjo vrednostjo $8,9 \text{ kBq/m}^3$ v avgustu, ko je bil pretok Save najnižji ($147 \text{ m}^3/\text{s}$).

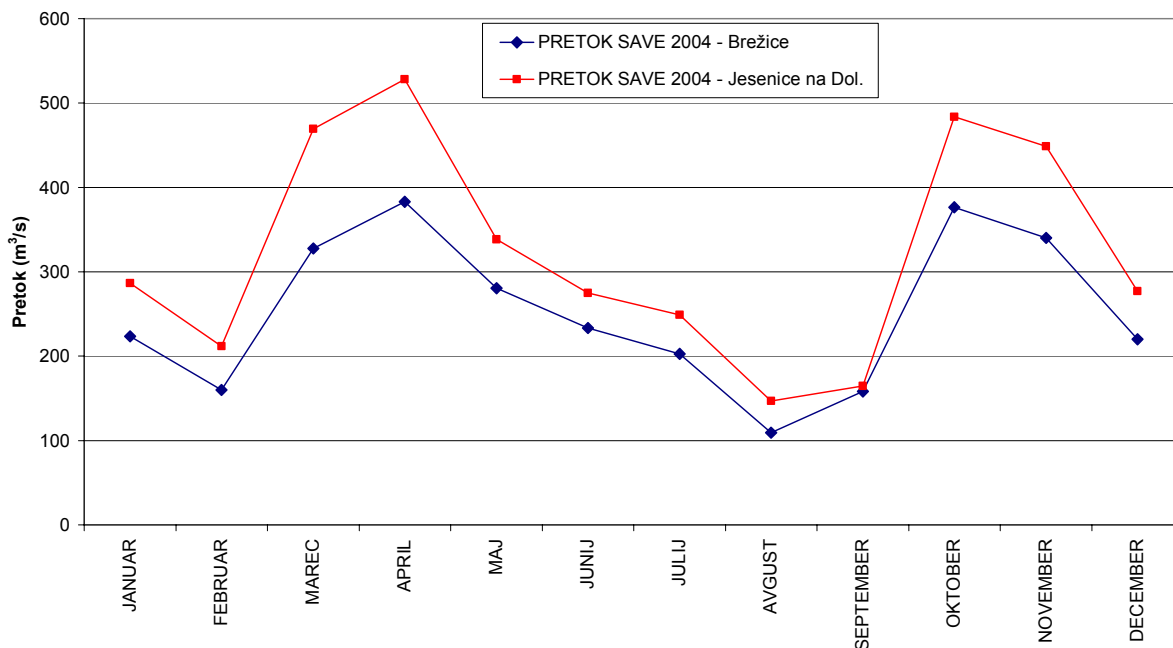
Predvsem v avgustu je opazno izrazito razhajanje med meritvami IRB (Jesenice) in IJS (Krško in Brežice), za katera je značilna višja vsebnost H-3 na odvzemnem mestu v Jesenicah v primerjavi z meritvami v Krškem in Brežicah, kar kaže na probleme razlike v metodologiji vzorčevanja vode in merjenja tritija.

V letu 2004 so bile vsebnosti H-3 v povprečju nižje za faktor 2 v Jesenicah v primerjavi z vsebnostmi v Brežicah, kar je logično, saj pride do večje razredčitve Save zaradi pritokov Krke in Sotle (slika 1.2).

Povprečna letna vsebnost tritija v Brežicah je podobna kot v letu 2003 ($3,5 \text{ kBq/m}^3$). Enako velja za primerjavo povprečne vsebnosti tritija na odvzemnem mestu Krško (Vipap) z letom 2003 ($2,0 \text{ kBq/m}^3$).



Slika 1.1: Primerjava vsebnosti tritija v savski vodi na lokacijah Krško, Brežice in Jesenice na Dolenjskem. Odmik rezultata meritev IRB v avgustu je verjetno posledica problema merjenja in ne dejanske povečane vsebnosti H-3. Negotovosti posameznih izmerkov so približno 500 Bq/m^3



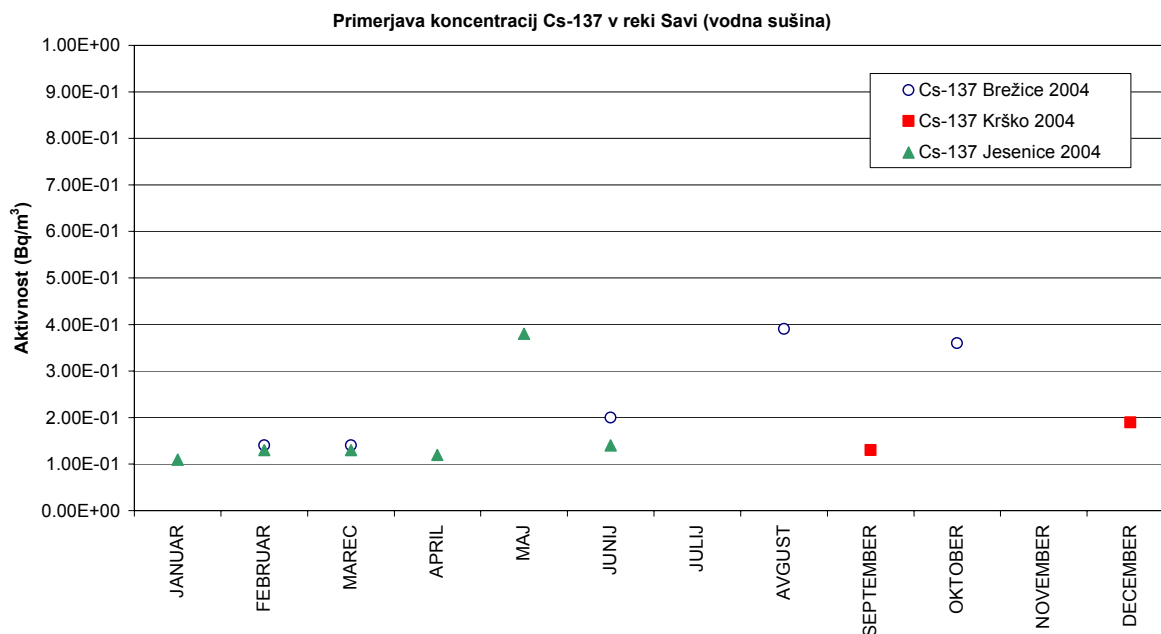
Slika 1.2: Pretok Save v Brežicah in Jesenicah na Dolenskem. Pretok v Jesenicah na Dolenjskem je višji kot v Brežicah zaradi pritokov Krke in Sotle

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 na Dolenjskem. Realnejše ocene temeljijo na enkratnih odvzemih nefiltrirane vode in ne na sestavljenih vzorcih, ki so bili zbrani v obdobju enega meseca ali v trimesečnem obdobju (referenčno mesto Krško (Vipap)). Povprečna letna vsebnost I-131 v enkratnih vzorcih na vzorčevalnih mestih je bila od 8 Bq/m^3 do 10 Bq/m^3 in je najvišja na odvzemnih mestih Krško pred papirnico in za papirnico. Odmiki koncentracij med posameznimi lokacijami so v mejah merilne negotovosti. Sistematičnih razlik, ki bi nakazovale vpliv NEK, ni bilo zaznati. Najvišje vrednosti so bile izmerjene v 1. četrtletju na vseh odvzemnih mestih in so bile od 18 Bq/m^3 do 29 Bq/m^3 . Vrednosti so v povprečju dvakrat nižje kot v letu 2003 (od 11 Bq/m^3 do 22 Bq/m^3).

SEDIMENTI

V sedimentih je I-131 opažen na nekaterih vzorčevalnih lokacijah v nizkih vsebnostih. Največja vsebnost I-131 je bila izmerjena v Jesenicah na Dolenjskem v talnem sedimentu (27 Bq/kg) in pred jezom NEK v gibljivem sedimentu (10 Bq/kg). Vsebnosti I-131 v talnem sediment (meritve IRB) so v povprečju na splošno nižje kot v gibljivem sedimentu.



Slika 1.3: Primerjava vsebnosti Cs-137 v sušini reke Save na lokacijah Krško, Brežice in Jesenice na Dolenjskem. Negotovosti posameznih izmerkov so okrog $0,1 \text{ Bq/m}^3$.

Cs-137 SUHI OSTANEK PO IZPAREVANJU VZORCA VODE

Na sliki 1.3 so prikazane primerjave meritev Cs-137 na različnih odvzemnih mestih. Cs-137 se v splošnem pojavlja v sušini in filtrskem ostanku v približno 2-krat višjih vsebnostih kot v predčernobilskem obdobju. Vsebnosti se od leta 1994 niso bistveno spreminjale, vendar v splošnem kažejo nagnjenost k počasnemu upadanju. V tabeli 1.1 je primerjava povprečnih vsebnosti cezija v vodi in v filtrskem ostanku na različnih odvzemnih mestih.

V suhem ostanku po izparevanju vzorca savske vode iz kontinuirnega vzorčevalnika v Brežicah v prvi polovici leta ni bil izmerjen cezij, medtem ko so vzporedne meritve enkratnih dnevnih ročnih odvzemov vode pokazale njegovo prisotnost. To nakazuje na možnost, da v prvi polovici leta nov kontinuirni vzorčevalni sistem še ni najboljše deloval. Najvišja četrletna povprečna vrednost v suhem ostanku je bila na referenčnem odvzemu Krško (Vipap) nižja od $0,1 \text{ Bq/m}^3$, največja mesečna vrednost v Brežicah v avgustu $0,4 \text{ Bq/m}^3$ (IJS) ter v Jesenicah na Dolenjskem v avgustu $0,6 \text{ Bq/m}^3$ (IRB). Letna povprečna vrednost v Brežicah $0,23 \text{ Bq/m}^3$ (v prvi polovici leta ročni odvzem in v drugi polovici kontinuirni vzorčevalnik) je bila nekoliko višja kot na referenčnih mestih v Krškem ($0,03 \text{ Bq/m}^3$). V Jesenicah na Dolenjskem je bila letna povprečna vrednost $0,35 \text{ Bq/m}^3$ (meritve IRB).



Tabela 1.1: Vsebnost Cs-137 v Bq/m³ v suhem ostanku po izparevanju vode, v filtrskem ostanku iz reke Save in vsota obeh prispevkov 2004 (meritve IJS, IRB)

Cs-137 (Bq/m ³)	KRŠKO (VIPAP)	BREŽICE	JESENICE NA DOLENJSKEM
Suhi ostanek po izparevanju vzorca vode	0,08 ± 0,06	0,1 ± 0,04	0,08 ± 0,07
Filtrski ostanek	0,18 ± 0,05	0,50 ± 0,10	0,17 ± 0,05
SKUPAJ	0,26 ± 0,08	0,6 ± 0,11	0,25 ± 0,09

FILTRSKI OSTANEK

Filtrski ostanek kaže v Brežicah v letnem povprečju (0,5 Bq/m³) približno 2,7-krat večjo vsebnost kot na referenčnem mestu Krško (Vipap) (0,18 Bq/m³). Jesenice na Dolenjskem kažejo podobno vsebnost (IRB: 0,17 Bq/m³) kot Krško. Na nadzornih mestih v Brežicah in Jesenicah na Dolenjskem so bile ugotovljene najvišje vrednosti 0,87 Bq/m³ (april – Brežice) in 0,47 Bq/m³ (november – Jesenice).

Iz tabele 1.1 je razvidno, da je skupna povprečna vsebnost cezija v sušini in filtrskem ostanku za približno 0,34 Bq/m³ višja v Brežicah v primerjavi z referenčnim mestom Krško (Vipap). Povprečne vrednosti v Jesenicah na Dolenjskem se praktično ne razlikujejo od vrednosti na referenčnem mestu v Krškem.

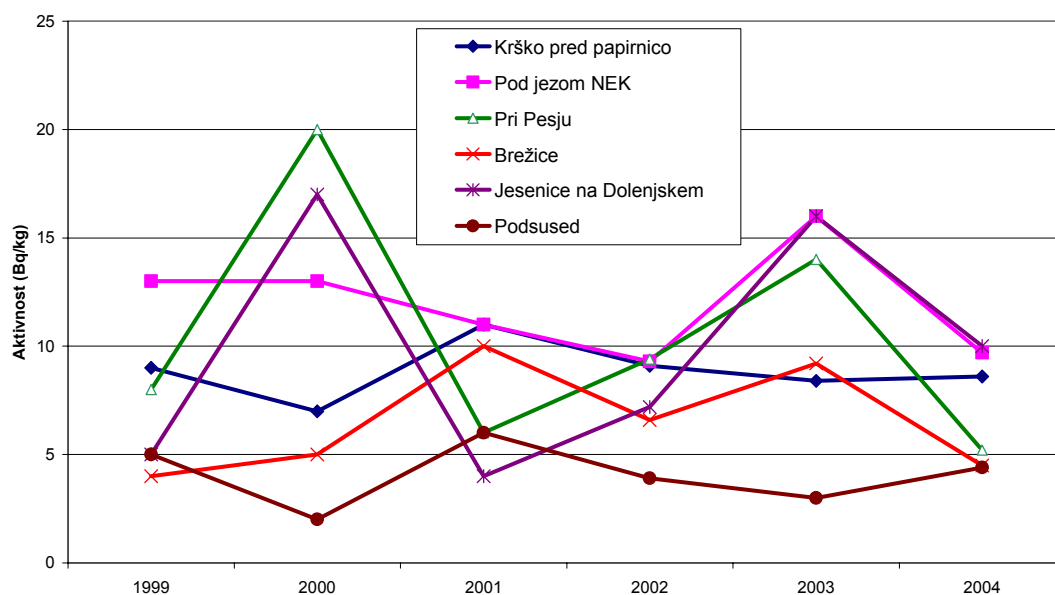
ENKRATNI VZORCI NEFILTRIRANE VODE

Vsebnost v celostnih enkratnih vzorcih vode (filtrat plus filtrski ostanek), ki se rabijo za nadzore kratkoživih radionuklidov, kaže v odvisnosti od odvzemnih mest naslednje povprečne vrednosti: Krško pred papirnico Vipap (1. referenčno mesto) 0,14 Bq/m³, Krško za papirnico Vipap (2. referenčno mesto) 0,29 Bq/m³, Brežice 0,22 Bq/m³, Jesenice 0,09 Bq/m³. Nasprotno od sestavljenih vzorcev, kjer so bile najvišje povprečne vrednosti v Brežicah, kažejo enkratni vzorci Krško za papirnico Vipap najvišjo izmerjeno vrednost (0,81 Bq/m³).

SEDIMENTI

Povprečna vsebnost Cs-137 v gibljivih sedimentih (IJS) na referenčnem mestu pred papirnico Vipap je 8,3 Bq/kg, na referenčnem mestu za papirnico Vipap 11 Bq/kg, v Brežicah 5,0 Bq/kg ter v Jesenicah na Dolenjskem 6,8 Bq/kg.

Povprečna aktivnost cezija v talnih sedimentih (IRB) je v Krškem (pod mostom) pred papirnico Vipap 8,6 Bq/kg (z največjo vrednostjo 13 Bq/kg), pod jezom NEK 9,7 Bq/kg (z največjo vrednostjo 15 Bq/kg), pri Pesju 5,2 Bq/kg (z največjo vrednostjo 7,8 Bq/kg), v Brežicah 4,5 Bq/kg (z največjo vrednostjo 5,4 Bq/kg), v Jesenicah na Dolenjskem 10 Bq/kg (z največjo vrednostjo 22 Bq/kg), v Podsusedu 4,4 Bq/kg (z največjo vrednostjo 8,9 Bq/kg). S slike 1.4 je razvidno, da so rezultati meritev podobni tistim v preteklih letih (1999–2003).



Slika 1.4: Primerjava vsebnosti Cs-137 v talnem sedimentu reke Save. Izrazitejša nihanje po letih je mogoče zaznati predvsem v Pesju in v Jesenicah na Dolenjskem. Merske negotovosti so okrog 4 Bq/kg

Cs-134, Co-58, Co-60, Sb-125, Te-125m so sevalci žarkov gama in rentgenskih žarkov, katerih koncentracija v vzorcih iz okolja v letu 2004 ni presegla detekcijske meje. Co-60 je bilo mogoče v preteklih letih občasno zaznati, ko je imela reka Sava nizek vodostaj.

Sr-90/Sr-89

SUHI OSTANEK PO IZPAREVANJU VZORCA VODE

Sr-90/89 se pojavlja v vodi na referenčnem mestu Krško - Vipap v podobni povprečni koncentraciji ($2,9 \text{ Bq/m}^3$) kot v nadzornem mestu v Brežicah ($3,4 \text{ Bq/m}^3$) in v Jesenicah na Dolenjskem ($2,9 \text{ Bq/m}^3$ - IRB). Vrednosti so v okviru merske negotovosti podobne rezultatom iz preteklih let (od 1999 do 2003).

FILTRSKI OSTANEK

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

ENKRATNI VZORCI NEFILTRIRANE VODE

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

SEDIMENTI

V gibljevih sedimentih (IJS) je bilo letno povprečje v Krškem pred papirnico Vipap $0,3 \text{ Bq/kg}$, v Krškem za papirnico Vipap (pred jezom NEK) $0,6 \text{ Bq/kg}$, v Brežicah $0,8 \text{ Bq/kg}$, v Jesenicah na Dolenjskem $0,9 \text{ Bq/kg}$. V talnih sedimentih (IRB) se povprečne vrednosti gibljejo od $1,2 \text{ Bq/kg}$ do $1,6 \text{ Bq/kg}$ za vsa odvzemna mesta. Vrednosti so primerljive z rezultati iz predhodnih let.



VODNA BIOTA

Tabele: T-19 do T-22 (IJS); T-22/p1, T-23, T-24 (IRB)

RIBE

Cs-137 Analize rib, ulovljenih na lokacijah, od katerih je prva referenčna nad izlivom papirnice Vipap, ena pod jezom NEK, drugi dve pa v Brežicah in Jesenicah na Dolenjskem, kažejo pri mišicah večjih rib in pri ribjih mladiceh povprečne vrednosti vsebnosti Cs-137 od 0,2 Bq/kg do 1,0 Bq/kg, pri čemer je največja posamična vrednost dobljena pod jezom NEK (2,7 Bq/kg za mišice rib). 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 na Dolenjskem (povprečna vrednost 0,16 Bq/kg), Medsavah (povprečna vrednost 0,22 Bq/kg) in Otok (povprečna vrednost 0,24 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, vendar pa lahko naredimo primerjave med koncentracijami stroncija v raznih vzorcih rib le na vzorcih kosti. V vzorcih celih rib namreč ne poznamo utežnega razmerja med težo kosti in mišic.

Povprečne vrednosti Sr-90/Sr-89 v kosteh so 1,0 Bq/kg (pod jezom NEK), v mišicah rib pa manj kot 0,05 Bq/kg (pod jezom NEK) na vzorcu treh rib. Največje vrednosti so bile izmerjene na lokaciji v Brežicah (1,3 Bq/kg v kosteh in 0,05 Bq/kg v mišicah) na vzorcu ene ribe. V Jesenicah na Dolenjskem je povprečna koncentracija stroncija v dveh vzorcih kosti 0,3 Bq/kg.

V meritvah IRB (cele ribe) se gibljejo povprečja po lokacijah od 0,17 Bq/kg do 0,3 Bq/kg. V splošnem so vse izmerjene vrednosti za umetne radionuklide zelo podobne tistim iz predhodnih let.

Ker nad NEK Sr-90/Sr-89 v kosteh ni bil izmerjen, je težko oceniti vpliv izpustov papirnice VIPAP in NEK na koncentracijo Sr-90/Sr-89. Iz primerjave med koncentracijami Sr-90/Sr-89 v vzorcih rib mladice pa sklepamo, da je skupni vpliv izpustov papirnice VIPAP in NEK na koncentracijo Sr-90/Sr-89 v ribah pod mejo določljivosti.



Preglednica 1.1a: SUHI OSTANKI PO IZPAREVANJU IN SUSPENDIRANE SNOVI REKE SAVE 2004 - meritve IJS, IRB

"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov v filtratu vode (voda s fino suspendirano snovjo)
 "Doza" Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za otroka (1–2 leti) $E(70)$ za obdobje 70 let

IZOTOP	KRŠKO - VIDEM		BREŽICE (kont. vzor.)		JESENICE (**)	
	A (Bq/m ³)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ³)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ³)	Doza (mikro Sv)
U (Th-234)	4,2E+00 ± 4E-01	7,3E-01 ± 7E-02	3,4E+00 ± 5E-01	5,8E-01 ± 9E-02	3,2E+00 ± 7E-01	5,5E-01 ± 1E-01
Ra - 226	3,3E+00 ± 2E-01	1,3E+00 ± 9E-02	2,8E+00 ± 5E-01	1,1E+00 ± 2E-01	1,7E+00 ± 6E-01	6,4E-01 ± 2E-01
Pb - 210	2,9E-01 ± 4E-01	4,2E-01 ± 6E-01	1,2E+00 ± 5E-01	1,8E+00 ± 8E-01	1,1E+00 ± 6E-01	1,6E+00 ± 8E-01
Th (Ra-228)	1,1E+00 ± 9E-02	2,7E+00 ± 2E-01	1,5E+00 ± 1E-01	3,6E+00 ± 3E-01	2,5E-01 ± 3E-01	6,2E-01 ± 7E-01
Th - 228	1,5E-01 ± 5E-02	6,5E-02 ± 2E-02	7,7E-01 ± 1E-01	3,4E-01 ± 5E-02	2,9E+00 ± 1E+00	1,3E+00 ± 5E-01
K - 40	3,8E+01 ± 4E+00	6,4E-01 ± 6E-02	3,8E+01 ± 2E+00	6,5E-01 ± 3E-02	3,9E+01 ± 4E+00	6,5E-01 ± 7E-02
Be - 7	6,5E+00 ± 5E-01	3,4E-04 ± 3E-05	1,9E+00 ± 5E-01	9,9E-05 ± 3E-05	2,2E+00 ± 4E-01	1,2E-04 ± 2E-05
I - 131	1,2E+01 ± 3E+00	8,6E-01 ± 2E-01	9,2E+00 ± 7E-01	6,6E-01 ± 5E-02	8,4E+00 ± 9E-01	6,0E-01 ± 6E-02
Cs - 134						
Cs - 137	8,0E-02 ± 4E-02	3,9E-04 ± 2E-04	1,0E-01 ± 4E-02	5,0E-04 ± 2E-04	8,4E-02 ± 7E-02	4,0E-04 ± 4E-04
Co - 58						
Co - 60						
Cr - 51						
Mn - 54						
Zn - 65						
Nb - 95						
Ru-106						
Sb - 125						
Sr-90/Sr-89	2,9E+00 ± 2E-01	8,5E-02 ± 4E-03	3,4E+00 ± 3E-01	1,0E-01 ± 1E-02	2,9E+00 ± 2E-01	8,5E-02 ± 6E-03
H - 3	1,6E+03 ± 1E+02	3,0E-02 ± 2E-03	4,0E+03 ± 5E+02	7,8E-02 ± 9E-03	2,0E+03 ± 7E+02	3,8E-02 ± 1E-02
Doza za umetne radionuklide		0,973 ± 2E-01		0,838 ± 5E-02		0,726 ± 6E-02
Doza za umetne radionuklide brez I-131		0,116 ± 5E-03		0,178 ± 1E-02		0,124 ± 1E-02
Doza totalna		6,780 ± 7E-01		8,827 ± 9E-01		6,054 ± 1E+00

Preglednica 1.1b: FILTRSKI OSTANKI REKE SAVE 2004 - meritve IJS, IRB

"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov v filtrskem ostanku (grobe suspendirane snovi)
 "Doza" Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za otroka (1–2 leti) $E(70)$ za obdobje 70 let

IZOTOP	KRŠKO - VIDEM		BREŽICE (kont. vzor.)		JESENICE (**)	
	A (Bq/m ³)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ³)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ³)	Doza (mikro Sv)
U (Th-234)	4,7E-01 ± 1E+00	8,2E-02 ± 2E-01	1,3E+00 ± 3E-01	2,3E-01 ± 6E-02	5,3E-01 ± 2E-01	9,2E-02 ± 4E-02
Ra - 226	1,7E-01 ± 1E-01	6,7E-02 ± 4E-02	7,4E-01 ± 2E-01	2,8E-01 ± 8E-02	3,9E-01 ± 1E-01	1,5E-01 ± 6E-02
Pb - 210	5,4E-01 ± 6E-01	7,7E-01 ± 9E-01	2,2E+00 ± 5E-01	3,1E+00 ± 7E-01	3,5E+00 ± 1E+00	5,1E+00 ± 1E+00
Th (Ra-228)	5,7E-01 ± 1E-01	1,4E+00 ± 2E-01	7,2E-01 ± 2E-01	1,8E+00 ± 4E-01	1,2E-01 ± 2E-01	2,8E-01 ± 4E-01
Th - 228	2,8E-01 ± 1E-01	1,2E-01 ± 5E-02	6,8E-01 ± 1E-01	3,0E-01 ± 5E-02	1,6E+00 ± 8E-01	7,0E-01 ± 4E-01
K - 40	4,2E+00 ± 1E+00	7,0E-02 ± 2E-02	9,0E+00 ± 2E+00	1,5E-01 ± 3E-02	3,4E+00 ± 9E-01	5,8E-02 ± 2E-02
Be - 7	6,1E-01 ± 8E-01	3,2E-05 ± 4E-05	2,5E+00 ± 7E-01	1,3E-04 ± 4E-05	2,0E+00 ± 6E-01	1,0E-04 ± 3E-05
I - 131			1,3E+00 ± 2E-01	9,5E-02 ± 1E-02	4,5E-01 ± 3E-01	3,2E-02 ± 2E-02
Cs - 134						
Cs - 137	1,7E-01 ± 6E-02	8,0E-04 ± 3E-04	5,0E-01 ± 1E-01	2,4E-03 ± 5E-04	1,7E-01 ± 5E-02	8,2E-04 ± 2E-04
Co - 58						
Co - 60						
Cr - 51						
Mn - 54						
Zn - 65						
Nb - 95						
Ru-106						
Sb - 125						
Sr-90/Sr-89	0 ± 2E-01	0 ± 7E-03	0 ± 2E-01	0 ± 6E-03	4,4E-02 ± 1E-02	1,3E-03 ± 4E-04
Doza za umetne radionuklide		0,001 ± 7E-03		0,097 ± 1E-02		0,034 ± 2E-02
Doza za umetne radionuklide brez I-131		0,001 ± 7E-03		0,002 ± 6E-03		0,002 ± 5E-04
Doza totalna		2,502 ± 1E+00		5,953 ± 8E-01		6,406 ± 2E+00

(**) Meritve IRB



POVZETEK SUMARNIH DOZ ZA OTROKE (1–2 LET) IN ODRASLE, izračunanih iz merskih podatkov preglednic 1.1a in 1.1b, doznih pretvorbenih faktorjev iz reference [3] in faktorjev porabe (odrasli človek zaužije letno 0,8 m³ vode in otrok 0,4 m³). Postopek za preračun sevalnih obremenitev preko aktivnosti in doznih pretvorbenih faktorjev je opisan v dokumentu *Ocena sevalnih obremenitev (LMR-RP-01)*. Preglednica vsebuje **sumarne doze za suhi in filtrski ostanek** ob predpostavki pitja nefiltrirane savske vode.

Preglednica 1.1a, b (povzetek):

Suhi ostanek po izparevanju vode ter filtrski ostanek reke Save v letu 2004
– meritve IJS in IRB

Starostna skupina	Efektivna doza μSv na leto	KRŠKO (VIPAP)	BREŽICE (ročno vzorč.)	JESENICE (meritve IRB)
Odrasli (<i>E(50)</i>)	Umetni radionuklidi	0,302 ± 0,060	0,328 ± 0,021	0,253 ± 0,020
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,092 ± 0,004	0,145 ± 0,010	0,098 ± 0,011
	Umetni in naravni radionuklidi	3,787 ± 0,500	5,758 ± 0,424	4,905 ± 0,721
Otroci (<i>E(70)</i>)	Umetni radionuklidi	0,971 ± 0,021	0,937 ± 0,051	0,764 ± 0,063
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,121 ± 0,009	0,182 ± 0,012	0,122 ± 0,010
	Umetni in naravni radionuklidi	9,280 ± 1,221	14,780 ± 1,204	12,456 ± 2,236

E(50) Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za odrasle za obdobje 50 let

E(70) Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za otroka za obdobje 70 let



Preglednica 1.2a: REKA SAVA! MIŠICE RIB 2004 - meritve IJS

"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov (Bq/kg) v sveži snovi vzorcev mišice rib in kosti
 "Doza" Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za otroka (1–2 leti) $E(70)$ za obdobje 70 let

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

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

izračunanih iz merskih podatkov preglednice 1.2a, doznih pretvorbenih faktorjev iz reference [3] in faktorja porabe (odrasel ribič zaužije 36 kg rib in otrok 21,6 kg).

Preglednica 1.2a (povzetek):

Reka Sava - mišice rib 2004 – meritve IJS

	Efektivna doza μSv na leto	Krško pod jezom	Brežice	Jesenice na Dolenjskem
Odrasli ($E(50)$)	Umetni radionuklidi	0,55 ± 0,10	0,59 ± 0,10	0,41 ± 0,16
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,47 ± 0,10	0,29 ± 0,05	0,27 ± 0,09
	Umetni in naravni radionuklidi	33,00 ± 7,00	26,00 ± 30,00	28,60 ± 9,70
Otroci ($E(70)$)	Umetni radionuklidi	0,63 ± 0,40	1,60 ± 0,60	0,87 ± 0,67
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,26 ± 0,09	0,16 ± 0,08	0,20 ± 0,09
	Umetni in naravni radionuklidi	130,00 ± 20,00	110,00 ± 80,00	115,30 ± 26,90

$E(50)$ Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za odrasle za obdobje 50 let

$E(70)$ Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za otroka za obdobje 70 let


Preglednica 1.2b: REKA SAVA! MLADICE RIB 2004 - meritve IJS
"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov (Bq/kg) v sveži snovi vzorcev mladice rib

"Doza" Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za otroka (1–2 leti) $E(70)$ za obdobje 70 let

Mladice rib						
IZOTOP	KRŠKO pred papirnico		BREŽICE		JESENICE na Dolenjskem	
	A (Bq/kg)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/kg)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/kg)	Doza (mikro Sv)
U (Th-234)	0 ± 2E-01	0 ± 3E+00	0 ± 6E-01	0 ± 9E+00	0 ± 9E-01	0 ± 1E+01
Ra - 226	1,0E-01 ± 1E-01	2,2E+00 ± 3E+00	2,7E-01 ± 2E-01	5,6E+00 ± 3E+00	3,8E-01 ± 2E-01	7,8E+00 ± 4E+00
Pb - 210	4,1E-02 ± 3E-01	3,2E+00 ± 2E+01	1,4E-01 ± 1E-01	1,1E+01 ± 1E+01	0 ± 7E-01	0 ± 6E+01
Th (Ra-228)	8,8E-02 ± 5E-02	1,2E+01 ± 7E+00	1,3E-01 ± 4E-02	1,8E+01 ± 5E+00	3,5E-01 ± 2E-01	4,7E+01 ± 2E+01
Th - 228	2,7E-02 ± 3E-02	6,4E-01 ± 6E-01	5,3E-02 ± 5E-02	1,3E+00 ± 1E+00	0 ± 6E-02	0 ± 1E+00
K - 40	9,5E+01 ± 5E+00	8,6E+01 ± 5E+00	8,9E+01 ± 7E+00	8,1E+01 ± 6E+00	1,2E+02 ± 3E+01	1,1E+02 ± 2E+01
Be - 7						
I - 131	6,2E-01 ± 1E-01	2,4E+00 ± 5E-01	2,5E-01 ± 9E-02	9,6E-01 ± 4E-01	7,8E-01 ± 3E-01	3,0E+00 ± 1E+00
Cs - 134						
Cs - 137	2,1E-01 ± 6E-02	5,4E-02 ± 2E-02	2,9E-01 ± 3E-02	7,5E-02 ± 9E-03	2,9E-01 ± 6E-02	7,5E-02 ± 2E-02
Co - 58						
Co - 60						
Cr - 51						
Mn - 54						
Zn - 65						
Nb - 95						
I - 125						
Sb - 125						
Sr-90/Sr-89	1,4E-01 ± 8E-02	2,2E-01 ± 1E-01	1,2E-01 ± 1E-01	1,9E-01 ± 2E-01	7,0E-02 ± 7E-02	1,1E-01 ± 1E-01
Doza za umetne radionuklide		2,7E+00 ± 5E-01		1,2E+00 ± 4E-01		3,2E+00 ± 1E+00
Doza za umetne radionuklide brez I-131		2,7E-01 ± 1E-01		2,6E-01 ± 2E-01		1,9E-01 ± 1E-01
Doza totalna		1,1E+02 ± 2E+01		1,2E+02 ± 2E+01		1,6E+02 ± 7E+01

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

izračunanih iz merskih podatkov preglednice 1.2b, doznih pretvorbenih faktorjev iz reference [3] in faktorja porabe (odrasel ribič zaužije 36 kg rib in otrok 21,6 kg).

Preglednica 1.2b (povzetek):
Reka Sava - mladice rib 2004 – meritve IJS

Starostna skupina	Efektivna doza μSv na leto	Krško pred papirnico	Brežice	Jesenice na Dolenjskem
Odrasli (E(50))	Umetni radionuklidi	0,73 ± 0,10	0,45 ± 0,10	0,82 ± 0,30
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,24 ± 0,08	0,26 ± 0,10	0,21 ± 0,08
	Umetni in naravni radionuklidi	27,00 ± 8,00	31,00 ± 8,00	42,00 ± 20,00
Otroci (E(70))	Umetni radionuklidi	2,70 ± 0,50	1,20 ± 0,40	3,20 ± 1,00
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,27 ± 0,10	0,26 ± 0,20	0,19 ± 0,10
	Umetni in naravni radionuklidi	110,00 ± 20,00	120,00 ± 20,00	160,00 ± 70,00

E(50) Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za odrasle za obdobje 50 let

E(70) Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za otroka za obdobje 70 let


Preglednica 1.2c: REKA SAVA! MLADICE RIB 2004 (meritve IRB)
"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov (Bq/kg) v sveži snovi vzorcev mladice rib

"Doza" Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za otroka (1–2 leti) $E(70)$ za obdobje 70 let

Mladice rib (Hrvaška)								
IZOTOP	JESENICE NA Dolenjskem		MEDSAVE		OTOK		PODSUSED	
	A (Bq/kg)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/kg)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/kg)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/kg)	Doza (mikro Sv)
U (Th-234)	0 ± 2E+00	0 ± 3E+01	0 ± 2E+00	0 ± 3E+01	2,0E-01 ± 2E+00	3,0E+00 ± 3E+01	0 ± 2E+00	0 ± 3E+01
Ra - 226	9,6E-01 ± 4E-01	2,0E+01 ± 8E+00	2,6E-01 ± 3E-01	5,4E+00 ± 6E+00	4,8E-01 ± 3E-01	1,0E+01 ± 5E+00	1,6E+00 ± 5E-01	3,4E+01 ± 1E+01
Pb - 210	0 ± 2E+01	0 ± 1E+03	0 ± 2E+01	0 ± 1E+03	0 ± 2E+01	0 ± 2E+03	1,6E+00 ± 2E+01	1,3E+02 ± 1E+03
Th (Ra-228)	0 ± 5E-01	0 ± 7E+01	0 ± 5E-01	0 ± 7E+01	0 ± 5E-01	0 ± 7E+01	0 ± 5E-01	0 ± 7E+01
Th - 228	0 ± 8E+00	0 ± 2E+02	0 ± 9E+00	0 ± 2E+02	0 ± 8E+00	0 ± 2E+02	0 ± 8E+00	0 ± 2E+02
K - 40	1,0E+02 ± 5E+00	9,3E+01 ± 4E+00	8,9E+01 ± 1E+01	8,1E+01 ± 1E+01	9,6E+01 ± 5E+00	8,7E+01 ± 4E+00	1,0E+02 ± 5E+00	9,5E+01 ± 4E+00
Be - 7								
I - 131	1,3E-01 ± 1E+00	5,2E-01 ± 5E+00	1,7E-01 ± 3E+00	6,5E-01 ± 1E+01	0 ± 4E+00	0 ± 1E+01	0 ± 3E+00	0 ± 1E+01
Cs - 134								
Cs - 137	1,6E-01 ± 1E-01	4,2E-02 ± 3E-02	2,2E-01 ± 1E-01	5,7E-02 ± 3E-02	2,4E-01 ± 1E-01	6,1E-02 ± 3E-02	2,8E-01 ± 1E-01	7,1E-02 ± 3E-02
Co - 58								
Co - 60								
Cr - 51								
Mn - 54								
Zn - 65								
Nb - 95								
I - 125								
Sb - 125								
Ce - 144								
Sr-90/Sr-89	2,6E-01 ± 4E-02	4,1E-01 ± 6E-02	3,0E-01 ± 3E-02	4,8E-01 ± 4E-02	2,5E-01 ± 2E-02	4,0E-01 ± 4E-02	1,7E-01 ± 5E-02	2,7E-01 ± 7E-02
Doza za umetne radionuklide		9,7E-01 ± 5E+00		1,2E+00 ± 1E+01		4,6E-01 ± 1E+01		3,4E-01 ± 1E+01
Doza za umetne radionuklide brez I-131		4,5E-01 ± 6E-02		5,3E-01 ± 4E-02		4,6E-01 ± 4E-02		3,4E-01 ± 7E-02
Doza totalna		1,1E+02 ± 1E+03		8,7E+01 ± 1E+03		9,7E+01 ± 2E+03		2,6E+02 ± 1E+03

d) VPLIV NEK NA VSEBNOSTI RADIONUKLIDOV V OKOLJU

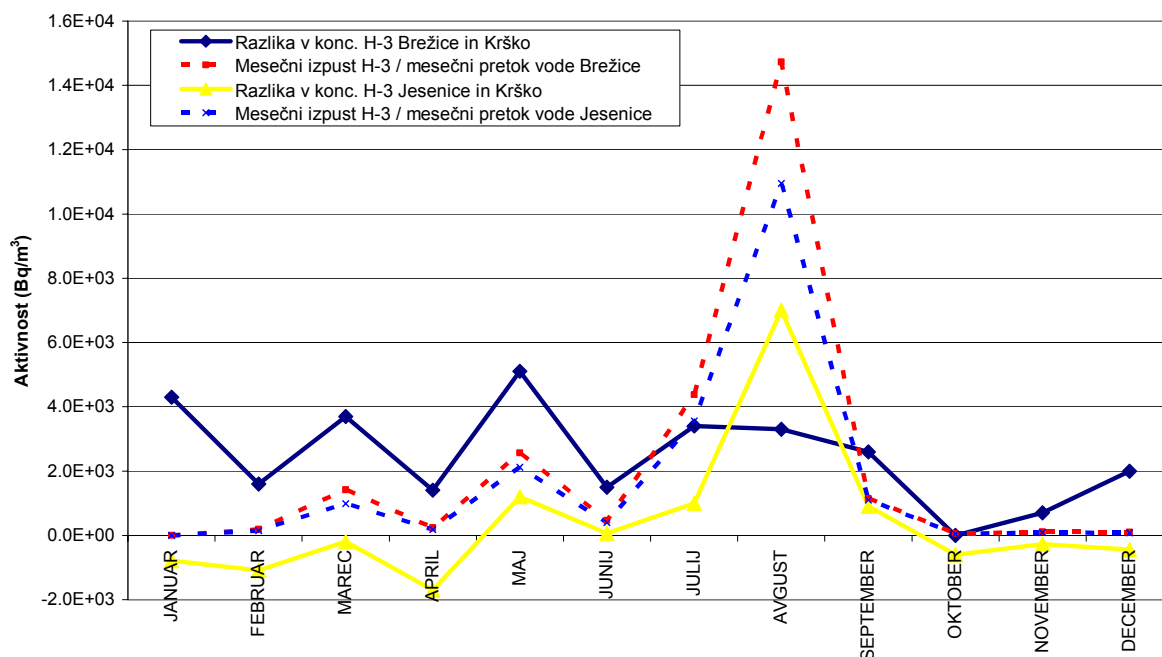
Vpliv na okolje smo ocenili na podlagi primerjave rezultatov emisijskih meritev (meritev vzorcev iz izpustnih tankov - WMT in kaluže uparjalnikov - SGBD), ki jih izvaja NEK, in rezultatov meritev vzorcev reke Save. Na sliki 9.1 (poglavje "Program B") je podana skupna aktivnost tekočinskih izpustov H-3 v reko Savo. Po podatkih NEK so bili največji izpusti opravljeni v avgustu, ko je bilo v okolju izpuščeno $4.2 \text{ E}+12 \text{ Bq}$ tritija H-3.

Na sliki 1.4 je podana korelacija med izračunanimi koncentracijami H-3 v Brežicah in Jesenicah na Dolenjskem ter izmerjenimi koncentracijami H-3. Izračunane koncentracije so dobljene tako, da smo mesečni izpust H-3 delili z mesečno količino pretečene Save. Pri izmerjenih koncentracijah nas je zanimal prirastek koncentracije v Brežicah in Jesenicah na Dolenjskem v primerjavi z referenčnim mestom v Krškem.

Iz grafa je razvidno, da obstaja dobra korelacija med izpusti in narastkom koncentracije H-3 v Savi predvsem pri meritvah IRB. Meritve IJS izrazitejšega izpusta v avgustu niso zaznale.

Rezultati meritev IRB se zaradi že omenjene razlike v metodologiji vzorčevanja in merjenja razlikujejo od meritev IJS in zato dobimo v nekaterih mesecih negativne narastke koncentracije, saj je meritve na referenčnem mestu v Krškem opravil IJS.

Povprečni letni prispevek koncentracije tritija v savski vodi zaradi vpliva NEK na odvzemnem mestu Brežice je bil $(2,4 \pm 0,5) \text{ kBq/m}^3$, kar je več kot v letu 2003 $(1,5 \text{ kBq/m}^3)$ in manj kot v letu 2002 $(3,6 \text{ kBq/m}^3)$.



Slika 1.4: Narastek koncentracij H-3 v Brežicah in Jesenicah na Dolenjskem. Primerjava z izračunanimi koncentracijami, dobljenimi na podlagi mesečnih izpustov in pretoka Save (mesečni izpust / mesečni pretok Save).

Na podlagi letnega prirastka tritija v Brežicah lahko izračunamo skupno izpuščeno aktivnost H-3, tako da pomnožimo prirastek H-3 z letnim pretokom reke Save ($251 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \text{ s} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ d} = (7,9\text{E}+9) \text{ m}^3$). Ocenjena izpuščena aktivnost tritija ($1,8 \pm 0,3$) E+13 Bq se dobro ujema z dejanskimi letnimi izpusti H-3 ($1,1 \text{ E}+13 \text{ Bq}$).

Primerjave med izpuščenimi aktivnostmi in koncentracijami v vzorcih reke Save za druge radionuklide niso možne, ker so izpuščene aktivnosti drugih radionuklidov nekaj velikostnih redov nižje in jih na odvzemnih mestih sotočno od NEK zaradi razredčitve navadno ni bilo mogoče zaznati.

Cs-137 in Sr-90/Sr-89 sta prisotna na vseh merilnih mestih, vendar ni nobene neposredne korelacije z mesečnimi izpusti. Primerjava z meritvami od leta 1998 naprej kaže dokaj podobno situacijo glede umetnega radionuklida Cs-137, ki je povezan z rahlo pojemajočo černobilsko onesnaženostjo. Ocena prispevka Cs-137 zaradi vpliva NEK je narejena na podlagi primerjave med meritvami v Brežicah in na referenčnem mestu v Krškem. Tako je bil povprečni prispevek vsebnosti Cs-137 v sušini na odvzemnem mestu Brežice ($0,02 \pm 0,07$) Bq/m³ (v letu 2002 je bil ($0,11 \pm 0,09$) Bq/m³). Zaradi večje zanesljivosti smo prispevek Cs-137 ocenili tudi iz meritev enkratnih vzorcev nefiltrirane vode. Iz slednjih dobimo povprečni prirastek cezija v Brežicah glede na merilno mesto za papirnico Vipap (0,5 km protitočno od NEK) ($-0,07 \pm 0,22$) Bq/m³. Enkratni vzorci nefiltrirane vode nam nakazujejo na možnost, da je povečana vsebnost Cs-137 v nefiltrirani vodi posledica vpliva papirnice, saj je povprečna koncentracija Cs-137 za papirnico Vipap ($0,29 \pm 0,1$) Bq/m³ dvakrat višja kot pred njo ($0,14 \pm 0,1$) Bq/m³.

Višja vsebnost Cs-137 v Brežicah glede na referenčno mesto v Krškem najverjetneje ni posledica vpliva NEK v letu 2004.

Mnogo pomembnejši prispevek od cezija k dozi kritične skupine da umetni radionuklid Sr-90, ki kaže bolj ali manj stalne vrednosti, primerljive z obdobjem od leta 1990 do 2004. Aktivnost Sr-90 v černobilskem usedu je bila približno 2 % vrednosti Cs-137 in so torej tako izmerjene vrednosti



predvsem ostanek atmosferskih jedrskih eksplozij v preteklosti. Ocena prispevka Sr-90 zaradi vpliva NEK je narejena enako kot za cezij in tritij na podlagi primerjave med meritvami v Brežicah in na referenčnem mestu v Krškem. Tako je bil povprečni prispevek vsebnosti Sr-90/Sr-89 v sušini na odvzemnem mestu Brežice $(0,5 \pm 0,1) \text{ Bq/m}^3$.

Med kratkoživimi onesnaževalci je pomemben I-131, ki ga tudi v letu 2004 opazamo protitočno od NEK (terapija v bolnicah) v primerljivih vsebnostih kot tudi sotočno od NEK. Do ugotovitve, da so bolnice 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 $(10 \pm 6) \text{ Bq/m}^3$ in je v okviru merske negotovosti podobna kot na vseh drugih odvzemnih mestih sotočno od NEK.

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 povprečnih letnih vsebnosti radionuklidov v vodi in v ribah reke Save na referenčni in nadzornih točkah. Rezultati so podani v **preglednicah 1.1** in **1.2**. V stolpcih "A" 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 pretvorbenih 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 2003 smo tudi za leto 2004 naredili oceno doze, ki bi jo prejel **odrasel človek – ribič** ob zaužitju 36 kg rib na leto. Za umetne radionuklide brez upoštevanja I-131 smo dobili v Brežicah (preglednica 1.2a) vrednost $(0,29 \pm 0,05) \mu\text{Sv}$ na leto. Za otroka ribiča, ki zaužije 60 % hrane odraslega, pa smo dobili $(0,16 \pm 0,08) \mu\text{Sv}$ na leto na isti lokaciji. Ocene so narejene na osnovi povprečnih letnih vsebnosti, ki so izračunane tako, da vsebnost pod mejo kvantifikacije ne prispeva k dozi, ampak k negotovosti doze. Omeniti je treba, da se vpliv spremenjenega računa povprečij znatno pozna pri naravnih radionuklidih in pri ceziju, ker se zaznani radionuklidi pogosto pojavljajo v koncentracijah pod mejo kvantifikacije. Pri oceni negotovosti letne efektivne doze smo upoštevali le negotovosti izmerjenih vsebnosti, drugih virov k negotovosti (podatki o porabi hrane, dozni pretvorbeni faktorji) pa nismo upoštevali.

Prispevek NEK k letni dozi posameznika zaradi uživanja rib smo ocenili na podlagi razlike doz na lokacijah sotočno od NEK v Brežicah in na referenčnem mestu v Krškem (tabela 1.2b). V letu 2004 ni bilo podatkov o mišicah rib na referenčnem mestu v Krškem, zato smo za izračun uporabili vsebnosti radionuklidov v mladiceh rib. Na podlagi te metodologije smo dobili, da je možni prispevek NEK v Brežicah zaradi uživanja mladice rib **$(0,02 \pm 0,13) \mu\text{Sv}$ na leto** za odrasle.

Ta ocena potrjuje, da prispevka NEK na podlagi meritev pri ribah ni mogoče ocenjevati, saj so negotovosti prevelike predvsem zaradi majhne količine vzorcev.

PITJE SAVSKE VODE

Podobno kot v preteklosti smo naredili oceno letne doze zaradi vsebnosti umetnih in naravnih radionuklidov, ki jo prejme odrasel človek ter otrok (1–2 let) ob predpostavki, da bi **celo leto pil nefiltrirano savsko vodo**. V poročilu *Izpostavitve prebivalcev sevanju zaradi tekočih izpustov NE Krško v reko Savo (IJS-DP-8801)* je bilo ugotovljeno, da je prenosna pot pitja rečne vode malo verjetna in nam zato ne da realnih rezultatov. Zaradi zgodovinskih razlogov v nadaljevanju vseeno



podajamo ocene doz za to prenosno pot, kjer smo upoštevali porabo 0,8 m³ vode. Rezultati so podani v preglednici 1.1a,b (povzetek).

Prispevek NEK in VIPAP k letni dozi posameznika zaradi pitja nefiltrirane savske vode smo ocenili na podlagi razlike doz na lokacijah sotočno od NEK in na referenčnem mestu v Krškem (tabela 1.1). Na podlagi te metodologije je razvidno, da je prispevek NEK in VIPAP zaradi uživanja vode v Brežicah **(0,05 ± 0,01) μSv na leto** za odrasle in **(0,06 ± 0,01) μSv na leto** za otroke. Od te doze lahko pripišemo NEK le tisti del, ki pride od H-3, to je **(0,04 ± 0,01) μSv na leto** za odrasle in **(0,05 ± 0,01) μSv na leto** za otroke.

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

Starostna skupina	Efektivna doza μSv na leto	RAZLIKA Brežice – Krško		RAZLIKA Jesenice – Krško	
Odrasli (E(50))	Umetni radionuklidi	0,03	± 0,06	-0,05	± 0,06
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,05	± 0,01	0,01	± 0,01
	H-3	0,04	± 0,01	0,01	± 0,01
	Umetni in naravni radionuklidi	1,97	± 0,66	1,12	± 0,88
Otroci (E(70))	Umetni radionuklidi	-0,03	± 0,06	-0,21	± 0,07
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,06	± 0,01	0,00	± 0,01
	H-3	0,05	± 0,01	0,01	± 0,01
	Umetni in naravni radionuklidi	5,50	± 1,71	3,18	± 2,55

E(50) Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za odrasle za obdobje 50 let

E(70) Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za otroka za obdobje 70 let

f) SKLEPI

Ocena prispevka emisij NEK, papirnice Vipap in drugih dejavnikov (globalna kontaminacija, prispevek I-131 iz zdravstvene dejavnosti) k letni dozi posameznika, narejena samo na podlagi primerjave meritev vzorcev savske vode protitočno in sotočno od NEK in ob predpostavki pitja nefiltrirane savske vode, da izpostavljenost, manjšo od 0,1 μSv na leto za vse starostne skupine. Ob tem je treba poudariti, da s to metodologijo ne moremo ločeno obravnavati vpliva NEK od papirnice VIPAP, vsekakor pa je vpliv NEK manjši od 0,1 μSv na leto.

Ocena doze zaradi prispevka NEK, papirnice Vipap in drugih dejavnikov zaradi uživanja rib ni mogoče oceniti zaradi prevelike negotovosti, ki je posledica majhnega števila vzorcev.

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 v letu 2004*". To metodo uporabljamo za dejansko oceno vpliva NEK. Oceno letnih doz iz meritev vzorcev v okolju uporabljamo le kot vzporedno metodo, ki nam da primerljive vrednosti.

g) REFERENCE

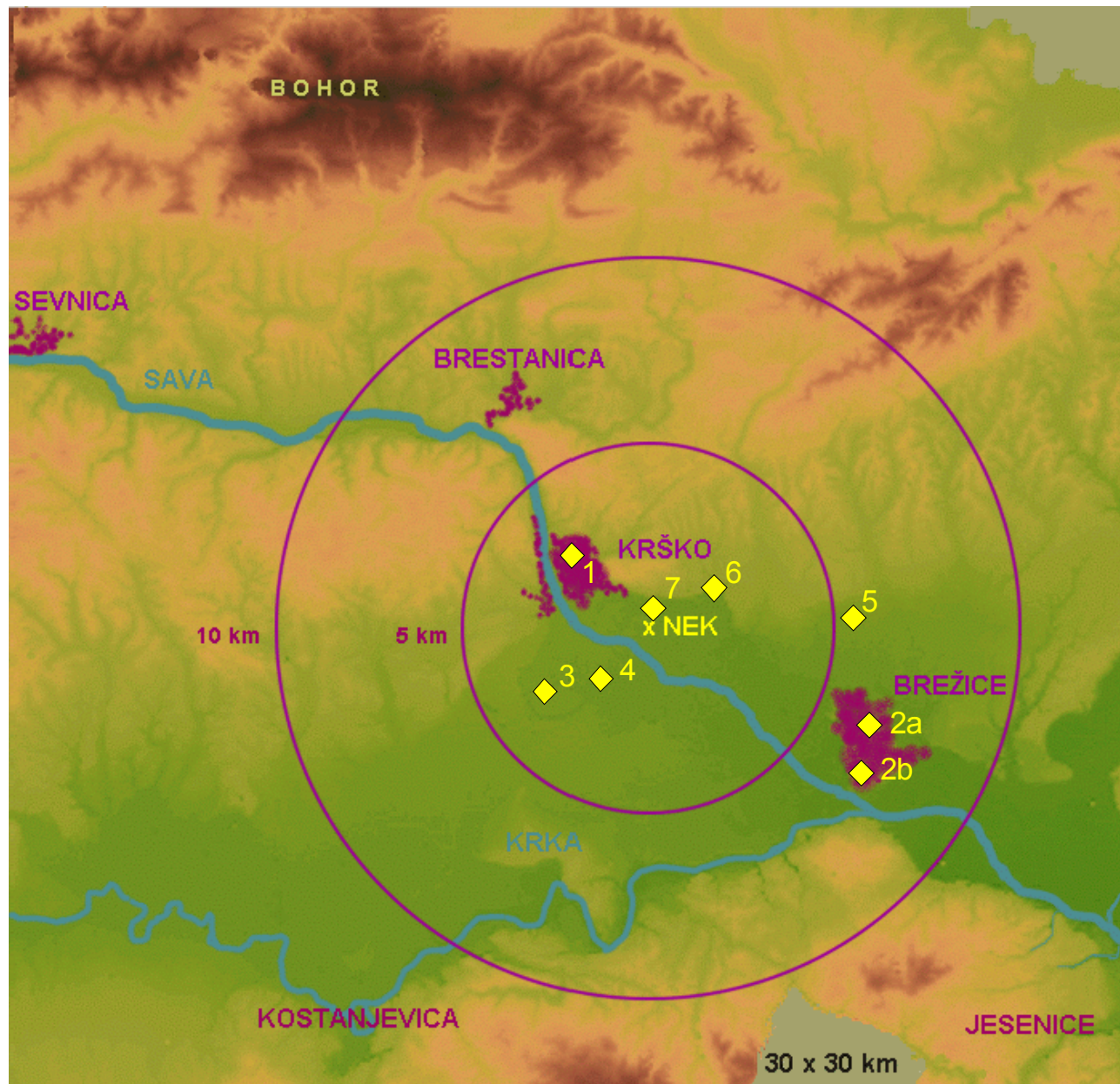
- [2] Basic Safety Standards for Radiation Protection, Safety Series No. 9, IAEA, Vienna 1982
- [3] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, BSS No. 115, IAEA, Vienna, 1996
Mednarodni temeljni varnostni standardi za varstvo pred ionizirajočim sevanjem in za varnost virov sevanja, Zbirka o varnosti št. 115, MAAE, Dunaj, 1996
- [4] EU Council Directive 96/29/EUROATOM of May 13, 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 je nadzor najpomembnejših vodnih virov pitne vode v okolici NEK. Z analizami ugotovljamo vsebnost naravnih in umetnih radionuklidov ter s tem morebitni prispevek aktivnosti radionuklidov zaradi obratovanja NEK. Vzorčevalna mesta so izbrana tako, da so vključena črpališča vodovodov, za katere ni izključena možnost, da se napajajo iz reke med izlivom in točko mešanja. Za primerjavo je bil vzorec vode odvzet in analiziran tudi na referenčni lokaciji.

Pravilnik o načinu, obsegu in rokih sistematičnih preiskav kontaminacije z radioaktivnimi snovmi v okolici jedrskih objektov (Z-2) predpisuje kot kontrolne metode meritve z visokoločljivostno spektrometrijo gama ter specifični analizi na vsebnost radiostroncija (Sr-90/Sr-89) in tritija.

a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST

Lokacije vzorčevalnih mest so predstavljene na pregledni karti na prejšnji strani.

Vzorčevanje vodovodov, črpališč in podtalnice se je izvajalo v skladu s postopkom *Izvedba programov Rednega nadzora radioaktivnosti v okolici NE Krško in v Republiki Sloveniji (LMR-OP-02)*.

Za kontrolo morebitnega vpliva NEK na vodovode in črpališča se je vzorčevanje v letu 2004 opravljalo na naslednjih lokacijah.

1. Enkratni četrtletni vzorci:

- vodovod Krško
- vodovod Brežice
- vodovod Ljubljana (referenčna lokacija – vzorčevanje enkrat na leto)

Na bencinskih servisih Petrol v Brežicah in v Krškem je bila v letu 2004 vodovodna voda vzorčevana štirikrat. Za primerjavo je bila enkrat vzorčena tudi voda iz ljubljanskega vodovoda.

2. Mesečni sestavljeni vzorci črpališč vodovodov

Od druge polovice leta 1990 se omrežje brežiškega vodovoda napaja iz novega, severnega črpališča z občasnimi dodatki vode (ocenjeni na 20 %–30 % na leto) ob vršnih porabah iz starega črpališča. Zaradi tega 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.

Mesečni sestavljeni vzorci so bili odvzeti na petih lokacijah. Glede na ugotovljeni tok talne vode v terenih okoli NEK, so bila vzorčevana vsa črpališča krškega in brežiškega vodovoda. Krški vodovod ima v višini jezua NEK in nekoliko protitočno na levem bregu Save dva ločena črpalna kraja, ki sta označena kot črpališče Drnovo in Brege. Tretje črpališče napaja lokalni vodovod in je označeno kot Dolenja vas. Lokacija vodovoda Brežice je na levem bregu Save. Podroben opis lokacij vodovodov:

- vodovod Brežice, levi breg Save, 2,5 km od Save
- črpališče Drnovo, 3,1 km od jezua NEK, 2,3 km od Save
- črpališče Brege, 1,4 km od jezua NEK, 1,1 km od Save
- zajetje Dolenja vas, levi breg Save, 2,8 km od Save
- črpališče Brežice, 3,2 km od Save



3. Podtalnica

V septembru in novembru 1996 je bil v nadzor vključen (po naročilu NEK je izvajalec nadzora IRB) tudi odprti vodnjak v sadovnjaku ob elektrarni (5A,B, ZR = 0,5 km). Vodnjak ne spada med vzorčevalne vrtnice in zajetja, ki so se vzorčevala med letoma 1982 in 1984, in ima hidrološko označbo 71. V letu 1998 je bilo vzorčevanje iz omenjenega vodnjaka nadomeščeno z vzorčevanjem iz vrtnice (E1) znotraj vzhodne ograje NEK, kjer se je od tedaj in tudi v letu 2004 vzorčevala voda.

- Vrtina NEK znotraj ograje NEK

Za vrtnice v bližini Zagreba veljajo naslednji podatki:

- Medsave (Hrvaška): 22 km od NEK, 0,1 km od Save
- Šibice (Hrvaška): 22 km od NEK, 1 km od Save

b) ZNAČILNOSTI MERITEV

Metode vzorčevanja, meritev in analiz so podrobno opisane v naslednjih dokumentih: *Zbiranje vzorcev pitnih, površinskih in podtalnih vod (LMR-DN-05)*, *Priprava sušine vzorcev vod (LMR-DN-06)*, *Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju (LMR-DN-10)*, *Priprava vzorcev in merjenje aktivnosti tritija 3H (RK-DN-01)*, *Izračun vsebnosti (aktivnosti) tritija iz merskih rezultatov (RK-DN-03)*, *Radiokemična analiza in merjenje stroncija Sr-90/Sr-89 v vzorcih iz okolja (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 datoteki **VodovodiCpPalisca2004.pdf**.

V tabelah T-28 in T-29 so zbrane 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 meritve vode iz ljubljanskega vodovoda, kjer je potekalo vzorčevanje ročno, so objavljeni v poročilu *Radioaktivnost v življenjskem okolju Slovenije za leto 2004*.

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. Vzorcevanje je potekalo dnevno z avtomatskim odvzemom na vseh lokacijah razen na lokaciji Dolenja vas, kjer je potekalo ročno.

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

Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (UV2) navaja meje letnega vnosa (MLV) izbranih radionuklidov z inhalacijo in ingestijo ter izpeljane koncentracije (IK) v zraku in pitni vodi. Vrednosti IK za pitno vodo za skupino posameznikov iz prebivalstva, so navedene v tabeli 2.1.

Preglednica 2.1a, prvi del: VODOVODI IN ČRPALIŠČA PITNE VODE 2004 - meritve IJS

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

"Doza" Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za otroka (1–2 leti) $E(70)$ za obdobje 70 let

IZOTOP	ENKRATNI ČETRTLETNI VZORCI						ENKRATNI VZORCI (**)	
	VODOVOD LJUBLJANA		VODOVOD KRŠKO		VODOVOD BREŽICE		VRTINA E1 v NEK; povprečje 4 vzorcev	
	Povprečje 2 vzorcev		Povprečje 4 vzorcev		Povprečje 4 vzorcev			
	A (Bq/m^3)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m^3)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m^3)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m^3)	Doza (mikro Sv)
U (Th-234)	1,3E+00 ± 6E-01	2,2E-01 ± 1E-01	3,5E+00 ± 2E+00	6,1E-01 ± 3E-01	2,0E+00 ± 3E+00	3,5E-01 ± 5E-01	7,3E-01 ± 4E+00	1,3E-01 ± 7E-01
Ra - 226	4,4E+00 ± 7E-01	1,7E+00 ± 3E-01	1,8E+00 ± 4E-01	6,8E-01 ± 2E-01	0 ± 5E-01	0 ± 2E-01	3,6E+00 ± 2E+00	1,4E+00 ± 7E-01
Pb - 210	2,8E+00 ± 8E-01	4,1E+00 ± 1E+00	6,2E+00 ± 2E+00	8,9E+00 ± 3E+00	1,0E+00 ± 7E-01	1,5E+00 ± 1E+00	0 ± 3E+00	0 ± 5E+00
Th (Ra-228)	9,1E-01 ± 3E-01	2,2E+00 ± 6E-01	9,5E-01 ± 5E-01	2,3E+00 ± 1E+00	5,2E-01 ± 3E-01	1,3E+00 ± 7E-01	0 ± 2E+00	0 ± 5E+00
Th - 228	6,3E-01 ± 1E-01	2,7E-01 ± 4E-02	1,3E-01 ± 2E-01	5,9E-02 ± 7E-02	1,1E-01 ± 2E-01	4,7E-02 ± 9E-02		
K - 40	3,9E+01 ± 4E+00	6,5E-01 ± 7E-02	5,6E+01 ± 2E+01	9,4E-01 ± 3E-01	2,4E+01 ± 2E+00	4,1E-01 ± 3E-02	6,4E+01 ± 1E+01	1,1E+00 ± 2E-01
Be - 7			1,4E+01 ± 6E+00	7,2E-04 ± 3E-04	6,9E+00 ± 4E+00	3,6E-04 ± 2E-04		
I - 131								
Cs - 134								
Cs - 137			0 ± 9E-02	0 ± 4E-04	4,2E-02 ± 8E-02	2,0E-04 ± 4E-04		
Co - 58								
Co - 60								
Cr - 51								
Mn - 54								
Zn - 65								
Nb - 95								
Ru,Rh - 106								
Sb - 125								
Sr-90/Sr-89	2,4E+00 ± 3E-01	7,0E-02 ± 9E-03	5,3E-01 ± 3E-01	1,5E-02 ± 9E-03	0 ± 3E-01	0 ± 7E-03	3,2E+00 ± 4E-01	9,3E-02 ± 1E-02
H - 3	1,6E+03 ± 1E+02	3,1E-02 ± 2E-03	2,0E+03 ± 2E+02	3,8E-02 ± 3E-03	5,6E+02 ± 1E+02	1,1E-02 ± 2E-03	1,2E+03 ± 2E+02	2,2E-02 ± 3E-03
Doza za umetne radionuklide		1,0E-01 ± 9E-03		5,4E-02 ± 9E-03		1,1E-02 ± 8E-03		1,2E-01 ± 1E-02
Doza totalna		9,3E+00 ± 1E+00		1,4E+01 ± 4E+00		3,5E+00 ± 1E+00		2,7E+00 ± 7E+00

* 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.

Preglednica 2.1a, drugi del: VODOVODI IN ČRPALIŠČA PITNE VODE 2004 - meritve IJS

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

"Doza" Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za otroka (1–2 leti) $E(70)$ za obdobje 70 let

IZOTOP	MESEČNI SESTAVLJENI VZORCI									
	VODOVOD BREŽICE		ČRPALIŠČE DRNOVO		ČRPALIŠČE BREGE		ZAJETJE DOLENJA VAS		ČRPALIŠČE BREŽICE	
	A (Bq/m^3)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m^3)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m^3)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m^3)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m^3)	Doza (mikro Sv)
U (Th-234)	2,1E+00 ± 1E+00	3,7E-01 ± 2E-01	1,0E+00 ± 5E-01	1,8E-01 ± 9E-02	1,1E+00 ± 6E-01	2,0E-01 ± 1E-01	2,9E+00 ± 7E-01	5,0E-01 ± 1E-01	1,2E+00 ± 9E-01	2,2E-01 ± 2E-01
Ra - 226	1,1E+00 ± 2E+00	4,1E-01 ± 7E-01	6,7E-01 ± 6E-01	2,6E-01 ± 2E-01	1,3E+00 ± 3E-01	5,0E-01 ± 1E-01	2,9E+00 ± 9E-01	1,1E+00 ± 4E-01	4,4E-01 ± 8E-01	1,7E-01 ± 3E-01
Pb - 210	3,3E+00 ± 1E+00	4,8E+00 ± 2E+00	4,5E-01 ± 7E-01	6,5E-01 ± 1E+00	1,5E+00 ± 2E+00	2,1E+00 ± 3E+00	1,5E+00 ± 4E+00	2,1E+00 ± 6E+00	5,3E-01 ± 7E-01	7,7E-01 ± 1E+00
Th (Ra-228)	5,3E-01 ± 3E-01	1,3E+00 ± 6E-01	7,7E-01 ± 2E-01	1,9E+00 ± 5E-01	9,9E-01 ± 2E-01	2,4E+00 ± 6E-01	9,7E-01 ± 3E-01	2,4E+00 ± 8E-01	6,9E-01 ± 3E-01	1,7E+00 ± 7E-01
Th - 228	3,3E-01 ± 2E-01	1,4E-01 ± 7E-02	1,0E-01 ± 1E-01	4,5E-02 ± 5E-02	2,1E-01 ± 1E-01	9,4E-02 ± 5E-02	2,8E-01 ± 2E-01	1,2E-01 ± 8E-02	3,7E-01 ± 1E-01	1,6E-01 ± 6E-02
K - 40	2,6E+01 ± 3E+00	4,3E-01 ± 4E-02	8,3E+01 ± 3E+00	1,4E+00 ± 4E-02	8,1E+01 ± 2E+00	1,4E+00 ± 4E-02	1,8E+01 ± 1E+00	3,1E-01 ± 2E-02	2,8E+01 ± 3E+00	4,7E-01 ± 5E-02
Be - 7	1,4E+00 ± 7E-01	7,0E-05 ± 4E-05	2,5E+00 ± 1E+00	1,3E-04 ± 6E-05	2,0E+00 ± 7E-01	1,1E-04 ± 3E-05	1,5E+00 ± 7E-01	7,7E-05 ± 4E-05	2,4E-01 ± 2E-01	1,2E-05 ± 1E-05
I - 131										
Cs - 134										
Cs - 137	0 ± 1E+00	0 ± 5E-03	2,6E-02 ± 5E-02	1,2E-04 ± 3E-04	0 ± 4E-02	0 ± 2E-04	0 ± 4E-02	0 ± 2E-04	0 ± 1E-01	0 ± 5E-04
Co - 58										
Co - 60										
Cr - 51										
Mn - 54										
Zn - 65										
Nb - 95										
Ru,Rh - 106										
Sb - 125										
Sr-90/Sr-89	0 ± 2E-01	0 ± 4E-03	8,8E-01 ± 7E-02	2,6E-02 ± 2E-03	6,1E-01 ± 7E-02	1,8E-02 ± 2E-03	9,2E-01 ± 7E-02	2,7E-02 ± 2E-03	9,2E-02 ± 2E-01	2,7E-03 ± 4E-03
H - 3	5,6E+02 ± 5E+01	1,1E-02 ± 1E-03	1,7E+03 ± 2E+02	3,3E-02 ± 3E-03	1,8E+03 ± 1E+02	3,5E-02 ± 3E-03	1,6E+03 ± 1E+02	3,1E-02 ± 2E-03	6,3E+02 ± 7E+01	1,2E-02 ± 1E-03
Doza za umetne radionuklide		1,1E-02 ± 6E-03		5,9E-02 ± 4E-03		5,3E-02 ± 3E-03		5,8E-02 ± 3E-03		1,5E-02 ± 5E-03
Doza totalna		7,5E+00 ± 2E+00		4,5E+00 ± 1E+00		6,7E+00 ± 3E+00		6,6E+00 ± 6E+00		3,5E+00 ± 1E+00

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

POVZETEK PRISPEVKA UMETNIH IN NARAVNIH RADIONUKLIDOV ZA OTROKE (1–2 let) IN ODRASLE, *
 izračunani iz merskih podatkov preglednice 2.1a ter doznih pretvorbenih faktorjev iz reference [3]

Preglednica 2.1a (povzetek): Vodovodi in črpališča pitne vode in podtalnice v letu 2004 - meritve IJS

SKUPINA		Enkratni četrtletni vzorci			Mesečni sestavljeni vzorci					Enkratni vzorec
		VODOVOD LJUBLJANA (**) (μSv na leto)	VODOVOD KRŠKO (μSv na leto)	VODOVOD BREŽICE (μSv na leto)	VODOVOD BREŽICE (μSv na leto)	ČRPALIŠČE DRNOVO (μSv na leto)	ČRPALIŠČE BREGE (μSv na leto)	ZAJETJE DOLENJA VAS (μSv na leto)	ČRPALIŠČE BREŽICE Glogov brod (μSv na leto)	VRTINA E1 V NEK (***) (μSv na leto)
OTROCI 1–2 LETI	Umetni radionuklidi	0,101 ± 0,009	0,054 ± 0,009	0,011 ± 0,008	0,011 ± 0,006	0,059 ± 0,004	0,053 ± 0,004	0,058 ± 0,003	0,015 ± 0,005	0,115 ± 0,011
	Umetni in naravni radionuklidi	9,3 ± 1,4	13,6 ± 3,7	3,5 ± 1,4	7,5 ± 2,2	4,5 ± 1,2	6,7 ± 2,7	6,6 ± 5,7	3,5 ± 1,3	2,7 ± 7,0
ODRASLI	Umetni radionuklidi	0,077 ± 0,007	0,040 ± 0,007	0,008 ± 0,006	0,008 ± 0,011	0,045 ± 0,003	0,040 ± 0,003	0,044 ± 0,002	0,011 ± 0,004	0,088 ± 0,008
	Umetni in naravni radionuklidi	3,8 ± 0,5	5,4 ± 1,4	1,4 ± 0,7	3,0 ± 0,9	1,6 ± 0,4	2,5 ± 1,0	2,8 ± 2,1	1,3 ± 0,5	1,3 ± 2,5

(*) Ob predpostavki, da referenčni odrasel človek zaužije na leto 0,8 m³ vode oziroma otrok 0,4 m³.

(**) Meritev iz republiškega programa (enkratni vzorci).

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


Preglednica 2.1b: VODOVODI IN ČRPALIŠČA PITNE VODE 2004 - meritve IRB
"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov v pitni vodi (Bq/m³)

"Doza" Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za otroka (1–2 leti) *E*(70) za obdobje 70 let

IZOTOP	MEDSAVE (**)		ŠIBICE (**)	
	A (Bq/m ³)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ³)	Doza (mikro Sv)
U (Th-234)	1,2E+00 ± 2E+00	2,1E-01 ± 3E-01	5,1E-01 ± 2E+00	8,9E-02 ± 3E-01
Ra - 226	1,9E+00 ± 6E-01	7,4E-01 ± 2E-01	3,2E+00 ± 1E+00	1,2E+00 ± 4E-01
Pb - 210	1,2E+00 ± 2E+00	1,7E+00 ± 3E+00	5,2E-01 ± 2E+00	7,5E-01 ± 3E+00
Th (Ra-228)	0 ± 1E+00	0 ± 3E+00	3,0E-01 ± 1E+00	7,4E-01 ± 2E+00
Th - 228	1,9E+00 ± 1E+00	8,1E-01 ± 6E-01	1,3E+00 ± 7E-01	5,5E-01 ± 3E-01
K - 40	7,1E+01 ± 7E+00	1,2E+00 ± 1E-01	3,5E+01 ± 3E+00	5,9E-01 ± 5E-02
Be - 7				
I - 131				
Cs - 134				
Cs - 137				
Co - 58				
Co - 60				
Cr - 51				
Mn - 54				
Zn - 65				
Nb - 95				
Ru,Rh - 106				
Sb - 125				
Sr-90/Sr-89	3,5E+00 ± 3E-01	1,0E-01 ± 9E-03	2,9E+00 ± 3E-01	8,3E-02 ± 7E-03
H - 3	1,4E+03 ± 2E+02	2,6E-02 ± 4E-03	1,2E+03 ± 1E+02	2,2E-02 ± 3E-03
Doza za umetne: radionuklide		1,3E-01 ± 1E-02		1,1E-01 ± 8E-03
Doza totalna		4,7E+00 ± 4E+00		4,1E+00 ± 4E+00

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

izračunani iz merskih podatkov tabele 2.1b ter doznih pretvorbennih faktorjev iz reference [3]

Preglednica 2.1b (povzetek): Podtalnica v letu 2004 - meritve IRB (nova povprečja)

SKUPINA		MEDSAVE (μSv na leto)	ŠIBICE (μSv na leto)
OTROCI 1–2 LETI	Umetni radionuklidi	0,129 ± 0,010	0,106 ± 0,008
	Umetni in naravni radionuklidi	4,8 ± 4,3	4,1 ± 4,0
ODRASLI	Umetni radionuklidi	0,098 ± 0,008	0,081 ± 0,006
	Umetni in naravni radionuklidi	1,9 ± 1,5	1,7 ± 1,4

 (*) Ob predpostavki, da referenčni odrasel človek zaužije na leto 0,8 m³ vode oziroma otrok 0,4 m³.



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

Radionuklid	Bq/m ³
U-238	3 E+03
Ra-226	4,8 E+02
Ra-228	1,9E+02
Pb-210	1,9 E+02
Th-232	5,8 E+02
Th-228	1,8E+03
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/m³

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 2004 so bili le-ti najvišji v marcu, maju, juliju in avgustu, in sicer so bili v teh mesecih 1,2 E+12 Bq/m³, 1,86 E+12 Bq/m³, 2,30 E+12 Bq/m³ in 4,17 E+12 Bq/m³.

Na sliki 2.1a pa so prikazane vrednosti H-3 v Črpališčih Brege, Drnovo, Dolenja vas ter v krškem vodovodu. Na tej sliki so predstavljeni tudi izpusti H-3 v Savo.

Iz tabel T-30 do T-34 in s slike 2.1 je razvidno, da so bile najvišje vrednosti H-3 izmerjene v črpališčih vodovoda Krško (Breg, 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, so bile višje vrednosti izmerjene v prvi polovici leta, najvišja je bila v maju izmerjena vrednost (2560 ± 475) Bq/m³. V drugi polovici leta so bile v vseh mesecih, razen v septembru (2040 ± 280) Bq/m³, izmerjene vrednosti pod 2000 Bq/m³. Letno povprečje mesečnih meritev H-3 v črpališču Brege je (1819 ± 138) Bq/m³. Meritve tritija v tem črpališču kažejo, da nihanje koncentracij H-3 z določenim časovnim zamikom sledi izpustom v Savo. V črpališču Drnovo, ki je od jezca NEK oddaljeno 3,1 km, sta bili prav tako tudi v marcu in aprilu izmerjeni vrednosti H-3 nad 2000 Bq/m³, medtem ko je bila najvišja vrednost na tej lokaciji izmerjena v maju, in sicer je bila (3000 ± 360) Bq/m³. Povprečne letne vrednosti H-3 v črpališču Drnovo so bile okoli 1700 Bq/m³. V črpališču Dolenja vas je bila izmerjena najvišja vrednost H-3 v aprilu, in sicer je bila (2665 ± 345) Bq/m³, v vseh drugih mesecih pa so bile izmerjene vrednosti nižje od 2000 Bq/m³, letno povprečje za to vzorčevalno mesto je bilo (1630 ± 127) Bq/m³. Vsebnosti H-3 v odvzetem vzorcu pitne vode na bencinskem servisu Petrol v Krškem so bile v območju med 1775 Bq/m³ in 2365 Bq/m³, pri čemer je bila najvišja vrednost dobljena v aprilskem vzorcu. Vrednosti H-3 v mesečnih sestavljenih vzorcih iz črpališč vodovoda v Brežicah so nižje in so med (560 ± 53) Bq/m³ in (627 ± 69) Bq/m³. Tema dvema vrednostima je primerljiva vsebnost H-3 v odvzetem vzorcu pitne vode na bencinskem servisu Petrol v Brežicah, kjer je letno povprečje (560 ± 99) Bq/m³. Poprečne mesečne vsebnosti H-3, izmerjene v letu 2004 v črpališčih krškega vodovoda, so v intervalu vsebnosti, izmerjenem v zadnjih petih letih. Vzrok za razliko v vsebnosti H-3 med krškim in brežiškim vodovodom je, da se brežiški vodovod

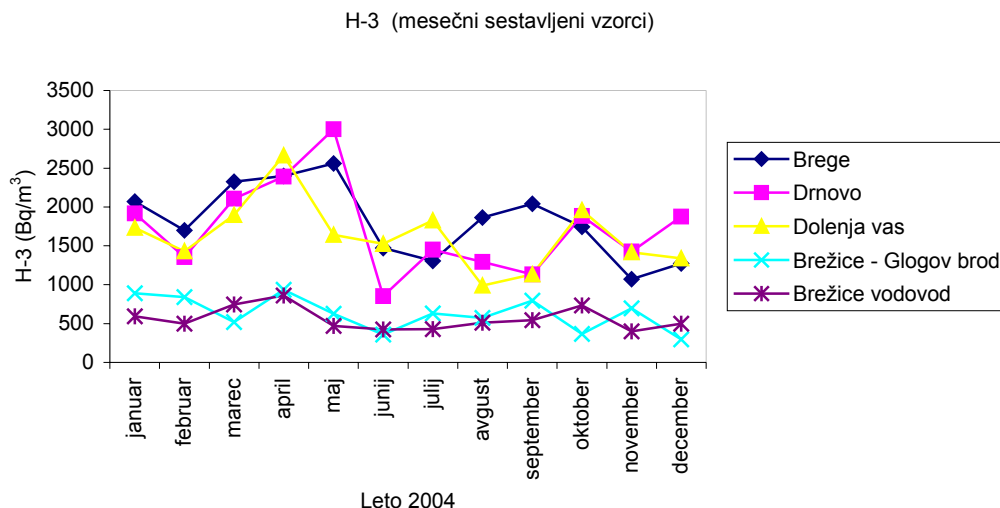


napaja iz globoke vrtine (dobrih 140 m), ki črpa staro vodo. Vrtine za krški vodovod niso tako globoke, prav tako za ljubljanski vodovod, kar se kaže v višjih vsebnostih H-3. V ljubljanskem vodovodu je bila dobljena vrednost H-3 (1630 ± 130) Bq/m³. Vrednost je primerljiva z vrednostmi v krškem vodovodu.

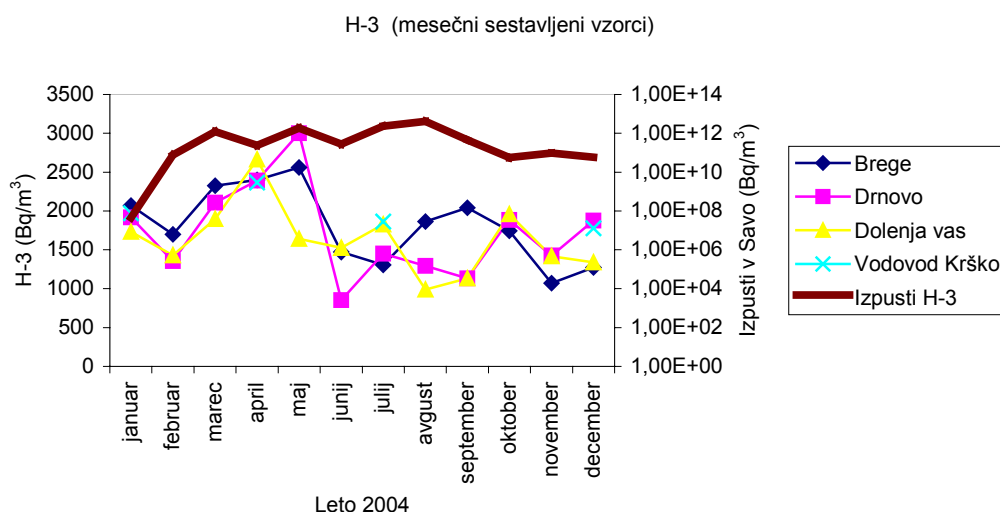
Vsebnost H-3 v podtalnici iz vrtine znotraj ograje NEK je v intervalu od 700 Bq/m³ do 1400 Bq/m³. Povprečje štirih enkratnih odvzemov je (1164 ± 165) Bq/m³.

V podtalnici vrtin Medsave in Šibice na področju Republike Hrvaške so bile povprečne izmerjene vrednosti (1370 ± 234) Bq/m³ za Medsave in (1157 ± 144) Bq/m³ za Šibice.

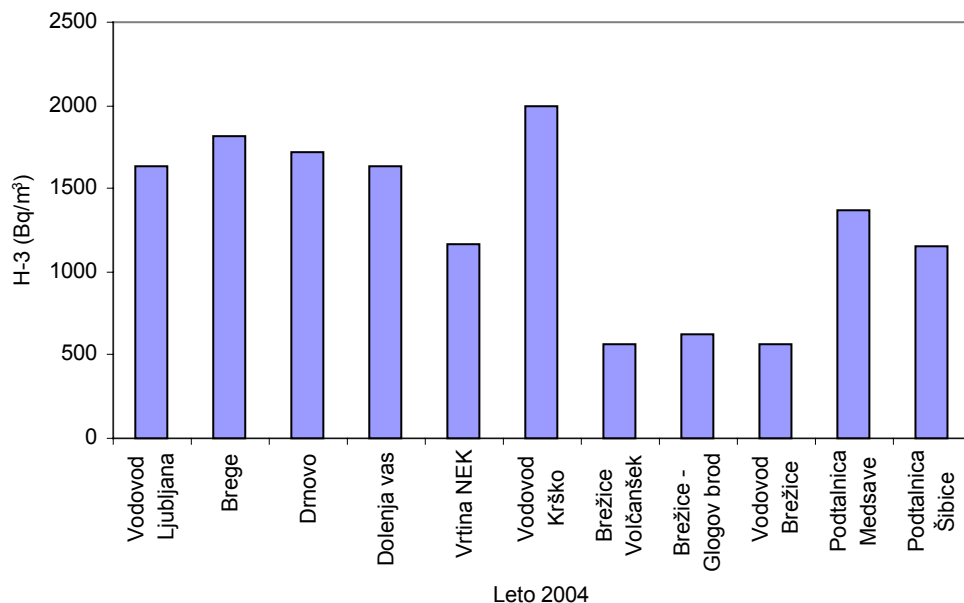
Primerjava vsebnosti H-3 za leto 2004 v vzorcih vode iz črpališč, vodovodov in podtalnice je prikazana na sliki 2.2. Na sliki je prikazana tudi vsebnost H-3 v ljubljanskem vodovodu. Rezultati potrjujejo, da je v brežiškem vodovodu zaradi globljih vrtin stara voda. Primerjava z ljubljanskim vodovodom pa kaže na to, da ni zaznati povečanja vsebnosti H-3 zaradi obratovanja NEK.



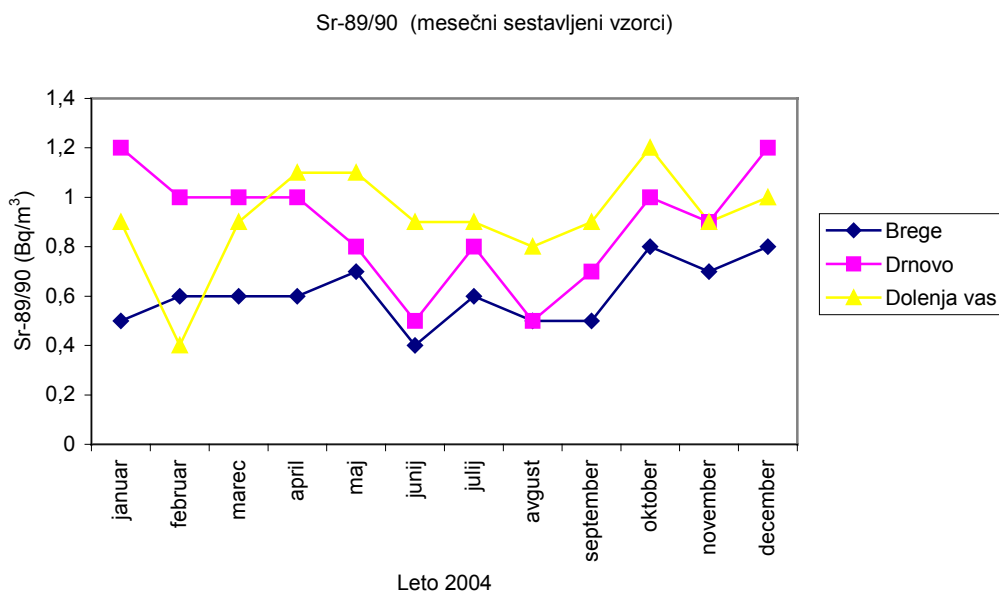
Slika 2.1: Vsebnosti H-3 v mesečnih sestavljenih vzorcih



Slika 2.1a: Vsebnosti H-3 v mesečnih sestavljenih vzorcih ter mesečni izpusti H-3 v Savo

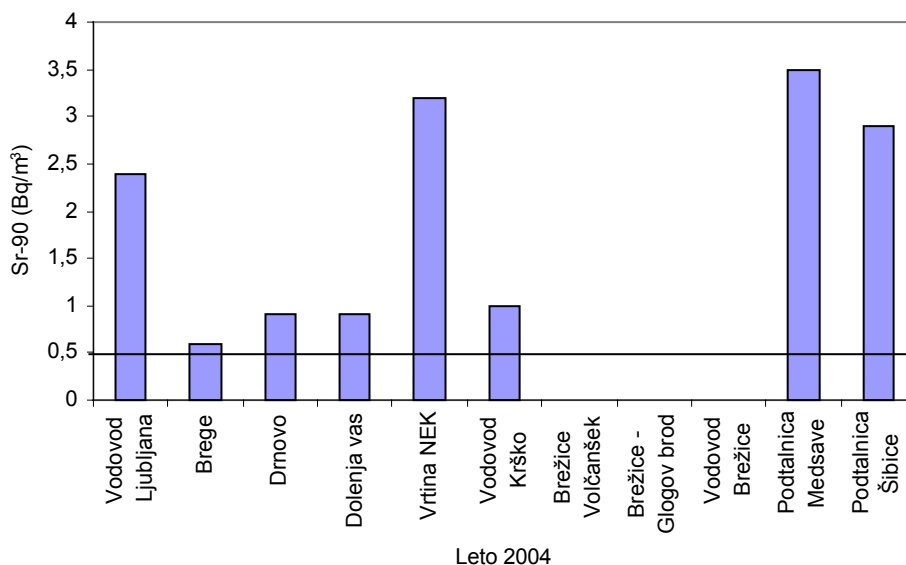


Slika 2.2: Primerjava povprečnih vrednosti H-3 v črpališčih, vodovodih in podtalnici za leto 2004



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

Sr-90/Sr-89 V črpališčih krškega vodovoda so meritve Sr-90/Sr-89 pokazale povprečne vrednosti od $0,6 \text{ Bq/m}^3$ do $0,9 \text{ Bq/m}^3$. Vrednost $(1,1 \pm 0,3) \text{ Bq/m}^3$ je bila izmerjena tudi v odvzetem vzorcu pitne vode v Krškem (bencinski servis Petrol). Vsebnosti Sr-90/Sr-89 v črpališču brežiškega vodovoda in pitne vode v Brežicah so bile $< 0,5 \text{ Bq/m}^3$, razen v februarju, ko je bila dobljena vrednost v črpališču Glogov brod $(1,1 \pm 0,3) \text{ Bq/m}^3$. Slika 2.3 prikazuje vsebnosti Sr-90/Sr-89 v mesečnih vzorcih črpališč krškega vodovoda.



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

V letu 2004 je bila v enkratno odvzetem vzorcu vode iz ljubljanskega vodovoda izmerjena vsebnost Sr-90/Sr-89 ($2,4 \pm 0,3$) Bq/m³.

Povprečne vrednosti štirih meritev vsebnosti Sr-90/Sr-89 v podtalnici v bližini NEK so bile ($3,2 \pm 0,4$) Bq/m³, medtem ko so bile povprečne vrednosti mesečnih meritev vsebnosti Sr-90/Sr-89 v podtalnici na Hrvaškem v Medsavah ($3,5 \pm 0,3$) Bq/m³ in v Šibicah ($2,9 \pm 0,3$) Bq/m³.

Primerjava vsebnosti Sr-90/Sr-89 v pitni vodi v črpališčih in podtalnici za leto 2004 je prikazana na sliki 2.4. Na sliki je posebej označena tudi meja kvantifikacije 0,5 Bq/m³.

Cs-137 Meritve Cs-137 v črpališčih vodovoda Krško in Brežice so pokazale vrednosti v sledovih, ki pa so bile povsod nižje od meje kvantifikacije. V pitni vodi v Brežicah Cs-137 je bila analizirana vsebnost ($0,17 \pm 0,13$) Bq/m³, medtem ko so bile detektirane vsebnosti v pitni vodi v Krškem nižje od 0,3 Bq/m³. Cs-137 je bil detektiran tudi v črpališču Drnovo, izmerjena vrednost Cs-137 v marcu je bila ($0,31 \pm 0,22$) Bq/m³.

V vrtini znotraj ograje NEK vsebnost Cs-137 v letu 2004 ni bila detektirana. Prav tako niso bile detektirane vsebnosti Cs-137 v vrtinah na Hrvaškem.

Primerjave vsebnosti Cs-137 v črpališčih pitne vode, vodovodni vodi kakor tudi 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 2004 so bile opravljene meritve aktivnosti raztopljenih dolgoživih radionuklidov v podtalnici in pitni vodi. Naravni radionuklidi so bili sicer detektirani, vendar so bili vsi razen K-40 na večini lokacij pod mejo kvantifikacije. Njihova vsebnost je odvisna od geološke strukture, ki pa 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 vodonosni nahajajo, in od koncentracij v dotokih, iz katerih se vodonosni napajajo. Vsebnosti K-40 so bile izmerjene na vseh vzorčevalnih mestih in kažejo vrednosti od 10 Bq/m^3 do 90 Bq/m^3 v črpališčih, zajetju in vodovodu v Krškem, v Brežicah pa od $< 20 \text{ Bq/m}^3$ do 80 Bq/m^3 . V podtalnici na Hrvaškem so vrednosti K-40 med 30 Bq/m^3 in 115 Bq/m^3 . Koncentracije vodilnih naravnih radionuklidov iz uran-radijeve in torijeve vrste v vodah niso višje v primerjavi z vrednostmi, ki smo jih ugotovili 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, Pb-210 in Th-228, vendar pa so bile njihove vrednosti pod 10 Bq/m^3 . Za primerjavo navajamo vrednosti naravnih radionuklidov v pitni vodi v Sloveniji, ki so za U-238 in Ra-226 do 10 Bq/m^3 ter Pb-210 do 15 Bq/m^3 . Tudi vsebnost Be-7 je bila v večini vzorcev pod mejo kvantifikacije. Detektiran je bil v vseh črpališčih, vrednosti do 7 Bq/m^3 pa so bile določene samo v nekaterih mesecih. Vrednosti Be-7 so bile določene tudi v vzorcih pitne vode v Krškem in sicer od 8 Bq/m^3 in 26 Bq/m^3 , kakor tudi v Brežicah od 8 Bq/m^3 in 17 Bq/m^3 . To kaže na prisotnost sledov deževnice v vzorcih. Kozmogeni Be-7 pa ni bil detektiran v podtalnici na Hrvaškem, v vrtini NEK in v ljubljanskem vodovodu.

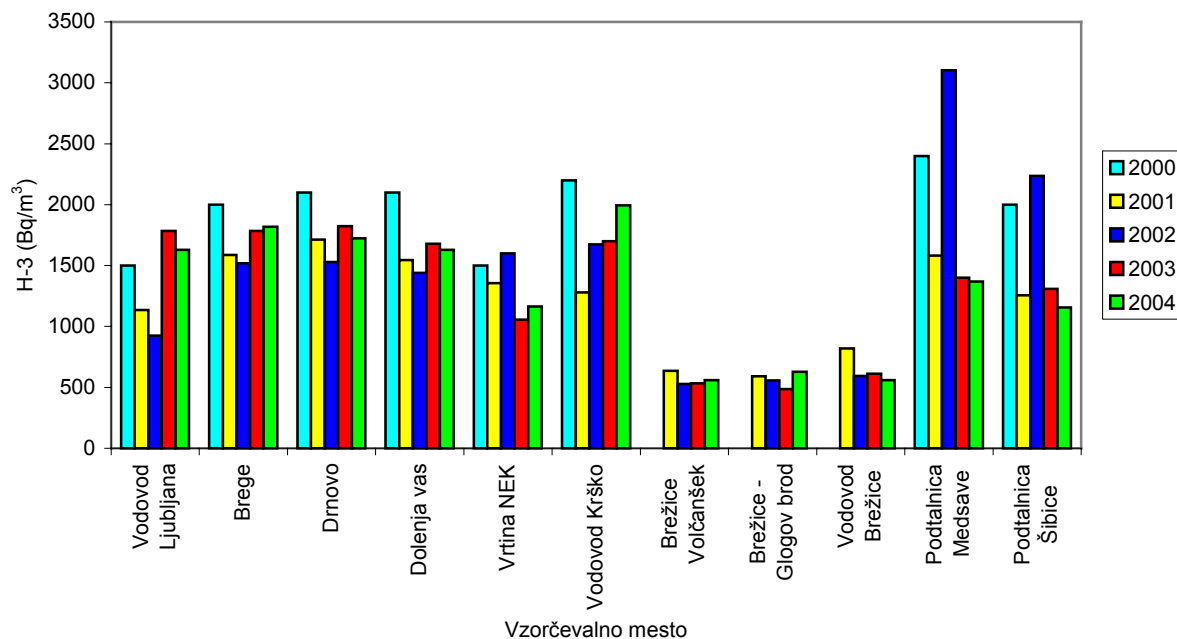
e) DISKUSIJA

Povprečne mesečne vrednosti vsebnosti H-3, ki so bile izmerjene v letu 2004, so podobne tistim, ki so bile izmerjene v preteklem letu. Primerjava vrednosti za leta od 2000 do 2004 je prikazana na sliki 2.5.

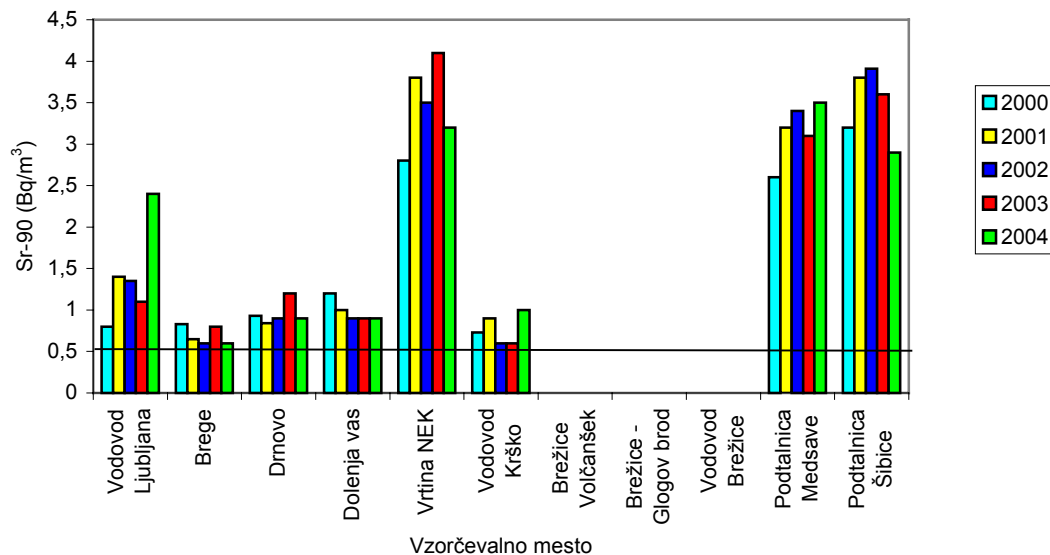
Kot je razvidno s slike 2.5, je bila vsebnost H-3 v analiziranih vzorcih primerljiva z vrednostmi, ki so bile izmerjene v letih od 2000 do 2003. V vzorcih iz krškega in ljubljanskega vodovoda so bile najvišje izmerjene vsebnosti v tem obdobju leta 2000. Vrednosti za H-3 v ljubljanskem vodovodu ter v črpališčih Brege, Drnovo in Dolenja vas so med seboj popolnoma primerljive, vrednosti v krškem in brežiškem vodovodu pa so pod 900 Bq/m^3 , medtem ko so pa vrednosti H-3 v vrtini NEK in v podtalnici na Hrvaškem skoraj enake kot v preteklem letu.

Primerjava vsebnosti za Sr-90/Sr-89 v vodovodih in črpališčih za leto 2004 ne kaže odmikov od vrednosti v letih od 2000 do 2003. Nekoliko bolj izrazita je vrednost, izmerjena v ljubljanskem vodovodu, kjer je podvojena v primerjavi s preteklimi leti. V ljubljanskem vodovodu je bila opravljena analiza samo v enem vzorcu. Primerjava rezultatov od 2000 do 2004 je prikazana na sliki 2.6.

Izmerjene vsebnosti Cs-137 v letu 2004 so bile večinoma pod mejo kvantifikacije v vseh vzorcih iz okolice NEK in iz Ljubljane, razen v enem vzorcu iz Drnovega in enem vzorcu brežiškega vodovoda. Na lokacijah, kjer izvaja vzorčevanje in meritve Institut Ruder Bošković, vsebnost Cs-137 ni bila detektirana. Tudi vrednosti za naravne radionuklide so primerljive z vrednostmi, izmerjenimi drugod po Sloveniji. Prisotnost kozmogenega Be-7 v pitni vodi v Krškem in v Brežicah pa kaže na prisotnost sledov deževnice v vzorcih.



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



Slika 2.6: Povprečne vrednosti Sr-90/Sr-89 v vodovodni vodi, v črpališčih in podtalnici v zadnjih petih letih

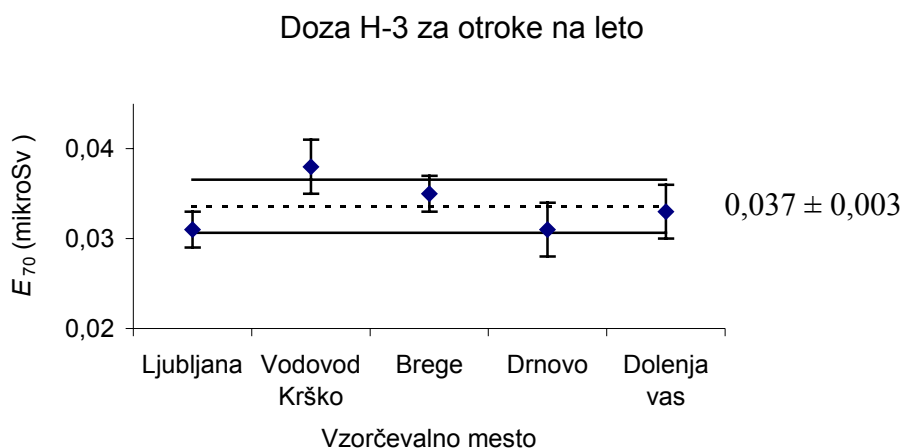


f) OCENA VPLIVOV

V preglednicah 2.1a in 2.1b so zbrane povprečne vsebnosti posameznih radionuklidov za vsa vzorčevalna mesta črpališč, vodovodov in podtalnice v letu 2004. Edini radionuklid, katerega vrednost je bila določena na vseh vzorčevalnih mestih, je H-3. Sr-90/Sr-89 je bil prav tako določen v večini vzorcev, medtem ko je bil Cs-137 na meji ali pod mejo kvantifikacije. V preglednicah 2.1a1 (povzetek) in 2.1b1 (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 preglednici 2.1a1 in 2.1b1 so povprečja, iz katerih se računajo doze, izračunana tako, da pri vsebnostih pod mejo kvantifikacije predpostavimo vsebnost nič in negotovost, ki je enaka meji kvantifikacije. Prispevek **umetnih radionuklidov** v letu 2004 je v brežiškem vodovodu k obremenitvi referenčnega človeka **za odrasle ($0,011 \pm 0,004$) μSv na leto in za otroke (1–2 let) ($0,015 \pm 0,005$) μSv na leto**. Te vrednosti so manj kot 5 promilov celoletne obremenitve z umetnimi in naravnimi radionuklidi, ki so za odrasle 5 μSv na leto in za otroke 12 μSv na leto. Ocenjeni prispevek obremenitve zaradi **naravnih radionuklidov** se v primerjavi s preteklimi leti ni spremenil.

Dodatnega vpliva NEK v vodovodih in črpališčih v letu 2004 ni bilo mogoče zaznati. Višje vrednosti H-3 v črpališčih krškega vodovoda v primerjavi z brežiškim so bile opažene tudi v preteklih letih. Ker so vrednosti primerljive z vsebnostjo H-3 v ljubljanskem vodovodu, jih ni mogoče pripisati vplivu NEK.

Na sliki 2.7 je prikazana doza, ki bi jo prejeli otroci zaradi vsebnosti H-3 v ljubljanskem vodovodu, črpališčih in v krškem vodovodu. Kot je razvidno s slike, je doza zaradi tritija na teh vzorčevalnih mestih približno enaka. Vrednosti so namreč od 0,031 μSv do 0,038 μSv na leto. Njihova povprečna vrednost je ($0,037 \pm 0,003$) μSv na leto.



Slika 2.7: Primerjava med letnimi dozami, ki jih prejmejo otroci zaradi vnosa H-3 pri pitju vodovodne vode iz raznih lokacij v okolici Krškega in v Ljubljani



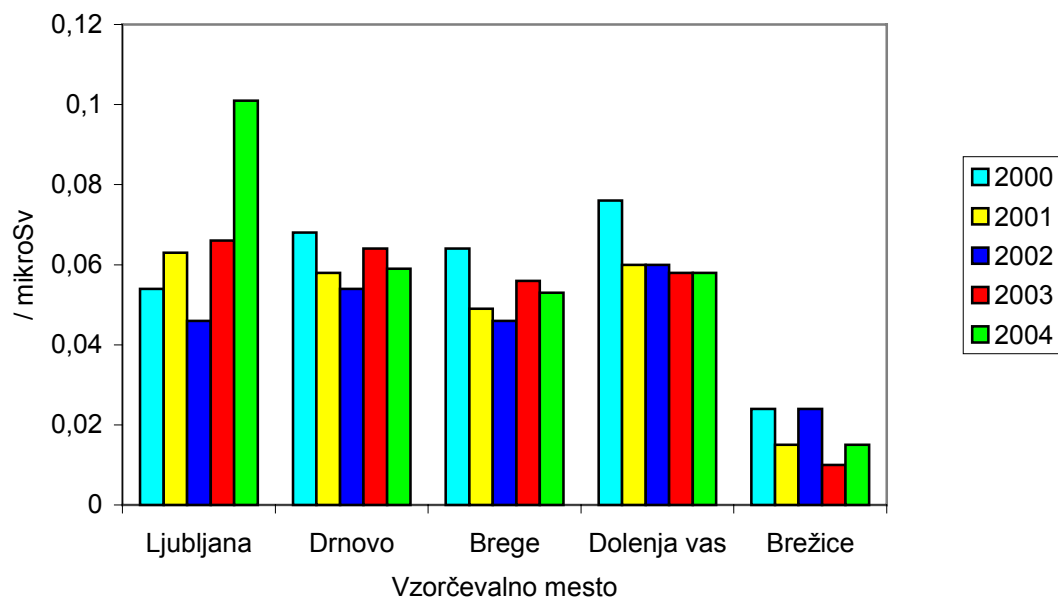
g) SKLEPI

Izmerjene koncentracije naravnih in umetnih radionuklidov v letu 2004 v vzorcih vode iz črpališč in vodovodov na krško-brežiškem področju so primerljive s tistimi v zadnjih petih letih. Izmerjeni prispevek vseh umetnih radionuklidov iz brežiškega vodovoda, ki ga pripisujemo **globalni kontaminaciji**, k letni obremenitvi odraslega prebivalca zaradi pitja te vode v letu 2004 je **za odrasle ($0,011 \pm 0,004$) μSv na leto in za otroke (1–2 let) ($0,015 \pm 0,005$) μSv na leto**. Celotna obremenitev zaradi vsebnosti **naravnih in umetnih radionuklidov** v brežiškem vodovodu je ocenjena na ($1,3 \pm 0,5$) μSv na leto za odrasle in ($3,5 \pm 1,3$) μSv na leto za otroke (1–2 let). V črpališčih krškega vodovoda je ocenjeni prispevek vseh umetnih radionuklidov od ($0,008 \pm 0,011$) μSv do ($0,045 \pm 0,003$) μSv na leto za odrasle in od ($0,011 \pm 0,006$) μSv do ($0,059 \pm 0,004$) μSv na leto za otroke. Celoletna obremenitev na teh črpališčih zaradi umetnih in naravnih radionuklidov pa je ocenjena na ($1,6 \pm 0,4$) μSv do ($3,0 \pm 0,9$) μSv na leto za odrasle in od ($4,5 \pm 1,2$) μSv do ($7,5 \pm 2,2$) μSv na leto za otroke. Višje vrednosti obremenitev so tu v primerjavi z Brežicami zaradi nekoliko višjih vsebnosti H-3 in Sr-90/Sr-89. Vendar pa za oba radionuklida velja, da njune višje vrednosti niso posledica izpustov NEK, temveč globine vrtine. Primerjava z dozo zaradi umetnih radionuklidov v ljubljanskem vodovodu, ($0,077 \pm 0,007$) μSv za odrasle in ($0,101 \pm 0,009$) μSv za otroke, to potrjuje. Doza zaradi prispevka vseh radionuklidov v vodovodni vodi je ($3,8 \pm 0,5$) μSv za odrasle in ($9,3 \pm 1,4$) μSv za otroke. Ocenjene doze zaradi prisotnosti umetnih radionuklidov pomenijo povprečno manj kot 5 promilov vrednosti, ki jo posamezniki prejmejo na istem področju zaradi vsebnosti naravnih radionuklidov. Dobljene vrednosti na vseh vzorčevalnih mestih so zelo nizke v primerjavi z najvišjo dopustno vrednostjo, ki je 100 μSv na leto za pitno vodo. To velja tako za umetne kot naravne radionuklide.

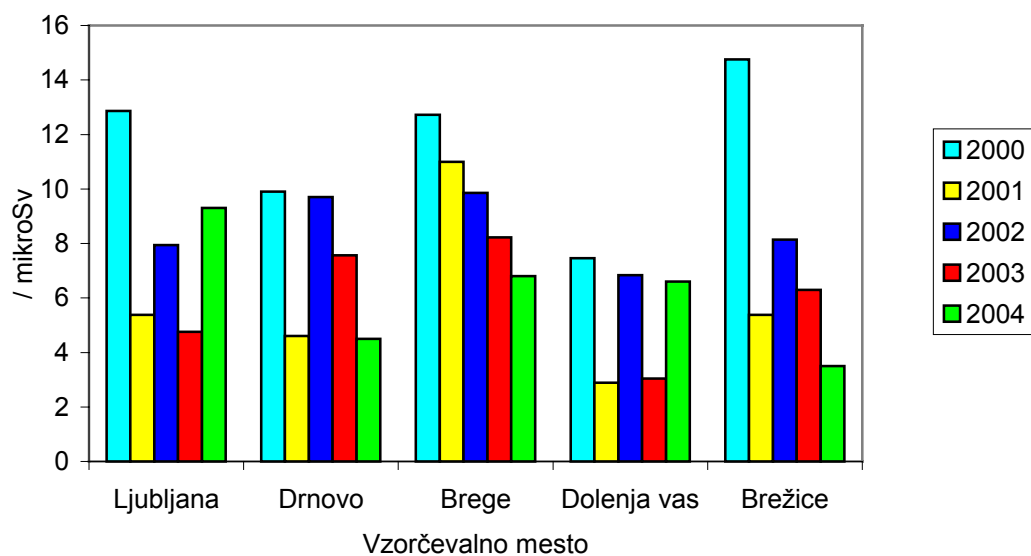
Na sliki 2.8 je primerjava vrednosti ocenjenih prispevkov umetnih radionuklidov k dozi zaradi pitja vode iz ljubljanskega vodovoda, krških črpališč in brežiškega vodovoda za otroke. Kot je razvidno s slike, se te vrednosti po letu 2000 znižujejo. Za leta 2001, 2003 in 2004 je prikazan izračun doze po metodologiji, pri kateri izmerki pod mejo kvantifikacije ne prispevajo k negotovosti povprečja. Slika 2.9 pa prikazuje ocenjene prispevke za vse radionuklide, tako naravne kot umetne. Tudi tukaj je za omenjena tri leta prikazan izračun doze po metodologiji, po kateri izmerki pod mejo kvantifikacije prispevajo k negotovosti povprečja. S slik 2.8 in 2.9 je razvidno, da ni korelacije med razdaljo NEK in vzorčevalnim mestom ter prispevkom radionuklidov k prejeti dozi. Iz tega izhaja, da je prispevek NEK k dozi manjši od vpliva lokalnih variacij vsebnosti radionuklidov na dozo. To potrjujejo tudi analize vode iz ljubljanskega vodovoda.

Prispevek NEK k dozi je zato manjši od disperzije letnih doz zaradi prisotnosti tritija v pitni vodi in je manjši od 6 nSv na leto.

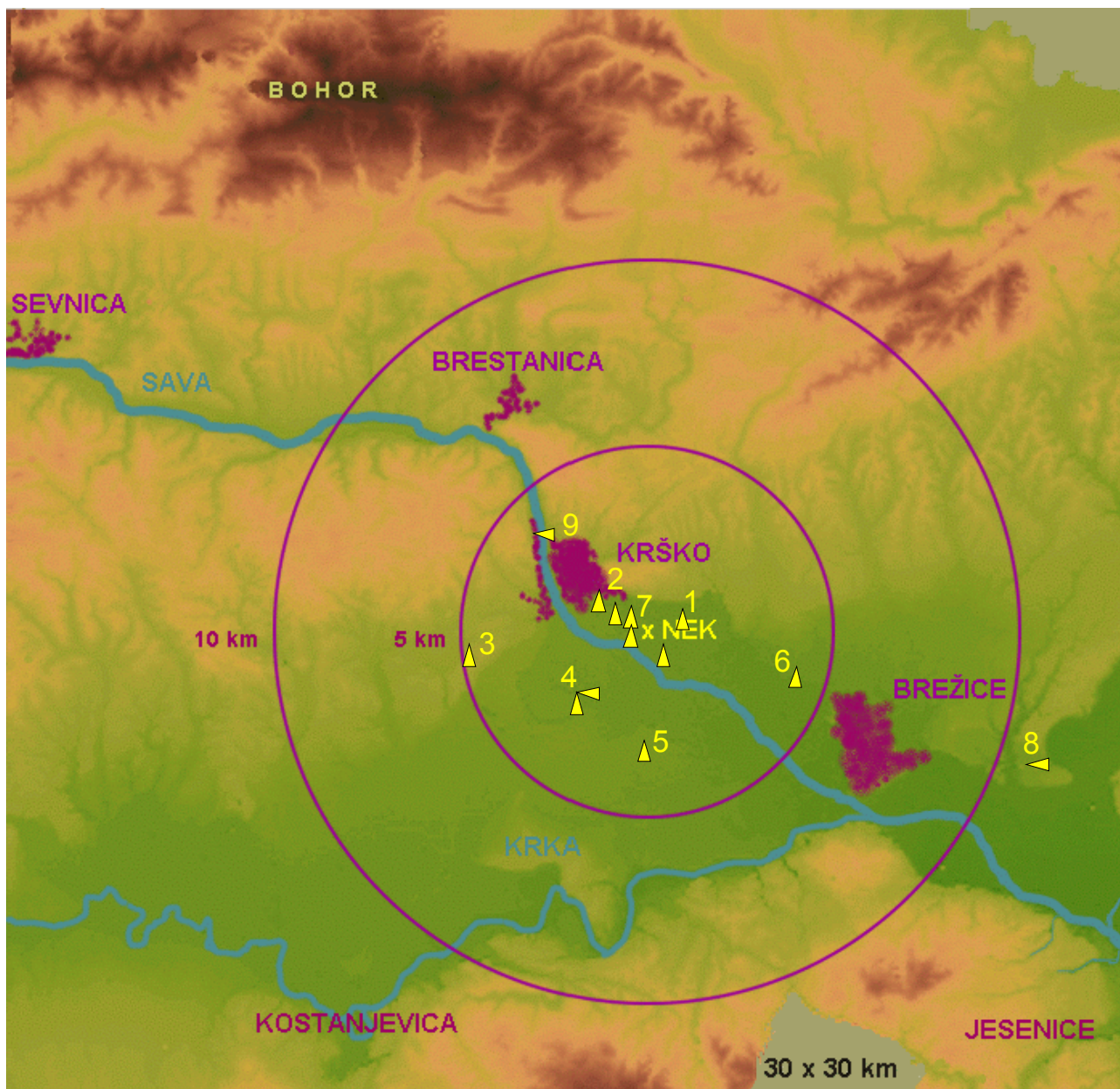
Meritve vode iz vrtine znotraj ograje NEK in na Hrvaškem kažejo vrednosti, ki so primerljive s prejšnjimi leti. Pri teh meritvah ravno tako ni bilo kratkoživih radionuklidov, ki bi pokazali na morebiten vpliv NEK.



Slika 2.8: Ocenjeni prispevki k dozi za otroke na leto zaradi vsebnosti umetnih radionuklidov za zadnjih pet let za otroke



Slika 2.9: Ocenjeni prispevki k dozi za otroke na leto zaradi vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov za zadnjih pet let za otroke



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 ali pa se vezani na prašne delce počasi usedajo na površje zemlje. Izpiranje z dežjem mnogo učinkoviteje čisti ozračje kot usedanje. Radioaktivne snovi, ki so v ozračju, se zaradi omenjenih procesov koncentrirajo na površini. Z zbiralniki deževnice in suhega useda jih zbiramo, kontaminacija zbranih vzorcev pa kaže na prisotnost radioaktivnih snovi v ozračju.

Rastline vsrkajo odložene radioaktivne snovi preko korenin ali listov in te skozi užitne dele pridejo v prehrambno verigo. Poleg tega deževnica prehaja skozi zemeljske plasti v podtalnico in lahko kontaminira pitno vodo. Padavine tako igrajo ključno vlogo pri prenosu kontaminantov iz zraka v telo. Razen tega odložene radioaktivne snovi sevajo in tako neposredno prispevajo k prejeti dozi, ki je ocenjena v tem poglavju.

Zaradi človekove dejavnosti so v ozračju poleg naravnih tudi umetni radionuklidi. Jedrske elektrarne izpuščajo v ozračje karakteristične radioaktivne snovi, ki se ločijo od tistih, ki so v ozračju zaradi drugih dejavnosti. Rezultati meritev kažejo na to, 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 Dobovi. Vzorčevalna mesta za suhi used (vazelinske plošče) so na območju ob ograji NEK ter na osmih lokacijah v ožji in širši okolici NEK. Referenčno vzorčevalno mesto tako za padavine kot tudi za suhi used je Ljubljana. Za zbiranje vzorcev tekočih padavin se uporabljajo zbiralniki iz nerjavnega jekla z odprtino 0,25 m². Za zbiranje suhih usedov so postavljene plošče iz pleksi stekla od 1,8 m do 2 m nad površino tal, ploščine 0,3 m² in premazane s tanko plastjo vazelina. Vzorčevanje poteka kontinuirno, vzorce pa se pobira enkrat na mesec.

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 radiokemčni analizni postopek. 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 datoteki **PadavineUsedi2004.pdf**.

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

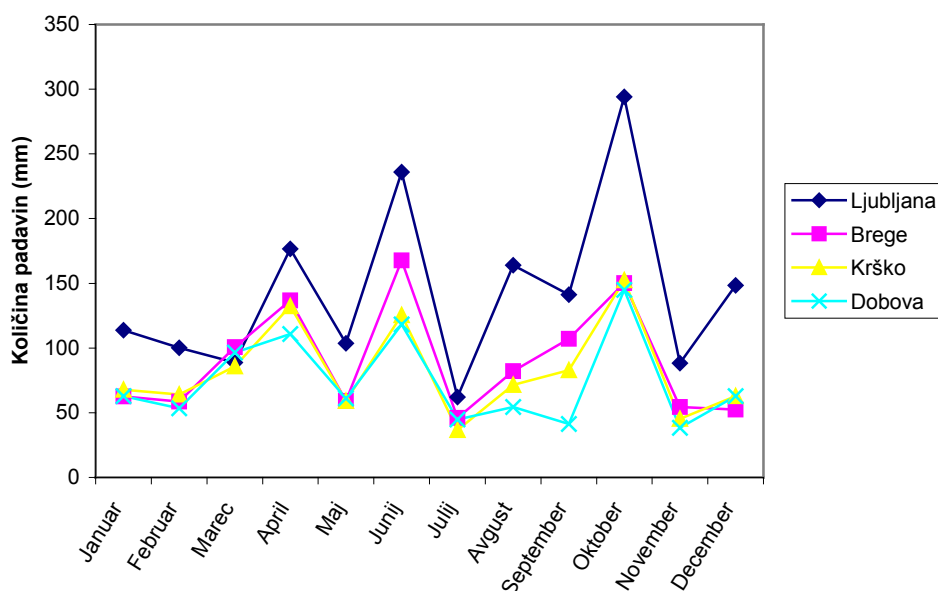
V prvi polovici leta 2004 je bila količina padavin v Ljubljani do največ 236 mm (v povprečju 136 mm), v Bregah do največ 168 mm (v povprečju 98 mm), v okolici Krškega do največ 132 mm (v povprečju 89 mm) in v Dobovi do največ 118 mm (v povprečju 84 mm). V drugi polovici leta so bile

količine padavin v povprečju razen v Ljubljani manjše kot v prvi polovici leta 2004, in so bile v Ljubljani do največ 294 mm (v povprečju 150 mm), v Bregah do največ 150 mm (v povprečju 82 mm), v okolici Krškega do največ 152 mm (v povprečju 75 mm) in v Dobovi do največ 145 mm (v povprečju 64 mm). Najmanjša količina padavin je bila v juliju, ko je na vseh lokacijah v povprečju padlo le 47 mm dežja. Največja količina padavin v Bregah je bila v juniju, na drugih lokacijah pa v oktobru. V Ljubljani se je v oktobru pojavil izrazit skok v količini padavin, kjer je padlo kar 294 mm dežja. Letna vsota padavin v Ljubljani v letu 2004 je bila 1717 mm, v Bregah 1077 mm, v Krškem 986 mm in v Dobovi 889 mm. Mesečne porazdelitve padavin v Ljubljani, Krškem in Dobovi so prikazane na sliki 3.1.

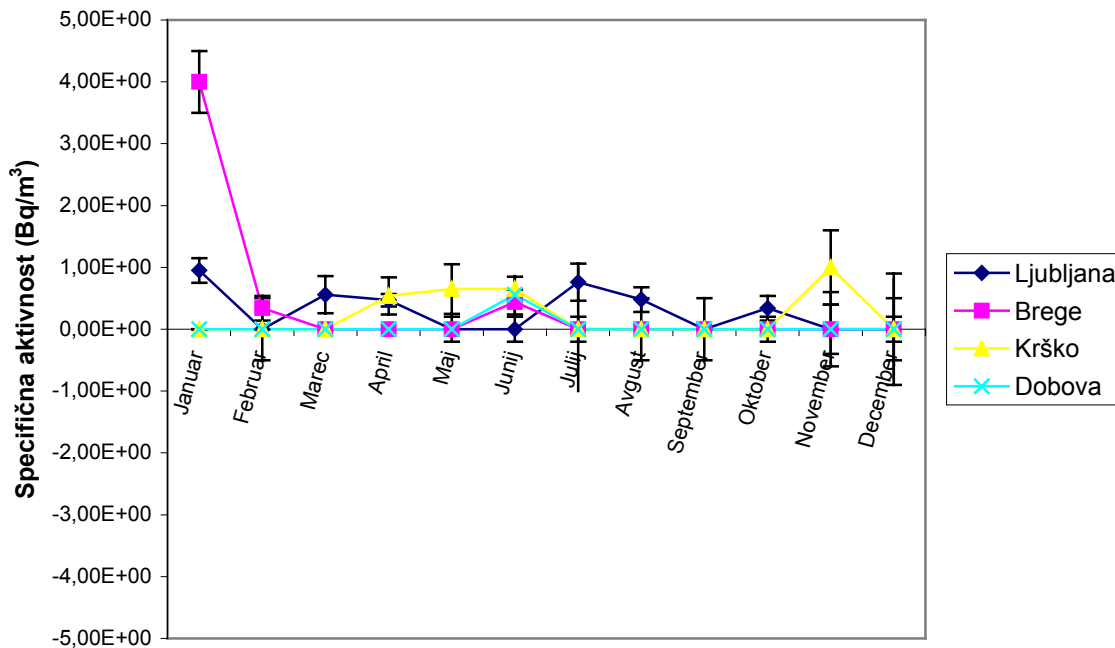
V vzorcih padavin in suhih usedov so bili naravni radionuklidi H-3, Be-7, K-40, potomci uranove in torijeve razpadne vrste ter umetna radionuklida Cs-137 in Sr-90/Sr-89. V tabeli 3.2 so podatki o največjih izmerjenih specifičnih aktivnostih in letna povprečja specifičnih aktivnosti H-3, Be-7, Pb-210, K-40, Cs-137 in Sr-89/Sr-90.

Najvišja specifična aktivnost H-3 je bila izmerjena v septembru v Krškem (3600 ± 600) Bq/m³; v istem mesecu je bila najvišja vrednost H-3 izmerjena tudi v Ljubljani (3000 ± 300) Bq/m³. Najvišja specifična aktivnost Be-7 je bila izmerjena junija v Krškem (2100 ± 100) Bq/m³; v Ljubljani je bila izmerjena najvišja vrednost Be-7 v avgustu (1500 ± 90) Bq/m³. Specifične aktivnosti Sr-90/Sr-89 so bile v večini primerov pod mejo določljivosti. Najvišja specifična aktivnost Pb-210 je bila določena v Bregah (1400 ± 70) Bq/m³. Najvišja specifična aktivnost K-40 je bila določena v Ljubljani (72 ± 9) Bq/m³. Povprečna specifična aktivnost Cs-137 v širši okolici NEK je primerljiva s povprečno aktivnostjo Cs-137 v Ljubljani. Razmerja najvišjih vrednosti specifičnih aktivnosti in letnih povprečij so ponekod visoka, kar gre v veliki meri pripisati nihanju količine padavin. Specifične aktivnosti radionuklidov iz tabele 3.2 so primerljive z vrednostmi iz prejšnjih let.

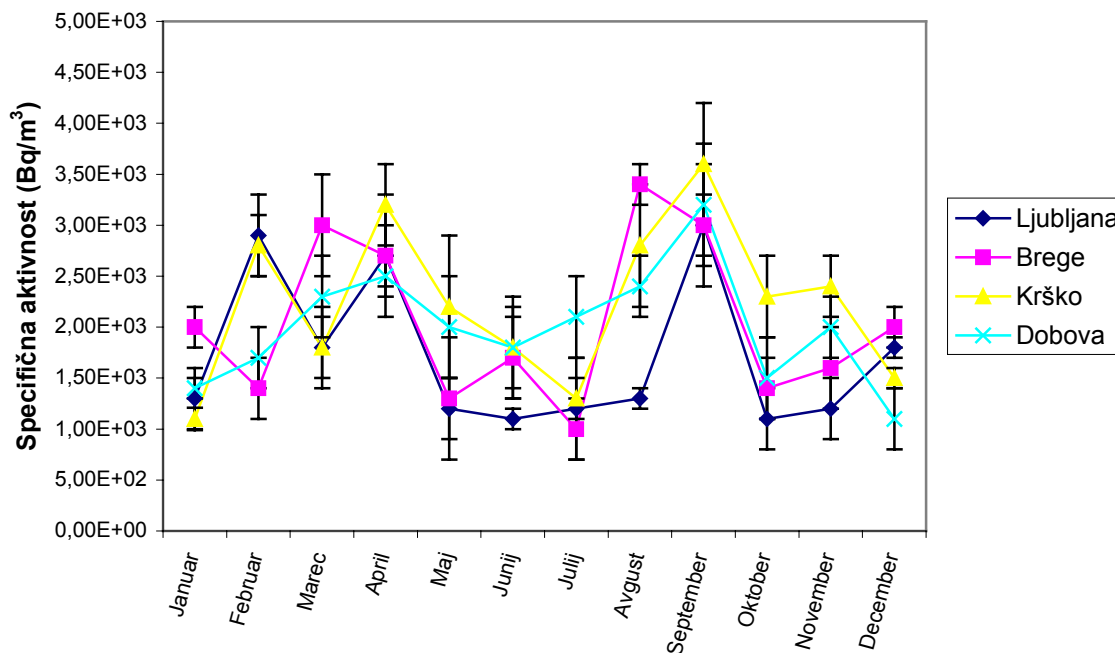
Mesečne specifične aktivnosti Cs-137 in H-3 v deževnici v Bregah, Krškem, Dobovi in v Ljubljani so prikazane na slikah 3.2 – 3.3. Najvišje vsebnosti za Cs-137 so bile določene v januarju v Bregah.



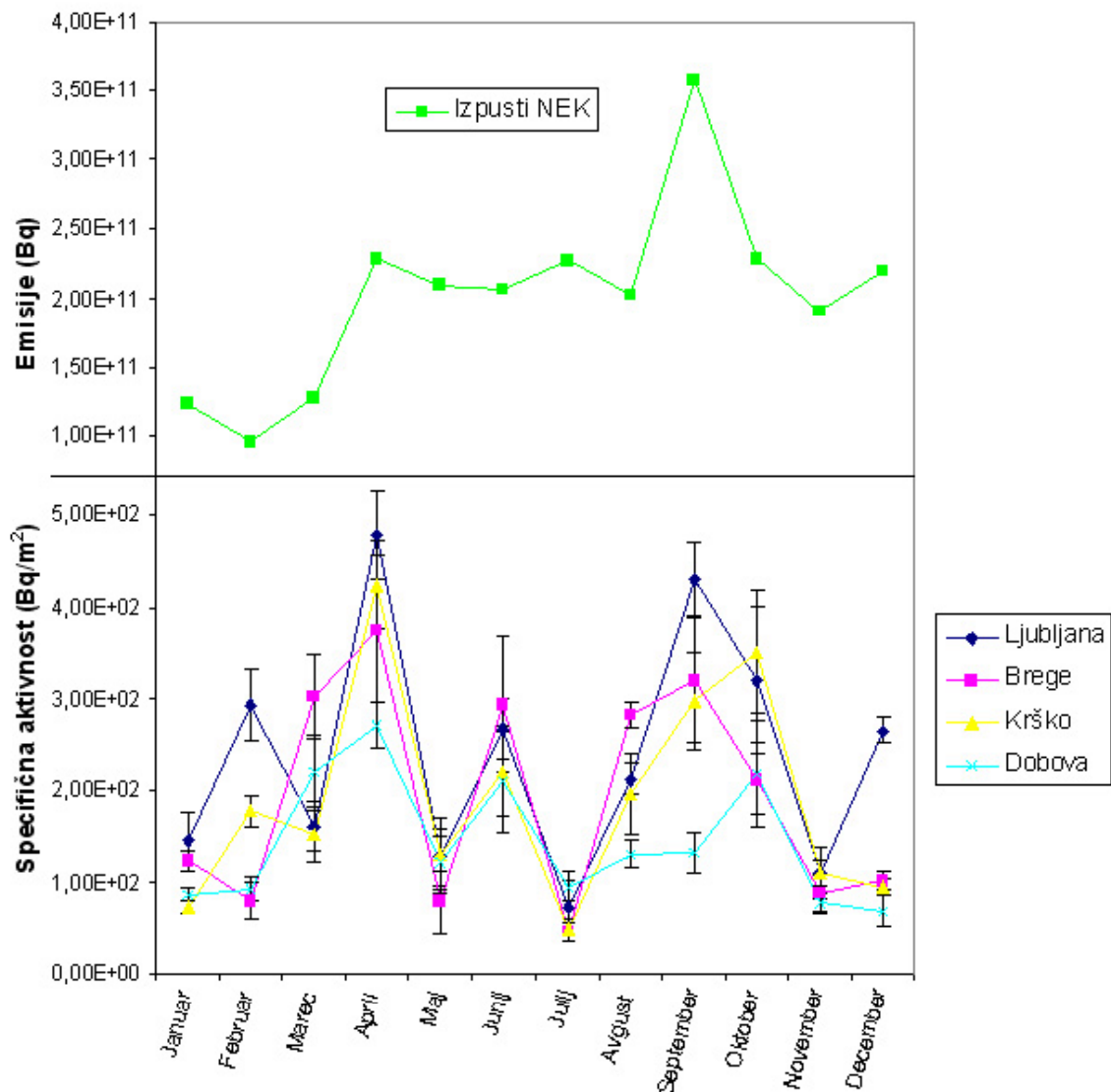
Slika 3.1: Količina padavin v Ljubljani, Bregah, Krškem in Dobovi v letu 2004



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



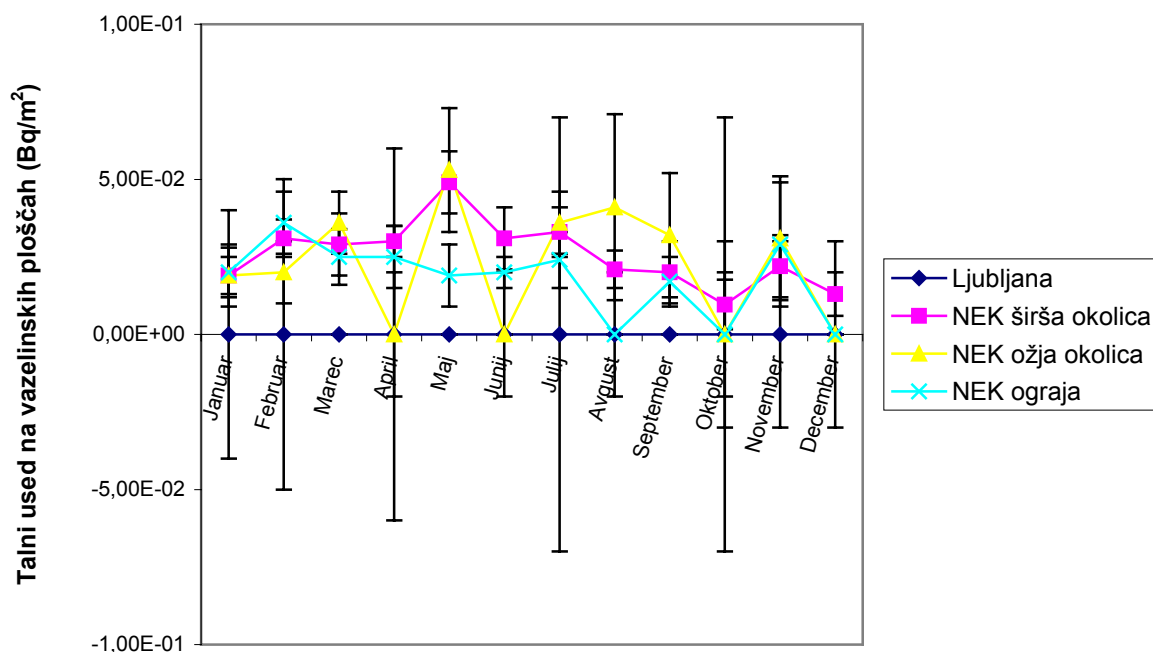
Slika 3.3: Specifične aktivnosti H-3 v deževnici (Bq/m³) v Ljubljani, Bregah, Krškem in Dobovi



Slika 3.4: Specifične aktivnosti H-3 v talnem usedu (Bq/m^2) v Ljubljani, Bregah, Krškem in Dobovi v primerjavi z izpusti H-3 v zrak

Na sliki 3.3, ki prikazuje specifične aktivnosti H-3 v deževnici za vsa štiri vzorčevalna mesta, je opaziti višje aktivnosti v avgustu in septembru.

S slike 3.4, ki prikazuje specifične aktivnosti H-3 v talnem usedu (Bq/m^2) za vsa štiri vzorčevalna mesta, razberemo višje aktivnosti v aprilu in septembru. Glede na podatke o izpustih H-3 v zrak in povišane koncentracije v Ljubljani, tega povišanja ne moremo nedvoumno pripisati vplivu NEK na deževnico in talni used.



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

Slika 3.5 prikazuje mesečne specifične aktivnosti Cs-137 v talnem usedu na vazelinskih ploščah. Sistematska razlika med usedi v okolici NEK in referenčnim mestom v Ljubljani izvira iz razlike v okolju, kjer so vzorčevalniki postavljeni. V okolici NEK so vzorčevalniki nameščeni v pretežno ruralnem okolju, kjer je resuspenzija mnogo večja, kot v urbanem okolju, kjer je postavljen vzorčevalnik v Ljubljani. Ker radionuklida Co-58 in Co-60, katerih aktivnosti v izpuščenih partikulatih presegata aktivnost Cs-137 za najmanj red velikosti, nista bila detektirana v talnem usedu, izmerjene aktivnosti Cs-137 ne pripisujemo izpustom NEK, ampak vplivu globalne kontaminacije okolja. V podkrepitev temu sklepu govori dejstvo, da ni časovne korelacije med izpusti Cs-137 v ozračje in aktivnostjo Cs-137 v talnem usedu.

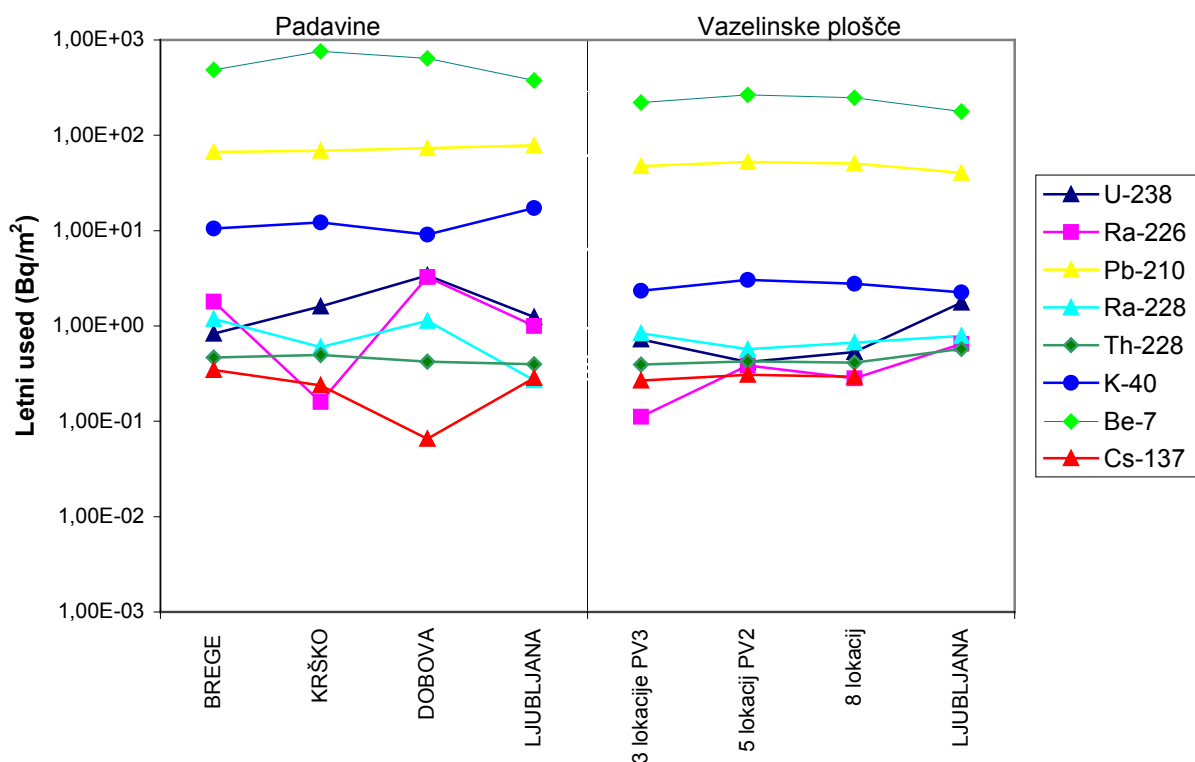
Razmerje povprečnega useda Cs-137 v letu 2004 v okolici NEK glede na prejšnje leto je 0,6 (primerjava povprečij izračunanih po novem postopku). Spremembe povprečnega useda Cs-137 so si v obdobju po černobilski onesnažitvi v okolici NEK sledile takole:

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	2004/2003	0,6
1993/1992	0,8	1999/1998	1,0		

Iz razmerja 2004/2003 izhaja, da je izmerjeni povprečni used Cs-137 v letu 2004 primerljiv s tistim v letu 2003.

Na sliki 3.6 je prikazana primerjava vrednosti letnih usedov v padavinah in na vazelinskih ploščah na vzorčevalnih mestih okrog NEK in v Ljubljani. Vsebnosti za Cs-137 so bile nekoliko višje na vazelinskih ploščah. Višje vrednosti na vazelinskih ploščah v primerjavi z vrednostmi v padavinah so lahko posledica večje občutljivosti vazelinskih plošč na resuspenzijo s tal. Pri primerjavi razmerij letnih usedov Cs-137 z usedi za K-40 je opaziti za faktor 5 višje vrednosti razmerij usedov na vazelinskih ploščah v primerjavi z usedi v padavinah. Povprečje razmerja letnih usedov Cs-137/K-40 za padavine v okolici Krškega je tako 0,02, medtem ko je za vazelinske plošče to povprečje 0,11. Vsebnosti Sr-90/Sr-89 v padavinah so bile v večini primerov pod mejo določljivosti, razen v Ljubljani v mesecu septembru, ko je bila izmerjena vrednost $(0,4 \pm 0,2) \text{ Bq/m}^3$.



Slika 3.6: Povprečni letni usedi v padavinah, zbranih v lovilnikih deževnice in na vazelinskih ploščah na različnih lokacijah okrog NEK in v Ljubljani v letu 2004



Preglednica 3.1: TALNI USED V LETU 2004 - meritve IJS

"A" Povprečne letne koncentracije radionuklidov zaradi letnega useda v deževnici in na vazelinskih ploščah (Bq/m²)

"Doza" Predvidena efektivna zunanja doza (committed effective dose) za otroka (1–2 leti) *E(70)* za obdobje 70 let ob predpostavki zadrževanja 4 ure na prostem.

LOVILNIKI DEŽEVNICE (LETNI USED)										
Vzorčevalno mesto	OKOLICA NEK								LJUBLJANA - IJS Republiški program	
Lokacija	BREGE		KRŠKO		DOBOVA		POVPREČJE lokacij			
IZOTOP	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)
U (Th-234)	8,3E-01 ± 1E-01	4,5E-04 ± 7E-05	1,1E+00 ± 2E-01	6,0E-04 ± 1E-04	3,4E+00 ± 7E-01	1,8E-03 ± 4E-04	1,8E+00 ± 7E-01	9,6E-04 ± 4E-04	1,5E+00 ± 3E-01	7,9E-04 ± 2E-04
Ra - 226	1,8E+00 ± 3E-01	9,0E-02 ± 1E-02	1,6E-01 ± 5E-02	7,9E-03 ± 2E-03	3,4E+00 ± 9E-01	1,7E-01 ± 5E-02	1,8E+00 ± 8E-01	8,9E-02 ± 4E-02	1,5E+00 ± 2E-01	7,4E-02 ± 1E-02
Pb - 210	7,3E+01 ± 1E+01	8,0E-03 ± 1E-03	6,8E+01 ± 5E+00	7,5E-03 ± 6E-04	7,3E+01 ± 5E+00	8,0E-03 ± 6E-04	7,1E+01 ± 2E+01	7,8E-03 ± 2E-03	1,1E+02 ± 5E+00	1,2E-02 ± 5E-04
Th (Ra-228)	1,2E+00 ± 1E-01	3,3E-02 ± 3E-03	6,0E-01 ± 9E-02	1,7E-02 ± 2E-03	1,1E+00 ± 9E-02	3,2E-02 ± 3E-03	9,7E-01 ± 3E-01	2,7E-02 ± 8E-03	5,0E-01 ± 8E-02	1,4E-02 ± 2E-03
Th - 228	4,7E-01 ± 5E-02	1,2E-02 ± 1E-03	5,0E-01 ± 6E-02	1,2E-02 ± 1E-03	4,2E-01 ± 3E-02	1,0E-02 ± 7E-04	4,6E-01 ± 1E-01	1,2E-02 ± 3E-03	4,6E-01 ± 6E-02	1,2E-02 ± 2E-03
K - 40	1,1E+01 ± 1E+00	5,0E-02 ± 5E-03	1,2E+01 ± 9E-01	5,6E-02 ± 4E-03	8,7E+00 ± 6E-01	4,1E-02 ± 3E-03	1,0E+01 ± 3E+00	4,9E-02 ± 1E-02	2,2E+01 ± 4E+00	1,1E-01 ± 2E-02
Be - 7	4,8E+02 ± 6E+01	1,5E-01 ± 2E-02	7,6E+02 ± 7E+01	2,4E-01 ± 2E-02	6,4E+02 ± 5E+01	2,1E-01 ± 2E-02	6,3E+02 ± 2E+02	2,0E-01 ± 5E-02	6,1E+02 ± 3E+01	1,9E-01 ± 1E-02
I - 131										
Cs - 134										
Cs - 137	3,5E-01 ± 7E-02	6,3E-03 ± 1E-03	4,3E-01 ± 6E-02	7,9E-03 ± 1E-03	4,4E-02 ± 1E-02	8,0E-04 ± 2E-04	2,7E-01 ± 1E-01	5,0E-03 ± 2E-03	4,7E-01 ± 4E-02	8,5E-03 ± 8E-04
Co - 58										
Co - 60										
Cr - 51										
Mn - 54										
Zn - 65										
Nb - 95										
Ru,Rh - 106										
Sb - 125										
Fe-59										
Sr-90/Sr-89	0 ± 3E-01	0 ± 6E-05	0 ± 4E-01	0 ± 7E-05	0 ± 3E-01	0 ± 6E-05	0 ± 6E-01	0 ± 1E-04	5,7E-02 ± 3E-02	1,0E-05 ± 5E-06
H - 3	2,3E+03 ± 1E+02		2,3E+03 ± 1E+02		1,7E+03 ± 7E+01		2,1E+03 ± 5E+02		2,9E+03 ± 1E+02	
Doza za umetne radionuklide		6,3E-03 ± 1E-03		7,9E-03 ± 1E-03		8,0E-04 ± 2E-04		5,0E-03 ± 2E-03		8,5E-03 ± 8E-04
Doza		3,5E-01 ± 2E-02		3,5E-01 ± 2E-02		4,7E-01 ± 5E-02		3,9E-01 ± 7E-02		4,2E-01 ± 2E-02



Preglednica 3.1, nadaljevanje: TALNI USED V LETU 2004 - meritve IJS

"A" Povprečne letne koncentracije radionuklidov zaradi letnega useda v deževnici in na vazelinskih ploščah (Bq/m²)

"Doza" Predvidena efektivna zunanja doza (committed effective dose) za otroka (1–2 leti) *E(70)* za obdobje 70 let ob predpostavki zadrževanja 4 ure na prostem.

Vzorčevalno mesto	VAZELINSKE PLOŠČE (LETNI USED)											
	3 lokacije PV3			5 lokacij PV2			8 lokacij			LJUBLJANA - IJS		
	neposredno izmerjen	20-odstotni izkoristek		neposredno izmerjen	20-odstotni izkoristek		neposredno izmerjen	20-odstotni izkoristek		neposredno izmerjen	20-odstotni izkoristek	
IZOTOP	A (Bq/m ²)	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ²)	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ²)	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ²)	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)
U (Th-234)	1,0E+00 ± 2E-01	5,1E+00 ± 8E-01	2,7E-03 ± 4E-04	4,2E-01 ± 6E-02	2,1E+00 ± 3E-01	1,1E-03 ± 2E-04	6,4E-01 ± 1E-01	3,2E+00 ± 5E-01	1,7E-03 ± 3E-04	1,8E+00 ± 1E-01	8,8E+00 ± 7E-01	4,7E-03 ± 4E-04
Ra - 226	1,5E-01 ± 3E-02	7,4E-01 ± 2E-01	3,7E-02 ± 8E-03	4,5E-01 ± 4E-02	2,2E+00 ± 2E-01	1,1E-01 ± 1E-02	3,3E-01 ± 4E-02	1,7E+00 ± 2E-01	8,4E-02 ± 1E-02	6,5E-01 ± 1E-01	3,3E+00 ± 7E-01	1,6E-01 ± 3E-02
Pb - 210	4,7E+01 ± 3E+00	2,3E+02 ± 1E+01	2,6E-02 ± 1E-03	5,2E+01 ± 2E+00	2,6E+02 ± 1E+01	2,9E-02 ± 1E-03	5,0E+01 ± 2E+00	2,5E+02 ± 1E+01	2,8E-02 ± 1E-03	4,0E+01 ± 7E-01	2,0E+02 ± 3E+00	2,2E-02 ± 4E-04
Th (Ra-228)	7,6E-01 ± 5E-02	3,8E+00 ± 2E-01	1,1E-01 ± 7E-03	5,2E-01 ± 3E-02	2,6E+00 ± 2E-01	7,3E-02 ± 5E-03	6,1E-01 ± 4E-02	3,0E+00 ± 2E-01	8,5E-02 ± 5E-03	7,9E-01 ± 3E-02	3,9E+00 ± 2E-01	1,1E-01 ± 4E-03
Th - 228	3,8E-01 ± 5E-02	1,9E+00 ± 2E-01	4,8E-02 ± 6E-03	3,4E-01 ± 3E-02	1,7E+00 ± 1E-01	4,2E-02 ± 3E-03	3,6E-01 ± 3E-02	1,8E+00 ± 2E-01	4,4E-02 ± 4E-03	5,7E-01 ± 2E-02	2,9E+00 ± 1E-01	7,1E-02 ± 3E-03
K - 40	3,3E+00 ± 2E-01	1,6E+01 ± 1E+00	7,7E-02 ± 5E-03	3,1E+00 ± 2E-01	1,5E+01 ± 1E+00	7,2E-02 ± 5E-03	3,2E+00 ± 2E-01	1,6E+01 ± 1E+00	7,4E-02 ± 5E-03	2,3E+00 ± 2E-01	1,1E+01 ± 8E-01	5,3E-02 ± 4E-03
Be - 7	2,2E+02 ± 1E+01	1,1E+03 ± 6E+01	3,6E-01 ± 2E-02	2,6E+02 ± 1E+01	1,3E+03 ± 7E+01	4,2E-01 ± 2E-02	2,5E+02 ± 1E+01	1,2E+03 ± 6E+01	4,0E-01 ± 2E-02	1,8E+02 ± 4E+00	8,9E+02 ± 2E+01	2,8E-01 ± 6E-03
I - 131												
Cs - 134												
Cs - 137	3,1E-01 ± 2E-02	1,5E+00 ± 8E-02	2,8E-02 ± 1E-03	3,0E-01 ± 1E-02	1,5E+00 ± 5E-02	2,7E-02 ± 1E-03	3,0E-01 ± 1E-02	1,5E+00 ± 6E-02	2,7E-02 ± 1E-03	0 ± 1E-01	0 ± 7E-01	0 ± 1E-02
Co - 58												
Co - 60												
Cr - 51												
Mn - 54												
Zn - 65												
Nb - 95												
Ru,Rh - 106												
Sb - 125												
Fe-59												
Sr-90/Sr-89												
H - 3												
Doza za umetne radionuklide			2,8E-02 ± 1E-03			2,7E-02 ± 1E-03			2,7E-02 ± 1E-03			0 ± 1E-02
Doza			6,8E-01 ± 2E-02			7,8E-01 ± 2E-02			7,4E-01 ± 2E-02			7,1E-01 ± 4E-02



Preglednica 3.2: TALNI USED V LETU 2004 - meritve IJS

"A" Povprečne letne koncentracije radionuklidov zaradi letnega useda v deževnici in na vazelinskih ploščah (Bq/m²)

"Doza" Predvidena efektivna ingestijska doza (committed effective dose) za otroka (1–2 leti) *E(70)* za obdobje 70 let

LOVILNIKI DEŽEVNICE (LETNI USED)										
Vzorčevalno mesto	OKOLICA NEK								LJUBLJANA - IJS Republiški program	
Lokacija	BREGE		KRŠKO		DOBOVA		POVPREČJE lokacij		A	Doza
IZOTOP	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)
U (Th-234)	8,3E-01 ± 1E-01	2,3E-02 ± 4E-03	1,1E+00 ± 2E-01	3,1E-02 ± 6E-03	3,4E+00 ± 7E-01	9,5E-02 ± 2E-02	1,8E+00 ± 7E-01	5,0E-02 ± 2E-02	1,5E+00 ± 3E-01	4,1E-02 ± 8E-03
Ra - 226	1,8E+00 ± 3E-01	4,0E-01 ± 6E-02	1,6E-01 ± 5E-02	3,6E-02 ± 1E-02	3,4E+00 ± 9E-01	7,6E-01 ± 2E-01	0 ± 2E-01	0 ± 5E-02	1,5E+00 ± 2E-01	3,3E-01 ± 5E-02
Pb - 210	7,3E+01 ± 1E+01	6,1E+01 ± 9E+00	6,8E+01 ± 5E+00	5,8E+01 ± 4E+00	7,3E+01 ± 5E+00	6,1E+01 ± 4E+00	5,3E+01 ± 2E+01	4,5E+01 ± 2E+01	1,1E+02 ± 5E+00	9,2E+01 ± 4E+00
Th (Ra-228)	1,2E+00 ± 1E-01	1,6E+00 ± 1E-01	6,0E-01 ± 9E-02	8,0E-01 ± 1E-01	1,1E+00 ± 9E-02	1,5E+00 ± 1E-01	9,7E-01 ± 3E-01	1,3E+00 ± 4E-01	5,0E-01 ± 8E-02	6,7E-01 ± 1E-01
Th - 228	4,7E-01 ± 5E-02	4,0E-02 ± 4E-03	5,0E-01 ± 6E-02	4,3E-02 ± 5E-03	4,2E-01 ± 3E-02	3,6E-02 ± 2E-03	4,6E-01 ± 1E-01	4,0E-02 ± 1E-02	4,6E-01 ± 6E-02	4,0E-02 ± 6E-03
K - 40	1,1E+01 ± 1E+00	1,0E-01 ± 1E-02	1,2E+01 ± 9E-01	1,2E-01 ± 9E-03	8,7E+00 ± 6E-01	8,6E-02 ± 6E-03	7,8E+00 ± 3E+00	7,7E-02 ± 3E-02	2,2E+01 ± 4E+00	2,2E-01 ± 4E-02
Be - 7	4,8E+02 ± 6E+01	1,0E-02 ± 1E-03	7,6E+02 ± 7E+01	1,6E-02 ± 1E-03	6,4E+02 ± 5E+01	1,3E-02 ± 1E-03	4,7E+02 ± 2E+02	9,7E-03 ± 3E-03	6,1E+02 ± 3E+01	1,3E-02 ± 7E-04
I - 131										
Cs - 134										
Cs - 137	3,5E-01 ± 7E-02	9,7E-04 ± 2E-04	4,3E-01 ± 6E-02	1,2E-03 ± 2E-04	4,4E-02 ± 1E-02	1,2E-04 ± 4E-05	1,6E-01 ± 1E-01	4,4E-04 ± 3E-04	4,7E-01 ± 4E-02	1,3E-03 ± 1E-04
Co - 58										
Co - 60										
Cr - 51										
Mn - 54										
Zn - 65										
Nb - 95										
Ru,Rh - 106										
Sb - 125										
Fe-59										
Sr-90/Sr-89	0 ± 3E-01	0 ± 6E-03	0 ± 4E-01	0 ± 7E-03	0 ± 3E-01	0 ± 6E-03	0 ± 6E-01	0 ± 1E-02	5,7E-02 ± 3E-02	9,6E-04 ± 5E-04
H - 3	2,3E+03 ± 1E+02	2,6E-02 ± 1E-03	2,3E+03 ± 1E+02	2,5E-02 ± 1E-03	1,7E+03 ± 7E+01	1,9E-02 ± 8E-04	2,1E+03 ± 5E+02	2,4E-02 ± 6E-03	2,9E+03 ± 1E+02	3,2E-02 ± 1E-03
Doza za umetne radionuklide		2,7E-02 ± 6E-03		2,7E-02 ± 7E-03		1,9E-02 ± 6E-03		2,4E-02 ± 1E-02		3,5E-02 ± 2E-03
Doza		6,3E+01 ± 9E+00		5,9E+01 ± 4E+00		6,4E+01 ± 4E+00		4,7E+01 ± 2E+01		9,4E+01 ± 4E+00


Preglednica 3.2, nadaljevanje: TALNI USED V LETU 2004 - meritve IJS

"A" Povprečne letne koncentracije radionuklidov zaradi letnega useda v deževnici in na vazelinskih ploščah (Bq/m²)

"Doza" Predvidena efektivna ingestijska doza (committed effective dose) za otroka (1–2 leti) *E(70)* za obdobje 70 let

Vzorčevalno mesto	VAZELINSKE PLOŠČE (LETNI USED)											
	3 lokacije PV3			5 lokacij PV2			8 lokacij			LJUBLJANA - IJS		
	neposredno izmerjen		20-odstotni izkoristek	neposredno izmerjen		20-odstotni izkoristek	neposredno izmerjen		20-odstotni izkoristek	neposredno izmerjen		20-odstotni izkoristek
Lokacija	A	A	Doza	A	A	Doza	A	A	Doza	A	A	Doza
IZOTOP	(Bq/m ²)	(Bq/m ²)		(Bq/m ²)	(Bq/m ²)		(Bq/m ²)	(Bq/m ²)		(Bq/m ²)	(Bq/m ²)	
U (Th-234)	1,0E+00 ± 2E-01	5,1E+00 ± 8E-01	1,4E-01 ± 2E-02	4,2E-01 ± 6E-02	2,1E+00 ± 3E-01	5,9E-02 ± 9E-03	6,4E-01 ± 1E-01	3,2E+00 ± 5E-01	9,0E-02 ± 1E-02	1,8E+00 ± 1E-01	8,8E+00 ± 7E-01	2,5E-01 ± 2E-02
Ra - 226	1,5E-01 ± 3E-02	7,4E-01 ± 2E-01	1,7E-01 ± 4E-02	4,5E-01 ± 4E-02	2,2E+00 ± 2E-01	5,0E-01 ± 5E-02	3,3E-01 ± 4E-02	1,7E+00 ± 2E-01	3,8E-01 ± 5E-02	6,5E-01 ± 1E-01	3,3E+00 ± 7E-01	7,3E-01 ± 1E-01
Pb - 210	4,7E+01 ± 3E+00	2,3E+02 ± 1E+01	2,0E+02 ± 1E+01	5,2E+01 ± 2E+00	2,6E+02 ± 1E+01	2,2E+02 ± 9E+00	5,0E+01 ± 2E+00	2,5E+02 ± 1E+01	2,1E+02 ± 1E+01	4,0E+01 ± 7E-01	2,0E+02 ± 3E+00	1,7E+02 ± 3E+00
Th (Ra-228)	7,6E-01 ± 5E-02	3,8E+00 ± 2E-01	5,1E+00 ± 3E-01	5,2E-01 ± 3E-02	2,6E+00 ± 2E-01	3,5E+00 ± 2E-01	6,1E-01 ± 4E-02	3,0E+00 ± 2E-01	4,1E+00 ± 3E-01	7,9E-01 ± 3E-02	3,9E+00 ± 2E-01	5,2E+00 ± 2E-01
Th - 228	3,8E-01 ± 5E-02	1,9E+00 ± 2E-01	1,7E-01 ± 2E-02	3,4E-01 ± 3E-02	1,7E+00 ± 1E-01	1,5E-01 ± 1E-02	3,6E-01 ± 3E-02	1,8E+00 ± 2E-01	1,5E-01 ± 1E-02	5,7E-01 ± 2E-02	2,9E+00 ± 1E-01	2,5E-01 ± 9E-03
K - 40	3,3E+00 ± 2E-01	1,6E+01 ± 1E+00	1,6E-01 ± 1E-02	3,1E+00 ± 2E-01	1,5E+01 ± 1E+00	1,5E-01 ± 1E-02	3,2E+00 ± 2E-01	1,6E+01 ± 1E+00	1,6E-01 ± 1E-02	2,3E+00 ± 2E-01	1,1E+01 ± 8E-01	1,1E-01 ± 8E-03
Be - 7	2,2E+02 ± 1E+01	1,1E+03 ± 6E+01	2,3E-02 ± 1E-03	2,6E+02 ± 1E+01	1,3E+03 ± 7E+01	2,7E-02 ± 1E-03	2,5E+02 ± 1E+01	1,2E+03 ± 6E+01	2,6E-02 ± 1E-03	1,8E+02 ± 4E+00	8,9E+02 ± 2E+01	1,8E-02 ± 4E-04
I - 131												
Cs - 134												
Cs - 137	3,1E-01 ± 2E-02	1,5E+00 ± 8E-02	4,3E-03 ± 2E-04	3,0E-01 ± 1E-02	1,5E+00 ± 5E-02	4,2E-03 ± 1E-04	3,0E-01 ± 1E-02	1,5E+00 ± 6E-02	4,2E-03 ± 2E-04	0 ± 1E-01	0 ± 7E-01	0 ± 2E-03
Co - 58												
Co - 60												
Cr - 51												
Mn - 54												
Zn - 65												
Nb - 95												
Ru,Rh - 106												
Sb - 125												
Fe-59												
Sr-90/Sr-89												
H - 3												
Doza za umetne radionuklide			4,3E-03 ± 2E-04			4,2E-03 ± 1E-04			4,2E-03 ± 2E-04			0 ± 2E-03
Doza			2,0E+02 ± 1E+01			2,2E+02 ± 9E+00			2,2E+02 ± 1E+01			1,8E+02 ± 3E+00



Tabela 3.2: Največje izmerjene specifične aktivnosti in letna povprečja specifičnih aktivnosti H-3, Be-7, Pb-210, K-40, Cs-137 in Sr-89/Sr-90 v vzorcih padavin v Bregah, Krškem, Dobovi in Ljubljani v letu 2004

IZOTOP	BREGE			KRŠKO			DOBOVA			LJUBLJANA		
	Povprečna koncentracija (Bq/m ³)	Največja koncentracija (Bq/m ³)	Največja koncentracija / Povprečna koncentracija	Povprečna koncentracija (Bq/m ³)	Največja koncentracija (Bq/m ³)	Največja koncentracija/ Povprečna koncentracija	Povprečna koncentracija (Bq/m ³)	Največja koncentracija (Bq/m ³)	Največja koncentracija/ Povprečna koncentracija	Povprečna koncentracija (Bq/m ³)	Največja koncentracija (Bq/m ³)	Največja koncentracija/ Povprečna koncentracija
H-3	2000 ± 200	3400 ± 200	1,7	2200 ± 200	3600 ± 600	1,6	1700 ± 70	3200 ± 600	1,6	1700 ± 200	3000 ± 300	1,8
Be-7	360 ± 100	1400 ± 70	3,8	750 ± 200	2100 ± 100	2,9	640 ± 50	1600 ± 80	2,2	350 ± 40	560 ± 50	1,6
Pb-210	76 ± 50	610 ± 40	8,1	72 ± 20	200 ± 20	2,7	73 ± 6	170 ± 20	2,2	75 ± 20	210 ± 20	2,9
K-40	10 ± 4	45 ± 8	4,3	12 ± 3	33 ± 7	2,7	9,1 ± 0,7	23 ± 8	2,3	14 ± 7	72 ± 9	5,0
Cs-137	0,4 ± 0,3	4,0 ± 0,5	10,1	0,24 ± 0,10	1 ± 0,6	4,3	0,066 ± 0,02	0,56 ± 0,3	12	0,3 ± 0,1	0,95 ± 0,2	3,2
Sr-90/Sr-89	0 ± 0,4	0 ± 3	-	0 ± 0,5	0 ± 2	-	0 ± 0,3	0 ± 3	-	0,1 ± 0,2	0,4 ± 0,2	4,0



d) OCENA VPLIVOV

Analiza rezultatov meritev radionuklidov v padavinah in talnem usedu, predstavljenih v preglednicah 3.2 in 3.3, je pokazala, da prispevki umetnih radionuklidov ne vplivajo pomembno na skupno letno dozo okoliškega prebivalstva. Za izračun doz, ki so posledica globalne kontaminacije, se uporabljajo vrednosti letnih usedov za umetne radionuklide Cs-137 in Sr-90/Sr-89. V tabeli 3.3 so zbrane zunanje doze depozita, ki so enake za odrasle in za otroke (1–2 leti). Zunanje doze so izračunane kot produkt letnega useda in doznega pretvorbenega faktorja za posamezen radionuklid. Pri izračunu doz iz letnega useda na vazelinske plošče je upoštevan 20-odstotni izkoristek [5].

Tabela 3.3: Zunanje doze, pri predpostavki zadrževanja na prostem 4 ure na dan, preračunane iz vrednosti letnih usedov v lovilnikih deževnice in na vazelinskih ploščah v letu 2004

	Lovilniki deževnice		Vazelinske plošče	
	Povprečje-okolica NEK	Ljubljana	Povprečje-8 lokacij	Ljubljana
Doza-umetni [μSv]	$0,005 \pm 0,002$	$0,0085 \pm 0,0008$	$0,027 \pm 0,001$	$0,00 \pm 0,01$
Doza [μSv]	$0,39 \pm 0,07$	$0,42 \pm 0,02$	$0,74 \pm 0,02$	$0,71 \pm 0,04$

Iz tabele 3.3 je razvidno, da so doze od umetnih radionuklidov, preračunane iz vrednosti letnih usedov v padavinah, višje na referenčni lokaciji. Doza zaradi umetnih radionuklidov, preračunana iz letnih usedov na vazelinskih ploščah, pa je za odrasle osebe za približno $0,027 \mu\text{Sv}$ višja v okolici Krškega kot v Ljubljani. Ta prispevek je posledica resuspenzije radionuklidov, ki so v vrhnjem sloju zemlje. Aktivnost Cs-137 v zračnih izpustih NEK je namreč približno 10-krat manjša od aktivnosti dolgoživih aktivacijskih produktov Co-60 in Co-58. Ker so aktivnosti teh izotopov v usedih pod mejo detekcije in ker je Cs-137 v zračnih izpustih manj kot aktivacijskih produktov, prispevka Cs-137 v usedu ne moremo pripisati NEK. Skupna doza iz useda umetnih radionuklidov na vazelinskih ploščah je bila v okolici Krškega ($0,027 \pm 0,001 \mu\text{Sv}$), v Ljubljani pa ($0,00 \pm 0,01 \mu\text{Sv}$) in je posledica usedanja radionuklidov iz ozračja, ki jo prejme prebivalstvo zaradi globalne kontaminacije zaradi jedrskih poizkusov v ozračju in černobilske nesreče je tako ocenjena na $0,027 \mu\text{Sv}$. Poudariti je treba, da je večina depozita globalne kontaminacije v zemlji, izračunana doza pa je le prispevek relociranega dela kontaminacije.

V tabeli 3.4 so izračunane ingestijske doze zaradi useda radionuklidov na rastlinje. Vsebnost radionuklidov v rastlinju zaradi depozita radionuklidov v primeru dolgotrajnega odlaganja ocenimo z izrazom [6]:

$$C_{v,d} = \frac{\dot{d} \cdot \alpha \cdot [1 - \exp(-\lambda_e \cdot t_e)]}{\lambda_e} \exp(-\lambda \cdot t_h)$$

kjer oznake pomenijo:

$C_{v,d}$ / (Bq/kg) koncentracija radionuklidov v masi 1 kg sveže rastline, ki jo zaužije človek
 \dot{d} / ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) hitrost depozicije



α / (m ² /kg)	delež usedle aktivnosti, ki jo ujame užitni del rastline v m ² /kg
λ_e / (d ⁻¹)	efektivna razpadna konstanta za zmanjševanje aktivnosti v pridelku, ki je enaka $\lambda_e = \lambda + \lambda_w$
t_e / (d)	čas izpostavitve rastline depoziciji
λ / (d ⁻¹)	razpadna konstanta izotopa
λ_w / (d ⁻¹)	hitrost zmanjševanja radioaktivnosti na površini zaradi raznih efektov (npr. izpiranje)
t_h / (d)	čas med pobiranjem rastline in njenim zaužitjem

Izhodiščne vrednosti parametrov so:

Parameter	Vrednosti parametrov [5]
α	0,3 m ² /kg
λ_w	0,05 d ⁻¹
t_e	60 d
t_h	14 d

Ingestijsko dozo nato ocenimo po naslednjem izrazu:

$$Doza = C_{v,d} \cdot f_d \cdot m$$

kjer oznake pomenijo:

f_d / (Sv/Bq)	dozni pretvorbeni faktor za posamezen radionuklid
m / kg	masa zaužitega rastlinja

V izračunu ingestijske doze je za maso rastlinja, ki ga človek zaužije letno, privzeta vrednost 25 kg.

Tabela 3.4: Ingestijske doze preračunane iz vrednosti letnih usedov v lovilnikih deževnice in na vazelinskih ploščah, za odrasle in otroke (1–2 leti), v letu 2004

		Lovilniki deževnice		Vazelinske plošče	
		Povprečje-okolica NEK	Ljubljana	Povprečje-8 lokacij	Ljubljana
ODRASLI	Doza – umetni [μSv]	0,016 ± 0,008	0,023 ± 0,001	0,0076 ± 0,0003	0 ± 0,003
	Doza [μSv]	20 ± 5	30 ± 1	69 ± 3	56 ± 0,9
OTROCI (1–2 leti)	Doza – umetni [μSv]	0,024 ± 0,01	0,035 ± 0,002	0,0042 ± 0,0002	0 ± 0,002
	Doza [μSv]	47 ± 10	94 ± 4	220 ± 9	180 ± 3

Iz tabele 3.4 je razvidno, da je doza zaradi suhega useda, ki jo odrasli in otroci prejmejo zaradi uživanja rastlinja, višja v okolici NEK kot v Ljubljani. Ingestijska doza zaradi umetnih radionuklidov (Cs-137) je bila približno za 0,0076 μSv za odrasle in 0,004 μSv za otroke višja v okolici NEK kot v Ljubljani. Ker so aktivnosti umetnih izotopov, ki so v zračnih izpustih NEK, v usedih pod mejo detekcije, prispevka Cs-137 ne moremo pripisati NEK. K skupni ingestijski dozi v



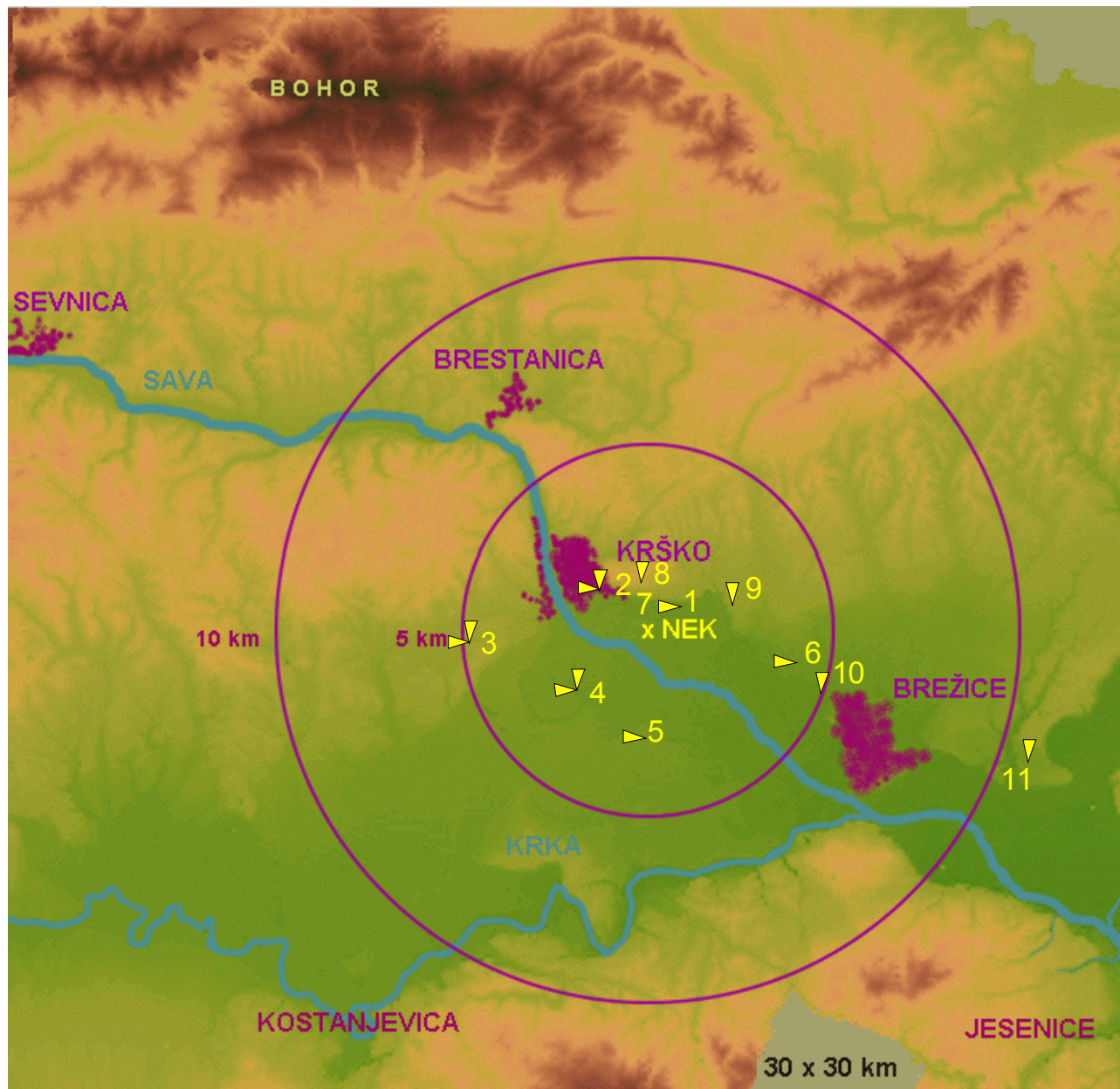
okolici NEK ($(69 \pm 3) \mu\text{Sv}$ za odrasle in $(220 \pm 9) \mu\text{Sv}$ za otroke) največ prispeva used Pb-210, ki pa je **naravni radionuklid**.

Dodatna skupna doza (vsota zunanje in ingestijske doze) na odraslega prebivalca iz okolice Krškega zaradi usedanja umetnih radionuklidov iz zraka je bila v letu 2004 tako ocenjena na $(0,035 \pm 0,010) \mu\text{Sv}$. Za otroke stare 1–2 leti je ta dodatna doza $(0,031 \pm 0,010) \mu\text{Sv}$. Ta dodatna doza je posledica **globalne kontaminacije** in resuspenzije radionuklidov iz vrhnega sloja zemlje.

e) LITERATURA

- [5] Keith F. Eckerman and Jeffrey C. Ryman, *External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil*, Federal Guidance Report No. 12, EPA–402–R-93-081, Washington, 1993
- [6] International Atomic Energy Agency, *Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment*, Safety Reports Series No. 19, Vienna, 2001





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 2004 potekalo na istih mestih kot v preteklih letih. Vzorčevalna mesta so bila izbrana na razdaljah, pri katerih oblak iz dimnika pri večini meteoroloških stabilnostnih razredov doseže tla in so reprezentativna za oceno sevalnih vplivov zračnih izpustov NEK na okoliško prebivalstvo. Pri izbiri mest je bilo upoštevano tudi dejstvo, da so v okolici NEK pogoste spremembe smeri vetra tudi večkrat na dan, da predobratovalne meritve niso pokazale prevladujoče smeri vetra, ter da v smeri Brežic v razdaljah do 3 km ni naseljenih krajev.

Vzorčevanje **aerosolov** je potekalo na sedmih mestih v okolici NEK, ki so v zračni oddaljenosti od 1,4 km do 12 km od NEK. To so Libna pri Krškem (ZR = 1,4 km), Krško-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 od 1,8 km do 5,9 km od NEK: Spodnji Stari Grad (ZR = 1,8 km), Stara vas (ZR = 1,8 km), Vihre (ZR = 2,9 km), Brege (ZR = 2,3 km), Leskovec (ZR = 3,0 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 opravljajo meritve žlahtnih plinov.

b) ZNAČILNOSTI MERITEV

Vzorčevanje zračnih emisij in imisij je v letu 2004 potekalo na enak način kot v preteklih letih, kar zagotavlja primerljivost z rezultati iz prejšnjih poročil.

Vzorčevanje **aerosolov** je potekalo s kontinuirnim prečrpavanjem zraka skozi aerosolne filtre. Filtri, ki so bili zbrani z dnevno menjavo v enem mesecu, so bili izmerjeni z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Vzorčevanje in meritve vzorcev na vseh sedmih mestih ter vzorčevanje in meritve na enem mestu v Ljubljani (republiški program) je opravil ZVD. Dodatno (primerjalno) meritev pri vzorcih iz Stare vasi (okolica NEK) in dodatno vzorčevanje ter meritve 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, prepojeno s TEDA - trietilendiaminom). Filtri zbirajo atomski in molekularni jod (I , I_2), metiljodid (CH_3I), HI, HOI in jod, vezan na aerosole. Črpanje je kontinuirno, filtri se menjajo vsakih 15 dni ($\approx 2T_{1/2}$ za I-131), pri čemer se skozi filtre prečrpa od 1000 m³ do 1400 m³ zraka. Specifična meritev I-131 in izotopska analiza partikulatov se izvaja z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Preračun aktivnosti se opravi ob predpostavki, da je aktivnost joda v zraku v obdobju črpanja približno konstatna. Vzorčevanje in specifične meritve joda je opravil IJS.

Vzorčevanje **emisij** na glavnem oddušniku NEK se opravlja 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



opravi IJS, meritve vzorcev filtrov za vzorčevanje partikulatov na ventilacijskem kanalu pa NEK in IJS. NEK je opravil tudi meritve emisij joda ter žlahtnih plinov.

c) ZNAČILNOSTI OBDELAV

Iz meritev spektrometrije gama na aerosolnih in jodovih filterih 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 od T-44 do T-50, podatki o izmerjenih vsebnostih radionuklidov v aerosolih v Ljubljani (meritve IJS in ZVD) 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 učinkovite doze $E(50)$ in $E(70)$** za referenčnega posameznika iz prebivalstva za dve starostni skupini: odrasle, starejše od 17 let, in otroke, stare od 1 do 2 leti. Pri tem so bili upoštevani dozni pretvorbeni faktorji $h(g)_{j,inh}$ (predvidena učinkovita doza na enoto vnosa) iz reference [3] in hitrosti dihanja 17 L/min za odraslega posameznika in 2,7 L/min za otroka. S seštevanjem predvidenih učinkovitih doz za posamezne radionuklide dobimo predvideno učinkovito 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 ($42 \text{ m}^3/\text{s}$ oziroma $3\,628\,800 \text{ m}^3$ na 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**.

Iz podatkov o mesečnih emisijah posameznih radionuklidov, ki sta jih opravila NEK in IJS, ter iz **izračunanih povprečnih mesečnih koncentracijskih faktorjev " χ/Q " (s/m^3)** (tabela 4.1), ki jih je za posamezne mesece ter mesta v okolici NEK pripravila Agencija RS za okolje, 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 pretvorbenimi faktorji $h(g)_{i,inh}$ / (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 učinkoviti 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 koncentracijskih faktorjev " χ/Q " za naselje Spodnji Stari Grad, ki je na podlagi mesečnih izračunov izbrano kot referenčno naselje z najvišjo izračunano dozo.

Preglednica 4.1: AEROSOLNI FILTRI V LETU 2004 - meritve ZVD, IJS

"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov v aerosolih (mBq/m³) prefiltriranega zraka.

"Doza" Predvidena efektivna doza (committed effective dose) za odrasle 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 ³)	A (mBq/m ³)	A (mBq/m ³)	A (mBq/m ³)	A (mBq/m ³)	A (mBq/m ³)	A (mBq/m ³)	A (mBq/m ³)	A (mBq/m ³)	Doza (μSv)	A (mBq/m ³)	A (mBq/m ³)	A (mBq/m ³)	Doza (μSv)
U (Th-234)	5,9E-02 ± 3,7E-02	6,3E-02 ± 4,1E-02	7,7E-03 ± 1E-02	1,1E-02 ± 5,4E-03	3,2E-02 ± 2E-02	5,9E-02 ± 5E-02	4,6E-03 ± 2E-02	1,6E-02 ± 1E-02	3,1E-02 ± 3E-02	2,8E+01 ± 2E+01	7,5E-03 ± 5E-03	1,1E-02 ± 7E-03	9,1E-03 ± 2E-03	8,2E+00 ± 2E+00
Ra - 226	7,9E-03 ± 2,8E-03	9,3E-03 ± 4,0E-03	8,6E-03 ± 9E-03	8,4E-03 ± 3,3E-03	1,3E-02 ± 4E-03	1,1E-02 ± 5E-03	6,1E-03 ± 2E-03	5,2E-03 ± 2E-03	8,6E-03 ± 2E-03	7,4E-01 ± 2E-01	7,6E-03 ± 3E-03	5,0E-03 ± 3E-03	7,6E-03 ± 2E-03	6,5E-01 ± 2E-01
Pb - 210	6,6E-01 ± 7,4E-02	7,1E-01 ± 8,6E-02	9,1E-01 ± 8E-02	6,7E-01 ± 6,6E-02	6,5E-01 ± 9E-02	6,4E-01 ± 6E-02	5,1E-01 ± 1E-01	6,4E-01 ± 7E-02	6,8E-01 ± 1E-01	3,4E+01 ± 6E+00	8,2E-01 ± 8E-02	6,9E-01 ± 1E-01	7,5E-01 ± 9E-02	3,8E+01 ± 5E+00
Th (Ra-228)	3,2E-02 ± 1,9E-02	4,6E-03 ± 3,5E-03	5,8E-03 ± 3E-03	5,5E-03 ± 2,0E-03	4,3E-02 ± 3E-02	8,0E-03 ± 5E-03	5,2E-03 ± 3E-03	3,3E-03 ± 3E-03	1,3E-02 ± 1E-02	1,5E+01 ± 2E+01	4,3E-03 ± 1E-03	4,3E-03 ± 2E-03	4,3E-03 ± 1E-05	4,9E+00 ± 2E-02
Th - 228	4,9E-03 ± 2,6E-03	9,9E-04 ± 2,5E-03	3,5E-03 ± 3E-03	5,6E-04 ± 5,6E-04	8,5E-03 ± 4E-03	3,5E-03 ± 2E-03	4,2E-03 ± 4E-03	2,1E-03 ± 1E-03	3,5E-03 ± 3E-03	1,6E+00 ± 1E+00	1,3E-02 ± 7E-03	8,3E-04 ± 8E-04	1,3E-02 ± 9E-03	6,0E+00 ± 4E+00
K - 40	3,3E-01 ± 5,1E-02	2,6E-01 ± 3,4E-02	3,1E-01 ± 3E-02	3,0E-01 ± 4,9E-02	3,0E-01 ± 5E-02	4,0E-01 ± 2E-01	2,8E-01 ± 3E-02	2,5E-01 ± 1E-02	3,0E-01 ± 5E-02	5,7E-03 ± 9E-04	3,1E-01 ± 7E-02	2,2E-01 ± 4E-02	2,6E-01 ± 6E-02	5,0E-03 ± 1E-03
Be - 7	2,2E+00 ± 2,6E-01	2,3E+00 ± 3,2E-01	3,7E+00 ± 4E-01	2,6E+00 ± 2,3E-01	2,3E+00 ± 2E-01	2,3E+00 ± 2E-01	2,5E+00 ± 2E-01	2,5E+00 ± 2E-01	2,5E+00 ± 5E-01	1,3E-03 ± 2E-04	3,1E+00 ± 3E-01	2,5E+00 ± 2E-01	2,8E+00 ± 4E-01	1,4E-03 ± 2E-04
Cs - 134														
Cs - 137	2,1E-03 ± 3,9E-03	3,4E-03 ± 2,5E-03	4,7E-03 ± 3E-03	2,1E-03 ± 2,9E-03	2,5E-03 ± 4E-03	1,4E-03 ± 3E-03	1,6E-03 ± 3E-03	1,8E-03 ± 4E-03	2,4E-03 ± 1E-03	8,6E-04 ± 4E-04	1,8E-03 ± 8E-04	1,3E-03 ± 4E-03	1,5E-03 ± 4E-04	5,3E-04 ± 1E-04
Co - 58														
Co - 60														
Mn - 54						5,8E-04 ± 6E-04			7,2E-05 ± 2E-04	2,0E-05 ± 6E-05				
Ru,Rh - 106														
Sb - 125														
Ce - 141														
Ce - 144														
Sr-90/Sr-89	2,3E-03 ± 4,8E-04								2,3E-03 ± 8E-04	3,3E-03 ± 1E-03				
Vsota E(50) za umetne radionuklide (μSv/leto)										0,004 ± 0,001	0,0005 ± 0,0001			
Vsota E(50) za umetne in naravne radionuklide (μSv /leto)										80 ± 30	58 ± 6			

(a) Interkomparacijske meritve IJS na mesečnih zbirnih vzorcih ZVD, opravljene od januarja 2004 do decembra 2004 in preračunane na sredino ustreznih mesecev

(*) Predvidene efektivne doze so izračunane iz predpostavke, da odrasel referenčni posameznik vdahne 9E+3 m³ zraka na leto (povprečna hitrost dihanja 17 L/min) oziroma da otrok (1–2 let) vdahne 1,4E+3 m³ zraka na leto (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 pretvorbeneh faktorjev iz reference [3]

Preglednica 4.1 (povzetek): AEROSOLNI FILTRI v letu 2004 (ZVD, IJS)

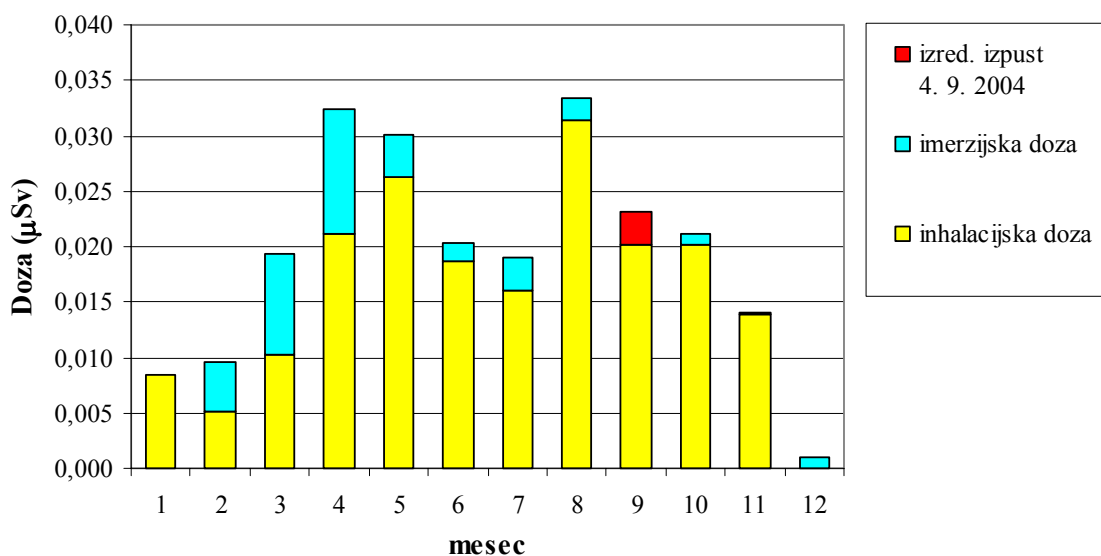
STAROSTNA SKUPINA	VRSTA VSOTE (μSv na leto)	AEROSOLNI FILTRI – POVPREČJE na leto	
		OKOLICA NEK**	LJUBLJANA
ODRASLI <i>E(50)</i>	umetni radionuklidi	0,004 ± 0,001 μSv	0,0005 ± 0,0001 μSv
	umetni in naravni radionuklidi	80 ± 30 μSv	58 ± 6 μSv
OTROCI 1–2 let <i>E(70)</i>	umetni radionuklidi	0,0005 ± 0,0005 μSv	0,0002 ± 0,00005 μSv
	umetni in naravni radionuklidi	32 ± 9 μSv	25 ± 3 μSv

(*) Predvidene efektivne doze so izračunane iz predpostavke, da odrasel referenčni posameznik vdahne 9E+3 m³ zraka na leto (povprečna hitrost dihanja 17 L/min) oziroma da otrok (1–2 let) vdahne 1,4E+3 m³ zraka na leto (povprečna hitrost dihanja 2,7 L/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.

**KONSERVATIVNO OCENJENE MESEČNE DOZE IZ ZRAKA (OBLAKA)
za referenčno skupino prebivalcev za leto 2004
(smer VSV, razdalja 0,8 km)**

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



Slika 4.1: Največji prispevek k inhalacijski dozi daje H-3, k imerzijski dozi in izpustu pa Ar-41.



Tabela 4.1: Povprečni mesečni razredčitveni faktorji za naselja v okolici NEK, ki jih je pripravila Agencija RS za okolje.

	Sp. Stari Grad	Vrbina	Brežice	Vihre	Mrtvice	Brege	Žadovinek	Leskovec	Krško-Stara vas	Pesje	Dobova	Ograja NEK
januar	1,5E-05	2,5E-05	9,0E-07	1,5E-06	2,9E-06	5,9E-06	2,3E-06	2,5E-07	1,6E-06	2,8E-06	1,9E-07	5,5E-05
februar	1,1E-05	1,5E-05	6,1E-07	1,1E-06	2,2E-06	4,8E-06	1,2E-06	1,8E-07	1,2E-06	1,9E-06	1,3E-07	3,4E-05
marec	1,4E-05	1,1E-05	7,1E-07	1,4E-06	3,6E-06	5,7E-06	1,9E-06	2,2E-07	2,3E-06	2,4E-06	1,7E-07	4,4E-05
april	2,1E-05	1,7E-05	8,7E-07	1,6E-06	2,2E-06	3,9E-06	1,7E-06	3,6E-07	2,8E-06	2,8E-06	1,8E-07	4,6E-05
maj	2,6E-05	1,7E-05	1,2E-06	9,8E-07	1,8E-06	3,4E-06	3,3E-06	1,7E-06	3,5E-06	3,8E-06	1,2E-07	5,8E-05
junij	1,8E-05	1,1E-05	1,1E-06	1,5E-06	1,2E-06	2,0E-06	1,3E-06	4,2E-07	2,0E-06	3,4E-06	1,9E-07	4,3E-05
julij	1,6E-05	1,0E-05	7,9E-07	1,5E-06	1,1E-06	1,7E-06	9,9E-07	5,6E-07	1,1E-06	2,4E-06	1,8E-07	3,6E-05
avgust	1,6E-05	1,1E-05	1,2E-06	9,4E-07	1,6E-06	2,0E-06	9,4E-07	4,9E-07	1,2E-06	3,6E-06	1,2E-07	4,4E-05
september	1,6E-05	1,7E-05	8,5E-07	1,8E-06	3,0E-06	2,6E-06	1,7E-06	5,9E-07	4,5E-06	2,6E-06	2,2E-07	3,9E-05
oktober	2,1E-05	1,2E-05	1,1E-06	1,8E-06	2,4E-06	7,9E-06	2,2E-06	6,9E-07	1,3E-06	3,2E-06	2,2E-07	5,4E-05
november	1,3E-05	1,0E-05	4,4E-07	1,0E-06	2,5E-06	5,1E-06	1,6E-06	1,6E-07	2,0E-06	1,4E-06	1,2E-07	3,4E-05
december	1,2E-05	1,6E-05	6,1E-07	1,6E-06	1,2E-06	2,9E-06	1,1E-06	1,1E-07	1,6E-06	1,9E-06	1,8E-07	3,6E-05

Iz podatkov o povprečnih mesečnih vsebnostih žlahtnih plinov na posameznih mestih in doznih pretvorbenih faktorjev, ki podajajo hitrost učinkovite 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 učinkoviti dozi ter ocenjeni **imerzijski prispevek k letni učinkoviti 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)

Rezultati meritev vseh zbranih vzorcev so bili pod vrednostjo $0,1 \text{ mBq/m}^3$, ki jo prevzemamo kot potrebno merilno mejo za izračun doz. Zato lahko rečemo, da **jod ni bil detektiran na nobenem od merilnih mest**.

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

Zbirni podatki vseh meritev so podani v preglednici 4.1. Meritve naravnih radionuklidov na posameznih mestih kažejo dokaj dobro ujemanje, kar velja še posebej za Pb-210, Ra-226, K-40 in kozmogeni Be-7. Ujemanje velja tako za okolico NEK, kot tudi za Ljubljano oz. primerjalne meritve, ki sta jih opravila IJS in ZVD. Meritve se dobro ujemajo tudi z meritvami iz leta 2003, razen za meritve K-40 v okolici NEK, kjer je v letu 2003 bila izmerjena več kot 40 % nižja vsebnost.

Največje razlike med posameznimi merilnimi mesti v okolici NEK so pri podnizu U(Th-234) in nekoliko manj pri Th((Ra-228), kjer se izmerjene povprečne vrednosti v posameznih merilnih mestih razlikujejo tudi za velikostni red. Posledica je velika merska negotovost, kar je bistveno vplivalo tudi na negotovost izračunane doze. Poleg tega sta povprečja krajev v okolici NEK za



omenjena podniza tudi za faktor tri oz. dva večja od povprečij v letu 2003 ter hkrati za faktor tri (oba) večja od povprečij, izmerjenih v Ljubljani. Prav tako velike razlike med posameznimi merilnimi mesti v okolici NEK, vendar zelo podobno povprečje kot v letu 2003, je bilo določeno za Th-228. Povprečje je hkrati za faktor tri nižje kot v Ljubljani.

Izmed **umetnih radionuklidov** sta bila zaznana **Cs-137** in **Co-60**. Izmerjene povprečne vrednosti vsebnosti Cs-137 na posameznih merilnih mestih v okolici NEK ne kažejo bistvenih odmikov od letnega povprečja ($2,4 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$), ki je nekoliko nižje (30 %) od povprečja v letu 2003. Najvišja vrednost **Cs-137** (mesečno povprečje) je bila izmerjena novembra v Stari vasi ($17 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$). Na drugih merilnih mestih, vključno z Republiškim programom v Ljubljani, so bila najvišja mesečna povprečja $8,5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ali manj. Letna povprečja merilnih mest v okolici NEK so se gibala od $1,4 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (Pesje) do $4,7 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (Stara vas, IJS meritev). Letno povprečje Republiškega programa v Ljubljani ($1,5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$) je, tudi ob upoštevanju merske negotovosti, nižje od povprečja v merilnih mest v okolici NEK, ter je hkrati 50 % nižje kot v letu 2003 oz. letu 2002.

Co-60 je bil registriran samo novembra Pesju (mesečno povprečje $6,9 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$). Ker v tem času remont ni potekal, izmerjeni Co-60 najverjetneje ne izvira iz NEK. V prid temu govori dejstvo, da Co-58, ki je bil emitiran v trikrat večji aktivnosti, ni bil detektiran.

Mesečne meritve **Sr-90/Sr-89** so potekale le na Libni pri Krškem. Najvišja izmerjena vrednost je bila $4,8 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (april in oktober), kar je več kot 50 % manj, kot je bila najvišja izmerjena vrednost v letu 2003 (prav tako oktobra). Detekcijska meja je bila presežena vseh dvanajst mesecev, povprečna letna vrednost ($2,3 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$) pa se, ob upoštevanju statistične negotovosti, ne razlikuje od vrednosti izmerjenih v preteklih letih.

Podobno kot v letu 2003 drugi umetni radionuklidi niso bili izmerjeni.

Preglednica 4.2a: ZRAČNE EMISIJE 2004

A1) Podatki NEK oz. IJS (*) o mesečnih plinskih emisijah NEK (Bq)																									
Izotop	Hlapi, plini								Partikulati																
	I-131	I-132	I-133	I-135	HTO	HT + CHT	¹⁴ CO ₂	¹⁴ CH ₄	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					1,1E+11	1,6E+10	4,2E+08	1,9E+09		3,7E+03		2,1E+02	1,1E+03	2,9E+04									2,5E+03		
februar					8,9E+10	8,8E+09	6,0E+08	1,4E+09		4,5E+02				1,5E+04					7,8E+02						
marec					1,4E+11	1,5E+10	7,2E+08	1,8E+09		8,8E+02				8,0E+03					1,3E+03				1,2E+03		
april					2,0E+11	1,1E+10	1,1E+09	9,6E+08						9,7E+02					1,1E+03						
maj					2,0E+11	1,3E+10	6,4E+08	3,1E+09						8,1E+02					7,9E+02	2,2E+03					
junij					2,0E+11	1,0E+10	4,0E+08	9,8E+08						1,5E+03					1,3E+03						
julij					2,0E+11	7,7E+09	8,7E+08	1,5E+09						9,5E+02					5,5E+02						
avgust	8,4E+06				3,7E+11	7,5E+09	1,7E+09	2,7E+09						8,7E+02											
september					2,2E+11	9,9E+09	6,1E+10		1,6E+04	4,0E+03		1,4E+03	3,2E+05	2,6E+04		5,8E+03				5,9E+03		4,3E+03			
oktober					1,8E+11	9,7E+09	2,1E+10	3,5E+09					5,2E+03	1,7E+03					3,2E+02						
november					2,1E+11	9,1E+09	5,1E+09			1,3E+03		4,9E+02	5,4E+04	1,6E+04	7,1E+02	9,3E+02			5,2E+02				2,5E+03		
december							2,7E+09	7,6E+08					3,4E+03	1,6E+03									1,2E+03		
4. 9. 2004																									
Letna vsota (Bq)	8,4E+06				2,1E+12	1,2E+11	9,7E+10	1,9E+10	1,6E+04	1,0E+04		2,1E+03	3,8E+05	1,0E+05	7,1E+02	6,7E+03			6,6E+03	8,1E+03		1,2E+04			

Preglednica 4.2a: ZRAČNE EMISIJE 2004 – nadaljevanje

B1) Prispevki izotopov k letni inhalacijski dozi $E(50)$ (μSv) (**)																									
Izotop	Hlapi, plini								Partikulati														Sešeta doza (μSv)		
	I-131	I-132	I-133	I-135	HTO	HT + CHT	$^{14}\text{CO}_2$	$^{14}\text{CH}_4$	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					8,3E-03	1,2E-05	1,1E-05	4,6E-03		2,3E-08		8,7E-10	9,7E-09	3,8E-06								4,1E-07			1,3E-02
februar					5,1E-03	5,1E-06	1,2E-05	2,7E-03		2,1E-09				1,5E-06					1,1E-08						7,8E-03
marec					1,0E-02	1,1E-05	1,8E-05	4,1E-03		5,2E-09				9,9E-07					2,1E-08			1,9E-07			1,4E-02
april					2,1E-02	1,2E-05	3,9E-05	3,3E-03						1,8E-07					2,6E-08						2,4E-02
maj					2,6E-02	1,7E-05	2,9E-05	1,3E-02						2,0E-07					2,4E-08	1,9E-07					3,9E-02
junij					1,9E-02	9,8E-06	1,3E-05	2,9E-03						2,4E-07					2,8E-08						2,2E-02
julij					1,6E-02	6,2E-06	2,4E-05	3,7E-03						1,3E-07					1,0E-08						2,0E-02
avgust	2,9E-04				3,1E-02	6,2E-06	4,7E-05	7,3E-03						1,2E-07											3,9E-02
september					1,8E-02	8,2E-06	1,8E-03		2,7E-09	2,8E-08		6,5E-09	3,1E-06	3,7E-06		4,8E-08				3,3E-07		7,7E-07			2,0E-02
oktober					1,9E-02	1,0E-05	7,8E-04	1,2E-02					6,4E-08	3,2E-07					8,0E-09						3,2E-02
november					1,4E-02	5,9E-06	1,1E-04			6,9E-09		1,8E-09	4,1E-07	1,7E-06	1,5E-08	6,0E-09			7,9E-09			3,5E-07			1,4E-02
december							5,6E-05	1,5E-03					2,4E-08	1,6E-07								1,6E-07			1,5E-03
4. 9. 2004																									
Leta doza (μSv)	2,9E-04				1,9E-01	1,0E-04	2,9E-03	5,9E-04	2,7E-09	6,5E-08		9,1E-09	3,6E-06	1,3E-05	1,5E-08	5,4E-08			1,4E-07	5,2E-07		1,9E-06			2,5E-01
Skupna letna inhalacijska doza $E(50)$ = 1,9E-01 μSv																									
Skupna letna inhalacijska in imerzijska doza $E(50)$ = 2,3E-01 μSv																									

(*) 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 362 800 m³.

(***) Ocena doz, narejena na podlagi inhalacijskih in imerzijskih doznih pretvorbenih faktorjev iz ref. [3] in predpostavke o hitrosti dihanja 17 L/min ter mesečnih prizemnih razredčitvenih faktorjih χ/Q za razdaljo 0,8 km okoli smeri VSV - naselje Spodnji Stari Grad. To naselje je bilo na podlagi mesečnih izračunov doz po 11 naseljih za leto 2004 izbrano kot referenčno z najvišjo izračunano dozo.



Preglednica 4.2b: ZRAČNE EMISIJE 2004 – nadaljevanje

A2) Podatki NEK (*) oz. IJS (**) o mesečnih plinskih emisijah NEK (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							6,2E+09				
marec							1,0E+10				
april							8,4E+09				
maj							2,3E+09				
junij							1,5E+09				
julij	2,3E+10						2,7E+09				
avgust	5,0E+10						1,7E+09				
september											
oktober							7,4E+08				
november							2,7E+08				
december	3,5E+10						1,0E+09				
4. 9. 2004							1,2E+09				
Letna vsota (Bq)	1,1E+11						3,6E+10				

B2) Prispevki radionuklidov k letni imerzijski dozi E (μSv) (**)												
IZOTOP	Žlahtni plini											Sešteta 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							4,5E-03					4,5E-03
marec							9,0E-03					9,0E-03
april							1,1E-02					1,1E-02
maj							3,8E-03					3,8E-03
junij							1,7E-03					1,7E-03
julij	1,4E-04						2,7E-03					2,9E-03
avgust	3,2E-04						1,7E-03					2,1E-03
september												
oktober							9,9E-04					9,9E-04
november							2,2E-04					2,2E-04
december	1,6E-04						7,8E-04					9,4E-04
4. 9. 2004							3,0E-03					3,0E-03
Leta doza (μSv)	6,2E-04						4,0E-02					4,0E-02
Skupna letna imerzijska doza $E =$								4,0E-02			μSv	
Skupna letna inhalacijska in imerzijska doza $E(50) =$								2,3E-01			μSv	

(*) 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 izpusta skozi dimnik 3 628 800 m³.

(***) Ocena doz, narejena na podlagi inhalacijskih in imerzijskih doznih pretvorbenih faktorjev iz ref [3] in predpostavke o hitrosti dihanja 17 L/min ter mesečnih prizemnih razredčitvenih faktorjih χ/Q za razdaljo 0,8 km okoli smeri VSV - naselje Spodnji Stari Grad. To naselje je bilo na podlagi mesečnih izračunov doz po 11 naseljih za leto 2004 izbrano kot referenčno z najvišjo izračunano dozo.



Preglednica 4.2c: OCENE INHALACIJSKIH IN IMERZIJSKIH DOZ ZA OKOLICO NEK V LETU 2004

Ocena je narejena z emisijskimi podatki za potencialno prizemni izpust za najbližja naselja. Uporabljeni so podatki za dozne pretvorbene faktorje iz reference [3] 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
Spodnji Stari Grad	0,8	1,9E-01	9,2E-02	4,0E-02	4,0E-02	2,3E-01	1,3E-01
Vrbina	0,8	1,5E-01	7,2E-02	3,1E-02	3,1E-02	1,8E-01	1,0E-01
Brežice	5,6	1,0E-02	4,8E-03	1,8E-03	1,8E-03	1,2E-02	6,7E-03
Vihre	2,5	1,5E-02	7,1E-03	3,1E-03	3,1E-03	1,8E-02	1,0E-02
Mrtvice	2,4	2,3E-02	1,1E-02	5,3E-03	5,3E-03	2,9E-02	1,7E-02
Brege	2,1	4,1E-02	2,0E-02	9,5E-03	9,5E-03	5,0E-02	2,9E-02
Žadovinek	1,6	1,8E-02	8,8E-03	3,7E-03	3,7E-03	2,2E-02	1,2E-02
Leskovec	2,3	6,0E-03	2,9E-03	9,0E-04	9,0E-04	6,9E-03	3,8E-03
Krško – Stara vas	1,8	2,3E-02	1,1E-02	4,7E-03	4,7E-03	2,8E-02	1,6E-02
Pesje	2,6	3,1E-02	1,5E-02	8,9E-03	8,9E-03	4,0E-02	2,4E-02
Dobova	12,0	1,8E-03	8,6E-04	3,6E-04	3,6E-04	2,2E-03	1,2E-03
Ograja NEK	0,5	4,8E-01	2,3E-01	1,0E-01	1,0E-01	5,8E-01	3,3E-01

e) OCENA VPLIVOV

Meritve I-131 v zraku (Tabela T-43) kažejo, da merilna meja $0,1 \text{ mBq/m}^3$ ni bila presežena v letu 2004 na nobenem od vzorčevalnih mest. Zato lahko prispevek I-131 samo ocenimo tako, da za koncentracijo privzamemo merilno mejo $0,1 \text{ mBq/m}^3$. Izračunane letne učinkovite doze za **odraslega človeka** (starost >17 let) ter **otroka** (1–2 let) so **7 nSv na leto** ter **11 nSv na leto**, kar ustreza ekvivalentni ščitnični dozi 140 nSv na leto za odraslega ter 220 nSv na leto za otroka. Torej lahko sklepamo, da je **s stališča varstva pred sevanji prispevek I-131 k celotni dozi nebistven**.

Meritve na **aerosolnih filtrih** v okolici NEK (preglednica 4.1) kažejo, da je med naravnimi radionuklidi najpomembnejši prispevek k letni učinkoviti dozi za **odraslega človeka** tisti zaradi radonovega potomca Pb-210, in sicer $(34 \pm 6) \mu\text{Sv}$ na leto, kar je 30 % manj kot v letu 2003. Skupni prispevek Th-230 in Th-234, $(28 \pm 23) \mu\text{Sv}$ na leto, ki sta del U(Th-234) podniza, je praktično enak, ter hkrati za faktor tri večji kot v letu 2003. Pomemben je tudi prispevek podniza Th(Ra-228), $(15 \pm 17) \mu\text{Sv}$ na leto, kar je za faktor dva več kot v letu 2003. Prispevki drugih so bistveno manjši: prispevek predstavnika drugega torijevega podniza Th-228 je $(1,6 \pm 1) \mu\text{Sv}$ na leto, prispevek Ra-226 je $(0,7 \pm 0,2) \mu\text{Sv}$ na leto. Prispevek K-40 je $(0,006 \pm 0,001) \mu\text{Sv}$ na leto in prispevek kozmogenega Be-7 $(0,0013 \pm 0,001) \mu\text{Sv}$ na leto.

Prispevka umetnih radionuklidov Sr-90/Sr-89 in Cs-137 sta bistveno manjša od prispevka naravnih radionuklidov in sta $(3,3 \pm 1) \text{ nSv}$ na leto ter $(0,9 \pm 0,4) \text{ nSv}$ na leto. Prispevek Co-60, ki je bil zaznan oktobra in prispeva $(0,02 \pm 0,01) \text{ nSv}$ k letni dozi. Pri tem najvišjega prispevka izmed umetnih radionuklidov (prispevka Sr-90/Sr-89) ne moremo pripisati vplivu NEK, ker je Sr-90/Sr-89 v okolju kot posledica poskusnih jedrskih eksplozij in se v vzorcih filtrov pojavlja zaradi respenzije.



Za **totalni prispevek k predvideni** efektivni dozi vseh detektiranih radionuklidov v letu 2004 za **odraslega človeka v okolici NEK** dobimo vrednost na leto **(80 ± 30) μSv**, ter za prispevek umetnih radionuklidov **(4 ± 1) nSv**, pri čemer prevladuje prispevek Sr-90/Sr-89. Treba je omeniti, da sistematske prisotnosti Sr-90 v zraku na Libni, kjer vzorčevanje poteka na višini približno 20 m nad ravnino Krškega polja, ne moremo pripisati vplivu NEK. V meritvah emisij, (preglednica 4.2) je bil Sr-90/Sr-89 vedno pod mejo detekcije. Aktivacijski produkti v aerosolih v okolju, ki so sistematsko prisotni v emitiranih partikulatih in ki v okolju niso detektirani, kažejo, da je Sr-90/Sr-89 posledica resuspenzije, podobno kot Cs-137. Podobno dobimo za **otroka** (1–2 leti) v okolici NEK vrednosti na leto **(32 ± 9) μSv** za celotni prispevek vseh radionuklidov in **(0,5 ± 0,5) nSv** za umetne radionuklide. Totalni prispevek je večji kot v letu 2003 (67 μSv), vendar je zaradi omenjene razlike povprečij predstavnikov podnizov U(Th-234) in Th(Ra-228) med posameznimi merilnimi mesti in posledične negotovosti rezultata razlika nebitvena.

Totalna prispevka k predvideni letni efektivni dozi v Ljubljani sta manjša ((58 ± 6) μSv za odraslega ter (25 ± 3) μSv za otroka). Prispevek Cs-137, ki je bil edini zaznan umetni radionuklid v Ljubljani, je ob upoštevanju negotovosti praktično enak prispevku Cs-137 v okolici NEK in je **(0,5 ± 0,1) nSv** na leto za odraslega in **(0,21 ± 0,05) nSv** na leto za otroka.

Prispevek naravnih radionuklidov je bil v okolici NEK večji zaradi večje prisotnosti podnizov U(Th-234) in Th(Ra-228), prispevek potomca radona Pb-210, ki je hkrati tudi najpomembnejši naravni radionuklid, pa je praktično enak v okolici NEK in Ljubljani. Prispevki drugih naravnih radionuklidov so manjši in ne vplivajo bistveno na rezultate

Iz navedenega lahko sklepamo, da je tako v okolici NEK, kot v Ljubljani **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 koncentracijskih faktorjih "χ/Q"** (s/m³) za posamezna mesta v okolici NEK (tabela 4.1) 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 naselju Spodnji Stari Grad, kjer so stopnje razredčitve najnižje (oz. faktorji χ/Q največji).

Iz preglednice je razvidno, da je **praktično vsa inhalacijska doza posledica zračnih emisij predvsem tritija.** Tritij prispeva skupni inhalacijski dozi 0,19 μSv na leto (predvsem v obliki emisij HTO), ogljik C-14 pa še 0,003 μSv na leto (predvsem emisije ¹⁴CO₂). Prispevek skupni inhalacijski dozi vseh drugih radionuklidov je bistveno manjši.

Skupna letna inhalacijska doza za Spodnji Stari Grad je 0,19 μSv. Pri tem niso upoštevane posledice prehoda radionuklidov iz zraka v druge prenosne poti (voda, hrana, sevanje useda), ki povzročijo bistveno večjo izpostavljenost od inhalacije.

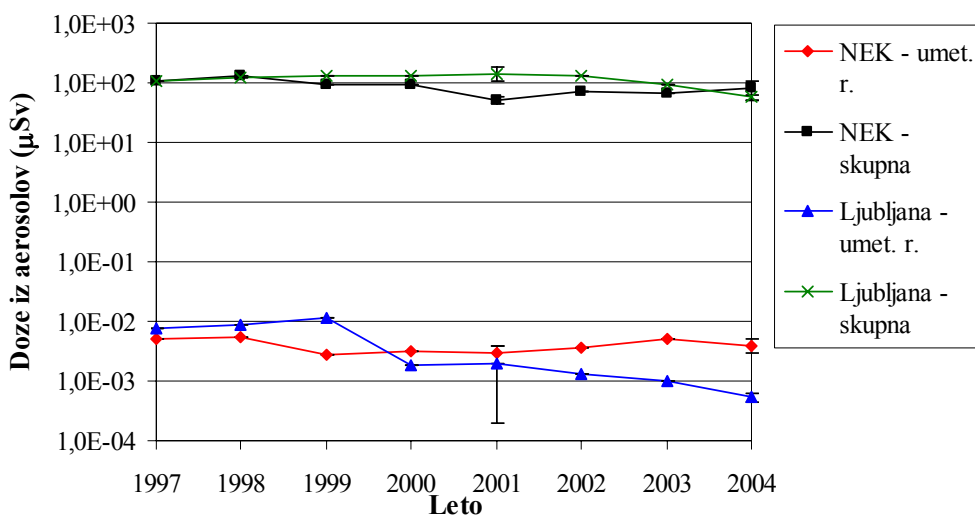
Zunanje obsevanje zaradi radioaktivnih izotopov v zraku (imerzijska doza) je predvsem posledica izpustov žlahtnega plina Ar-41. Poleg argona je NEK poročal še o izpustih Xe-131m, ki pa izpostavljenosti prispeva bistveno manj od argona. V preglednici 4.2 je upoštevan tudi izpust ob prepihanju zadrževalnega hrama dne 4. septembra 2004, ki ga je sestavljal izključno Ar-41. Nasprotno od leta 2003 NEK ni poročal o prispevkih drugih izotopov ksenona in kriprona.

Iz podatkov o mesečnih plinskih emisijah izhaja, da je **skupna letna imerzijska doza za Spodnji Stari Grad 0,04 μSv.**

Celotna letna doza za odraslega človeka v Spodnjem Starem Gradu, ki je posledica inhalacije in imerzije, je bila v letu 2004 0,23 μSv.



Primerjava predvidenih efektivnih letnih doz v okolici NEK in Ljubljani za odrasle osebe iz meritev aerosolov (μSv)



Slika 4.2

V preglednici 4.2c so zbrani izračuni za odraslega človeka in otroka (1–2 leti), pripravljene na osnovi emisij in povprečnih mesečnih koncentracijskih faktorjev " χ/Q " za različna mesta v okolici NEK. Skupne letne doze za odraslega človeka v naseljih se gibljejo od 0,002 μSv (Dobova) do 0,23 μSv (Spodnji Stari Grad), za otroka pa od 0,001 μSv (Dobova) do 0,13 μSv (Spodnji Stari Grad).

f) DISKUSIJA

PRIMERJAVA S PREJŠNJIMI LETI

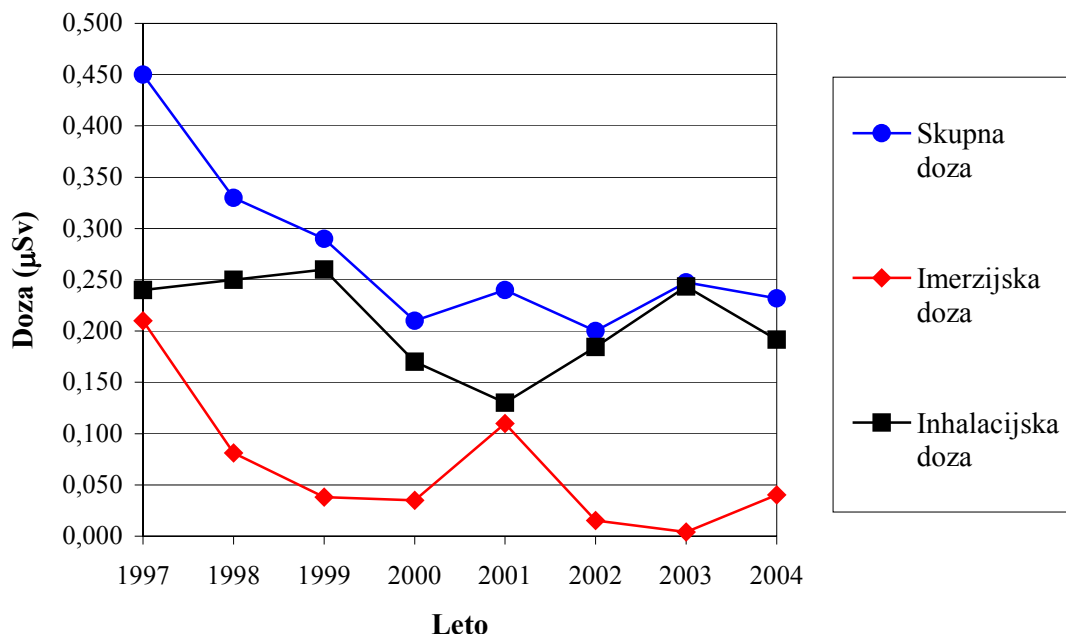
Na sliki 4.2 so predstavljene **totalne predvidene letne efektivne doze** in **predvidene efektivne letne doze zaradi umetnih radionuklidov** (μSv) za odraslega človeka, izračunane iz meritev aerosolnih filtrov v okolici NEK in v Ljubljani v letih od 1997 do 2004.

Bistvenih razlik med prispevki naravnih radionuklidov v okolici NEK in Ljubljani v zadnjih osmih letih ni. Če upoštevamo negotovost povprečij, sta prispevka v letu 2004 enaka, kar pa ne velja za leto 2001, ko je razlika bila skoraj 90 μSv (okolica NEK 51 μSv in Ljubljana 142 μSv). Prispevka umetnih radionuklidov sta prav tako podobna, s tem, da je bila leta 1999 večja razlika v dozah posledica izmerjene visoke koncentracije Cs-137 v Ljubljani, razlika v letih 2003 in 2004 pa predvsem izmerjenega Sr-90/Sr-89, pri čemer so prispevki Cs-137 v okolici NEK in Ljubljani praktično enaki.

Slika 4.3 je povzetek ocen inhalacijskih in imerzijskih doz za zadnjih osem let, izračunanih iz podatkov o emisijah NEK za Spodnji Stari Grad in iz povprečnih mesečnih koncentracijskih faktorjev " χ/Q ", ki so jih izračunali na Agenciji RS za okolje. Imerzijske doze, ki so pomembno prispevale totalni dozi v letih 1997 in 2001, kažejo postopno upadanje (razen v letu 2001, zaradi izpustov Ar-41). Pri inhalacijskih dozah tega ni zaznati in so zadnje približno enake kot konec devetdesetih.



Ocena inhalacijskih, imerzijskih in skupnih letnih doz za odrasle za Sp. Stari grad v letih 1997-2004 v (μSv)



Slika 4.3

PRIMERJAVE PODATKOV O KONCENTRACIJAH, IZRAČUNANIH IZ EMISIJ NEK IN POVPREČNIH MESEČNIH KONCENTRACIJSKIH FAKTORJEV " χ/Q "

Na sliki 4.4 so podane izračunane povprečne mesečne vsebnosti Cs-137 za različna naselja v odvisnosti od razdalje od NEK. Iz predstavljenih podatkov na grafu je razvidno, da so izračunane povprečne vsebnosti Cs-137 tudi v primeru najvišje izračunane mesečne vsebnosti vsaj dva velikostna reda pod orientacijsko detekcijsko mejo (približno $1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

Na sliki je prikazano, da med mesti, ki so približno enako oddaljena od NEK, ni bistvenih razlik v izračunani povprečni vsebnosti Cs-137. Izjema je Leskovec, kjer je edino merilno mesto zahodno od NEK in so izračunane vsebnosti za velikostni red nižje kot pri drugih merilnih mestih na razdalji približno 2 km od elektrarne. To dejansko pomeni, da je v letu 2004 bilo relativno malo vzhodnega vetra, vetrovi iz drugih smeri pa so bili enakomerno zastopani.

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 [8], podatki za NEK pa so izmerjeni emisijski podatki za leto 2004, preračunani na GW h proizvedene električne energije (skupna proizvodnja NEK v letu 2004 je bila 5 212 GW h).

Iz preglednice je razvidno, da so zračne emisije vseh radionuklidov, razen tritija, manjše oziroma primerljivi z evropskim povprečjem. Primerjava z letom 2003 pokaže, da se je razmerje povečalo pri tritiju (v letu 2003 je bilo 201 %), precej zmanjšalo pri $^{14}\text{CO}_2$ (v letu 2003 je bilo 76 %), pomembno pa so so povečana razmerja za ekvivalent Xe-133 in ekvivalent I-131 (v letu 2003 sta bila 2 % in 1,4 %), kar pa ni bistveno vplivalo na inhalacijske doze. Pri tem je treba povedati, da gre povečanje



pri ekvivalentu Xe-133 predvsem na račun Ar-41 – brez njega bi bilo razmerje manjše kot v letu 2003.

INGESTIJSKE DOZE ZARADI ATMOSFERSKIH IZPUSTOV C-14

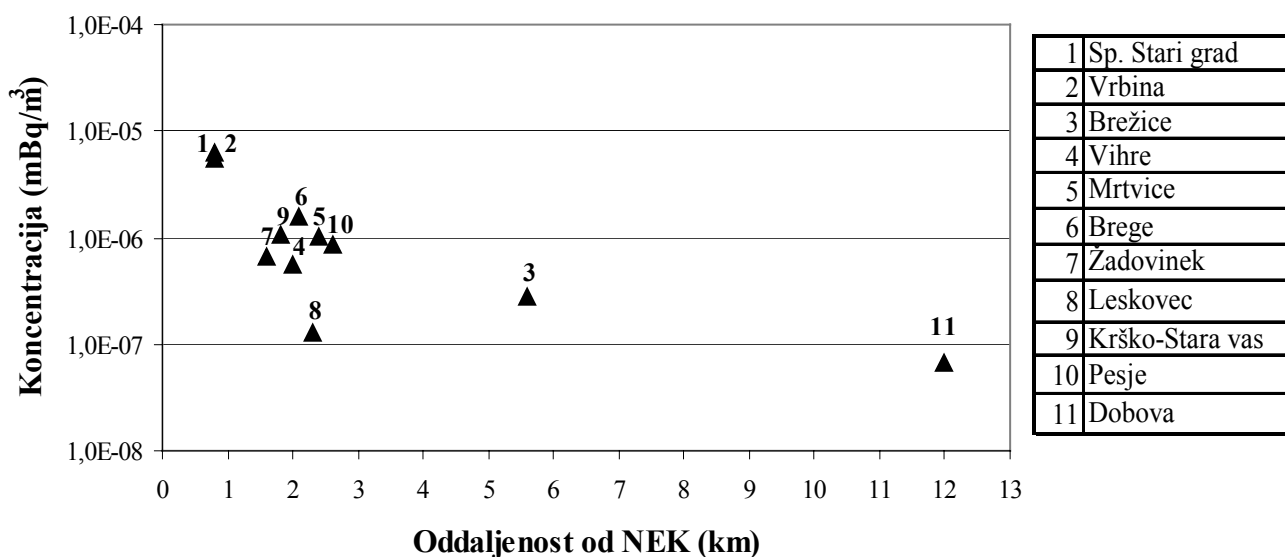
Modelske ocene kažejo, da pri atmosferskih izpustih radioaktivnih snovi iz jedrskih elektrarn prevladuje ingestijska doza zaradi vgrajevanja izotopa C-14 v rastline, ki jih uživajo ljudje in živali. Pri tem so najpomembnejši izpusti $^{14}\text{CO}_2$, ki je edina oblika, s katero C-14 vstopa v prehransko verigo. Ogljikovodiki, kot je $^{14}\text{CH}_4$, se šele v nekaj letih pretvorijo v $^{14}\text{CO}_2$. Ingestijska doza, ki je posledica prehoda v prehransko verigo, pomeni do 99 % celotne doze od C-14 [9].

Zaradi dolgoživosti in mobilne oblike izpusta vpliv sproščenega ogljika C-14 ni samo lokalni, pač pa obsega območja s premerom več sto kilometrov. Pomembnejši vir ogljika C-14 v naravi je kozmično sevanje, katerega prispevek letni predvideni efektivni dozi zaradi ingestije ocenjujejo na $12 \mu\text{Sv}$ [9].

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 [10], veljavne tudi za NEK. To pomeni, da je predvidena efektivna doza zaradi ingestije ogljika C-14, sproščenega v atmosferskih emisijah, okrog $1 \mu\text{Sv}$ na leto, prenosna pot pa je uživanje mleka pri enoletnem otroku oziroma žitaric pri starejših skupinah.

Pomembnost prehoda v prehransko verigo potrjujejo tudi podatki iz reference [11], kjer za celoten prispevek kolektivni dozi zaradi atmosferskih izpustov na enoto sproščene aktivnosti, za C-14 predlagajo tisočkrat večjo vrednost kot za H-3. Primerjava podatkov iz preglednice 4.2a kaže, da so sproščene aktivnosti C-14 pri NEK samo okrog desetkrat manjše od sproščenih aktivnosti H-3, kar potrjuje zgornjo oceno.

Primerjava predvidenih letnih povprečnih koncentracij Cs-137 v različno oddaljenih naseljih



Slika 4.4



Preglednica 4.3: Normalizirani podatki zračnih emisij (GBq/GW h) za PWR v EU (povprečje 1995 - 1999) in primerljivi podatki za NEK v letu 2004 (letna proizvodnja 5212 GW h)

	EU (GBq/GW h)	NEK celotna (GBq)	NEK normalizirana (GBq/GW h)	Razmerje NEK/EU (%)	Opomba za NEK
Tritij (brez Francije in Švedske)	1,20E-01	2,13E+03	4,09E-01	340,5%	Ekvivalent HTO
Žlahtni plini (brez Francije)	5,87E-01	1,62E+03	3,11E-01	52,9%	Ekvivalent Xe-133
I-131	3,16E-06	8,40E-03	1,61E-06	51,0%	Ekvivalent I-131
C-14 (brez Francije, Belgije, Španije in Švedske)	2,24E-02	9,7E+01	1,86E-02	82,9%	¹⁴ CO ₂
Beta-gama (brez Francije)	1,63E-06	1,2E-04	2,25E-08	1,4%	Ekvivalent Cs-137

g) PRIPOROČILA

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

NEK je v letu 2004 poročal samo o izpustih Xe-131m in Ar-241, v preteklih letih pa tudi o izpustih drugih žlahtnih plinov. Čeprav primerjava s preteklimi leti pokaže, da je njihov prispevek sevalni obremenitvi nebitven, bi bilo zaradi preglednosti primerjave z emisijami partikulatov dobro ohranjati enoten in stalen način poročanja

Prehod radionuklida C-14 iz zračne prenosne poti v ingestijsko povzroča po modelskih ocenah za podobne jedrske elektrarne efektivno dozo, ki je skoraj za velikostni red večja od trenutno ocenjene doze zaradi inhalacije izpustov iz NEK. Zato predlagamo, da se v prihodnosti ta prispevek podrobneje ovrednoti z modelskimi ocenami, ki temeljijo na specifičnih podatkih za razmere v okolici NEK.



h) SKLEPI

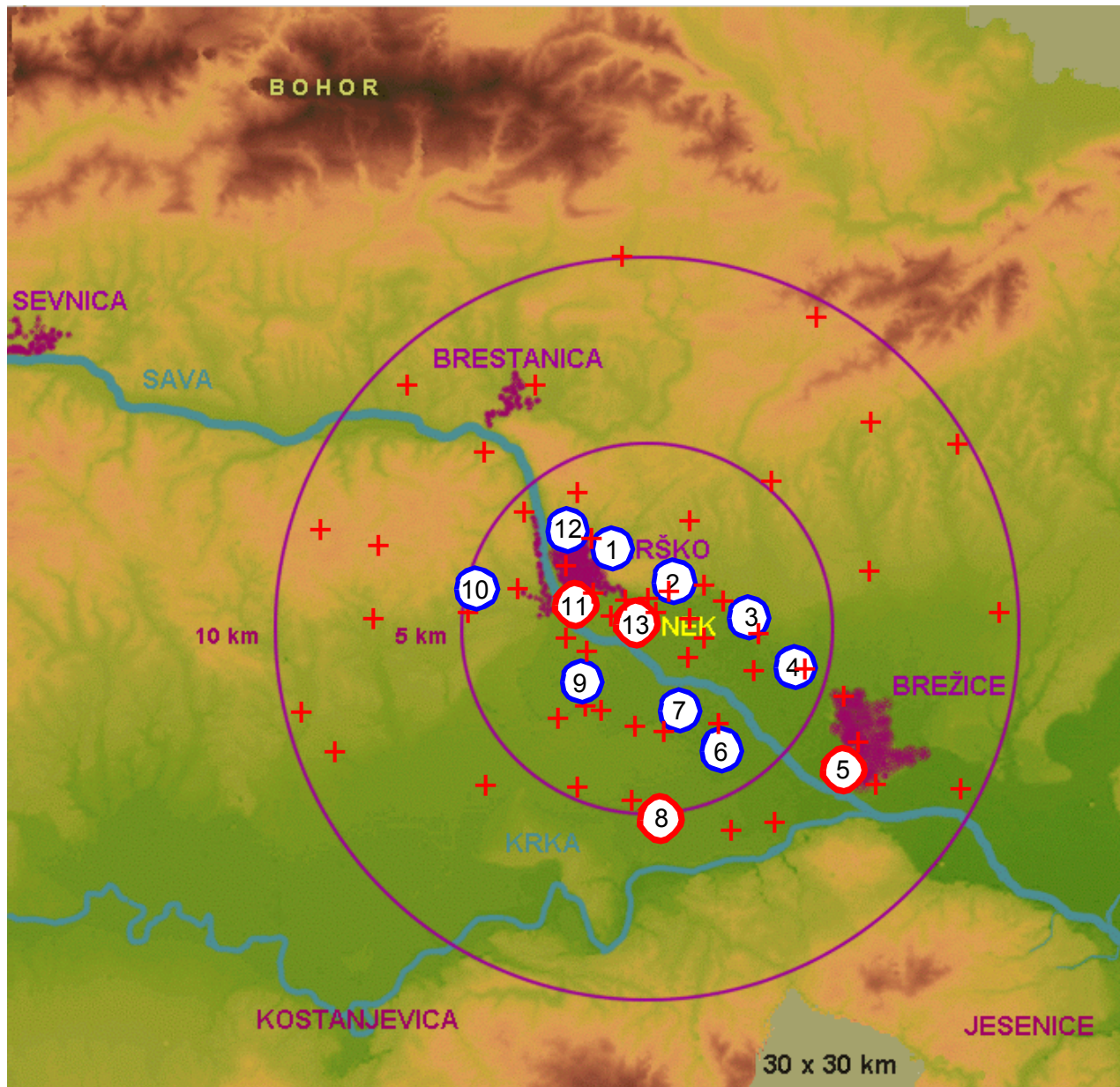
Ovrednotenje imisij na osnovi evalvacije meritev aerosolnih filtrov ter atmosferskih emisij z modelskimi izračuni razredčitvenih faktorjev, temelječimi na realnih vremenskih podatkih, je za leto 2004 pokazalo naslednje:

- predvidena efektivna doza zaradi inhalacije aerosolov v okolici NEK je predvsem posledica inhalacije naravnih radionuklidov in je za odraslega posameznika (80 ± 30) μSv na leto;
- predvidena efektivna doza zaradi inhalacije umetnih radionuklidov v aerosolih v okolici NEK je posledice radionuklidov, ki so del globalne kontaminacije zaradi jedrskih poskusov in je za odraslega posameznika ($0,004 \pm 0,001$) μSv na leto;
- umetnih radionuklidov, ki bi izvirali iz NEK, meritve z aerosolnimi filtri niso zaznale;
- vsebnost žlahtnih plinov v zraku povzroča glavino zunanjega sevanja, ki je za odraslega posameznika iz referenčne skupine prebivalstva (naselje Stari Spodnji Grad) $0,04 \mu\text{Sv}$ na leto;
- izpusti hlapov in plinov, ki vsebujejo tritij, povzročajo največjo efektivno dozo zaradi inhalacije. Ta je za odraslega posameznika iz referenčne skupine prebivalstva na leto $0,19 \mu\text{Sv}$. Pri tem niso upoštevane posledice prehoda radionuklidov iz zraka v druge prenosne poti;
- skupna letna efektivna doza za odraslega posameznika iz referenčne skupine prebivalstva, ki je posledica inhalacije in imerzije, je $0,23 \mu\text{Sv}$;
- za podobne jedrske objekte modelske ocene kažejo, da kot posledica atmosferskih izpustov prevladuje ingestijska doza zaradi C-14, ki je velikostnega reda $1 \mu\text{Sv}$. Zaradi primerljivosti izpustov C-14 iz NEK z drugimi elektrarnami, privzemamo gornjo oceno tudi za NEK.

i) REFERENCE

- [7] Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment, Radiation Protection 72, European Commission, Report EUR 15760 EN, 1995
- [8] Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Union, 1995-1999, Radiation Protection 127, European Commission, Brussels, 2001
- [9] UNITED NATIONS, Sources and effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation, (UNSCEAR), UN, New York, 2000
- [10] C.E. Tarrant, Mathematical modelling methods for assessing radiation doses received by populations in the vicinity of nuclear site from atmospheric discharges, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 35 No. 24, pp. 211–214, Oxford, 1991
- [11] IAEA Safety Reports Series No. 19, Generic Models For Use In Assessing The Impact Of Discharges Of Radioactive Substances To The Environment, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2001





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 termoluminiscenčnimi dozimetri (TLD) v okolici NEK in z devetimi TLD znotraj ograje NEK. Dozimetri se uporabljajo za več namenov, in sicer za:

- spremljanje doze zunanjega naravnega sevanja zaradi ugotavljanja lokalnih posebnosti in razponov
- oceno vplivov NEK zaradi atmosferskih izpustov radioaktivnih snovi oziroma za preverjanje modelskih ocen na podlagi emisij
- oceno izpostavitve zunanjemu sevanju ob nezgodi po prehodu radioaktivnega oblaka
- oceno izpostavitve zunanjemu sevanju zaradi nelokalnih vplivov (kot je bila npr. černobilska kontaminacija)

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-53/a, 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 so v tabelu T-54 in v poročilu *Radioaktivnost v življenjskem okolju Slovenije za leto 2004*).

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 MFM-202 (prav tako so označeni na sliki na predhodni strani). Namenjeni so za:

- sprotno spremljanje zunanjega sevanja in
- zgodnje opozarjanje

Poleg teh je po vsej Sloveniji še 27 kontinuirnih merilnikov, ki jih nadzirajo: Hidrometeorološki zavod HMZ (19), Uprava republike Slovenije za jedrsko varnost URSJV (1), Termoelektrarna Trbovlje TET (2), Termoelektrarna Šoštanj TEŠ (1), Termoelektrarna Brestanica TEB (1), Elektro-inštitut "Milan Vidmar", EIMV (2) in Institut "Jožef Stefan", IJS (1). Na Hrvaškem je devet kontinuirnih merilnikov. Podatki o lokacijah vseh kontinuirnih merilnikov so v tabeli T-56/a.

b) ZNAČILNOSTI MERITEV

Vsi TLD se odčitavajo dvakrat na leto, in sicer v sredini junija in v začetku januarja. Odčitavanje TLD v Sloveniji poteka na sistemu IJS MR 200 (C) v Laboratoriju za termoluminiscenčno dozimetrijo na IJS. Pred namestitvijo TLD se opravi individualno kalibracijo tabletk po postopku *Umerjanje (kalibracija) dozimetrov IJS TLD-05 (TLD-KP-02)*.



c) **ZNAČILNOSTI OBDELAV**

Talni usedi zaradi atmosferskih izpustov radioaktivnih snovi in posledične zunanje doze so bili v okviru nadzornega programa NEK ocenjeni s računalniškim programom RASCAL 3.0.3 [14].

d) **OBRAVNAVA REZULTATOV**

Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v datoteki **ZunanjeSevanje2004.pdf**.

TERMOLUMINISCENČNI DOZIMETRI

Leto 2004

Rezultati meritev zunanjega sevanja (sevanja gama in ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja) za leto 2004 so v tabelah T-53/b in T-53/c za okolico NEK in za TLD znotraj ograje NEK. V tabeli 5.1 so povzete letne doze TLD za okolico NEK, znotraj ograje NEK, v Sloveniji in v Hrvaški.

Tabela 5.1: Letne doze TLD v okolici NEK, znotraj ograje NEK, v Sloveniji in v Hrvaški

Lokacija	št. TLD	Letna doza \pm SD (mSv)	Razpon letnih doz (mSv)
okolica NEK	57	0,765 \pm 0,077	0,618 – 0,979
stanovanja (1998)	100	0,774 \pm 0,202	0,338 – 1,49
znotraj ograje NEK	9	0,581 \pm 0,052	0,485 – 0,637
Slovenija	50	0,793 \pm 0,133	0,588 – 1,24
Hrvaška	7	1,060 \pm 0,115	0,945 – 1,306

Povprečna letna doza v **okolici NEK** je bila **(0,765 \pm 0,077) mSv na leto** z razponom od 0,618 mSv do 0,979 mSv na leto. Pri 50 TLD v **Sloveniji** v okviru republiškega nadzornega programa je bila v letu 2004 povprečna letna doza primerljiva in je bila **(0,793 \pm 0,124) mSv na leto** z razponom od 0,588 mSv do 1,24 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 **na ograji NEK** je značilna nižja letna doza, ki je bila **(0,581 \pm 0,052) mSv na leto** z razponom od 0,485 mSv do 0,637 mSv na leto. Tako je povprečna letna doza v okolici NEK za 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 navadnem okolju.



Rezultati v preteklosti

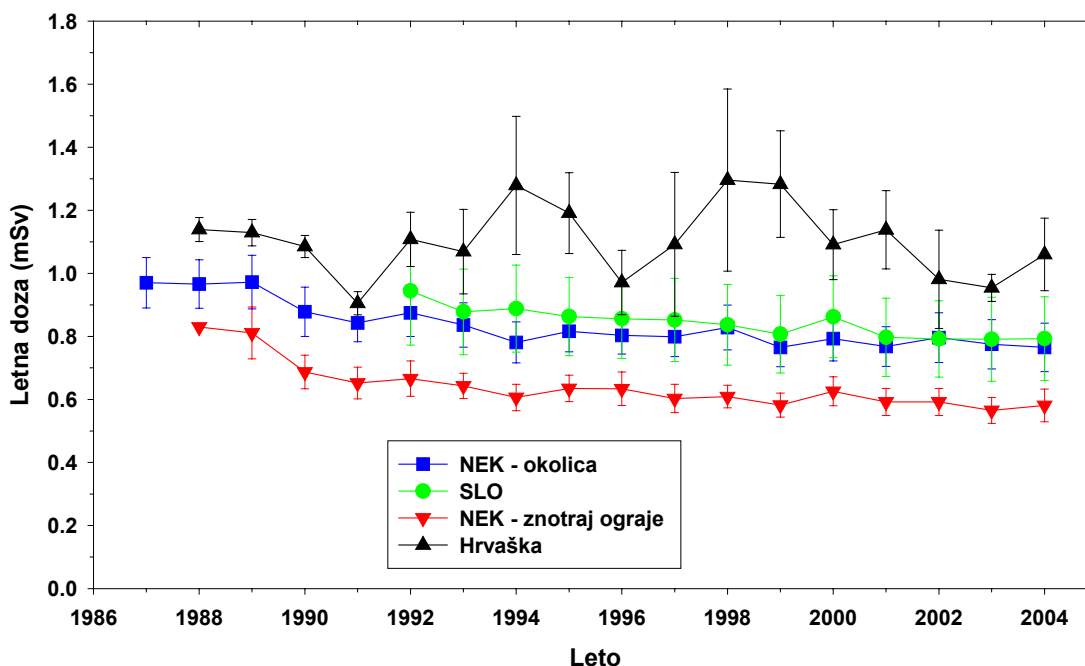
Na sliki 5.1 so za vsa obdobja meritev povzeti rezultati letnih doz s TLD v okolici NEK, znotraj ograje NEK, v Sloveniji in na Hrvaškem.

Za meritve v Sloveniji je v vseh primerih značilno zmanjševanje letne doze, predvsem v prvih letih po črnbilski nesreči, ki se je zgodila leta 1986. Vzrok je razpad kratkoživih izotopov, ki so v začetnem obdobju največ prispevali k zunanemu sevanju, in prodiranje dolgoživega Cs-137 v globino. V zadnjih desetih letih, ko je v okolju le še Cs-137, upadanje ni več opazno, saj se zaradi radioaktivnega razpada njegova aktivnost zmanjša le za 2,3 % na leto. Neposrednega prispevka Cs-137 k zunanemu sevanju iz meritev s TLD ni mogoče oceniti, ker ne razpolagamo s primerljivimi podatki iz predčrnbilskega obdobja. Zato smo ga ocenili iz meritev vsebnosti Cs-137 v zemlji za ruralno okolje in s spektrometrija gama in-situ za urbano okolje. Ugotovitve so v podpoglavju e3.

V vsem obdobju so doze v Sloveniji neznatno višje od tistih v okolici NEK. Razlog je najverjetneje v večji pestrosti točk republiškega programa, ki vključuje tudi lokacije, kjer zaradi konfiguracije zemljišča ali večje nadmorske višine pričakujemo višje ravni sevanja. Doze znotraj ograje NEK so bile v vsem obdobju 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 bila **(0,774 ± 0,202) mSv na leto v razponu od 0,338 mSv 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 2004 opazno znatnejše stresanje vrednosti na različnih lokacijah pa tudi upadanja ni. Ker dvomimo, da se naravne radiološke razmere na Hrvaškem znatno razlikujejo od tistih v Sloveniji, bi bilo potrebno preveriti kalibracijo dozimetrov.



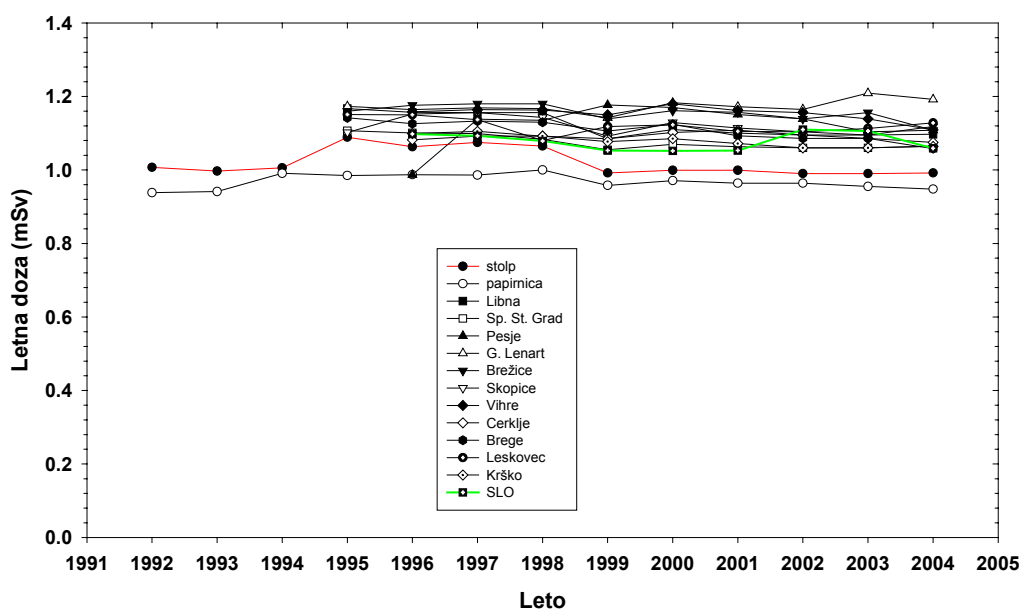
Slika 5.1: Povprečne letne doze TLD v okolici NEK, znotraj ograje NEK, v Sloveniji in na Hrvaškem



KONTINUIRNI MERILNIKI MFM-202

Letne doze kontinuirnih merilnikov MFM-202 za okolico NEK v celotnem obdobju meritev so prikazane na sliki 5.2, kjer je tudi povprečje drugih meritev v Sloveniji. V vsem obdobju so bile najnižje letne doze pri papirnici v Krškem in na vremenskem stolpu v NEK. Pri drugih 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), pokaže, da so vrednosti iz meritev z MFM-202 sistematično višje. Večina merilnikov MFM-202 ni na istem mestu kot so merilniki TLD, zato razlike v letnih dozah niso nemogoče. Vzrok za sistematsko višje letne doze, izmerjene z merilniki MFM-202, je v njihovi kalibraciji, ki ni dovolj natančna na najnižjem energijskem območju. NEK bo v letu 2005 zamenjala vse obstoječe merilnike s sodobnejšimi.



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 zunanega 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 (teh izpostavitvev ne obravnavamo, saj ne razpolagamo s podatki)



e1) PRISPEVKI NEK

Prispevek NEK k zunanjemu sevanju je mogoč po treh prenosnih poteh:

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

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 na 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 [13].

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 5.2. Glavnina izpostavitve je zaradi izpustov žlahtnih plinov, medtem ko so prispevki partikulatov in I-131 bistveno nižji. Ocenjene letne doze za leto 2004 segajo od velikostnih redov **1 E-4 mSv do 1 E-6 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 5.2: Letne efektivne doze iz oblaka (leto 2004)

Lokacija	Razdalja (km)	Letna doza (mSv)
Spodnji Stari Grad	8,00E-01	4,0 E-5
Vrbina	8,00E-01	3,1 E-5
Brežice	5,60E+00	1,8 E-6
Vihre	2,50E+00	3,1 E-6
Mrtvice	2,40E+00	5,3 E-6
Brege	2,10E+00	9,5 E-6
Žadovinek	1,60E+00	3,7 E-6
Leskovec	2,30E+00	9,0 E-7
Krško - Stara vas	1,80E+00	4,7 E-6
Pesje	2,60E+00	8,9 E-6
Dobova	1,20E+01	3,7 E-7
Ograja NEK	5,00 E-1	1,0 E-4



Used radioaktivnih snovi iz oblaka

Izpostavitvev zunanjemu sevanju zaradi usedlih radioaktivnih snovi iz oblaka je bila ocenjena z uporabo računalniškega programa RASCAL 3.0.3 [14]. Iz podatkov o izpustih radioaktivnih izotopov v ozračje so bili ocenjeni talni usedi posameznih radionuklidov in njihov prispevek k zunanji dozi. Program je namenjen kratkoročnim vplivom ob izrednih dogodkih, zato neposredno ne omogoča ocene celoletnega vpliva zaradi atmosferskih izpustov radioaktivnih snovi v okolje. Zaradi tega smo privzeli, da se celoletna izpuščena aktivnost sprosti v kratkem času (privzeta 1 ura), in s programom ocenili dozo zaradi useda v štirih dnevih po izpustu. Tako dobljene doze smo ekstrapolirali na vse leto z upoštevanjem radioaktivnih razpadov posameznih radionuklidov. Štiridnevne doze smo zato pomnožili s faktorjem ft :

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

λ razpadna konstanta (d^{-1})

$t = 365$ d

V oceno niso vključeni radioaktivni žlahtni plini, ker se ne usedajo iz oblaka [15]. Ocene so bile narejene za razne vremenske razmere, ki jih generično vključuje program. Pokazalo se je, da konservativno oceno dobimo s naslednjimi vremenskimi razmerami: 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 2004 so navedeni v tabeli 5.3. 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 doze velikostnega reda nekaj deset nSv na leto. Tega prispevka NEK ni mogoče izmeriti s TLD in MFM-202 v okolici NEK.

Tabela 5.3: Ocena letne doze zaradi useda radioaktivnih snovi (500 m od NEK)

Izotop	$t_{1/2}$	enota	$t_{1/2}$ / d	Bq/a	Bq/m ²	(E/t)/A (Sv/d)/Bq	ft / d	Sv/a
I-131	8,04	d	8,04	8,4 E6	1,2 E+1	1,57 E-16	2,899	3,8 E-9
I-132	2,3	h	0,0958	-	-	3,94 E-17	0,03455	-
Cr-51	27,7	d	27,7	1,6 E4	2,3 E-2	1,45 E-17	9,997	2,3 E-12
Mn-54	312	d	312	1,0 E4	1,4 E-2	3,98 E-16	62,51	2,5 E-10
Co-57	271	d	271	2,1 E3	3,0 E-3	5,64 E-17	59,32	7,0 E-12
Co-58	70,8	d	70,8	3,8 E5	5,4 E-1	4,59 E-16	24,82	4,3 E-9
Co-60	5,27	a	1924	1,0 E5	1,4 E-1	1,16 E-15	85,51	9,9 E-9
Zr-95	64	d	64	7,1 E2	1,0 E-3	3,63 E-16	22,64	5,8 E-12
Nb-95	35,1	d	35,1	6,7 E3	9,6 E-3	3,54 E-16	12,65	3,0 E-11
Te-123m	120	d	120	-	-	6,97 E-17	38,02	-
Te-125m	58	d	58	6,6 E3	9,4 E-3	1,74 E-17	20,65	2,4 E-12
Sb-125	2,77	a	1011	-		2,09 E-16	80,73	-
Cs-134	2,06	a	752	-		7,47 E-16	77,49	-
Cs-137	30	a	10950	1,2 E4	1,7 E-2	2,08 E-16	90,20	2,3 E-10
Vsota								1,9 E-8



Sklep 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 [12]. Za primerjavo smo izbrali tri elektrarne tipa PWR: lokacijo Beznau z dvema blokoma po 364 MW, (skupaj 730 MW) električne moči in elektrarno Goesgen z 965 MW_e. 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 2001.

e2) NARAVNO SEVANJE

V poglavju e1 je bilo ugotovljeno, da prispevkov NEK k zunanji dozi ni mogoče neposredno meriti. Mreža TLD zato izraža dozo sevanja gama naravnih radionuklidov v okolju, ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja in prispevka globalne in regionalne kontaminacije s Cs-137 (atmosferski jedrski poskusi in nesreča v Černobilu). Ker pa je sedanji prispevek Cs-137 k zunanjemu sevanju v povprečju na ravni enega odstotka naravnega ozadja, meritve dejansko kažejo doze naravnega sevanja in njihove lokalne variacije. Povprečna doza v okolici NEK v letu 2004 je bila 0,765 mSv na leto in je bila skoraj enaka letni dozi v zaprtih prostorih v okolici NEK, izmerjeni leta 1998 (povprečno 0,774 mSv na leto). Povprečna letna doza v letu 2004 je bila za bivanje na prostem in v zaprtih prostorih v okolici NEK **0,77 mSv na leto**.

Dozimetri TLD 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 je ocenjena letna doza za kozmične nevtrone 0,100 mSv na leto. Ker leži območje Krškega le okrog 200 m nad morsk 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 faktor bivanja v bivališčih 0,8 ter na prostem 0,2, je letna efektivna doza E_n kozmičnih nevtronov za prebivalstvo okolice NEK:

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

Celotna letna doza naravnega ozadja zaradi naravnih sevalcev gama, ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja, kozmičnih nevtronov in prispevka črnobilskega Cs-137 v okolici NEK je 0,84 mSv na leto in se dobro sklada z oceno iz poročila [9] za svetovno prebivalstvo (0,87 mSv na leto).

e3) PRISPEVEK KONTAMINACIJE OKOLJA S CS-137

V poglavju "Zemlja" je bila iz meritev vsebnosti Cs-137 v zemlji ocenjena hitrost absorbirane doze v zraku nad neobdelanim in obdelanim zemljiščem v okolici NEK. Vrednosti v letu 2004 so bile od 2 nGy/h do 13 nGy/h. Upoštevajoč pretvorbeni faktor med absorbirano dozo v zraku in efektivno



dozo⁴ 0,7 Sv/Gy [9], so letne učinkovite doze med 0,013 mSv in 0,080 mSv na leto. To je od 1,5 % do 9 % povprečne celotne letne zunanje doze v okolici NEK (0,85 mSv na leto iz meritev s TLD in ocene nevtronske komponente).

V letu 2004 je bila ob obhodu *ROMENEK 3/04* v urbanem okolju (ploščad pred kulturnim domom v Krškem) opravljena meritev in-situ z visokoločljivostnim spektrometrom gama. Iz meritve je bil ocenjen depozit Cs-137. Ob konservativni predpostavki, da gre za površinsko kontaminiranost neskončne površine, je hitrost doze ocenjena na 0,37 nSv/h, oziroma 0,0032 mSv na leto (0,4 % povprečne letne doze v okolici NEK).

Ker se prebivalstvo znaten del časa zadržuje v zaprtih prostorih, kjer ni vpliva Cs-137, so dejanske izpostavitve precej nižje od zgoraj navedenih skrajnih ocen, ki temeljijo na celoletnem zadrževanju v določenem okolju.

Prispevek Cs-137 k celotni zunanji dozi v letu 2004 konservativno ocenjujemo na velikostni red do nekaj odstotkov naravne doze.

f) POVZETEK LETNIH ZUNANJIH DOZ ZA PREBIVALSTVO V OKOLICI NEK

V tabeli 5.4 so povzete ocenjene letne učinkovite doze zunanjšega sevanja za prebivalstvo v okolici NEK. Prevladuje izpostavitve zaradi naravnega sevanja ($\leq 100\%$), used Cs-137 zaradi atmosferskih jedrskih poskusov in černobilske nesreče prispeva le kak odstotek, medtem ko je prispevek NEK pod 0,01 %.

Tabela 5.4: Letne učinkovite doze zunanjšega sevanja v letu 2004 za prebivalstvo v okolici NEK.

Vir	Podatki	Letna učinkovita doza (mSv)
sevanje gama + ionizirajoča komponenta kozmičnega sevanja	TLD	0,77 (92 %)
kozmični nevtroni	[9]	0,070 (8 %)
naravno sevanje - skupaj		0,84 (100 %)
kontaminacija zaradi černobilske nesreče in poskusnih jedrskih eksplozij	Cs-137 v zemlji ali na urbani površini + model	< 0,01 (< 1 %)
NEK – atmosferski izpusti	oblak + used (modeli)	< 0,0001 (< 0,01 %)
Skupaj		0,84

⁴ Pretvorbeni faktor med absorbirano dozo v zraku in učinkovito dozo 0,7 Sv/Gy velja za spekter žarkov gama v naravnem okolju, kjer so dominantne črte Ra-226. Povprečna energija žarkov gama Ra-226 (0,772 MeV) je dovolj blizu energiji žarkov gama, ki jih seva Cs-137, zato smo tudi v tem primeru upoštevali isti pretvorbeni faktor.

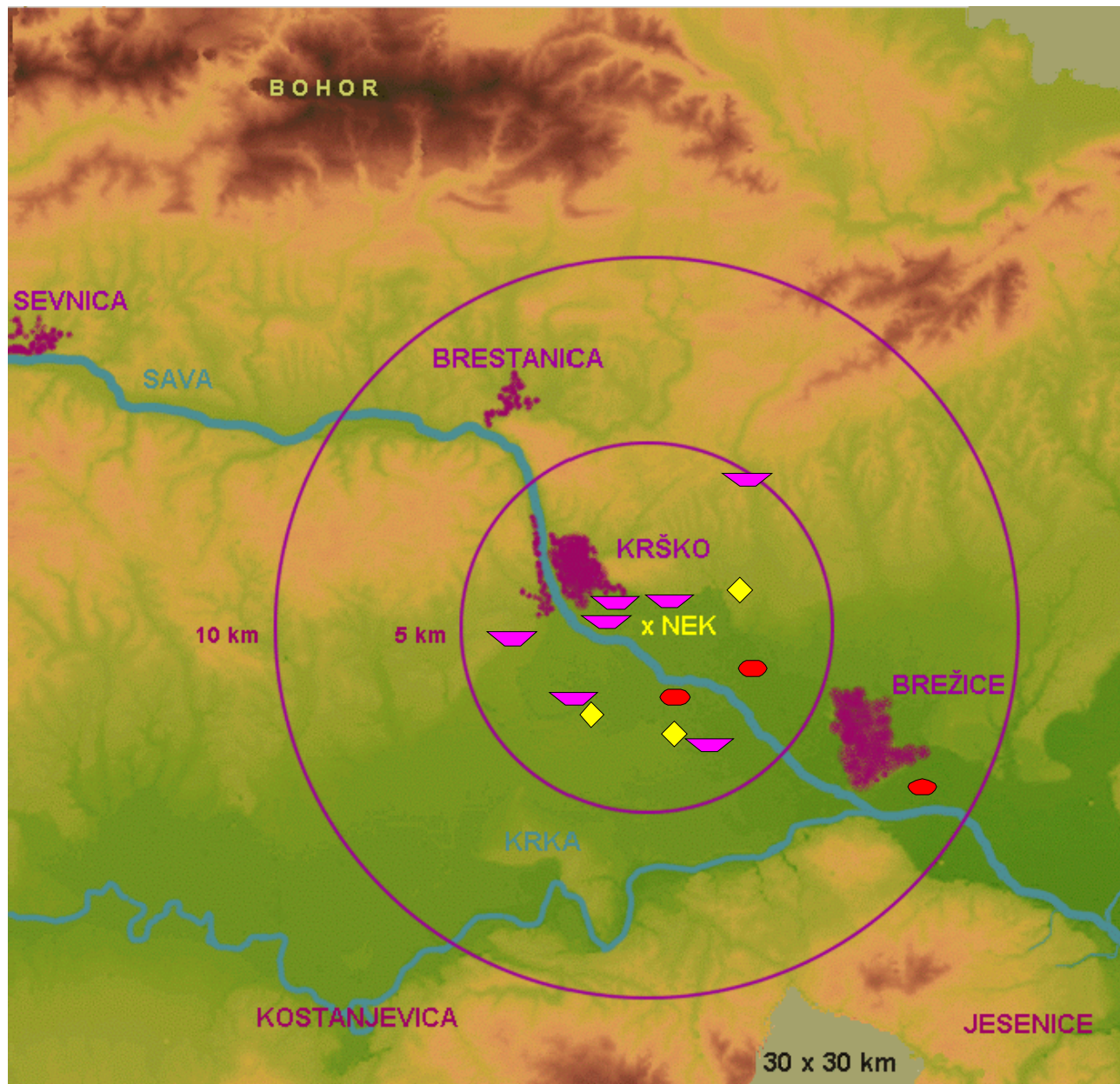


g) SKLEPI

- Celotna letna doza naravnega ozadja zaradi naravnih sevalcev gama, ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja in kozmičnih nevtronov v letu 2004 je bila za prebivalstvo v okolici NEK 0,84 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 2004 se ujema z ocenami treh primerljivih švicarskih jedrskih elektrarn in je pod 0,0001 mSv na leto.
- Prispevek kontaminacije zemljišča in urbanih površin s Cs-137 (černobilska nesreča in poskusne jedrske eksplozije) k letni dozi na prostem v letu 2004 je velikostnega reda enega odstotka naravnega ozadja oziroma okrog 0,01 mSv na leto.

h) REFERENCE

- [12] HSK – Annual Report 1995 Tables 1-5
(<http://www.hsk.psi.ch/english/files/pdf/annual-report1995.pdf>)
- [13] Matjaž Korun, osebno sporočilo, 2003
- [14] PC program: Radiological Assessment System for Consequence Analysis RASCAL 3.0.3, NRC, June 2002
- [15] 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 A

a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST

Namen jemanja vzorcev zemlje v okolici NEK je ugotoviti in ovrednotiti morebitni vpliv elektrarne na koncentracijo 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 treh lokacijah poplavnih zemljišč sotočno od NEK, kjer so vzorčevalna mesta po letu 1986, torej po jedrski nesreči v Černobilu: Amerika (oznaka točke 5D, levi breg, sotočna obrežna razdalja od NEK 3,2 km, tip zemlje rjava naplavina), Gmajnice (7D, desni breg, razdalja 2,6 km, njiva, rjava naplavina) in Kusova vrbina - Trnje (6E, levi breg, sotočna razdalja od NEK 8,5 km, mivkasta borovina). Prvi dve lokaciji sta neobdelani površini, na tretji lokaciji se vzame vzorca obdelane in neobdelane površine. Poplavljanje lokacij se navadno pripeti vsaj enkrat na leto in je najpogostejše na lokaciji Trnje.

b) ZNAČILNOSTI MERITEV

Na vseh treh lokacijah se vzorce zemlje vzame dvakrat na leto, in sicer po posameznih plasteh do globine 30 cm za neobdelane in do globine 50 cm za obdelano površino. Meritve se opravi s spektrometrijo gama v vzorcih s premerom 90 mm po predhodni pripravi vzorca (predvsem sušenje in mletje, homogenizacija), ki je podrobno opisana v delovnem navodilu *Zbiranje in priprava vzorcev zemlje (LMR-DN-07)*. Posebej se zbere, pripravi in izmeri vzorce trave. Meritve potekajo na sedmih izmed osmih spektrometrov v laboratoriju, od katerih so štiri s širokim energijskim območjem zaznavanja žarkov gama in trije z ožjim območjem. Koncentracijo 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 neposredna izpostavitvev sevanju radionuklidov v zemlji (izpostavitvev z vnosom preko prehranske verige obravnavamo v poglavju *"Krmila in hranila"*). 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 datoteki **Zemlja2004.pdf**.

Glavna ugotovitev obdelave rezultatov je, da poleg Cs-137 in Sr-90/Sr-89, ki ju najdemo v okolju zaradi atomskih poskusov v ozračju v petdesetih in šestdesetih letih ter nesreče v Černobilu, in Cs-134, ki prav tako izvira iz černobilskega reaktorja, v nobenem od vzorcev nismo našli radionuklida, ki bi lahko izviral iz NEK. Da radionuklid Cs-137 v zemlji ne izvira iz NEK lahko ugotovimo, če primerjamo njegovo skupno aktivnost, izpuščeno iz NEK v letu 2004, s tisto Co-60. Skupni tekoči izpusti Co-60 so bili leta 2004 petkrat, skupni zračni izpusti Co-60 pa desetkrat večji



od izpustov Cs-137. To je pomembno zato, ker sta poplavljanje reke Save in odlaganje iz zraka glavni prenosni poti za oba radionuklida iz NEK do območij, kjer vzorčujemo zemljo. Pri tem Co-60 nismo zaznali ne v zemlji, ne v vzorcih vode, rečnih in suspendiranih sedimentov reke Save in ne v zraku. Tako torej tudi Cs-137 v vzorcih zemlje ne more izvirati iz NEK. Radionuklida Cs-134 v letu 2003 v vzorcih zemlje ni bilo, v letu 2004 pa ga najdemo v vzorcu iz Gmajnic, in sicer v plasti med dvema in petimi centimetri, kjer je tudi maksimum porazdelitve Cs-137, kar pomeni, da ne gre za svež nanos, temveč da izvira Cs-134 iz časov černobilske nesreče. Njegova koncentracija je nizka, negotovost izmerjene aktivnosti pa velika, kar pomeni, da je slednja na meji zaznavnosti in nam je verjetno zato v letu 2003 v vzorcih zemlje ni uspelo izmeriti. Specifične aktivnosti radionuklida Sr-90/Sr-89 (0,7–3,8 Bq/kg) so nizke in v skladu z vrednostmi iz prejšnjih let. Razpon specifičnih aktivnosti naravnih radionuklidov, povprečen po globini zemlje, je (350–430) Bq/kg za K-40, (24–35) Bq/kg za U-238 in (28–34) 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 2000 [9].

e) OCENA VPLIVOV

i) NARAVNI RADIONUKLIDI

Povprečni prispevek naravnih radionuklidov iz razpadnih verig U-238, Th-232 ter K-40 k hitrosti doze zunanjega sevanja je po metodologiji ICRU [16] 48 nGy/h, kar se ujema z vrednostjo 49 nGy/h iz leta 2003. Hitrosti doze na posameznih lokacijah so drugačne od povprečja za največ 15 % in tudi sezonske spremembe so majhne.

ii) GLOBALNA KONTAMINACIJA

Edini pomembni prispevek umetnih radionuklidov k letni absorbirani dozi v zraku zaradi zunanjega sevanja je Cs-137, ki ga v okolju najdemo predvsem zaradi nesreče v Černobilu. Povprečne hitrosti zunanje doze zaradi Cs-137 v zemlji so navedene v tabeli 6.1 za posamezne lokacije v maju in septembru 2004. Izračunali smo jih tako, da smo za obdelano lokacijo v Gmajnicah privzeli, da je celotna aktivnost Cs-137 v zemlji zbrana do globine 30 cm, po globini pa je porazdeljena enakomerno, za druge lokacije pa smo upoštevali izmerjene porazdelitve depozita po plasteh zemlje. Pretvorbene količnike med depozitom Cs-137 in hitrostjo doze zunanjega sevanja smo povzeli po [17], kjer je predpostavljeno, da je sestava zemlje v masnih deležih 56 % kisika, 32 % silicija, 7 % aluminija, 3 % železa, 1 % ogljika in 1 % vodika, za gostoto zemlje pa smo vzeli vrednost $1,5 \text{ g/cm}^3$. Negotovosti hitrosti doz smo ocenili iz relativne negotovosti depozita (7 %) ter iz relativne negotovosti pretvorbene faktorja zaradi negotove gostote in sestave zemlje (20 %). Relativna negotovosti depozita po posameznih plasteh je precej manjša in ne vpliva pomembno na negotovost hitrosti doze. Opazimo lahko, da je hitrost doze najvišja na neobdelani površini v Gmajnicah, kjer ima porazdelitev depozita Cs-137 vrh na površini zemlje, kar je lahko posledica nanosov ob poplavih, medtem ko je na drugih lokacijah, kjer je vrh porazdelitve pomaknjen v globino, ustrezno nižja. Za primerjavo z naravnim okoljem navajamo še hitrost doze v urbanem okolju na ploščadi pred kulturnim domom v Krškem, ki je bila določena na podlagi meritve depozita Cs-137 s spektrometrijo gama in situ [18]. Če predpostavimo, da je celotna aktivnost Cs-137 zbrana na površini tal, dobimo oceno za hitrost doze, ki je seveda zelo konzervativna: $(0,37 \pm 0,2) \text{ nSv/h}$. Ustrezni pretvorbene faktor med izmerjeno vrednostjo depozita $(176 \pm 11) \text{ Bq/m}^2$ ter hitrostjo doze smo povzeli po [19].



Tabela 6.1: Povprečne hitrosti absorbirane doze zunanjega sevanja zaradi Cs-137 v zemlji v nGy/h v maju in septembru 2004

Lokacija / Čas vzorčevanja	Maj	September
Amerika	$4,5 \pm 0,9$	$4,4 \pm 0,9$
Gmajnice, neobdelana površina	$13,5 \pm 3,0$	$13,5 \pm 3,0$
Gmajnice, njiva	$8,5 \pm 2,0$	$5,2 \pm 1,0$
Kusova vrbina – Trnje	$2,2 \pm 0,4$	$1,8 \pm 0,4$

f) SKLEPI IN PRIPOROČILA

Pri 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 približno desetina povprečne doze, ki jo povzročajo naravni radionuklidi v zemlji, slednja pa je v skladu s slovenskim in svetovnim povprečjem.

g) REFERENCE

- [16] ICRU Report 53, Gamma-ray Spectrometry in Environment, ICRU, Bethesda, Maryland, 1994
- [17] 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
- [18] Branko Vodenik, Matjaž Stepišnik, Denis Glavič-Cindro, ROMENEK 3/04 - Poročilo o meritvah iz Programa B in C, IJS-DP-9058, Ljubljana, november 2004
- [19] K. F. Eckerman, J. C. Ryman, External exposure to radionuclides in air, water and soil, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, USA, 1993





KRMILA IN HRANILA

Namen določanja vsebnosti sevalcev gama v hrani je, da se preveri vpliv izpustov NEK na koncentracije radionuklidov v vzorcih iz prehranske verige. Pri izračunu obremenitev prebivalstva zaradi vsebnosti radionuklidov v hrani smo predpostavili, da prebivalci uživajo le hrano s krško-brežiškega področja. Primerjali smo vsebnosti umetnih radionuklidov Cs-137 in Sr-90/Sr-89 ter naravnih radionuklidov v hrani, zemlji, padavinah in zračnih izpustih. Ocenili smo, da je bila obremenitev prebivalstva v okolici NEK z umetnimi radionuklidi v letu 2004 ($1,4 \pm 0,2$) μSv , 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). Vzorcevanje hrane poteka na mestih, ki imajo podobno sestavo tal kot tista pri vzorcevanju zemlje. Za zemljo je značilna pedološka raznolikost (obrečni peščeni aluvij, diluvialna ilovica s kremenovimi produkti, apnenec). Zaradi odvisnosti prenosnih faktorjev od vrste tal se vzorci hrane odzemajo vedno na istem mestu. Odzemna mesta vzorcev hrane v letu 2004, ki so označena na priloženem zemljevidu na koncu poročila, so bila: sadovnjak ob NEK (sadje), Drnovo (mleko), Spodnje Skopice (mleko), Pesje (mleko), Zgornja Pohanca (sadje), Brežice (sadje, žitarice, govedina), Brege (zelenjava, povrtnina, poljščine, žitarice), Vrbina (zelenjava, povrtnina, žitarice, meso), Spodnji Stari Grad (zelenjava, povrtnina, poljščine, žitarice, meso).

b) ZNAČILNOSTI MERITEV

V vzorcih hrane so bile izmerjene vsebnosti sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama (VLG) in vsebnost Sr-90/Sr-89 z radiokemijsko metodo. Laboratorij za radiološke merilne sisteme in meritve radioaktivnosti (LMR) Instituta "Jožef Stefan" (IJS) je opravil vzorcevanje, meritve in analize vseh vzorcev hrane. Sodelavci Zavoda za varstvo pri delu (ZVD) so z radiokemično analizo določali vsebnost I-131 v mleku.

c) OBRAVNAVA REZULTATOV

Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v datotekah **Hrana2004.pdf**.

Rezultati meritev vzorcev hrane so prikazani v tabelah T-65 (Kokošje meso in jajca), T-66 (Svinjsko in goveje meso), T-67 (Povrtnine in poljščine - pšenica), T-68 (Povrtnine in poljščine - krompir, korenje), 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 vseh vzorcih hrane so bili detektirani naravni radionuklidi razpadnih nizov radionuklidov U-238 in Th-232 ter K-40, med umetnimi pa le Cs-137 in Sr-90.

Iz tabele 7.1 lahko razberemo, da je v travi specifična aktivnost Cs-137 desetkrat večja kot v hrani živalskega izvora, če specifične aktivnosti preračunamo na delež suhe snovi. Specifična aktivnost Cs-137 v travi je za red velikosti manjša kot v zemlji, če upoštevamo uteženo povprečje do globine 15 cm (območje raztezanja koreninskega sistema). Presežek vsebnosti Cs-137, ki se ne prenese v



telo živali, se odloži nazaj na zemljo. V deževnici pa je letna povprečna specifična aktivnost Cs-137 za tri rede velikosti manjša kot v travi. Če primerjamo še letni povprečni used iz padavin s povprečnim letnim usedom v zemlji, lahko ugotovimo, da je padavinski used tri velikostne rede manjši kot povprečni letni used v zemlji za Cs-137. To dokazuje, da pri prenosu radionuklidov v rastlini prevladuje mehanizem črpanja preko koreninskega sistema.

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 količino 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. Prenosni faktorji za Cs-137 se 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. To variabilnost lahko pripišemo uporabi različnih vrst gnojil, ki upočasnjujejo sorpcijo Cs-137 preko koreninskih sistemov. Značilne vrednosti prenosnih faktorjev so za Cs-137 med 0,001 (povrtine) do 0,1 (sadje). Prenosni faktorji za Sr-90/Sr-89 v različnih vrstah hrane so značilno večji kot v primeru tistih za Cs-137. Značilne vrednosti za Sr-90/Sr-89 se gibljejo med 0,01 (povrtine) in 0,2 (žitarice).

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

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

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

Celotna efektivna doza pri ingestiji hrane je torej 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].

Tabela 7.1: Primerjava povprečnih specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90/Sr-89 in K-40 v hrani, travi, zemlji in padavinah. Vsebnosti radionuklidov so podane v bekerelih, deljeno s kilogrami sveže snovi, razen pri travi.

	Cs-137	Sr-90/Sr-89	K-40
	Specifična aktivnost (Bq/kg)		
Hrana povprečje	4,3E-01 ± 4,0E-02	9,6E-01 ± 1,1E-01	1,6E+02 ± 1,2E+01
Hrana-meso in mleko	2,8E-01 ± 2,3E-02	1,8E-01 ± 1,1E-01	4,8E+01 ± 4,7E+00
Hrana-poljščine	1,2E-01 ± 2,9E-2	6,2E-01 ± 1,3E-2	8,9E+01 ± 7,2E+00
Trava (2. polletje)	2,0E+00 ± 6,0E-01	2,9E+00 ± 3,0E-1 (1 meritev)	3,6E+02 ± 7,6E+01
Zemlja (0-15cm)	4,3E+01 ± 2,4E+01	1,0E+00 ± 1,7E-00	3,7E+02 ± 2,8E+01
Padavine povprečje	3,0E-04 ± 2,0E-04	0 ± 3,0E-04	1,1E-02 ± 1,0E-03



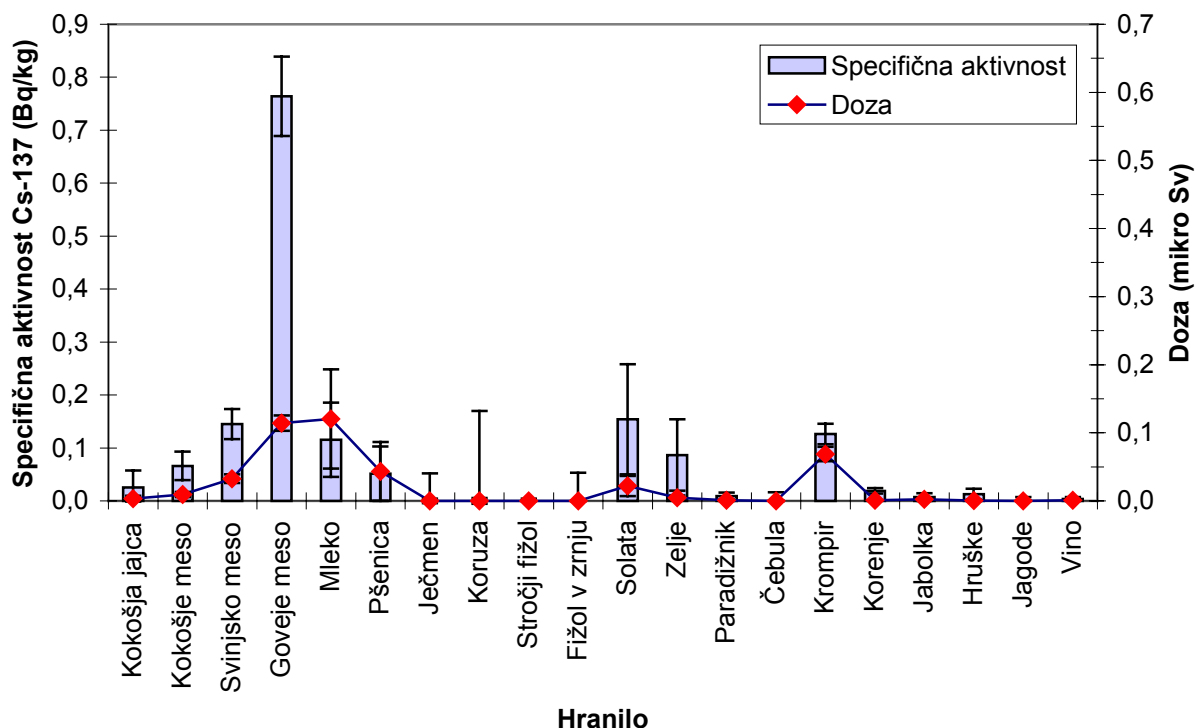
Povprečja specifičnih aktivnosti smo izračunali tako, da smo v primeru, ko je bil radionuklid identificiran in je bila njegova specifična aktivnost pod mejo kvantifikacije, upoštevali kot specifično aktivnost radionuklida 0, kot negotovost te specifične aktivnosti pa mejo kvantifikacije. Tako lahko iz enačbe (1) izračunamo, da je efektivna doza, ki jo dobi odrasla oseba ob zaužitju vseh vrst hrane, $(321 \pm 42) \mu\text{Sv}$. V vzorcih hrane je bila specifična aktivnost Pb-210 nad mejo kvantifikacije le v žitaricah, vrtninah in mleku. Prispevki drugih naravnih radionuklidov, kot so: U-238, Ra-228 in Th-228, k celotni dozi so tretjino vrednosti. Letni efektivni dozi zaradi Cs-137 in Sr-90/Sr-89 pri ingestiji hrane sta bili $(0,43 \pm 0,04) \mu\text{Sv}$ in $(0,96 \pm 0,11) \mu\text{Sv}$.

Globalna kontaminacija

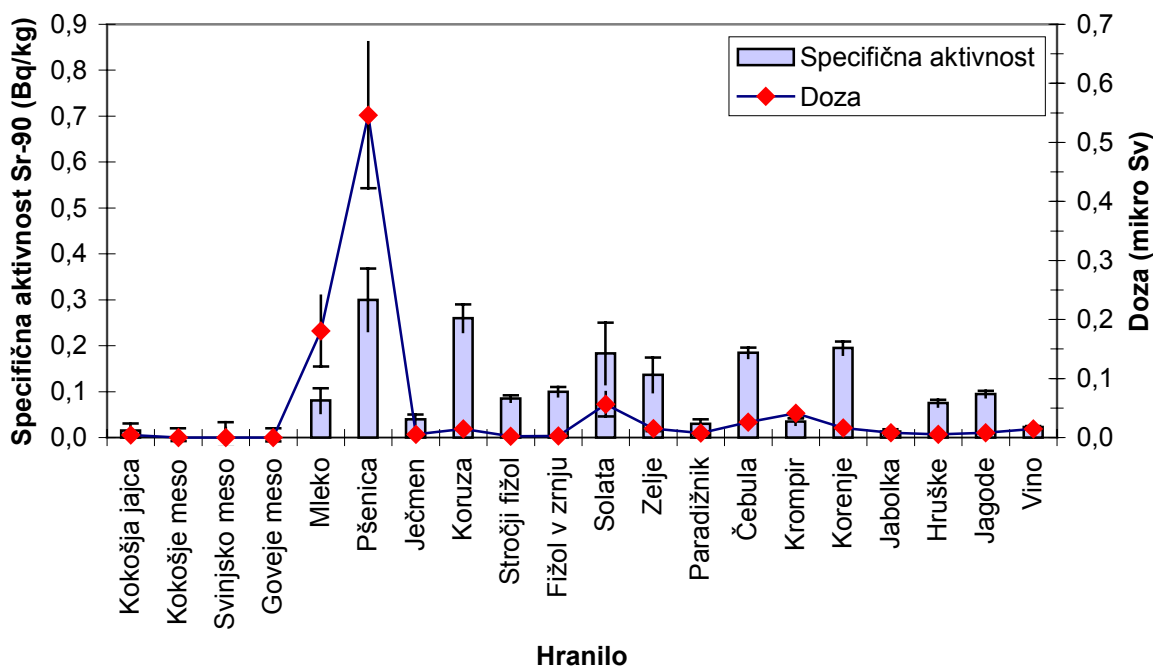
Radionuklida Cs-137 in Sr-90/Sr-89 se pojavljata kot kontaminacija v plasti zemlje do globine 15 cm zaradi jedrskih preskusov in nesreče v Černobilu. Specifična aktivnost radionuklida Sr-90/Sr-89 je nekaj bekerelov na kilogram, Cs-137 pa do nekaj deset bekerelov na kilogram [20]. Specifične aktivnosti (vsebnosti) radionuklidov v hranilih se navaja na enoto sveže količine materiala. Atomi Cs-137 se v telesu človeka nalagajo v mehkem tkivu človeka, večji del v mišicah, deloma pa tudi v kosteh in maščevju. Zato ni presentljivo, da je največja koncentracija Cs-137 v hrani živalskega izvora (mleko, meso), ker se v živalih nalaga v prav tako mehkem tkivu, kamor pride z rastlin, ki jih živali zaužijejo. V nasprotju s Cs-137 se Sr-90 nalaga večji del v kosteh, 70 – 80 % se ga izloči, približno 1 % začetne koncentracije Sr-90 pa se absorbira v krvi, medcelični tekočini in mehkem tkivu. Vsebnost Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v mleku je bila največja v Drnovem, medtem ko sta bili koncentraciji obeh radionuklidov v Skopicah in Pesju tudi za red velikosti nižji.

Iz tabel rezultatov meritev lahko razberemo, da je bila specifična aktivnost Cs-137 v vzorcih hrane živalskega izvora od $(0,025 \pm 0,03) \text{ Bq/kg}$ v jajcih do $(0,76 \pm 0,08) \text{ Bq/kg}$ v govejem mesu. Povprečna izmerjena specifična aktivnost Cs-137 v hrani je bila $(8,9 @10^{-2} \pm 2,5 @10^{-1}) \text{ Bq/kg}$. Izmerjene specifične aktivnosti radionuklida Sr-90/Sr-89 v hrani živalskega izvora so pod mejo kvantifikacije, razen v kokošnjih jajcih, $(1,5 \pm 1,6) 10^{-2} \text{ Bq/kg}$. V hranilih rastlinskega izvora je bila najnižja vsebnost Sr-90/Sr-89 v jabolkah, $(1,3 @10^{-2} \pm 5,3 @10^{-3}) \text{ Bq/kg}$, najvišja pa v pšenici $(0,3 \pm 0,07) \text{ Bq/kg}$. Povprečna specifična aktivnost Sr-90/Sr-89 v hrani je bila $(0,1 \pm 0,09) \text{ Bq/kg}$. 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 2004. Specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v hrani z leti nihajo, vendar je opazno zmanjševanje njihovih koncentracij. Tako je s slike 7.3 razvidno, da se je koncentracija Sr-90/Sr-89 v mleku od Černobilske nesreče do danes znižala za 5-krat, koncentracija Cs-137 v mleku pa se je v enakem obdobju znižala za približno 100-krat. Za druga hranila tako rastlinskega kot živalskega izvora lahko prav tako ugotovimo opazna znižanja koncentracije umetnih radionuklidov. Znižanje koncentracije Cs-137 lahko razložimo s tem, da je v trenutku kontaminacije prišlo do močnega listnega (foliarnega) vnosa radionuklida v rastline in da je črpanje preko koreninskih sistemov, ki ga ovirata vezava cezijeveh atomov v zemlji in tudi konkurenca kalija iz gnojil, na kultiviranih površinah občutno manjši. Za primerjavo v tabeli 7.2 prikazujemo specifične koncentracije Cs-137 in Sr-90 v hranilih živalskega izvora.

Glede na prisotnost Cs-137 in Sr-90/Sr-89 lahko hranila razdelimo v tri skupine: a) hrana živalskega izvora, kjer je vsebnost Cs-137 najvišja in vsebnost Sr-90/Sr-89 najnižja, b) žitarice, poljščine in povrtnine, razen paradižnika in krompirja, kjer je vsebnost Cs-137 nizka (največja je v solati, fižolu v zrnju in ječmenu), vsebnost Sr-90/Sr-89 pa za red velikosti višja kot vsebnost Cs-137 in c) sadje, kjer sta vsebnosti Sr-90/Sr-89 in Cs-137 najnižji, vendar je vsebnost Sr-90/Sr-89 višja kot vsebnost Cs-137.



Slika 7.1: Izmerjene specifične aktivnosti (Bq/kg) radionuklida Cs-137 in izračunane efektivne doze zaradi kontaminacije hrane s Cs-137 v različnih vrstah hrane v letu 2004

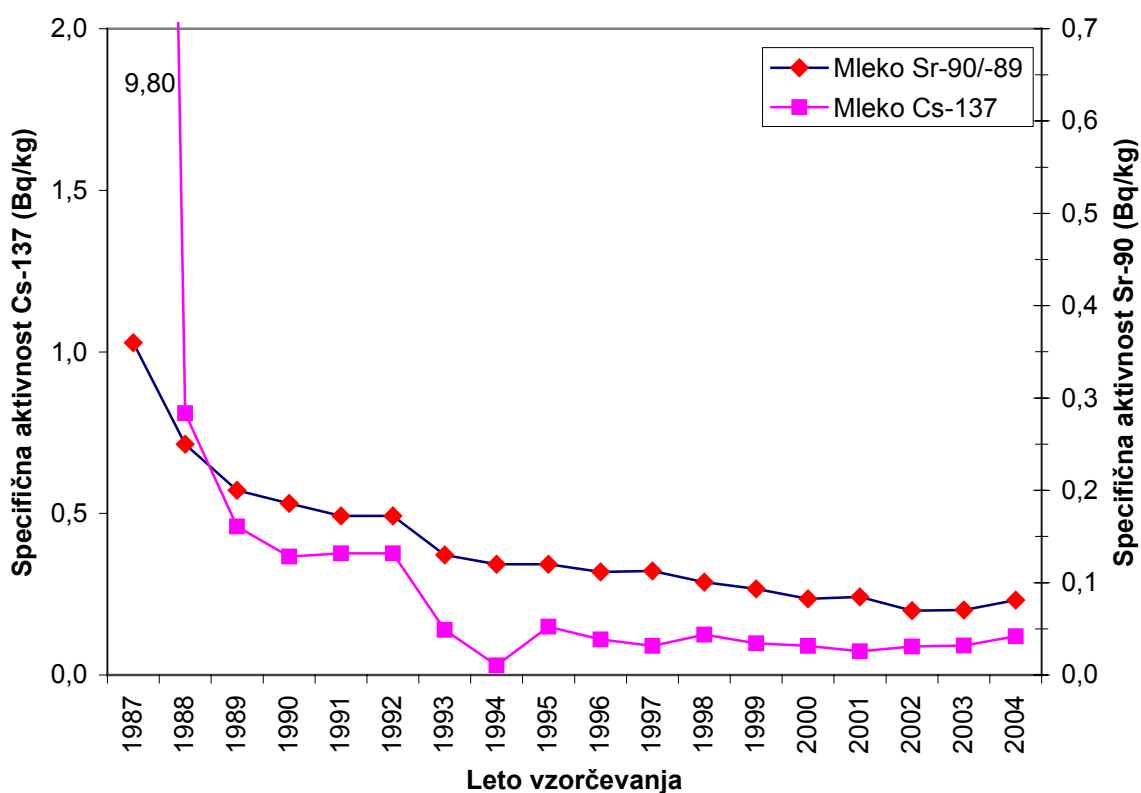


Slika 7.2: Izmerjene specifične aktivnosti (Bq/kg) radionuklida Sr-90/Sr-89 in izračunane efektivne doze zaradi kontaminacije hrane s Sr-90/Sr-89 v različnih vrstah hrane v letu 2004



Tabela 7.2: Primerjava povprečnih specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90/Sr-89 in K-40 v hrani, travi, zemlji in padavinah. Vsebnosti radionuklidov so podane v bekerelih na kilogram sveže snovi, razen pri travi. V letu 1994 goveje meso ni bilo vzorčevano. V letu 2004 so koncentracije Sr-90/Sr-89 pod mejo kvantifikacije (MKV)

Leto	Cs-137					Sr-90/89				
	Mleko	Kokošja jajca	Kokošje meso	Goveje meso	Svinjsko meso	Mleko	Kokošja jajca	Kokošje meso	Goveje meso	Svinjsko meso
	Specifična koncentracija (Bq/kg)									
1987	9,80	0,86	3,80	4,10	12,00	0,36	0,20	0,03	0,13	0,04
1988	0,81	0,30	0,90	2,00	2,30	0,25	0,17	0,01	0,05	0,12
1989	0,46	0,18	0,90	0,79	2,15	0,20	0,12	0,10	0,10	0,07
1990	0,37	0,11	0,37	0,56	1,30	0,19	0,11	0,05	0,06	0,04
1991	0,38	0,18	0,41	0,81	0,67	0,17	0,04	0,05	0,14	0,09
1992	0,38	0,18	0,41	0,81	0,67	0,17	0,04	0,05	0,14	0,09
1993	0,14	0,10	0,39	0,29	0,51	0,13	0,08	0,02	0,03	0,03
1994	0,03	0,06	0,35	/	0,50	0,12	0,07	0,06	/	0,01
1995	0,15	0,09	0,19	1,20	0,21	0,12	0,03	0,10	0,01	0,01
1996	0,11	0,17	0,41	0,32	0,76	0,11	0,06	0,01	0,01	0,01
1997	0,09	0,10	0,24	0,34	0,43	0,11	0,03	0,01	0,02	0,01
1998	0,12	0,03	0,46	0,45	0,42	0,10	0,04	0,02	0,01	0,01
1999	0,10	0,14	0,49	0,46	0,45	0,09	0,10	0,20	0,11	0,08
2000	0,09	0,03	0,11	0,62	0,26	0,08	0,06	0,04	0,02	0,30
2001	0,07	0,03	0,09	0,22	0,15	0,08	0,04	0,02	0,02	0,03
2002	0,09	0,06	0,10	0,24	0,26	0,07	0,05	0,02	0,02	0,03
2003	0,09	0,03	0,06	0,23	0,26	0,07	0,04	0,03	0,02	0,02
2004	0,12	0,03	0,07	0,76	0,15	0,08	0,02	MKV	MKV	MKV



Slika 7.3: Izmerjene specifične aktivnosti (Bq/kg) radionuklidov Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v mleku za različna leta vzorčevanja



Tabela 7.3: Primerjava efektivnih doz različnih radionuklidov pri ingestije hrane

		Efektivna doza (μSv)		
Umetni radionuklidi	Cs-137	0,43	\pm	0,04
	Sr-90/-89	0,96	\pm	0,11
Umetni radionuklidi	K-40	166,00	\pm	12,00
	Pb-210	58,60	\pm	6,60
	Ra-228	57,10	\pm	9,00
	Ra-226	25,80	\pm	3,60
	U-238	10,30	\pm	1,10
	Th-228	1,90	\pm	0,17
	Be-7	1,0E-02	\pm	1,2E-03

Naravni radionuklidi

Med naravnimi radionuklidi, ki jih najdemo v hrani, kamor pridejo po različnih prenosnih poteh iz zemlje in umetnih gnojilih so: K-40, Be-7 ter radionuklidi razcepne verig U-238 in Th-234.

Kalij K-40 je naravni sevalec beta in gama. Radioaktivni kalij je 0,01 % naravnega kalija. Količina kalija se v telesu homeostatsko uravnava, kar pomeni, da se kalij v telesu ne akumulira, saj se presežek izloči iz telesa. Po zaužitju hrane se kalij iz prebavnega trakta preko krvnega obtoka hitro preseli po celem telesu. Kalij v telesu najdemo v celičnih tekočinah, zaradi česar so možne poškodbe DNK. Ker telo samo uravnava koncentracijo kalija v telesu, sam vnos kalija v telo (hrana, zemlja) ne vpliva na njegovo koncentracijo v telesu. Kalij se nato izloči iz telesa z razpolovnim časom 30 dni. V telesu odrasle osebe je v povprečju 140 g kalija. S hrano v telo vnesemo 2,5 g kalija dnevno. Za 70 kg težko osebo lahko izračunamo, da je specifična aktivnost K-40 v telesu 63 Bq/kg. Ta naravni kalij podeli gonadam in drugim mehkim tkivom na leto 0,2 mSv, medtem ko kosti prejmejo 0,15 mSv. Povprečna specifična aktivnost K-40 v hrani, ki je bila pridelana na krško-brežiškem polju, je $(6,8 \pm 41,5)$ Bq/kg. Najvišja koncentracija kalija je v vrtninah in poljščinah, najnižja pa je v sadju, mleku in jajcih. Zaradi ingestije hrane, ki vsebuje K-40, oseba ne prejme nobene dodatne doze.

Podobno kot kalij se tudi atomi Ra-226 hitro izločijo iz telesa. Količina zaužitega Ra-226 v telesu se zniža za dve tretjini začetne vrednosti že v treh dneh, preostanek pa se adsorbira na površini kosti. Po določenem času atomi migrirajo v sredico kosti, kjer lahko ostanejo zelo dolgo. Po podatkih NCRP 94, stran 12 (1987), je specifična aktivnost Ra-226 v telesu zaradi uživanja hrane 0,017 Bq/kg. Povprečna specifična aktivnost Ra-226 v hrani, ki je bila pridelana na krško-brežiškem polju je $(0,9 \pm 1,8)$ Bq/kg. Najnižja koncentracija Ra-226 je v paradižniku, čebuli, mleku in jajcih, od $2 \cdot 10^{-2}$ Bq/kg do $5 \cdot 10^{-2}$ Bq/kg, najvišja pa je bila v žitaricah, in sicer v ječmenu 10 Bq/kg.

Tudi atomi U-238 zapustijo telo v nekaj dneh po zaužitju hrane, zato je tudi uživanje U-238 s hrano ne pomeni posebne nevarnosti za človeka. Povprečna specifična aktivnost U-238 v hrani je $(0,1 \pm 0,3)$ Bq/kg. Največja specifična aktivnost U-238 je bila izmerjena v hranilih živalskega izvora, in sicer do $9 \cdot 10^{-1}$ Bq/kg, najmanjša pa v sadju, $5 \cdot 10^{-2}$ Bq/kg, v poljščinah in vrtninah pa je le v sledovih.

Tudi atomi Pb-210, če jih vnesemo v telo z uživanjem hrane, se v telesu vedejo podobno kot kalij, uran in radij. Svinec Pb-210 je razpadni produkt Rn-222. Radon emanira iz zemeljske skorje v zračne mase, kjer razpade v Pb-210, ki se nato nalaga na površini zemlje in rastlinah. Iz rezultatov meritev lahko ugotovimo, da je specifična koncentracija Pb-210 največja v žitaricah in vrtninah (solata) od 0,2 Bq/kg do 3,6 Bq/kg, v manjših koncentracijah, pod 0,1 Bq/kg, $(0,1 \pm 0,3)$ Bq/kg, v



sadju in mleku, pod mejo kvantifikacije pa je v hrani živalskega izvora. Povprečna specifična aktivnost Pb-210 v hrani je $(0,8 \pm 3)$ Bq/kg.

Izračunamo lahko, da bi odrasla oseba, ki bi uživala le hrano s krško–brežiškega polja, zaradi obsevanja z naravnimi radionuklidi prejela efektivno dozo (320 ± 41) μ Sv. K dodatni dozi največ prispeva Pb-210 (59 ± 7) μ Sv, najmanj pa Be-7, $(1 \cdot 10^{-2} \pm 1,2 \cdot 10^{-3})$ μ Sv. Prispevki izmerjenih radionuklidov k efektivni dozi so prikazani v tabeli 7.3.

Izpusti iz NEK

V zračnih izpustih NEK so bili opaženi naslednji radionuklidi: Cr-51, Mn-54, Co-57, Co-58, Co-60, Zr-75, Nb-95, Sb-125, Te-125m, Cs-137, Fe-55 in Sr-90. Koncentracije teh radionuklidov so v okolju tako nizke, da niso bili detektirani v prehranjevalni verigi. Iz tega lahko sklenemo, da dosedanji izpusti iz NEK niso mogli vplivati na obsevanje z radionuklidi ob uživanju različnih vrst hrane.

d) OCENA VPLIVOV IN SKLEPI

V letu 2004 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 je bilo vzorčevano 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 0,4 % celotne efektivne doze zaradi vseh radionuklidov v hrani. Pri tem je celotna efektivna doza zaradi Cs-137 pri ingestiji hrane $(0,43 \pm 0,04)$ μ Sv na leto, celotna efektivna doza zaradi Sr-90/Sr-89 pa $(0,96 \pm 0,11)$ μ 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 najdemo tudi druge umetne radionuklide, ki pa jih kljub večji izpušeni aktivnosti v hrani nismo detektirali, kar pomeni, da vpliv zračnih izpustov NEK v hrani ni neposredno določljiv. Zaradi uživanja hrane, ki je bila pridelana ali predelana na krško-brežiškem polju v letu 2004, je efektivna doza (321 ± 42) μ Sv. Količina Cs-137 v usedu iz deževnice $(0,27 \pm 0,2)$ Bq/m² je štiri rede velikosti manjša kot v usedu na zemlji (1100 ± 610) Bq/m². Radionuklid Sr-90/-89 je v usedu deževnice pod mejo kvantifikacije, medtem ko je povprečni used na zemlji (26 ± 44) Bq/m². V hrani je specifična aktivnost Cs-137 za dva reda velikosti nižja kot v zemlji in za štiri rede velikosti višja kot v deževnici. Koncentracija Sr-90/Sr-89 v hrani je enaka kot v zemlji. Vsebnost K-40 v hrani ne prispeva k dozni obremenitvi, ker se njegova vsebnost v telesu homeostatsko uravnava. Pri primerjavi rezultatov meritev radionuklidov v hrani, opravljenih v letu 2004, glede na prejšnja leta ni zaznani povečanja specifične aktivnosti umetnih radionuklidov Cs-137 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 difundirali v globino, zato so jih rastline preko korenin z leti črpale vse manj. Da poteka vnos radionuklidov v rastlino pretežno s črpanjem iz korenin, pa lahko podkrepimo še s primerjavami specifičnih aktivnosti Be-7 z drugimi radionuklidi. Opazimo lahko, da je Be-7 v hrani redko prisoten, in to v majhnih koncentracijah.

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 2004

Pri vrednotenju vplivov jedrskih objektov na okolje je ena od osnovnih nalog ocenjevanje izpostavitve prebivalstva sevanju zaradi atmosferskih in tekočinskih izpustov radioaktivnih snovi. Pri normalnem obratovanju gre praviloma za zelo majhne izpuščene aktivnosti, ki so navadno 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 (tj. 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 z uporabo preglednic 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 smernice Evropske unije pri podrobni oceni notranje izpostavitve delijo prebivalstvo 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.

Oceno prejetih doz za leto 2004 za savske prenosne poti smo izdelali po novi metodologiji. Oceno prejetih doz, dobljeno po stari metodologiji s programom LADTAP (stare prenosne poti in faktorji porabe in starostne skupine) ne uporabljamo več.



a) **VHODNI PODATKI ZA OCENO PREJETIH DOZ
RAZŠIRJENI INVENTAR LETNIH IZPUSTOV V LETU 2004**

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

IZOTOP	IZPUST (Bq na leto)	IZOTOP	IZPUST (Bq na leto)
H! 3	1.1E+13	Sn! 113	!
Na! 24	!	Sb! 124	!
Cr! 51	!	Sb! 125	1,5E+05
Mn! 54	7,2E+04	Te! 123m	!
Fe! 55	7,0E+07	Te! 125m	!
Fe! 59	!	Te! 127m	!
Co! 57	!	Te! 129m	!
Co! 58	1.3E+08	Te! 132	!
Co! 60	3,6E+07	I! 129	!
Zn! 65	!	I! 131	6,6E+05
Se! 75	!	I! 132	!
Sr! 85	!	I! 133	!
Sr! 89	!	I! 134	!
Sr! 90	1,1E+05	Cs! 134	-
Y! 92	!	Cs! 137	7,7E+07
Zr! 95	7,0E+05	Cs! 136	!
Nb! 95	7,0E+05	Cs! 138	!
Nb! 97	!	Xe! 131m	!
Mo! 99	!	Xe! 133	2,5E+08
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	!
Ag! 110m	!		

Od naštetih radionuklidov v izračunih doz po novi metodologiji žlahtni plini Xe! 131m, Xe-133, Xe-133m, Xe-135 in Kr-85m niso bili upoštevani, ker pri ingestiji niso pomembni.

Za izračun doz so bili uporabljeni:

- podatki o letnih izpustih radionuklidov iz poročil NEK in IJS (tabela 8.1);
- podatki o povprečnem pretoku reke Save v Brežicah, 251 m³/s v letu 2004;
- prirastek h koncentraciji na posameznih mestih zaradi izpustov za posamezni radionuklid je izračunan tako, da celotno letno aktivnost WMT in SGBD razredčimo v letni količini pretočene Save;
- vrednost za koncentracijo suspendirane snovi 2,0 E-2 kg/m³ je dobljena iz podatkov pri meritvah filtrskega ostanka vode.



b) FAKTORJI PORABE

Podrobne podatke o navadah ribičev smo dobili od gospodarja Ribiške družine Brestanica – Krško. Ta 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 so referenčna skupina, 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	200 h	200 h	500 h	500 h
čas, ki ga ob ribiču preživi njegov otrok	100 h	100 h	250 h	250 h
letna poraba rib iz Save – ribič	10 kg	36 kg	45 kg	45 kg
letna poraba rib iz Save – otrok	3 kg	5 kg	10 kg	10 kg
velikost referenčne (kritične) skupine	36 ljudi	-	-	-

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

c) OPIS PRENOSNIH POTI

Od številnih možnih prenosnih poti smo za prebivalce v okolici NEK kot najverjetnejše identificirali tiste, ki so navedeni v tabeli 8.3. 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.

Analiza izpostavitvev s programom PC-CREAM je pokazala, da do najvišjih izpostavitvev pride zaradi **zadrževanja na bregu in uživanja rečnih rib**. Oboje je značilno za ribiče, ki so v našem primeru referenčna (kritična) skupina.

Ocenjevali smo tudi izpostavitvev pri plavanju v reki Savi, vendar se ta prenosna pot zdi malo verjetna, saj je savski breg pod NEK težko dostopen in neprijazen. Mnogo verjetnejše je kopanje v reki Krki. Razčlenitev prejetih doz po prenosnih poteh je podana v preglednici 8.4.



Tabela 8.3: Načini in poti izpostavitve v okolici NEK

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

d) SKLEPI

Rezultati prejetih doz, narejenih na podlagi realnih izpustov NEK in ob predpostavkah največje porabe (Preglednica 8.1), dajo vrednosti **do (0,021 ± 0,004) μSv na leto**.

Pri oceni letnih doz referenčne skupine v Brežicah, narejenih na podlagi izpustov, dobimo nižje doze kot z metodologijo, narejeno na podlagi primerjave meritev v okolju (poglavje "Reka Sava"), kjer je bila prejeta doza zaradi pitja savske vode okrog 0,6 μSv na leto. Slednja metodologija ne da realnih vrednosti vpliva NEK, saj ne loči med vplivi NEK, papirnice Vipap in drugih dejavnikov (globalne kontaminacije zaradi poskusnih jedrskih eksplozij in černobilske nesreče).

Na podlagi izmerjenih izpustov NEK lahko sklepamo, da prejeta doza referenčne skupine v Brežicah zaradi savske prenosne poti ne presega 0,1 μSv na leto.

Preglednica 8.4: EFEKTIVNA LETNA ENAKOVREDNA DOZA POSAMEZNIKA IZ REFERENČNE SKUPINE PREBIVALSTVA V BREŽICAH (μSv) ZA LETO 2004.

Upoštevamo maksimalno izpostavljenega posameznika (ekstremna poraba).

Starostna skupina	Prenosna pot	
	Standardna Brežice (rečni breg in ingestija ribe)	Pitje savske vode Brežice
odrasli (>17 let)	0,021	0,015
mladinci (od 7 do 12 let)	0,007	0,011
otroci (od 1 do 2 let)	0	0,017

e) REFERENCA

[22] Izpostavitve prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NE Krško v reko Savo, IJS-DP-8801 (2003)



PROGRAM B

a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST IN MERITEV

Meritve nadzornega dela programa B so namenjene dodatnemu preverjanju oziroma dopolnjevanju emisijskih meritev na izviri, 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 moštvev;
- 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 in SGBD; 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 (CH_3T) 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;
- meritve na izviri zračnih izpustov, visokoločljivostna spektrometrija gama v partikulatnih filtrih, meritve je opravil IJS.

Rezultati primerjalnih meritev iz prve točke, opravljenih v juniju, avgustu in novembru 2004, so podani v ustreznih tabelah posebnih poročil ROMENEK 1/04 (IJS-DP-8995), ROMENEK 2/04 (IJS-DP-9004) in ROMENEK 3/04 (IJS-DP-9085). Poročilo o organizaciji, pripravljenosti in delu ELME v letu 2004 je v letnem poročilu *Ekološki laboratorij z mobilno enoto – Radiološki del - Poročilo za leto 2004 (IJS-DP-9118)*.

Vse meritve iz druge, tretje in četrte točke so bile v letu 2004 redno izvedene. Rezultati meritev NEK in IJS za zračne izpuste pa v preglednici 4.2a, b. Rezultati meritev NEK tekočinskih izpustov pa so predstavljeni na slikah 9.1 do 9.5. Podrobni rezultati so v zbirnem poročilu *Poročilo o radioaktivnih emisijah iz NE Krško za leto 2004*, ki ga je pripravil NEK.

b) OBRAVNAVA REZULTATOV

Obravnavo 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 2004 izvajal IRB.



c) OCENA VPLIVOV

ZRAČNI IZPUSTI

Meritve emisij na izpuhu NEK (preglednica 4.2a, del A1 in preglednica 4.2b, del 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 oceno prispevka zaradi inhalacije in imerzije k letni efektivni dozi za prebivalstvo v okolici NEK zaradi zračnih emisij NEK. V preglednici 4.2a, del B1, in preglednici 4.2b, del B2, so zbrani prispevki k efektivni dozi od posameznih radionuklidov v zračnih emisijah NEK, izračunani za odraslega človeka v naselju Spodnji Stari Grad.

Iz preglednic 4.2a in 4.2b lahko razberemo, da je skoraj celotna inhalacijska doza posledica zračnih emisij tritija v obliki tritirane vode (HTO). Prispevek tritija je v letu 2004 (0,19 μSv na leto) približno 100 % večji kot v letih 2003 oz. 2002. Prispevki ogljika C-14 in vseh drugih radionuklidov, ki so bili detektirani v hlapih, plinih in partikulatih, so bistveno manjši od tritija, tako da je celotna inhalacijska predvidena efektivna doza zaradi emisij NEK za odraslega človeka v naselju Stari Spodnji Grad 0,19 μSv na leto. Za otroka, starega od enega do dve leti, je celotna inhalacijska predvidena efektivna doza 0,092 μSv na leto.

Pri imerzijski dozi je edino pomemben prispevek argona Ar-41, tako med letom kot tudi ob prepihanju zadrževalnega hrama pred začetkom rednega remonta. NEK je poročal še o izpustih ksenona Xe-131m, ki pa ne prispeva bistveno imerzijski dozi, ki je enaka za vse starostne skupine in je v naselju Spodnji Stari Grad 0,04 μSv na leto.

Skupna efektivna doza za odraslega človeka v Spodnjem Starem Gradu, ki je posledica inhalacije in imerzije, je bila v letu 2004 0,23 μSv na leto, za otroka v starosti od enega do dveh let pa 0,13 μSv na leto. V drugih naseljih v okolici NEK so bile te doze še manjše.

Čeprav so bile imerzijske doze v letu 2004 skoraj za velikostni red večje kot v letu 2003 (0,004 μSv na leto), je skupna efektivna doza nekoliko manjša zaradi zmanjšanih inhalacijskih doz (za odraslo osebo v letu 2003 0,24 μSv na leto in za otroka v starosti od enega do dveh let 0,12 μSv na leto).

Vsi zračni izpusti iz NEK, preračunani na proizvedeno enoto električne energije, so bili v letu 2004 primerljivi s povprečjem EU, razen emisij tritija, ki so to povprečje presegle za 200 %, in emisij beta-gama sevalcev, ki so bistveno nižje in so samo 1,4 % povprečja.



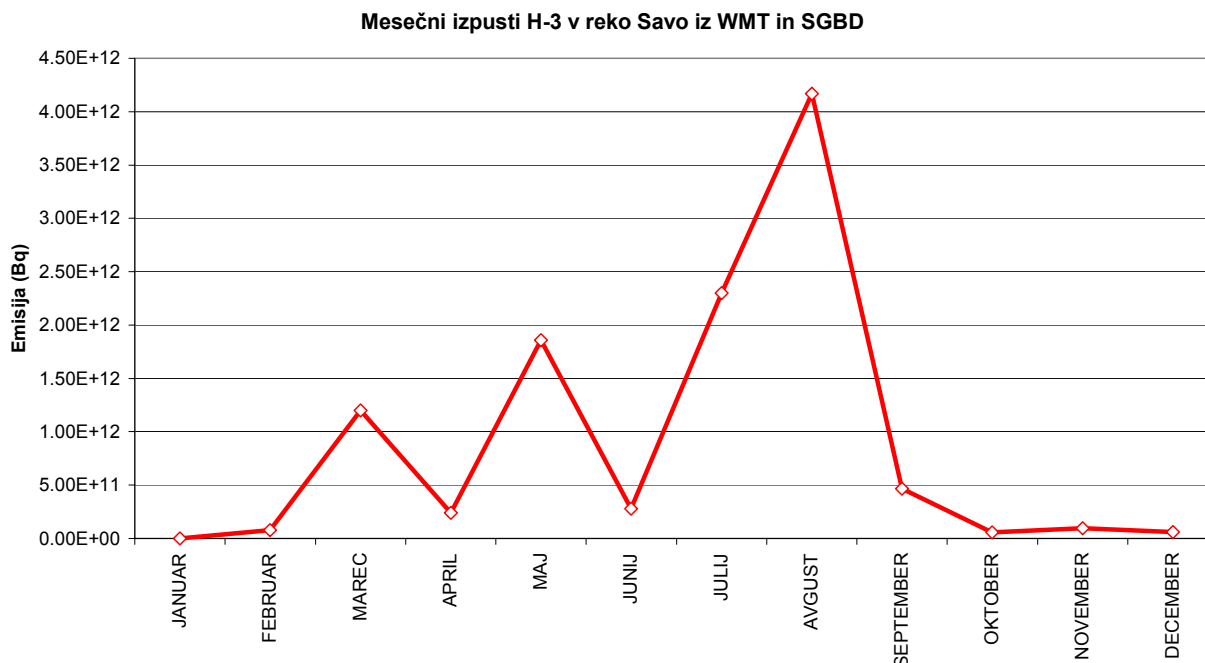
TEKOČINSKI IZPUSTI

V reko Savo je bilo izpuščenih 1426 m³ vode iz WMT in 19032 m³ iz SGBD. Primerjava z letom 2003 (1850 m³ iz WMT in 4700 m³ iz SGBD) kaže zmanjšanje volumna izpustov iz tankov (WMT) in štirikratno povečanje izpuščene vode iz kaluž uparjalnikov (SGBD).

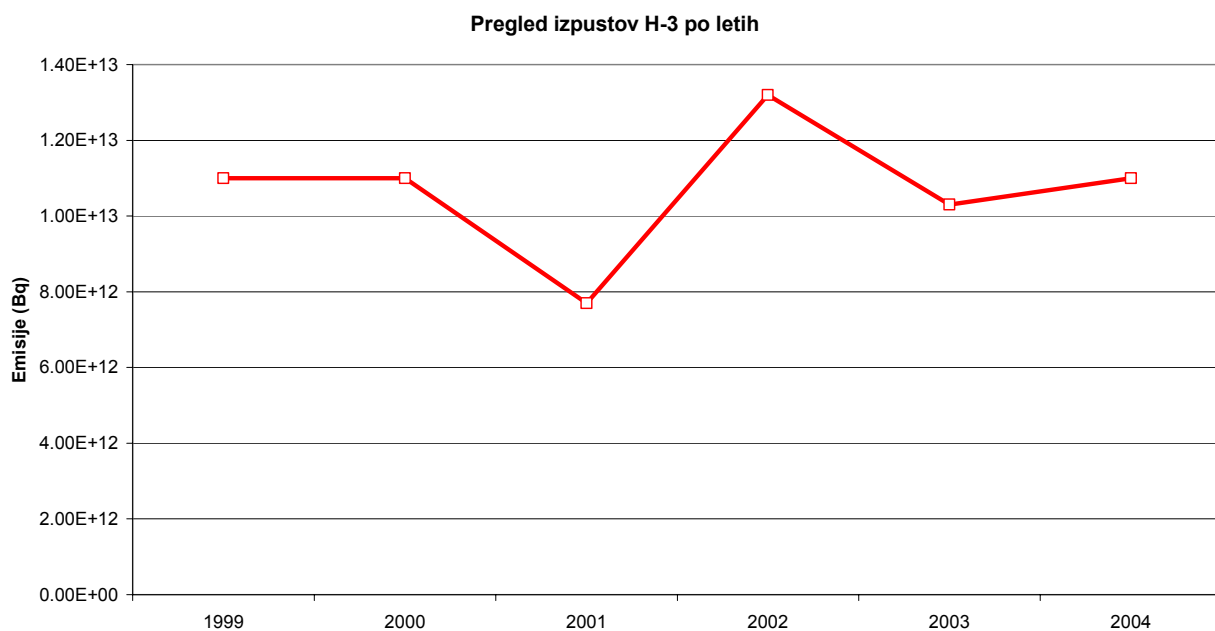
Meritve nerazredčenih efluentov v WMT-zadrževalnikih in meritve kaluž uparjalnikov, ki sta jih opravila NEK in IRB, so v letu 2004 pokazale višje emisije kot v predhodnem letu. Večji izpusti so bili opravljeni v marcu, maju in predvsem v avgustu (slika 9.1.). Tekoči izpusti H-3 v letu 2004 so bili na podlagi meritev NEK 1,1 E+13 Bq na leto, kar lahko primerjamo s preteklimi leti: 1,03 E+13 Bq (2003), 1,3 E+13 Bq (2002) (glej sliko 9.2). Normaliziran izpust H-3 glede na količino proizvedene energije je tako bil **2,1 GBq/GW h** (letna proizvodnja 5,212 TW h).

Primerjava tekočih izpustov H-3 glede na proizvedeno električno energijo kaže primerljive vrednosti kot v državah EU z PWR-elektromi (okrog 2 GBq/GW h za PWR-reaktorje). Letna omejitev tekočih izpustov H-3 v NEK je 2,0 E+13 Bq na leto. Omejitev za druge radionuklide je 100-krat nižja.

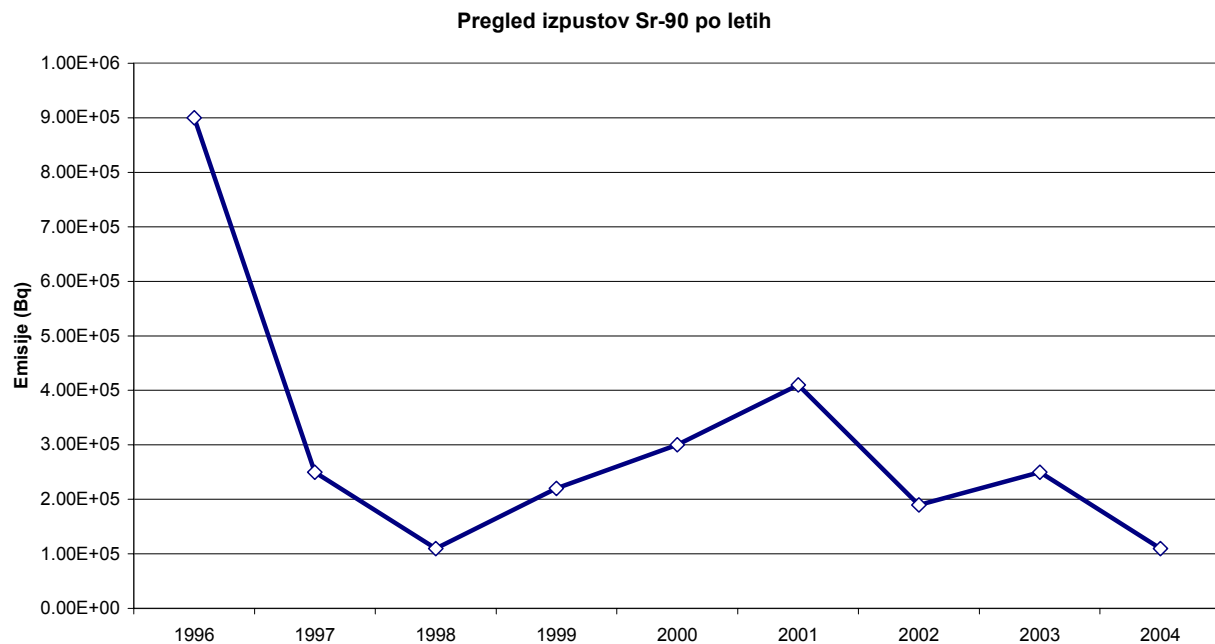
Analize Sr-90 v alikvotnih tekočih vzorcih so dale oceno velikosti emisij 1,1 E+5 Bq na leto (meritve IRB), kar lahko primerjamo z naslednjimi vrednostmi v preteklih letih (glej sliko 9.3): 2,5 E+5 Bq na leto (2003), 1,9 E+5 Bq na leto (2002), 4,1 E+5 Bq na leto (2001), 3,0 E+5 Bq na leto (2000); 2,2 E+5 Bq na leto (1999); 1,1 E+5 Bq na leto (1998); 2,5 E+5 Bq na leto (1997); 9,0 E+5 Bq na leto (1996); 2,4 E+5 Bq na leto (1995); 5,7 E+5 Bq na leto (1994); 1,1 E+5 Bq na leto (1993) in 4,3 E+4 Bq na leto (1992, 1991).



Slika 9.1: Mesečni izpusti H-3 v reko Savo. Največ izpuščene aktivnosti je bilo opravljeno v mesecu avgustu



Slika 9.2: Primerjava letnih izpustov H-3 v reko Savo

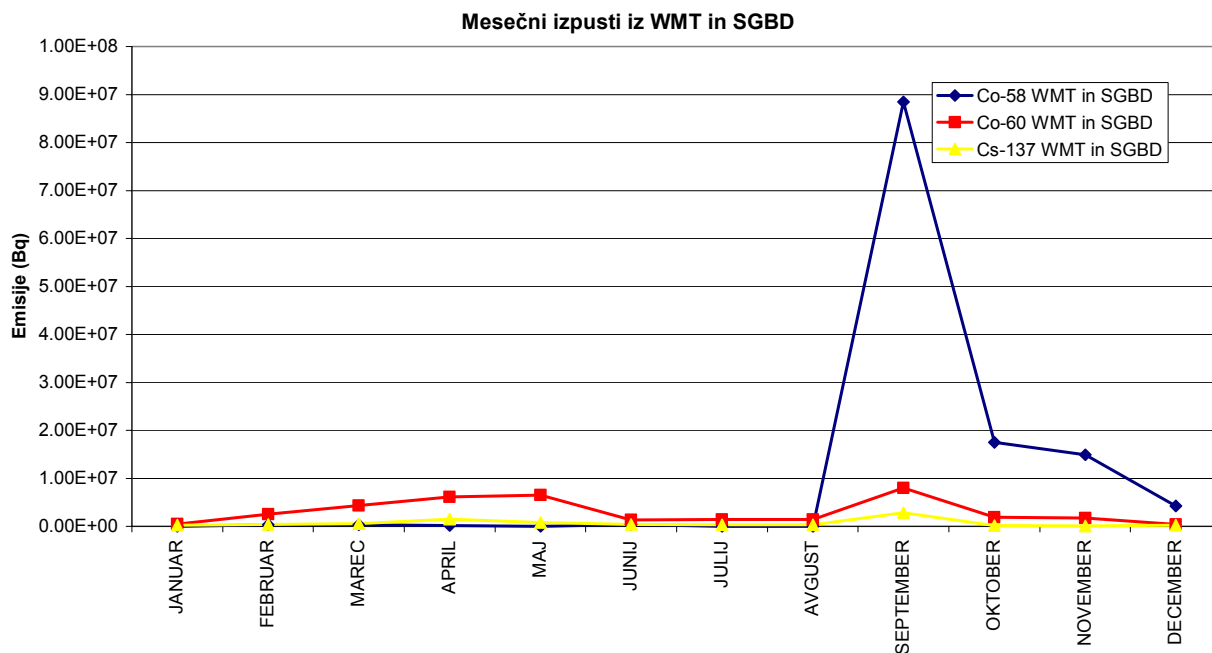


Slika 9.3: Primerjava letnih izpustov Sr-90 v reko Savo

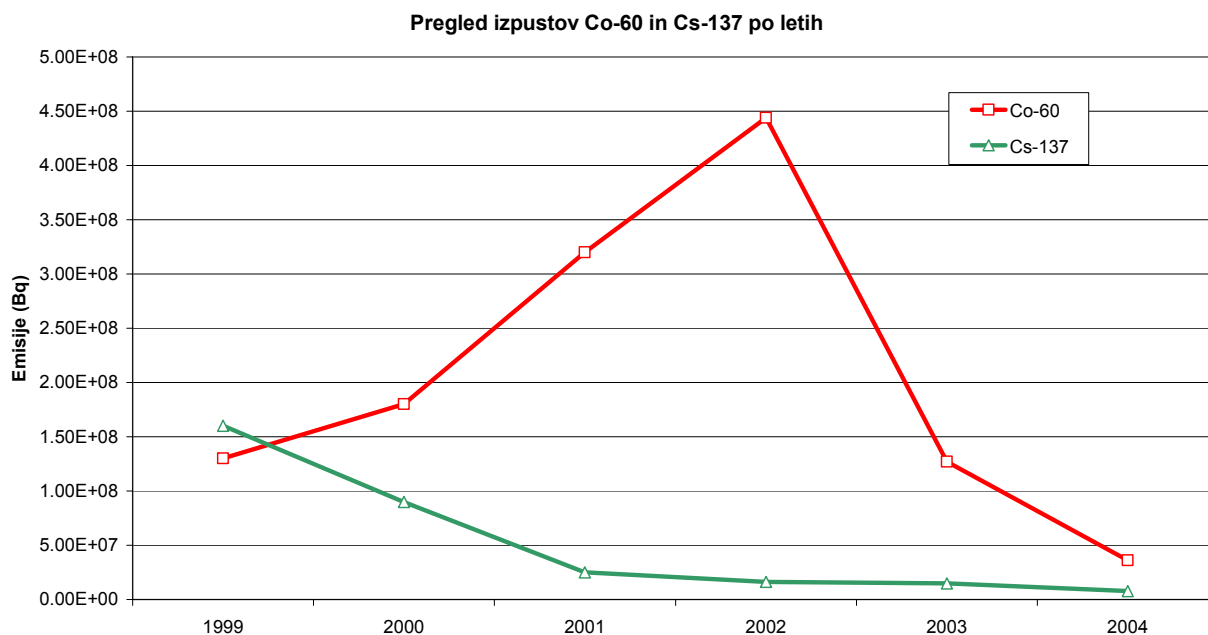


Mesečni izpusti kobalta in cezija so podani na sliki 9.4. Skupna aktivnost izpuščenega Co-60 v reko Savo je $3,6 \text{ E}+7 \text{ Bq}$ na leto (v letu 2003: $1,27 \text{ E}+8 \text{ Bq}$ na leto - meritve NEK) in aktivnost izpuščenega Cs-137 v Savo $7,7 \text{ E}+6 \text{ Bq}$ na leto (v letu 2003: $1,49 \text{ E}+7 \text{ Bq}$ na leto – meritve NEK). Primerjava letnih izpustov Co-60 in Cs-137 z izpusti v preteklih letih je podana na sliki 9.5.

Poleg H-3 je bilo največ izpuščenega Xe-133 ($2,5 \text{ E}+8 \text{ Bq}$ na leto) in Co-58 ($1,3 \text{ E}+8 \text{ Bq}$ na leto). Največji izpusti so bili opravljeni v mesecih avgustu in septembru, ko je bil vodostaj Save najnižji.



Slika 9.4: Mesečni izpusti Co-58, Co-60 in Cs-137 v reko Savo



Slika 9.5: Primerjava letnih izpustov Co-60 in Cs-137 v reko Savo





MEDLABORATORIJSKE PRIMERJALNE MERITVE POOBLAŠČENIH IZVAJALCEV NADZORA V LETU 2004

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

MednarodnePrimerjave2004.pdf in **MedsebojnePrimerjave2004.pdf**.

a) MEDNARODNE PRIMERJALNE MERITVE IN PREVERJANJA USPOSOBLJENOSTI LABORATORIJEV

V tabeli 10.1. je prikazano sumarno število medlaboratorijskih primerjav glede na vrsto analiziranih vzorcev, pri katerih je sodelovala posamezna pogodbeno organizacija. Odebeljene številke veljajo za udeležbo v mednarodnih primerjalnih meritvah, ležeče pa za sodelovanje v domačih medlaboratorijskih primerjalnih meritvah. Število sodelovanj laboratorijev v mednarodnih in domačih medlaboratorijskih primerjavah v letu 2004 je primerljivo s tistim iz leta 2003, pri čemer moramo upoštevati, da medlaboratorijske primerjave vodnih raztopin z dodanimi izotopi navadno zajemajo set vzorcev. Vzorce za domače medlaboratorijske primerjave je v letu 2004 pripravil IRB. Pripravljeni so bili trije vzorci vode in dva vzorca sedimenta ter vzorec lebdečega pepela. V letu 2004 je bil torej dodatno analiziran lebdeči pepel, izpuščeno pa je bilo mleko v prahu. Pokritje vrste vzorcev z ustreznimi medlaboratorijskimi primerjavami v letu 2004 je zadovoljivo. Po mednarodnih normah za preverjanje usposobljenosti laboratorijev je priporočljivo, da sta letno opravljeni vsaj dve primerjalni meritvi na posameznem tipu vzorcev.

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	2			2
VEGETACIJA	2		2	2
ZEMLJA	2		2	2
SEDIMENT	2	2	2	2
VODA	0 / 3	3	0 / 3	
URIN	4			
LEBDEČI PEPEL	1	1	1	1
VODNE RAZTOPINE Z DODANIMI IZOTOPI	7		8	
Σ	17 / 6	6	12 / 6	6 / 3



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 radioizotopov, 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 2004. 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 obsegajo kontrolne meritve. 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	7		4	4
2	9		7	2
3	1		1	

EML

Med marcem in majem 2004 je Environmental Measurements Laboratory (EML) iz ZDA organiziral medlaboratorijske primerjave določanja radionuklidov v vzorcih zračnega filtra, zemlje, vegetacije in vode – Quality Assessment Program 60 [23]. 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 filtrih so bile določene vrednosti radionuklidov Am-241, Co-60, Cs-137, Cs-134 in U-238. Po merilih organizatorja so bili vsi podani rezultati sprejemljivi, razen analiza U-238 od IJS, kater rezultat je sprejet z opozorilom. Ponovila se je situacija iz prejšnjih let, da je bil vzorec filtra že na pogled nehomogen. Zaradi tega so na IJS analizirali vzorec v dveh različnih merilnih geometrijah, in sicer v geometriji normalnega filtra Φ 47 mm \times 0,5 mm in stisnjen filter z merilno geometrijo Φ 8 mm \times 4 mm. Ujemanje rezultatov merjenj vzorcev vegetacije za Am-241, Co-60, Cs-137 in K-40, podanih od IJS, ZVD in IRM, je bilo dobro in vsi rezultati so po merilih organizatorja sprejemljivi. Pozornost pa zahteva rezultat določitve Sr-90, opravljene na ZVD. Rezultat je skoraj za 50 % previsok. Organizator je ta rezultat ZVD označil kot nesprejemljiv. ZVD mora sam raziskati razloge za previsok rezultat (korekcija kemijskega izkoristka ali podobno!) še posebej, ker je bila v letu 2003 situacija obrnjena in je bil rezultat ZVD za skoraj enako vrednost prenizek. Pri rezultatih analize vode, ki sta jih podala IJS in IRB, je ujemanje za radionuklide Am-241, Co-60, Cs-134 in Cs-137, H-3 in Sr-90 zelo dobro in za večino radionuklidov v mejah nekaj odstotkov. V primerjavi z letom 2003 so bili rezultati IRB za H-3 izboljšani, in edino rezultat za Sr-90 je bil sprejet z opozorilom. Nesprejemljiv pa je rezultat IJS analize U-238, ki je za 25 % prenizek. Poudariti je treba, da je bil tovrsten rezultat v letu 2003 za 34 % previsok. Razloge za ta odmike mora IJS analizirati in odstraniti sam. Rezultati analize zemlje, podani od 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 nje. Zelo dobro je tudi ujemanje rezultatov IRB s predpisanimi vrednostmi. Samo za Ac-228 in Bi-214 je organizator podal opozorilo, vsi drugi rezultati so bili sprejeti in v okviru nekaj odstotkov. IRB je s tem močno popravil kakovost meritev v primerjavi z letom 2003. Dvomljivi pa so rezultati ZVD. Kar za štiri od desetih določenih aktivnosti radionuklidov so rezultati nesprejemljivi in za enega sprejeti z opozorilom. Tak rezultat lahko kaže v smeri sistematične napake, ki jo mora ZVD sam raziskati.

NPL

Oktobra 2004 je IJS prejel končne rezultate primerjalnih meritev, ki jih je v letu 2003 organiziral National Physics Laboratory (NPL) iz Velike Britanije [24]. Medlaboratorijske primerjalne meritve so zajemale analizo vodnih raztopin z dodanimi različnimi kombinacijami in stopnjami aktivnosti sevalcev alfa in beta oziroma sevalcev beta in gama. Kot že prejšnje leto je organizator za vrednotenje rezultatov uporabil tako imenovani "u-test", kjer se pri vrednotenju upošteva tudi merilni negotovosti predpisane vrednosti ter vrednosti laboratorija. 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 visokih aktivnosti, so rezultati izredno dobri. Kot je bilo poudarjeno že v poročilih za leto 2002 in 2003, so tovrstni primerjalni vzorci pripravljene s kontroliranimi vsebnostmi radionuklidov in zato vrednosti organizatorju popolnoma (točno) poznane. Dobro ujemanje rezultatov v teh primerih tako daje zelo verodostojno informacijo o pravilnosti rezultatov kakor tudi o ustreznosti določitve pripadajoče merilne negotovosti.

ERA

Konec leta 2004 so se IJS, IRB in ZVD udeležili mednarodnih primerjalnih meritev, ki jih je organizirala ameriška organizacija ERA (Environmental Resource Associates [25]). Na žalost so bili pri teh medlaboratorijskih primerjavah roki za oddajo rezultatov precej kratki in so delno vplivali na kvaliteto rezultatov. ZVD je sodeloval pri meritvah radionuklidov v vzorcih zemlje, vegetacije in zračnega filtra. Rezultati za vse izmerjene radionuklide, razen Cs-134 v zračnem filtru, so bili sprejemljivi. To je posebej poudarjeno zaradi primerjave z rezultati ZVD analize zemlje EML QAP 0403, ki so komentirani v podpoglavju "EML". Sistematične napake torej verjetno ni, ali pa je bila v vmesnem času odpravljena. V primeru IRB je dvomljivih več rezultatov, kar zahteva od IRB, da sam poišče razloge za opažena odstopanja.

Analytics

V letu 2004 sta IJS in IRB sodelovala tudi pri primerjalnih meritvah, ki jih je organiziral Analytics iz ZDA v okviru "Radiochemical Cross-Check Program" [26, 27]. Poudariti je treba, da so vrednosti Analyticsovih vzorcev sledljive do vrednosti nacionalnih standardov NIST (ZDA) ali NPL (Velika Britanija). IJS je sodeloval pri meritvi tekočinskega vzorca Fe-55, IRB pa pri šestih meritvah, in sicer pri meritvah Fe-55, tekočinskega vzorca Sr-89/Sr-90, enega vodnega vzorca H-3 in še pri treh neodvisnih meritvah sevalcev gama. Pri vseh rezultatih opažamo zelo dobro ujemanje. Podobno dobro ujemanje rezultatov s predpisanimi vrednostmi je bilo ugotovljeno tudi v prejšnjem letu in je pokazatelj solidne konsistentnosti rezultatov meritev.

Procorad

Kot v prejšnjih letih, so tudi v letu 2004 trije odseki IJS (F-2, K-3 in O-2) sodelovali pri medlaboratorijskih primerjalnih meritvah stroncija-90 in sevalcev gama v urinu [28]. Organizator, Procorad iz Francije, je preskusne vzorce pripravil iz referenčnih materialov proizvajalca Amersham. Podobno kot v letu 2003 so rezultati večinoma skladni in se s predpisanimi vrednostmi organizatorja ujemajo v okviru nekaj odstotkov, razen za Zn-65, pri katerem je opažen odmik 15 %.



b) MEDLABORATORIJSKI PRESKUSI POOBLAŠČENIH IZVAJALCEV

V letu 2004 vzorce za medlaboratorijske teste pripravil IRB. Pripravljen je bil vzorec lebdečega pepela (Plomin), dva vzorca sedimenta (eden iz reke Save in eden iz Donave) ter trije vzorci vode reke Donave.

V primerjavi z letom 2003, ko je bilo za domače medlaboratorijske primerjave uporabljeno mleko v prahu in število radionuklidov zaradi specifičnih lastnosti vzorca precej omejeno (K-40, Cs-137 in Sr-90), je bilo tokrat število določenih radionuklidov večje. Dolčeni so bili U-238, Ra-226, Th-228, U-235, Pb-210, Tl-208, K-40. Primerjava rezultatov je znova pokazala, da so odmiki med posameznimi sodelujočimi laboratoriji znatni, nekje tudi za več kot 2-krat. Vendar pa je ta odmik težko komentirati, ker gre za enkratno primerjavo, ki ne dopušča nobene statistične analize.

V sedimentih je bila aktivnost radionuklidov približno za polovico nižja. Rezultati so podani za izotope U-238, Ra-226, Pb-210, Th-228, K-40, Cs-137 in Sr-90, Tl-208 in U-235. Znova so posebej dvomljivi rezultati analize Sr-90. Normalizirani na vrednost IJS kažejo rezultati IRB in razmerja tudi do 2,5-krat več. Tudi pri ZVD je opaziti določene odmike, vendar manjše kot leto poprej.

Pri analizah H-3 v vzorcih reke Donave je potrebno rezultate posebej kritično vrednotiti. Možen je namreč vpliv priprave vzorcev na rezultate. Vzorci so bili po vzorčenju močno nakisani. Odmiki rezultatov analize H-3 med vsemi sodelujočimi laboratoriji so veliki (do 40 %) in zahtevajo dodatno usklajevanje analiznih postopkov in priprave vzorcev.

c) SKLEPI

Tudi v letu 2004 so vsi pogodbeni laboratoriji sodelovali pri mednarodnih in/ali domačih medlaboratorijskih primerjalnih meritvah. S temi meritvami je bil obsežen celoten spekter vzorcev in radionuklidov, ki jih laboratoriji določajo v sklopu programa nadzora NEK. Redno sodelovanje preskusnih 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 2003 kaže ponovno visoko število sprejemljivih rezultatov.

Bolj dvomljiva pa je primerljivost rezultatov domačih medlaboratorijskih primerjav. Pri vseh tipih vzorcev opazamo poleg drugih znatna razhajanja rezultatov določitve Sr-90, K-40 in Cs-137. Ti izotopi so posebej poudarjeni, ker so, kot je bilo predhodno opisano, zajeti v mednarodnih primerjalnih meritvah in kjer najdemo boljšo usklajenost laboratorijev. Za tako majhno merilno okolje, kot so pogodbeni laboratoriji pri nadzoru okolja NEK, so opažena neskladja prevelika. Enako kot prejšnje leto je zato smiselno predlagati, da bi se število vzorcev INTNEK povečalo in da se skuša ugotoviti razloge in zmanjšati razlike pri rezultatih analiz. Poseben poudarek pa je treba nameniti tudi pripravi vzorcev za domače medlaboratorijske primerjave. Tako ukrepanje bi vsekakor pripomoglo h konsolidaciji rezultatov analiz (njihovi boljši primerljivosti), ustrežnejši oceni obremenitve okolja, k splošnemu ugledu sodelujočih institucij in samega programa nadzora okolja NEK pa tudi varnosti laboratorijev samih.

Kljub vsemu zgoraj navedenemu pa je v sklepu potrebno poudariti, da se razlike med rezultati laboratorijev v splošnem zmanjšujejo in da se primerljivost rezultatov izboljšuje.



d) REFERENCE

- [23] QAP 0403 Results by Laboratory, Department of Energy, Office of Environmental Management, Quality Assessment Program 60, New York, June 2004, poročilo po laboratorijih je dostopno na internetu na spletni strani <http://www.eml.doe.gov/qap/>
- [24] NPL REPORT, DQL-RN 002, Environmental Radioactivity Comparison Exercise 2003 (Overseas report), A. Arinc, D. H. Woods, S. M. Jerome, S. M. Collins, A. K. Pearce, C. R. D. Gilligan, K. V. Chari, M. Baker, N. E. Patrie, A. J. Stroak, H. C. Phillips and A. V. Harms, NPL, UK, October 2004
- [25] Study MRAD-001, Final Report, Proficiency Test Studies, ERA, Environmental Resource Associates, Report issued 02/08/05, Arvada, ZDA, February 2005
- [26] Results of Radiochemistry Cross Check Program, Jožef Stefan Institute, First Quarter 2004, Analytics, U.S.A., poročilo Analytica z dne 4. maj 2004, primerjava rezultatov za Fe-55
- [27] Rezultate primerjalnih meritev Analytics, ki jih je izvedel IRB, je posredoval NEK, februar 2005
- [28] 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, 2004





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 2003, Ljubljana, april 2004, interna oznaka 6/2004, ISSN 1318-2161
- [2] Basic Safety Standards for Radiation Protection, Safety Series No. 9, IAEA, Vienna 1982
- [3] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, BSS 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
- [4] EU Council Directive 96/29/EUROATOM of May 13, 1996; Official Journal of the European Communities, OJ No. 159, 29. 6. 1996, p.1
- [5] Keith F. Eckerman and Jeffrey C. Ryman, *External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil*, Federal Guidance Report No. 12, EPA-402-R-93-081, Washington, 1993
- [6] International Atomic Energy Agency, Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Reports Series No. 19, Vienna, 2001
- [7] Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment, Radiation Protection 72, European Commission, Report EUR 15760 EN, 1995
- [8] Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Union, 1995-1999, Radiation Protection 127, European Commission, Brussels, 2001
- [9] UNITED NATIONS, Sources and effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation, (UNSCEAR), UN, New York, 2000
- [10] C.E. Tarrant, Mathematical modelling methods for assessing radiation doses received by populations in the vicinity of nuclear site from atmospheric discharges, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 35 No. 24, pp. 211-214, Oxford, 1991
- [11] IAEA Safety Reports Series No. 19, Generic Models For Use In Assessing The Impact Of Discharges Of Radioactive Substances To The Environment, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2001
- [12] HSK – Annual Report 1995 Tables 1-5
(<http://www.hsk.psi.ch/english/files/pdf/annual-report1995.pdf>)
- [13] Matjaž Korun, osebno sporočilo, 2003
- [14] PC program: Radiological Assessment System for Consequence Analysis RASCAL 3.0.3, NRC, June 2002
- [15] Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment, Radiation Protection 72, European Commission, Report EUR 15760 EN, 1995
- [16] ICRU Report 53, Gamma-ray Spectrometry in Environment, ICRU, Bethesda, Maryland, 1994
- [17] 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
- [18] Branko Vodenik, Matjaž Stepišnik, Denis Glavič-Cindro, Romenek 3/04 - Poročilo o meritvah iz Programa B in C, IJS-DP-9058, Ljubljana, november 2004
- [19] K. F. Eckerman, J. C. Ryman, External exposure to radionuclides in air, water and soil, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, USA, 1993
- [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] QAP 0403 Results by Laboratory, Department of Energy, Office of Environmental Management, Quality Assessment Program 60, New York, June 2004,
poročilo po laboratorijih je dostopno na internetu na spletni strani <http://www.eml.doe.gov/qap/>
- [24] NPL REPORT, DQL-RN 002, Environmental Radioactivity Comparison Exercise 2003 (Overseas report), A. Arinc, D. H. Woods, S. M. Jerome, S. M. Collins, A. K. Pearce, C. R. D. Gilligan, K. V. Chari, M. Baker, N. E. Patrie, A. J. Stroak, H. C. Phillips and A. V. Harms, NPL, UK, October 2004
- [25] Study MRAD-001, Final Report, Proficiency Test Studies, ERA, Environmental Resource Associates, Report issued 02/08/05, Arvada, ZDA, February 2005
- [26] Results of Radiochemistry Cross Check Program, Jožef Stefan Institute, First Quarter 2004, Analytics, U.S.A., poročilo Analyticsa z dne 4. maj 2004, primerjava rezultatov za Fe-55
- [27] Rezultate primerjalnih meritev Analytics, ki jih je izvedel IRB, je posredoval NEK, februar 2005
- [28] 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, 2004

MERSKI REZULTATI

PROGRAM REDNEGA NADZORA RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NE KRŠKO ZA LETO 2004

- (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 se lahko uporabljajo kot referenčni v primeru 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 2004

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 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 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
	3. Jesenice na Dolenjskem	voda+susp.snov filterski ostanek #1		1 x na 31 dni 1 x na 92 dni	12 x 1 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 - 7,8 km, sotočno od NEK, levi breg, 7E	voda + suspendirana snov sedimenti, ribe	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				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 USEDI

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 usedi	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. USEDI - 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+ogljje+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	filtrski 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	filtrski 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 cm 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 2. Drnovo 3. Skopice	mleko	enkratni vzorec vsakih 31 dni	1 x na 31 dni	12 x 3
51. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza		mleko	enkratni vzorec vsakih 31 dni		12 x 3
51. I I-131 Specifična analiza		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 (1 L)			do 3
103.H H-3 Specifična analiza, scintilacijski spektrometer	nadzorna mesta po izbiri	vzorec tekočine (1 L)			do 3
103.P Pu in transaktinidi Specifična analiza, radiokemična izolacija, elektrolitski vzorec, spektrometrija alfa	nadzorna mesta po izbiri	vzorec tekočine (3 L)			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 2004

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

1. Mednarodne interkomparacijske meritve vzorcev, ki jih organizira IAEA (Mednarodna agencija za atomsko energijo) in druge priznane tuje organizacije (EML – Environmental Measurements Laboratory USA, Analytics, USA, 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 naslednjih 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 mora biti navedeno, kateri laboratoriji so uspešno prestali preskuse in zadoščajo postavljenim merilom. 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 obdobjih 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 zunanjskega 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 prehranske 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 (zunaj rednega programa):
 - VL spektrometrija gama (v laboratoriju) suhega useda, polletno; na 2 lokacijah (plošči št. 9 in 10, ob ograji NEK)
- 2.2. Meritve zunanjskega sevanja:
 - referenčne meritve doznih hitrosti v okolju s prenosnimi merilniki

Poleg teh meritev opravi ELME RS tudi menjavo 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: 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 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 Bq/m^3 prefiltrirane vode, ki je dala ta filterski ostanek

1.3. **H-3** iz vode

- aktivnost se navaja v enotah Bq/m^3 vode

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

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

3. **HRANILA, ŽIVILA, KRMILA**

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

4. **BIOLOŠKI VZORCI**

- aktivnost se navaja v Bq/kg za sveže ribe, navede se tudi procent suhe snovi v sveži ribi
- za mahove, ribjo hrano in drugo se podaja aktivnost v Bq/kg suhe snovi z navedbo deleža suhe snovi v trdni snovi (%), kadar je to smiselno.

5. **ZRAK**

- aktivnost se podaja za aerosole in jod v Bq/m^3 oz. v 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 Bq/kg "osušene zemlje" in v 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-22	2,602 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 se 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. Navadno 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 razmere v okolju, v katerem delujejo, ustrezajo merilom, ki so navedeni v [29]. Meritve so bile opravljene po postopku, opisanem v [30]. 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 [31] in postopkom [32]. 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 razmerah je 5%.



Institut "Jožef Stefan", 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 keV do 3000 keV v cilindričnih vzorcih z največjim premerom 12 cm in največjo debelino 6 cm [33]. 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 $0,005 \text{ s}^{-1}$ in $50\,000 \text{ s}^{-1}$.



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:

[29] Pravilnik o metroloških pogojih za polprevodniške števec – spektrometre za gama sevanje, Uradni list SFRJ 22 (1991) 418
 [30] *Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju (LMR-DN-10)*, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana
 [31] Guide on Expression of Uncertainty in Measurement, ISO 1995, Geneva
 [32] *Ocena merilne negotovosti (LMR-RP-05)*, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana
 [33] *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	GOMOL.	MESO	SADJE	SOLATA	MLEKO
enota	m ³	kg	kg	m ³	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Velikost vzorca (*)	10.000	0.5	0,1	0,05	0,5	2	1	2	4	4
Be-7	6,0 E-4	2,0 E+0	2,0 E+0	2,0 E+0	2,0 E-1	2,0 E-1	4,0 E-1	2,0 E-1	2,0 E-1	4,0 E-2
Na-22	1,0 E-7	2,0 E-1	2,0 E-1	2,0 E-1	5,0 E-2	5,0 E-2	5,0 E-2	2,0 E-2	2,0 E-2	1,0 E-2
Cr-51	1,0 E-5	2,0 E+0	2,0 E-0	1,0 E+0	3,0 E-1	2,0 E-1	3,0 E-1	2,0 E-1	8,0 E-2	3,0 E-2
Mn-54	1,0 E-7	2,0 E-1	2,0 E-1	1,0 E-1	3,0 E-2	3,0 E-2	5,0 E-2	2,0 E-2	1,0 E-2	6,0 E-3
Co-57	2,0 E-7	2,0 E-1	2,0 E-1	3,0 E-2	1,0 E-2	2,0 E-2	4,0 E-2	6,0 E-2	1,0 E-2	2,0 E-3
Co-58	2,0 E-7	2,0 E-1	2,0 E-1	2,0 E-2	3,0 E-2	3,0 E-2	5,0 E-2	2,0 E-2	1,0 E-2	6,0 E-3
Fe-59	2,0 E-7	5,0 E-1	5,0 E-1	3,0 E-1	1,0 E-1	1,0 E-1	1,0 E-1	5,0 E-2	2,0 E-2	2,0 E-2
Co-60	1,0 E-6	2,0 E-1	2,0 E-1	2,0 E-1	5,0 E-2	3,0 E-2	4,0 E-2	2,0 E-2	8,0 E-3	8,0 E-3
Zn-65	2,0 E-6	5,0 E-1	5,0 E-1	3,0 E-1	1,0 E-1	6,0 E-2	1,0 E-1	4,0 E-2	2,0 E-2	2,0 E-2
Zr-95	2,0 E-6	5,0 E-2	5,0 E-2	2,0 E-1	5,0 E-2	5,0 E-2	5,0 E-2	3,0 E-2	2,0 E-2	1,0 E-2
Nb-95	1,0 E-6	3,0 E-1	3,0 E-1	2,0 E-1	5,0 E-2	3,0 E-2	5,0 E-2	2,1 E-2	2,0 E-2	6,0 E-3
Ru-103	1,0 E-6	3,0 E-1	3,0 E-1	2,0 E-1	3,0 E-2	3,0 E-2	4,0 E-2	2,0 E-2	2,0 E-2	6,0 E-3
Ru-106	1,0 E-6	2,0 E+0	2,0 E-0	1,0 E+0	2,0 E-1	2,0 E-1	3,0 E-1	1,0 E-1	1,0 E-1	5,0 E-2
Sb-124	2,0 E-6	5,0 E-1	5,0 E-1	5,0 E-1	5,0 E-2	3,5 E-2	1,0 E-1	3,0 E-2	2,0 E-2	8,0 E-3
Sb-125	1,0 E-5	1,0 E-0	1,0 E+0	2,0 E-1	5,0 E-2	3,0 E-1	1,0 E-1	3,0 E-2	3,0 E-2	2,0 E-2
I-131	4,0 E-5	1,0 E-0	1,0 E+2	2,0 E+0	2,0 E-2	5,0 E-2	5,0 E-1	3,0 E-2	3,0 E-2	1,0 E-2
Cs134	1,0 E-6	2,0 E-1	2,0 E-1	1,0 E-1	2,0 E-2	2,0 E-2	3,0 E-2	2,0 E-2	1,0 E-2	5,0 E-3
Cs-137	6,0 E-5	2,0 E-1	2,0 E-1	1,0 E-1	2,0 E-2	2,0 E-2	3,0 E-2	3,0 E-2	1,0 E-2	5,0 E-3
Ba-140	5,4 E-5	2,0 E+0	2,0 E+0	2,0 E+0	3,0 E-1	2,0 E-1	2,0 E-1	1,0 E-1	1,0 E-1	3,0 E-2
Pb-210				1,0 E+1	2,0 E-1	6,0 E-1	6,0 E-1	6,0 E-1	0,5 E-1	5,0 E-2
Ra-226				2,0 E+0	5,0 E-1	5,0 E-1	2,0 E-1	2,0 E-1	1,0 E-1	2,0 E-2
Ra-228				1,0 E+0	1,0 E-1	1,0 E-1	2,0 E-1	1,0 E-1	4,0 E-2	3,0 E-2
Th-228				1,0 E+0	1,0 E-1	1,0 E-1	2,0 E-1	4,0 E-1	2,0 E-2	2,0 E-2
U-238				3,0 E+0	3,0 E-1	5,0 E-1	1,0 E+0	2,0 E-0	1,0 E-0	1,0 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 pri volumnu 1000 m³.

Komentar:

Tabelirane spodnje detekcijske meje veljajo:

- za nekontaminirani detektor, zaščiten z 10 cm svinčeno zaščito (s Cd in Cu notranjo oblogo) ob detekcijskem merilu n = 3 standardne deviacije;
- za vzorec iz navadnega nekontaminiranega materiala. Velike koncentracije posameznih radionuklidov dvignejo (poslabšajo) detekcijsko mejo za radionuklide, katerih karakteristične črte ležijo v območju comptonsega 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 drugih 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:

- [34] Radiokemična analiza in merjenje stroncija Sr-90/Sr-89 v vzorcih iz okolja (ELME-R-P-27), Institut "Jožef Stefan", Ljubljana
- [35] 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

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

pri čemer je m količina analiziranega vzorca v kilogramih oz. za tekočine v kubičnih metrih. 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 izpušnih in v vodnih vzorcih po postopkih, ki so natančno opisani v [36] in [37]. Vse vzorce najprej destiliramo. V vzorcih vode tritij elektrolitsko obogatimo po proceduri IAEA [36-41]. Tako pripravljenim vzorcem dodamo scintilacijski koktajl ULTIMA GOLD LLT. Aktivnost mešanice merimo z instrumentom Tri Carb 3170 TR/SL, Super Low Level Liquid Scintillation Analyzer (Canberra Packard). Števec je umerjen s certificiranim standardom proizvajalca Perkin Elmer.

Reference:

- [36] Priprava vzorcev in merjenje aktivnosti tritija (^3H) (*RK-DN-01*), Institut "Jožef Stefan", Ljubljana
- [37] Izračun vsebnosti (aktivnosti) tritija iz merskih podatkov (*RK-DN-03*), Institut "Jožef Stefan", Ljubljana



- [38] 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 (1999) 2, 257–263
- [39] T. Florkowski, Tritium electrolytic enrichment using metal cells, Low level tritium measurement, Proc. Consultants Meeting, Vienna 1979, IAEA TECDOC-246, 1981, p. 133
- [40] J. F. Cameron, B. R. Payne, Proc. 6th Intern. Conf. On Radiocarbon and Tritium Dating, Washington, 1965, US AEC Conf.-650652, 1965
- [41] 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 [42]. Ogljik C-14 izločimo iz vzorca lužne raztopine CO_2 . Uprašeni oborini BaCO_3 dodamo reagent Cab-osil M-5, destilirano 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 proizvajalca Perkin Elmer.

Reference:

- [42] 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 (C) za termoluminiscenčno dozimetrijo, pečica za brisanje tablet, vsebnik 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 $\text{CaF}_2 : \text{Mn}$ z odličnimi odzivnimi lastnostmi. Tako lahko merimo zelo nizke doze, pod $20 \mu\text{Sv}$ na mesec. Meritve zunanje doze so bile opravljene po postopku, opisanem v *TLD-DN-02*. V letu 2002 smo posodobili in izboljšali merilni sistem za termoluminiscenčno (TL) dozimetrijo, s katerim izvajamo dozimetrične meritve. Karakteristike merilnega sistema MR 200 (C) so pregledno zbrane v diplomskem delu D. Jezerška: a) ponovljivost sistema je 5 %, b) ponovljivost tabletk je 2%, c) detekcijski prag je $5,7 \mu\text{Sv}$, d) bledenje je manjše kot 10 %, e) linearnost sistema je $\pm 15 \%$, f) spomin je 0,1 % doze obsevanja, g) samoobsevanje je zanemarljivo. Vse karakteristike sistema, preverjene v letu 2002, so v skladu z standardom CEI/IEC 1066.

Reference:

- [43] D. Jezeršek, diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, 2002
- [44] International standard CEI/IEC 1066; Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring; First Edition, IEC Central Office Geneva, Switzerland, 1991
- [45] Čitanje (merjenje) termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD) (*TLD-DN-02*), 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 [46] in ustreza zahtevam, navedenim v [47] in [48].

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}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:

- [46] Priručnik osiguranja kvalitete (Plan i postupci), Institut Ruđer Bošković, 1990
- [47] Pravilnik o uvjetima za lokaciju, gradnju, pokusni rad, puštanje u rad i upotrebu nuklearnih objekata, Službeni list SFRJ, 52, 1998
- [48] 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 3×3 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 se rabi 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 ločitvi eluiramo katione, vezane na ionski izmenjalec, s 5 M raztopino HNO₃. Eluat filtriramo, izparimo do suhega in raztopimo v 5 M HNO₃ 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 HNO₃ v metanolu. Eluat (vsebuje Sr) izparimo do suhega, raztopimo v 5 M HNO₃ in prečistimo s Fe(OH)₃ in BaCrO₄. Stroncij se obori kot SrCO₃. Vzorec stoji 14 dni, da se vzpostavi radioaktivno ravnotežje Sr-90 in Y-90, nato izmerimo aktivnost s plinskim proporcionalnim števcem (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 HNO₃ 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 HNO₃ in 0,25 M raztopino HNO₃ v metanolu. Nato spustimo skozi kolono vzorec in kolono izperemo s 300 mL 0,25 M raztopine HNO₃ 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 HNO₃, prečistimo z obarjanjem s Fe(OH)₃, nato dodamo BaCrO₄, da odstranimo sevalce alfa. Stroncij se obori kot SrCO₃. Vzorec stoji 14 dni, da se vzpostavi radioaktivno ravnotežje Sr-90 in Y-90, nato izmerimo aktivnost s proporcionalnim števcem (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 "quenched 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 2-krat 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 Fe³⁺ (0,1 mL raztopine nosilca Fe³⁺ 26,6 mg/L). Nakisamo na pH okoli 4 z dodatkom raztopine amonijaka ali solne kisline in dodamo 1 mL 1-odstotne 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 0,45 μm). Nato 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) polprevodniški detektor Canberra. Aktivna površina detektorja je 30 mm^2 , aktivni premer je 6,2 mm, debelina 3 mm berilijevim oknom s $25 \mu\text{m}$. 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 zapisuje.

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 ploščine vrha, identifikacija radionuklida ter izračun specifične aktivnosti in merilne negotovosti rezultata. Vse našete korake izvajamo s programsko opremo 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, ki jih merimo za naše naročnike. Te standarde naročamo pri organizacijah, ki so akreditirane za pripravo teh standardov (npr. 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 odmike od geometrije vzorca glede na standardne vzorce, izračunavamo z validirano programsko opremo Canberra, ki je navedena v dokumentu: Model S573/S574 ISOCS/LabSOCS, Validation & Verification Manual.



Zavod za varstvo pri delu, Laboratorij za merjenje specifičnih aktivnosti radionuklidov je marca 2004 pridobil akreditacijsko listino št. L-063 za izvajanje visokoločljivostne spektrometrije gama v skladu s standardom SIST EN ISO/IEC 17025. Akreditacija zajema meritve vzorcev zemlje, sedimentov, zraka, padavin ter živil živalskega in rastlinskega porekla.

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 postopkih:

- 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 zračnih filtrih (DP-LMSAR-11DP-1.03.06.)
- Določanje aktivnosti Sr-89/90 v padavinah (DP-LMSAR-14DP-1.03.07.)
- Določanje aktivnosti Sr-89/90 v mleku (DP-LMSAR-12)
- Določanje aktivnosti J-131 v mleku (DP-LMSAR-16DP-1.03.11.)

Sledljivost rezultatov je dosežena z redno kalibracijo instrumenta BERTHOLD LB770 s standardnimi raztopinami proizvajalca Amersham. Postopek kalibracije je opisan v delovnih postopkih DP-LMSAR-17 in DP-LMSAR-18.



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-odstotno 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 druge 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 druge nedektirane radionuklide se predpostavlja, da so njihove meje detekcije zanemarljive v primerjavi z drugimi 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 **meja 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 ± 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-odstotno 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:

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

kjer je:

$V_T = (\dot{V} \cdot T)$ v času T vnesena 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 vneseno aktivnost za neko obdobje (npr. leto) iz zaporedja ločenih (diskretnih) meritev (npr. mesečnih sestavljenih vzorcev; $T = \text{meseč}$), 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.

7. Aktivnost Ra-226 je določena iz aktivnosti kratkoživih radonovih potomcev (Pb-214 in Bi-214). Pri meritvah, ki smo jih izvedli v prvi polovici leta, smo predpostavili, da 20 % radona ekshalira iz vzorca. V drugi polovici leta smo račun popravili, tako da smo faktor, ki opisuje ravnovesje med radijem in radonovimi potomci, izračunali iz ekshalacije in časovnega intervala med pripravo in meritvijo vzorca.
8. 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.
9. Notranje doze so izračunane iz vsebnosti radionuklidov v mediju, doznih faktorjev in iz predpostavljene porabe hrane, vode ali frekvence vdihovanja zraka. Negotovosti doz so izračunane iz negotovosti vsebnosti radionuklidov, povprečenih preko celega leta. Negotovosti porabe in doznih faktorjev v negotovostih doz niso upoštevane.
10. Negotovosti zunanjih doz so ocenjene tam, kjer obstaja več izmerkov. Ocena negotovosti temelji na stresanju izmerkov in pomeni njihovo standardno deviacijo.