



**MERITVE RADIOAKTIVNOSTI
V OKOLICI
NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO**

POROČILO ZA LETO 2005

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 2005



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 2005**

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: Matjaž Stepišnik, univ. dipl. fiz.

Oprema: ABO grafika in Institut "Jožef Stefan"

Založil: Institut "Jožef Stefan"

Razmnoževanje in vezava: Institut "Jožef Stefan" in ABO grafika, Ljubljana, 2006

ISSN 1318-2161

Redakcija poročila je bila končana aprila 2006.

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-3260
- Nosilec projekta za IJS:* dr. Matjaž Korun
- 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 2005**
- Oznaka poročila:* 14/2006
- Odgovorni za izdajo:* dr. Matjaž Korun
- Poročilo uredila:* mag. Denis Glavič-Cindro, dr. Benjamin Zorko
- Ovrednotenje meritev:* dr. Ljudmila Benedik
dr. Aleš Fajgelj
Matjaž Koželj, univ. dipl. fiz.
mag. Bogdan Pucelj
dr. Borut Smodiš
Matjaž Stepišnik, univ. dipl. fiz.
Marko Štrok
dr. Tim Vidmar
dr. Benjamin Zorko





**MERITVE RADIOAKTIVNOSTI
V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO
POROČILO ZA LETO 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,
dr. Borut Smodiš, Matjaž Stepišnik, univ. dipl. fiz., Marko Štok,
dr. Tim Vidmar, dr. Benjamin Zorko

IZVAJALCI MERITEV

Institut "Jožef Stefan" (IJS), Ljubljana

Koordinator projekta za IJS: dr. Matjaž Korun

Izvajalci na IJS: D. Brodnik, P. Dujmovič, mag. D. Glavič-Cindro, S. Gobec,
prof. dr. I. Kopal, dr. M. Korun, dr. J. Kožar-Logar, dr. M. Nečemer, M. Ribič,
B. Svetek, inž. kem. tehnol., dr. T. Vidmar, mag. B. Vodenik, dr. B. Zorko

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,
M. Levstek, dr. G. Omahen, 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, I. Lovrenčić, L. Mikelić, dipl. inž., dr. V. Orešćanin, M. Rožmarić-Mačefat, dipl. inž.

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.



14/2006

NASLOV POROČILA:

Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2005

KLJUČNE BESEDE:

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

POVZETEK:

Sumarni rezultati meritev radioaktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov v različnih nadzorovanih medijih in ekspozicijskih prenosnih poteh so podani z ocenami učinkovitih doz. Konzervativne ocene doznih obremenitev posameznikov zaradi emisij jedrske elektrarne dajejo v letu 2005 za atmosferske emisije *efektivno dozo* manj kot 1 μSv na leto in za tekočinske emisije za referenčno skupino prebivalstva *efektivno dozo* manj kot 0,05 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.

14/2006

REPORT TITLE:

Off-Site Monitoring of Krško Nuclear Power Plant - Report for the year 2005

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, rainwater, dry and ground 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 2005 to a value of the *effective dose* that are smaller than 1 μSv per year for atmospheric discharges and smaller than 0,05 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 / 122
Summary	5 / 122
Reka Sava	11 / 122
Vodovodi in podtalnice	27 / 122
Padavine in suhi usedi	43 / 122
Zrak	59 / 122
Doza zunanjega sevanja	77 / 122
Zemlja	87 / 122
Hrana	91 / 122
Ocena letnih doz referenčne skupine za savske prenosne poti za leto 2005	103 / 122
Program B	107 / 122
Medlaboratorijske primerjalne meritve pooblaščenih izvajalcev nadzornih meritev v letu 2005	113 / 122
Pregled referenc	121 / 122

MERSKI REZULTATI

Program rednega nadzora radioaktivnosti v okolici NEK za leto 2005	M-I / M-XXX
Enote in nazivi količin	M-XII / M-XXX
Tabela radionuklidov	M-XIII / M-XXX
Merske metode	M-XIV / M-XXX
Tabelarični zapisi meritev	M-XXII / M-XXX
Seznam tabel meritev programa A in B	M-XXV / M-XXX

Program A in B

Tabele merskih rezultatov M-1 / M-116

Tabele interkomparacijskih rezultatov

Mednarodne interkomparacije izvajalcev M-91 / M-116

Medsebojne interkomparacije izvajalcev M-111 / M-116

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





U V O D

Poročilo obravnava rezultate meritev, opravljenih v letu 2005 v skladu s "Programom nadzora radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško za leto 2005" (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 (URSJV), ki ima tudi soglasje Zdravstvenega inšpektorata R Slovenije, in Odločbo URSJV 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 s pasivnimi termoluminiscenčnimi dozimetri (TLD) in z elektronskimi merilniki hitrosti doze, ki se uporabljajo pri sprotne spremljanju zunanjega sevanja (MFM-202) z namenom hitrega zaznavanja sprememb. 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 pri 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 reference [1], opravljene v letu 2004, so bile v letu 2005 v okviru programa A in B uvedene naslednje bistvenejše spremembe:

- vzorčevanje meritev in analize aerosolov, deževnice in mleka je v celoti izvajal IJS
- vzorčevanje aerosolov je potekalo na 8 lokacijah, vzorčevanje zračnega joda pa na 7 lokacijah
- vzorčevanje, meritve in analize enkratnih vzorcev savske vode, sedimentov in rib je izvajal ZVD
- vzorčevanje enkratnih vzorcev savske vode, sedimentov in rib je protitočno od NEK potekalo le na eni lokaciji pred papirnico Vipap
- analizirani so bili trenutni vzorci sedimentov in vzorci celih rib



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 2005
- mesečni izračuni zračnih razredčitvenih faktorjev Agencije Republike Slovenije za okolje za okolico NEK v letu 2005 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
- meritve C-14 v vzorcih hrane

Rezultati meritev efluentov in meritev v okolju znotraj ograje NEK so zbrani v naslednjih poročilih:

- Poročilo o radiativnih emisijah iz NE Krško za leto 2005
- Poročilo o meritvah sevanja na lokaciji NEK v letu 2005
- Rezultati kvartalnih analiz filtrov za zrak (Sr-90/89, Y-90) za 5 lokacij znotraj ograje NEK

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 poslovnik sklicuje. Laboratorij za radiološke merilne sisteme in meritve radioaktivnosti je akreditiran pri Slovenski akreditaciji za meritve sevalcev gama v homogenih cilindričnih vzorcih, Laboratorij za termoluminiscenčno dozimetrijo pa za meritve doz s termoluminiscenčnimi dozimetri za uporabo v osebni in okoljski dozimetriji. Z akreditacijsko listino št. LP-022 jima Slovenska akreditacija priznava izpolnjevanje zahtev standarda SIST EN ISO/IEC 17025:2002 pri teh dejavnostih.

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 normizacijo i meriteljstvo Republike Hrvatske. V okviru programa nadzora radioaktivnosti v oklici NE Krško se aktivnosti sevalcev gama merijo na spektrometru s tipskim odobrenjem (klasa 960-03/1-08/42, UR Br. 558-03/5-02-1 z dne 5. 8. 2002), ki je potrdilo Državnega zavoda o ustreznosti spektrometra. Vse dejavnosti, povezane z meritvami radioaktivnosti v okolici NE Krško, potekajo v skladu s Priročnikom o zagotovitvi kakovosti.

Zavod za varstvo pri delu ima delujoč sistem zagotovitve kakovosti, v katerega so vključene vse dejavnosti, povezane z meritvami v okviru "Programa nadzora radioaktivnosti v okolice NE Krško". Laboratorij za merjenje specifičnih aktivnosti radionuklidov je akreditiran pri Slovenski akreditaciji za izvajanje visokoločljivostne spektrometrije gama. Z akreditacijsko listino št. LP-032 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 2004, Ljubljana, april 2005, interna oznaka 3/2005, ISSN 1318-2161



OVREDNOTENJE MERITEV

SKLOP ALI POGLAVJE

Izvleček

Reka Sava

Vodovodi in podtalnice

Padavine in suhi usedi

Zrak

Doza zunanjega sevanja

Zemlja

Hrana

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

Marko Štok

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.

c) VPLIVI NEK

Spremljanje radioloških razmer v okolici NEK poteka z neposrednim merjenjem koncentracij radioaktivnih snovi v okolju, to je s spremljanjem 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 posredno 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 ocenjujejo izpostavljenosti prebivalstva.

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 2005 in za posamezne skupine radionuklidov za 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 2005

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, Co-60, Cs-137,...)	0,0001 < 0,0001
inhalacija	oblak	H-3	< 0,001
ingestija	mleko, žitarice	C-14	< 0,0001

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
- 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 2005, podobno kot v preteklosti, po aktivnosti prevladoval H-3, medtem ko je bila skupna izpuščena aktivnost sevalcev beta / gama več kot 10.000-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. 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 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.

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

V vodovodih in črpališčih v letu 2005 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 2005 ni presegla 0,05 μ Sv na leto.



d) NARAVNO SEVANJE

Meritve zunanjega sevanja v okolici NEK so v letu 2005 potrdile ugotovitve iz preteklosti, da gre za značilno naravno okolje, ki ga najdemo tudi drugje v Sloveniji in v svetu. Letna doza sevanja gama in ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja v okolici NEK je bila na prostem v povprečju 0,78 mSv na leto, za zaprte prostore pa je bila leta 1998 ocenjena na 0,77 mSv na leto. K temu je treba dodati še prispevek nevtronskega kozmičnega sevanja, ki je za območje NEK 0,070 mSv na leto. Tako je bila skupna efektivna doza zunanjega sevanja v letu 2005 v okolici NEK **0,85 mSv na leto**, kar je primerljivo s podatkom za svetovno povprečje (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 [12].

Posamezni prispevki k dozi naravnega sevanja so v tabeli B. Skupna letna efektivna doza je ocenjena na 2,44 mSv, kar je zelo blizu svetovnega povprečja 2,4 mSv na leto [12].

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	0,78 0,070
ingestija (K, U, Th) [12]	0,29
inhalacija (kratkoživi potomci Rn-222) [#]	1,3
Skupaj	2,44

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

e) ČERNOBILSKA KONTAMINACIJA IN POSKUSNE JEDRSKE EKSPLOZIJE

V letu 2005 je bil v zemlji merljiv le še Cs-137, ki izvira iz černobilske nesreče in poskusnih jedrskih eksplozij.

Prispevek Cs-137 k zunanjemu sevanju je bil za **ruralno** okolje ocenjen med 1,2 % in 10 % 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 0,2 % do 2 % naravnega ozadja.

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 0,25 μ Sv na leto za Cs-137 in 0,65 μ Sv na leto za Sr-90, kar je skupaj okrog 0,3 % letne efektivne doze zaradi naravnih radionuklidov v hrani.



f) SKLEPI

Povzetek izpostavitve prebivalstva v okolici NEK za leto 2005 je v tabeli C, kjer so navedeni prispevki naravnega sevanja, vplivi NEK in preostali vplivi černobilske kontaminacije ter poskusnih jedrskih eksplozij.

Tabela C: Povzetek letnih izpostavitvev prebivalstva v okolici NEK za leto 2005

Vir	Prenosna pot	Letna efektivna doza (mSv)
naravno sevanje	gama in ionizirajoče kozmično sevanje kozmični nevtroni	0,780 0,070
	ingestija (K, U, Th)	0,290
	inhalacija (kratkoživi potomci Rn-222)	1,300
	skupaj	2,440
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 < 0,0001
NEK tekočinski izpusti (Sava) (*)	referenčna skupina	< 0,00001
černobilska 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 2005 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. Razen izpustov tritija, so izpusti drugih radionuklidov pod povprečjem izpustov podobnih elektrarn v EU.

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 contributors to external exposure in case of a radioactive cloud immersion or submersion
- Pure beta emitters **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 ingestion 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 2005 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 2005

Exposure type	Exposure pathway	Significant radionuclides	Annual effective dose (mSv)
external	radioactive cloud immersion fallout exposure	radioactive noble gases (Ar-41) aerosols (Co-58, Co-60, Cs-137, ...)	0.0001 < 0.0001
inhalation	radioactive cloud	H-3	< 0.001
ingestion	milk, cereals	C-14	< 0.0001

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 2005 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. 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 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 0.05 μ Sv per year.



b) NATURAL RADIOACTIVITY

Measurements of the external exposure around the Krško NPP showed in 2005 that we are dealing with a typical natural environment, present elsewhere in Slovenia and the world, as far as natural radioactivity is concerned. Annual external effective dose due to gamma rays and ionizing component of cosmic radiation in the vicinity of the Krško NPP amounted on average to 0.78 $\mu\text{Sv}/\text{year}$ 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 **0.85 $\mu\text{Sv}/\text{year}$** in the year 2005, 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 [12] 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 2005 amounts to 2.44 mSv/year, which is very close to the average worldwide value 2.4 mSv/year [12].

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	0.78
neutron component of cosmic radiation	0.070
ingestion (K, U, Th) [12]	0.29
inhalation (Rn and daughters) [#]	1.3
Total	2.44

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 2005 the main remaining isotope originating from the Chernobyl accident and nuclear test explosions measured in soil samples was Cs-137.

The contribution of Cs-137 to the natural background external dose in **rural** environment was estimated at 1.2 % to 10 %, 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 0.2 % to 2 %.

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 0.25 μSv per year for Cs-137 and at 0.65 μSv per year for Sr-90, which amounts in total to some 0.3 % 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 2005 are listed.

Table C: Summary of the annual exposure of the general public around the Krško NPP in 2005.

	Source	Annual effective dose (mSv)
natural radiation	- gamma radiation and the directly ionizing component of cosmic radiation	0.780
	- neutron component of cosmic radiation	0.070
	ingestion (K, U, Th)	0.290
	inhalation (Rn short-lived daughters)	1.300
	total	2.44
Krško NPP atmospheric discharges²	direct radiation from Krško-NPP external dose (immersion)	negligible
	deposition	0.0001
	inhalation	< 0.0001
	ingestion	< 0.0001
Krško NPP liquid discharges²	reference group	< 0.00001
Chernobyl and nuclear-weapons tests	external dose	< 0.01
	ingestion	< 0.002

We can conclude that:

- In the year 2005 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. Except for H-3 discharges the discharges of other radionuclides are lower than the average discharges of similar NPP in EU.

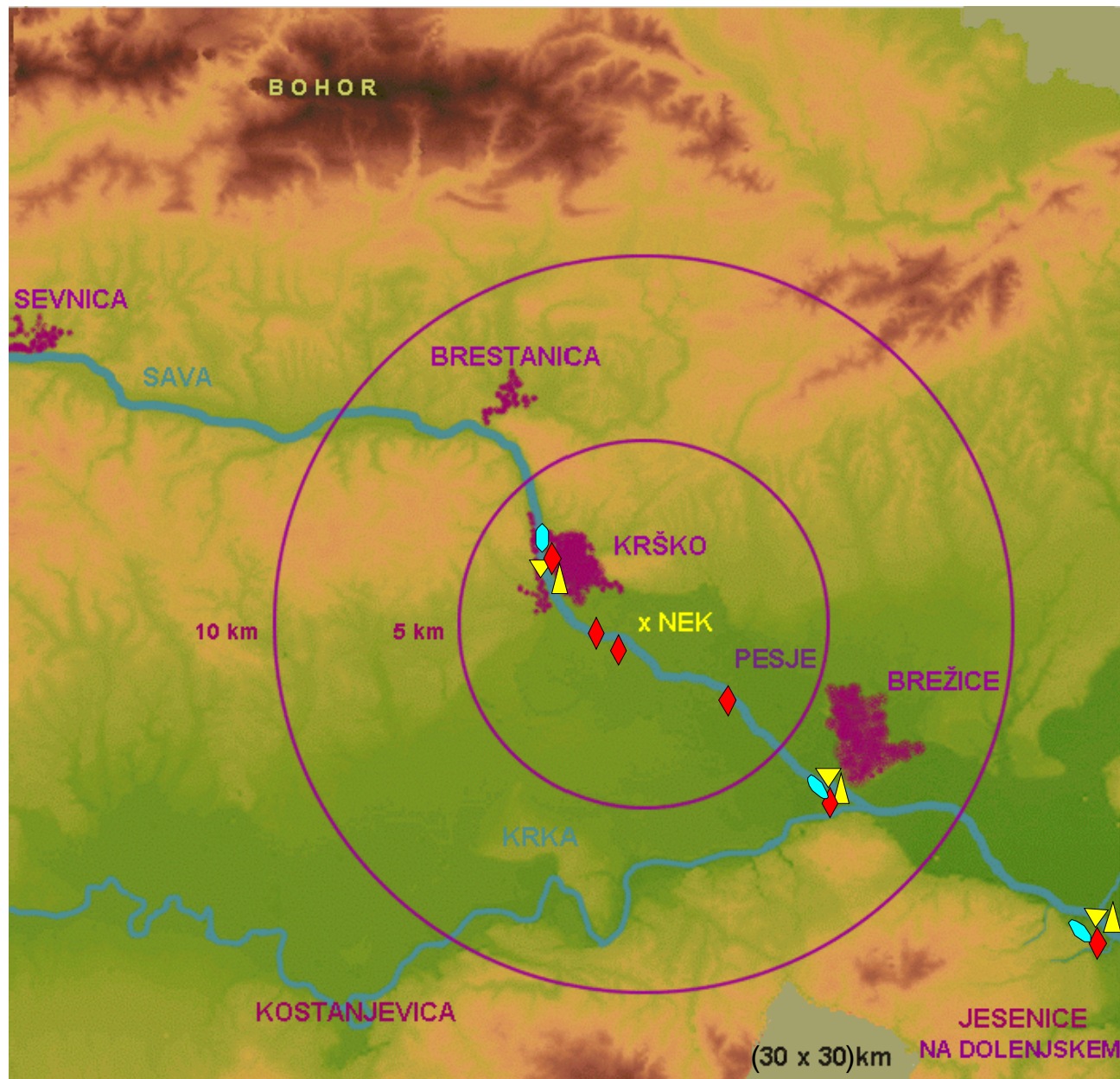
² The sum of contributions of the Krško NPP from different pathways is not given, since the exposures are not necessarily additive.

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

Kontinuirno vzorčevanje vode je potekalo v Krškem pred papirnico (3,2 km protitočno od NEK), v Brežicah (8,2 km sotočno od NEK in 400 m sotočno od starega mostu) in v Jesenicah na Dolenjskem (17,5 km sotočno od NEK). Vzorčevanje enkratnih vzorcev vode je potekalo v Krškem pred papirnico, v Brežicah pod starim mostom in v Jesenicah na Dolenjskem.

Vzorčevanje talnih sedimentov je potekalo na obali protitočno od NEK pred papirnico (na levem bregu), pod jezom v NEK, na obali pri Pesju (na levem bregu), na obali pri Brežicah (na levem bregu), na obali pri Jesenicah na Dolenjskem (na desnem bregu) in na Hrvaškem v kraju Podsused. Zanimivost vzorčevanj v letu 2005 je, da so se vzorčevanja podvajala (ZVD in IRB) na lokacijah Krško (pod mostom), v Brežicah in v Jesenicah na Dolenjskem.

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 je določala s visokoločljivostno spektrometrijo gama po postopku, ki vključuje sušenje in homogenizacijo 50-litrskih vzorcev vode. S scintilacijsko spektrometrijo se je ugotavljala vsebnost tritija (H-3) v savski vodi, medtem ko se je vsebnost Sr-90/Sr-89 določala 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 ter ločene meritve filtrskega ostanka reke Save, ki se kot groba suspendirana snov predhodno odstrani iz vode s filtriranjem;
2. vzorčevanje in meritve talnih sedimentov; meritve gibljivih sedimentov (kontinuirano zbiranje sedimentov v posodah) je bilo v letu 2005 ukinjeno;
3. vzorčevanje rib (vodne biote) in meritve celih rib; dodatne meritve ribjih mladice in ločene meritve kosti in mišic odraslih rib se v letu 2005 niso izvajale.

Poleg kontinuirnih avtomatskih vzorčevanj in meritev sestavljenih vzorcev savske vode, 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. V letu 2005 je bilo referenčno mesto za vzorčevanje enkratnih vzorcev nefiltrirane vode Krško za papirnico VIPAP ukinjeno, tako da ni mogoče ločiti morebitnih vplivov papirnice od vplivov NEK.

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. Meritve vzorcev iz te lokacije se izvajajo kvartalno. Podobno od leta 2000 deluje na referenčnem mestu v Brežicah na levem bregu savske struge (400 m sotočno od starega mostu) kontinuirno vzorčevanje vode, ki je v letu 2003 v celoti zamenjalo ročno vzorčevanje. V Jesenicah na Dolenjskem vzorčevanje še vedno poteka ročno. Meritve vzorcev iz Brežic in Jesenic na Dolenjskem se izvajajo mesečno.



c) OBRAVNAVA REZULTATOV

VODA IN SEDIMENTI

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

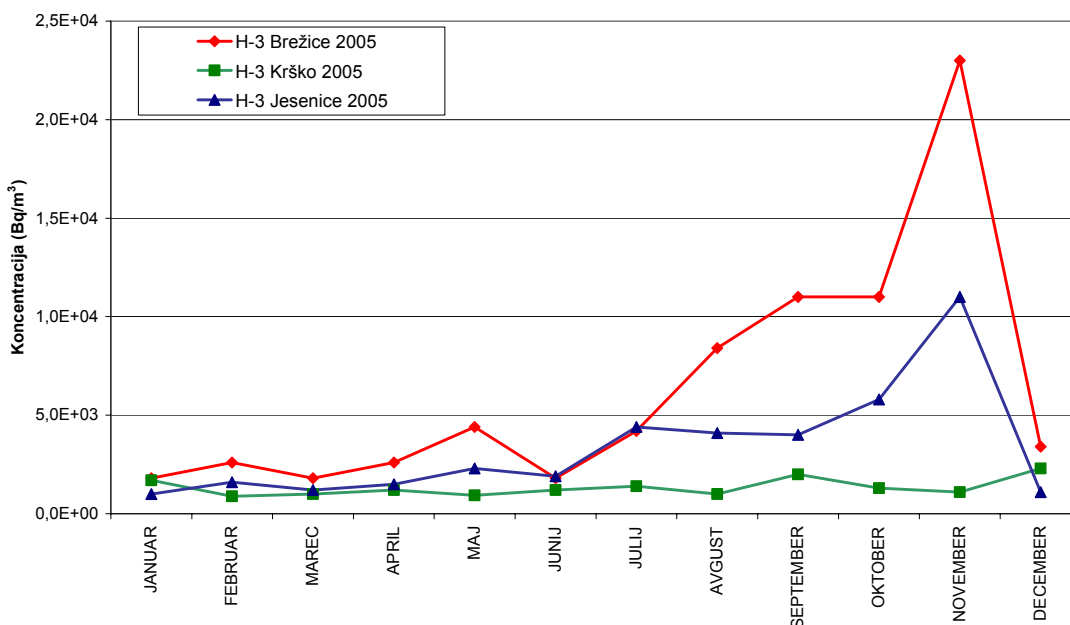
Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenci v datoteki **Sava2005.pdf**.

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 ($6,3 \text{ kBq/m}^3$) kaže približno štirikrat višjo vrednost, kot je dobljena na referenčnem odvzemnem mestu Krško (pred papirnico) ($1,5 \text{ kBq/m}^3$).

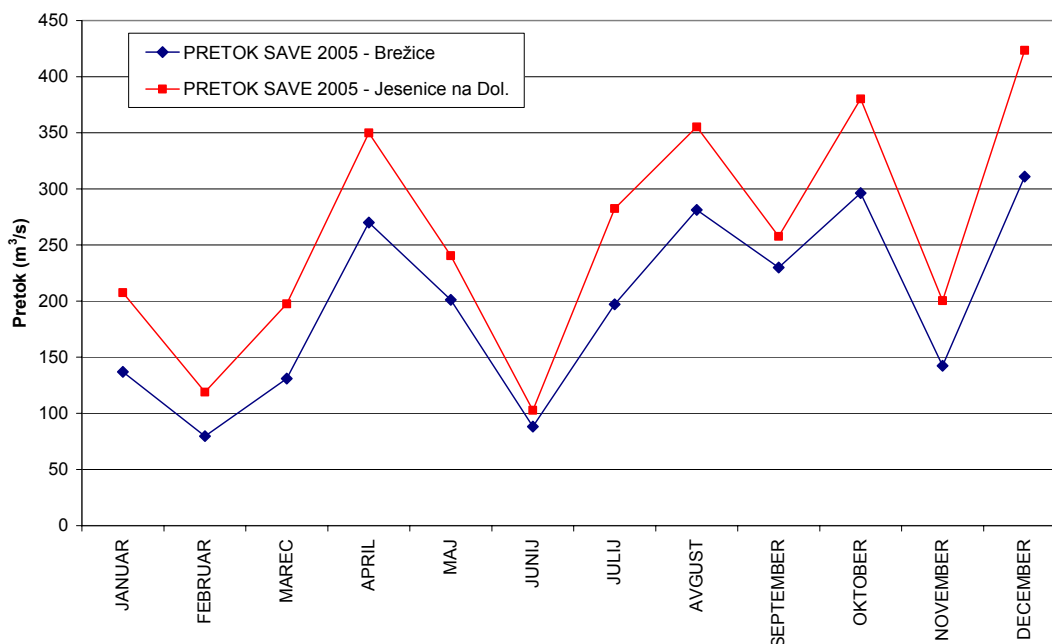
Najvišje vrednosti mesečnih povprečij v Brežicah so bile v mesecih septembru, oktobru in predvsem v novembru (11 kBq/m^3 , 11 kBq/m^3 in 23 kBq/m^3), ko so bile vrednosti na referenčnem odvzemu Krško od $1,1 \text{ kBq/m}^3$ in $2,0 \text{ kBq/m}^3$. Pretok Save v Brežicah je bil najvišji v mesecu oktobru ($296 \text{ m}^3/\text{s}$) in decembru ($312 \text{ m}^3/\text{s}$), pri tem je bilo letno povprečje $197 \text{ m}^3/\text{s}$. V Jesenicah na Dolenjskem so neodvisne meritve IRB pokazale letno povprečje $3,3 \text{ kBq/m}^3$, z največjo vrednostjo 11 kBq/m^3 v novembru. Pri tem je treba poudariti, da so bile najvišje izmerjene vrednosti H-3 v mesecu novembru na obeh lokacijah sotočno od NEK, ko je bil pretok Save v Brežicah podoben letnemu povprečju ($143 \text{ m}^3/\text{s}$).

V letu 2005 so bile vsebnosti H-3 v povprečju nižje za faktor 2 v Jesenicah na Dolenjskem 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 višja kot v letu 2004 ($4,0 \text{ kBq/m}^3$). Še posebej je izrazita višja izmerjena maksimalna vrednost v Brežicah, ki je 3,5-krat višja kot je bila izmerjena v letu 2004. Vsebnost tritija na referenčnem odvzemnem mestu Krško je primerljiva z letom 2004.



Slika 1.1: Primerjava vsebnosti tritija v savski vodi na lokacijah Krško, Brežice in Jesenice na Dolenjskem. 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.

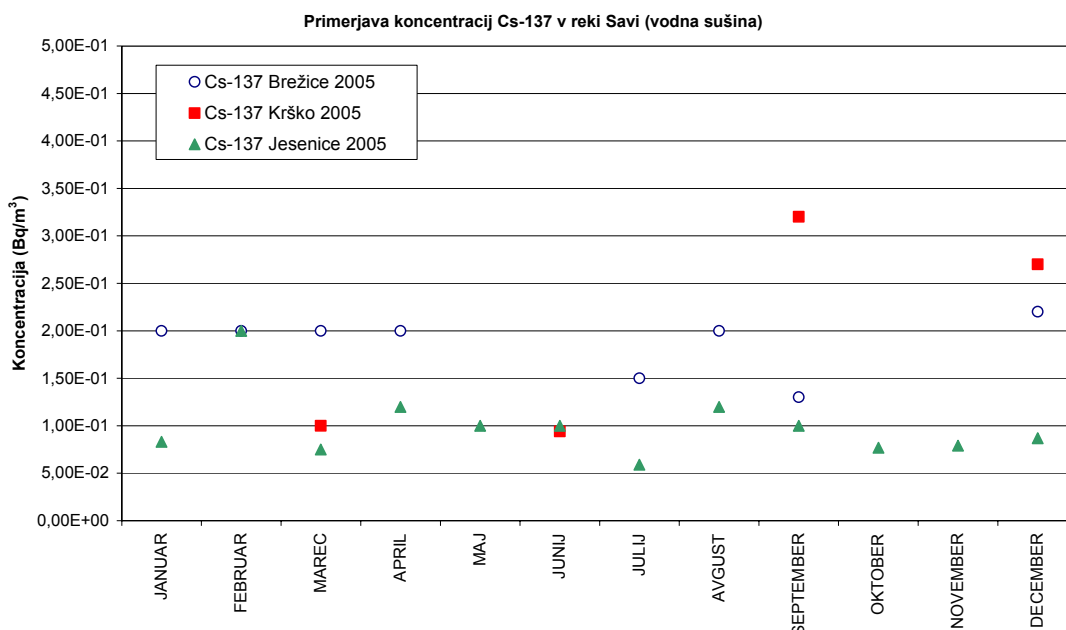
I-131 *SUHI OSTANEK PO IZPAREVANJU VZORCA VODE*

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 (vzorčevanje na tri mesece), in ne na sestavljenih vzorcih, ki so bili zbrani v obdobju enega meseca ali v trimesečnem obdobju. Povprečna letna vsebnost I-131 v enkratnih vzorcih na vzorčevalnih mestih je bila od 5,9 Bq/m³ do 23 Bq/m³ in je najvišja na odvzemnih mestih Krško pred papirnico. Sistematičnih razlik, ki bi nakazovale vpliv NEK, ni bilo zaznati. Prisotnost I-131 v rekah je tako posledica uporabe izotopa v terapevtske in diagnostične namene v bolnišnicah.

Najvišje vrednosti so bile izmerjene v 4. četrtletju na vseh odvzemnih mestih in so bile od 11 Bq/m³ do 23 Bq/m³. Vrednosti so podobne kot v preteklih letih.

SEDIMENTI

V sedimentih je I-131 občasno opažen na nekaterih vzorčevalnih lokacijah v nizkih koncentracijah. Največja vsebnost I-131 je bila izmerjena v Krškem pod mostom v talnem sedimentu (12 Bq/kg, IRB). Meritve gibljivega sedimenta so bile ukinjene. Vsebnosti I-131 v talnem sedimentu so bile v preteklih letih v povprečju na splošno nižje kot v gibljivem sedimentu, ki je vseboval več organskih snovi.



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 in je predvsem posledica globalne kontaminacije. Vsebnosti se v okviru merske negotovosti od leta 2000 niso bistveno spreminjale.

V tabeli 1.1 je primerjava povprečnih vsebnosti cezija v vodi in v filtrskem ostanku na različnih odvzemnih mestih.

Najvišja četrletna povprečna vrednost v suhem ostanku je bila na referenčnem odvzemu Krško $0,32 \text{ Bq/m}^3$, največja mesečna vrednost v Brežicah v decembru $0,22 \text{ Bq/m}^3$ (IJS) ter v Jesenicah na Dolenjskem v avgustu $0,20 \text{ Bq/m}^3$ (IRB). Letna povprečna vrednost v Brežicah $0,06 \text{ Bq/m}^3$ je bila nekoliko nižja kot na referenčnih mestih v Krškem ($0,17 \text{ Bq/m}^3$). V Jesenicah na Dolenjskem je bila letna povprečna vrednost $0,08 \text{ Bq/m}^3$ (meritve IRB).

FILTRSKI OSTANEK

V splošnem je koncentracija cezija v filtrskem ostanku višja kot v sami vodi. Filtrski ostanek kaže v Brežicah podobno kot v preteklem letu v letnem povprečju ($0,52 \text{ Bq/m}^3$) približno 2,6-krat večjo vsebnost Cs-137 kot na referenčnem mestu Krško ($0,20 \text{ Bq/m}^3$). Jesenice na Dolenjskem kažejo podobno koncentracijo ($0,20 \text{ Bq/m}^3$, IRB) kot Krško. Na nadzornih mestih v Brežicah in Jesenicah na Dolenjskem so bile ugotovljene najvišje vrednosti $1,6 \text{ Bq/m}^3$ (april – Brežice) in $1,3 \text{ Bq/m}^3$ (julij – Jesenice na Dolenjskem).

Iz tabele 1.1 je razvidno, da je skupna povprečna vsebnost cezija v sušini in filtrskem ostanku za približno $0,21 \text{ Bq/m}^3$ višja v Brežicah v primerjavi z referenčnim mestom Krško. Povprečna vrednost v Jesenicah na Dolenjskem je nižja od vrednosti na referenčnem mestu v Krškem.



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 2005 (meritve IJS in IRB)

Cs-137 (Bq/m ³)	KRŠKO (VIPAP)	BREŽICE	JESENICE NA DOLENJSKEM
Suhi ostanek po izparevanju vzorca vode	0,17 ± 0,07	0,06 ± 0,03	0,08 ± 0,02
Filtrski ostanek	0,20 ± 0,09	0,52 ± 0,10	0,20 ± 0,1
SKUPAJ	0,37 ± 0,11	0,58 ± 0,10	0,28 ± 0,10

ENKRATNI VZORCI NEFILTRIRANE VODE

Vsebnosti Cs-137 v celovitih enkratnih vzorcih vode (filtrat plus filtrski ostanek), ki jih uporabljamo za nadzore kratkoživih radionuklidov, kažejo v odvisnosti od odvzemnih mest naslednje povprečne vrednosti: Krško pred papirnico Vipap (referenčno mesto) 0,69 Bq/m³, Brežice 1,0 Bq/m³, Jesenice na Dolenjskem 1,2 Bq/m³.

Nasprotno od sestavljenih vzorcev vodne sušine, kjer so bile najvišje izmerjene vrednosti v Krškem, kažejo enkratni vzorci najvišjo izmerjeno vrednost (3,2 Bq/m³) v Jesenicah na Dolenjskem.

Vzorčevanje na drugem referenčnem mestu nad NEK za papirnico Vipap je bilo ukinjeno, zato ne moremo ovrednotiti morebitnega dodatnega vpliva papirnice.

SEDIMENTI

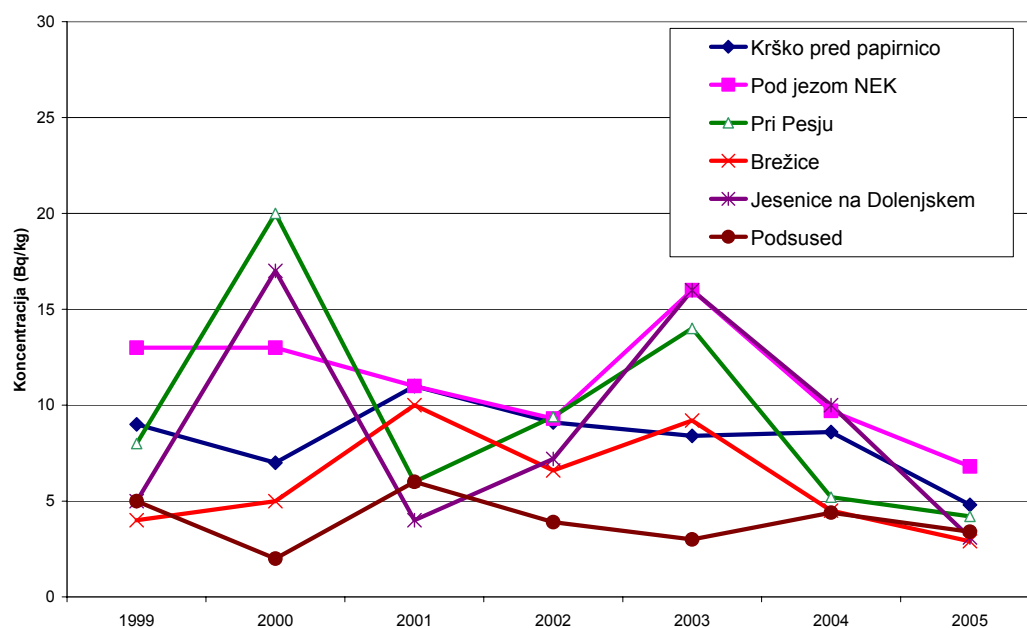
Kot je bilo že rečeno, so bile ukinjene meritve gibljivih sedimentov, ki jih je opravljal IJS v preteklih letih. Tako je bilo ukinjeno tudi vzorčevalno mesto za papirnico Vipap, preko katerega se je ovrednotil morebitni vpliv papirnice.

Povprečna aktivnost cezija v talnih sedimentih (IRB) je v Krškem (pod mostom) pred papirnico Vipap 4,8 Bq/kg (z največjo vrednostjo 7,5 Bq/kg), pod jezom NEK 6,8 Bq/kg (z največjo vrednostjo 10 Bq/kg), v Pesju 4,2 Bq/kg (z največjo vrednostjo 10 Bq/kg), v Brežicah 2,9 Bq/kg (z največjo vrednostjo 5,3 Bq/kg), v Jesenicah na Dolenjskem 3,1 Bq/kg (z največjo vrednostjo 4,9 Bq/kg) in v Podsusedu 3,4 Bq/kg (z največjo vrednostjo 4,4 Bq/kg). S slike 1.4 je razvidno, da so rezultati meritev podobni tistim v preteklih letih (1999–2004).

Rezultati meritev sedimentov, ki jih je izvedel ZVD, so dali podobne koncentracije cezija.

Na splošno ugotavljamo, da so koncentracije naravnih radionuklidov v sedimentih podobne, kot so v zemlji. To pa ne velja za umetne radionuklide, katerih koncentracije so v sedimentih zaradi izpiranja bistveno nižje kot v vrhnji plasti zemlje (običajna koncentracija cezija v zemlji je nekaj deset bekerelov na kilogram).

Cs-134, Co-58, Co-60, Sb-125, Te-125m so sevalci žarkov gama in rentgenskih žarkov, katerih koncentracije v vzorcih iz okolja v letu 2005 niso presegle detekcijske meje. V preteklih letih, ko je imela reka Sava nizek vodostaj, je bilo mogoče občasno zaznati Co-60.



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.

Sr-90/Sr-89

SUHI OSTANEK PO IZPAREVANJU VZORCA VODE

Sr-90/Sr-89 se pojavlja v vodi na referenčnem mestu Krško v podobni povprečni koncentraciji ($2,8 \text{ Bq/m}^3$) kot v nadzornem mestu v Brežicah ($3,4 \text{ Bq/m}^3$) in v Jesenicah na Dolenjskem ($2,8 \text{ Bq/m}^3$, IRB). Vrednosti so v okviru merske negotovosti podobne rezultatom iz preteklih let (od 1999 do 2004).

FILTRSKI OSTANEK

V filtrskem ostanku so vrednosti Sr-90/Sr-89 približno 10-krat nižje (nižje od $0,3 \text{ Bq/m}^3$, 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 $2,8 \text{ Bq/m}^3$ do $3,4 \text{ Bq/m}^3$). Izmerjene povprečne vrednosti so skoraj enake kot v preteklih letih z najvišjo detektirano vrednostjo v enkratnem vzorcu v Krškem pod mostom $3,9 \text{ Bq/m}^3$.

SEDIMENTI

V talnih sedimentih (meritve IRB) se povprečne vrednosti gibljejo od $1,0 \text{ Bq/kg}$ do $1,6 \text{ Bq/kg}$ za vsa odvzemna mesta. Vrednosti so primerljive z rezultati iz predhodnih let. Primerljivi so tudi rezultati meritev ZVD, kjer so se povprečne koncentracije stroncija gibale okrog $0,6 \text{ Bq/kg}$.

Razlike med rezultati meritev IRB in ZVD na istih lokacijah lahko opazimo pri kozmogonem radionuklidu Be-7, ki se navadno pojavlja v koncentracijah okrog 10 Bq/kg . Visoka koncentracija pri vzorcu pod mostom v Krškem ($3,9 \text{ E}+04 \text{ Bq/kg}$, IRB) nakazuje na napako pri spektrometriji gama.



VODNA BIOTA

Tabele: T-19, T-21, T-22 (ZVD); T-22/p1, T-23, T-24, T-25 (IRB)

RIBE

Cs-137 Analize celih rib, ulovljenih na lokacijah, od katerih je prva referenčna nad izlivom papirnice Vipap, druge pa pod izpustom NEK, kažejo povprečne vrednosti vsebnosti Cs-137 od 0,2 Bq/kg do 0,43 Bq/kg, pri čemer je največja posamična vrednost dobljena v Brežicah (0,75 Bq/kg, ZVD). Vrednosti so primerljive z rezultati predhodnih let.

I-131 V vzorcih celih rib iz referenčnega odvzema kot tudi v vzorcih iz nadzornih odzemnih mest (meritve ZVD) ni bila zaznana prisotnost I-131. Pri meritvah IRB so bile koncentracije I-131 večinoma na meji kvantifikacije ali pod mejo detekcije. Glede na koncentracije joda v enkratnih vzorcih nefiltrirane vode (okrog 10 Bq/m³) bi pričakovali, da je koncentracija joda v ribah okrog 0,2 Bq/kg (upoštevajoč bioakumulacijski faktor $B_r = 0,02 \text{ m}^3/\text{kg}$). Iz tega lahko sklepamo, da so bile detekcijske meje nad to vrednostjo.

Sr-90/Sr-89 Ta radionuklid je bil izmerjen v vseh vzorcih rib. Ločeno merjenje kosti in mišic rib ni bilo opravljeno tako kot v preteklih letih, zato primerjava med koncentracijami stroncija v raznih vzorcih rib ni mogoča, saj se stroncij v glavnem zadržuje v kosteh (1-2 Bq/kg) v koncentracijah, ki so dva velikostna reda višje kot v mišicah. V vzorcih celih rib ne poznamo masnega razmerja med kostmi in mišicami.

V meritvah ZVD in IRB (cele ribe) se gibljejo povprečja po lokacijah od 0,2 Bq/kg do 0,42 Bq/kg (najvišja vrednost v Brežicah). V splošnem so vse izmerjene vrednosti za umetne radionuklide zelo podobne tistim iz predhodnih let.



Preglednica 1.1a: SUHI OSTANKI PO IZPAREVANJU IN SUSPENDIRANE SNOVI REKE SAVE 2005 - 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-238	5,2E+00 ± 5E-01	3,8E-01 ± 4E-02	2,8E+00 ± 6E-01	2,0E-01 ± 4E-02	2,4E+00 ± 1E-1	1,8E-01 ± 7E-03
Ra - 226	2,1E+00 ± 6E-01	5,3E-01 ± 1E-01	1,8E+00 ± 3E-01	4,4E-01 ± 8E-02	5,7E-01 ± 5E-2	1,4E-01 ± 1E-02
Pb - 210	2,6E+00 ± 1E+00	2,4E+00 ± 1E+00	2,9E-01 ± 6E-01	2,7E-01 ± 6E-01	2,1E+00 ± 6E-1	2,0E+00 ± 5E-01
Ra-228	1,3E+00 ± 2E-01	1,9E+00 ± 3E-01	1,3E+00 ± 2E-01	2,0E+00 ± 3E-01	4,2E-01 ± 1E-1	6,2E-01 ± 2E-01
Th - 228	3,7E-01 ± 2E-01	1,4E-01 ± 7E-02	5,9E-01 ± 9E-02	2,3E-01 ± 3E-02	2,3E+00 ± 5E-1	8,9E-01 ± 2E-01
K - 40	4,3E+01 ± 4E+00	4,7E-01 ± 5E-02	4,4E+01 ± 2E+00	4,8E-01 ± 2E-02	2,8E+01 ± 2E+0	3,0E-01 ± 3E-02
Be - 7	9,2E+00 ± 3E+00	3,1E-04 ± 1E-04	9,7E-01 ± 3E-01	3,3E-05 ± 1E-05	1,3E+00 ± 3E-1	4,4E-05 ± 9E-06
I - 131	1,7E+01 ± 6E+00	8,1E-01 ± 3E-01	1,0E+01 ± 2E+00	4,9E-01 ± 1E-01	8,5E+00 ± 2E+0	4,0E-01 ± 9E-02
Cs - 134						
Cs - 137	1,7E-01 ± 7E-02	5,3E-04 ± 2E-04	5,8E-02 ± 3E-02	1,8E-04 ± 1E-04	7,5E-02 ± 2E-2	2,3E-04 ± 7E-05
Co - 58						
Co - 60						
Cr - 51						
Mn - 54						
Zn - 65						
Nb - 95						
Zr - 95						
Ru-106						
Sb - 125						
Sb - 124						
Sr-90/Sr-89	2,8E+00 ± 2E-01	5,2E-02 ± 3E-03	3,4E+00 ± 1E-01	6,5E-02 ± 2E-03	2,8E+00 ± 3E-1	5,3E-02 ± 5E-03
H - 3	1,5E+03 ± 1E+02	1,8E-02 ± 2E-03	6,3E+03 ± 2E+03	7,8E-02 ± 2E-02	3,3E+03 ± 8E+2	4,1E-02 ± 1E-02
Σ doza za umetne radionuklide		8,8E-01 ± 3E-01		6,3E-01 ± 1E-01		4,9E-01 ± 9E-02
Σ doza za umetne brez I-131		7,1E-02 ± 3E-03		1,4E-01 ± 2E-02		9,5E-02 ± 1E-02
Σ doza, totalna		6,7E+00 ± 1E+00		4,2E+00 ± 6E-01		4,6E+00 ± 6E-01

Preglednica 1.1b: FILTRSKI OSTANKI REKE SAVE 2005 - 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-238	2,8E-01 ± 7E-01	3,1E-02 ± 8E-02	5,4E-01 ± 9E-01	6,0E-02 ± 1E-01	1,0E+00 ± 5E-1	1,2E-01 ± 6E-02
Ra - 226	1,0E+00 ± 7E-01	3,9E-01 ± 3E-01	2,0E+00 ± 1E+00	7,8E-01 ± 5E-01	1,2E-01 ± 7E-2	4,5E-02 ± 3E-02
Pb - 210	1,1E+00 ± 7E-01	1,6E+00 ± 1E+00	1,6E+00 ± 6E-01	2,3E+00 ± 9E-01	3,0E+00 ± 6E-1	4,3E+00 ± 9E-01
Ra-228	6,5E-01 ± 3E-01	1,5E+00 ± 6E-01	1,3E+00 ± 3E-01	3,0E+00 ± 6E-01	7,6E-02 ± 9E-2	1,7E-01 ± 2E-01
Th - 228	3,6E-01 ± 2E-01	2,2E-01 ± 1E-01	9,4E-01 ± 3E-01	5,5E-01 ± 2E-01	2,6E-01 ± 4E-1	1,5E-01 ± 2E-01
K - 40	6,6E+00 ± 2E+00	1,1E-01 ± 4E-02	1,2E+01 ± 3E+00	2,1E-01 ± 6E-02	2,5E+00 ± 6E-1	4,3E-02 ± 1E-02
Be - 7	7,3E-01 ± 4E-01	3,8E-05 ± 2E-05	2,9E+00 ± 8E-01	1,5E-04 ± 4E-05	5,2E-01 ± 2E-1	2,7E-05 ± 9E-06
I - 131			1,1E+00 ± 3E-01	7,8E-02 ± 2E-02	1,4E-01 ± 9E-2	1,0E-02 ± 7E-03
Cs - 134						
Cs - 137	2,0E-01 ± 9E-02	9,6E-04 ± 4E-04	5,2E-01 ± 1E-01	2,5E-03 ± 7E-04	2,0E-01 ± 1E-1	9,6E-04 ± 5E-04
Co - 58						
Co - 60						
Cr - 51						
Mn - 54						
Zn - 65						
Nb - 95						
Zr - 95						
Ru - 106						
Sb - 125						
Sb - 124						
Sr-90/Sr-89	0 ± 2E-01	0 ± 4E-03	0 ± 1E-01	0 ± 4E-03	2,2E-02 ± 3E+0	6,4E-04 ± 1E-01
Σ doza za umetne radionuklide		9,6E-04 ± 4E-03		8,1E-02 ± 2E-02		1,2E-02 ± 1E-01
Σ doza za umetne brez I-131		9,6E-04 ± 4E-03		2,5E-03 ± 4E-03		1,6E-03 ± 1E-01
Σ doza, totalna		3,8E+00 ± 1E+00		7,0E+00 ± 1E+00		4,9E+00 ± 1E+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 0,6 m³ vode in otrok 0,26 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 2005

– meritve IJS in IRB

Starostna skupina	Efektivna doza μSv na leto	KRŠKO (meritve IJS)	BREŽICE (meritve IJS)	JESENICE NA DOLENJSKEM (meritve IRB)
Odrasli (<i>E(50)</i>)	Umetni radionuklidi	0,325 ± 0,081	0,347 ± 0,036	0,217 ± 0,03
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,065 ± 0,003	0,151 ± 0,021	0,088 ± 0,01
	Umetni in naravni radionuklidi	4,171 ± 0,64	4,158 ± 0,583	3,978 ± 0,5
Otroci (<i>E(70)</i>)	Umetni radionuklidi	0,881 ± 0,3	0,711 ± 0,102	0,502 ± 0,135
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,071 ± 0,005	0,147 ± 0,02	0,097 ± 0,1
	Umetni in naravni radionuklidi	10,556 ± 1,414	11,215 ± 1,166	9,418 ± 1,166

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! CELE RIBE 2005 - meritve ZVD
"A" Povprečne letne vsebnosti radionuklidov (Bq/kg) v sveži snovi vzorcev mišic rib in kosti

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

IZOTOP	Jesenice na Dolenjskem		Krško		BREŽICE	
	A (Bq/kg)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/kg)	Doza (mikro Sv)	A (Bq/kg)	Doza (mikro Sv)
U-238	5,6E-01 ± 2E-01	2,5E+00 ± 9E-01	3,1E-01 ± 2E-01	1,4E+00 ± 7E-01	5,8E-01 ± 4E-01	2,6E+00 ± 2E+00
Ra - 226	3,9E-01 ± 1E-01	4,9E+00 ± 1E+00	3,0E-01 ± 8E-02	3,7E+00 ± 1E+00	2,5E-01 ± 1E-01	3,1E+00 ± 2E+00
Pb - 210	8,2E-01 ± 5E-01	2,5E+01 ± 2E+01	4,6E-01 ± 2E-01	1,4E+01 ± 6E+00	2,2E+00 ± 2E+00	6,8E+01 ± 6E+01
Ra-228	1,9E-01 ± 7E-02	5,8E+00 ± 2E+00	1,3E-01 ± 5E-02	3,9E+00 ± 2E+00	7,0E-02 ± 4E-02	2,2E+00 ± 1E+00
Th - 228	6,3E-02 ± 4E-02	1,0E+00 ± 6E-01				
K - 40	7,8E+01 ± 2E+01	2,2E+01 ± 6E+00	8,3E+01 ± 8E+00	2,3E+01 ± 2E+00	7,9E+01 ± 8E+00	2,2E+01 ± 2E+00
Be - 7						
I - 131						
Cs - 134						
Cs - 137	3,0E-01 ± 8E-02	1,7E-01 ± 5E-02	3,4E-01 ± 7E-02	2,0E-01 ± 4E-02	4,3E-01 ± 1E-01	2,5E-01 ± 7E-02
Co - 58						
Co - 60						
Cr - 51						
Mn - 54						
Zn - 65						
Nb - 95						
Zr - 95						
Ru,Rh - 106						
Sb - 125						
Sb - 124						
Sr-90/Sr-89	3,8E-01 ± 1E-01	4,8E-01 ± 1E-01	3,4E-01 ± 1E-01	4,2E-01 ± 2E-01	4,2E-01 ± 1E-01	5,3E-01 ± 2E-01
Doza za umetne radionuklide		6,5E-01 ± 1E-01		6,2E-01 ± 2E-01		7,8E-01 ± 2E-01
Doza za umetne brez I-131		6,5E-01 ± 1E-01		6,2E-01 ± 2E-01		7,8E-01 ± 2E-01
Doza, totalna		6,2E+01 ± 2E+01		4,7E+01 ± 7E+00		9,8E+01 ± 6E+01

POVZETEK SUMARNIH DOZ ZA OTROKE (1! 2 LET) IN ODRASLE (>17 let),

izračunanih iz merskih podatkov preglednice 1.2a, doznih pretvorbenih faktorjev iz reference [3] in faktorja porabe (odrasel ribič zaužije 45 kg rib in otrok (1-2 leti) 0 kg).

Preglednica 1.2a (povzetek):
Reka Sava - cele ribe 2005 – meritve ZVD

	Efektivna doza μSv na leto	Krško	Brežice	Jesenice na Dolenjskem
Odrasli ($E(50)$)	Umetni radionuklidi	0,62 ± 0,2	0,78 ± 0,2	0,65 ± 0,1
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,62 ± 0,2	0,78 ± 0,2	0,65 ± 0,1
	Umetni in naravni radionuklidi	47,00 ± 7,00	98,00 ± 60,00	62,00 ± 20,00
Otroci ($E(70)$)	Umetni radionuklidi	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
	Umetni radionuklidi brez I-131	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
	Umetni in naravni radionuklidi	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0

 $E(50)$ 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



d) VPLIV NEK NA VSEBNOSTI RADIONUKLIDOV V OKOLJU

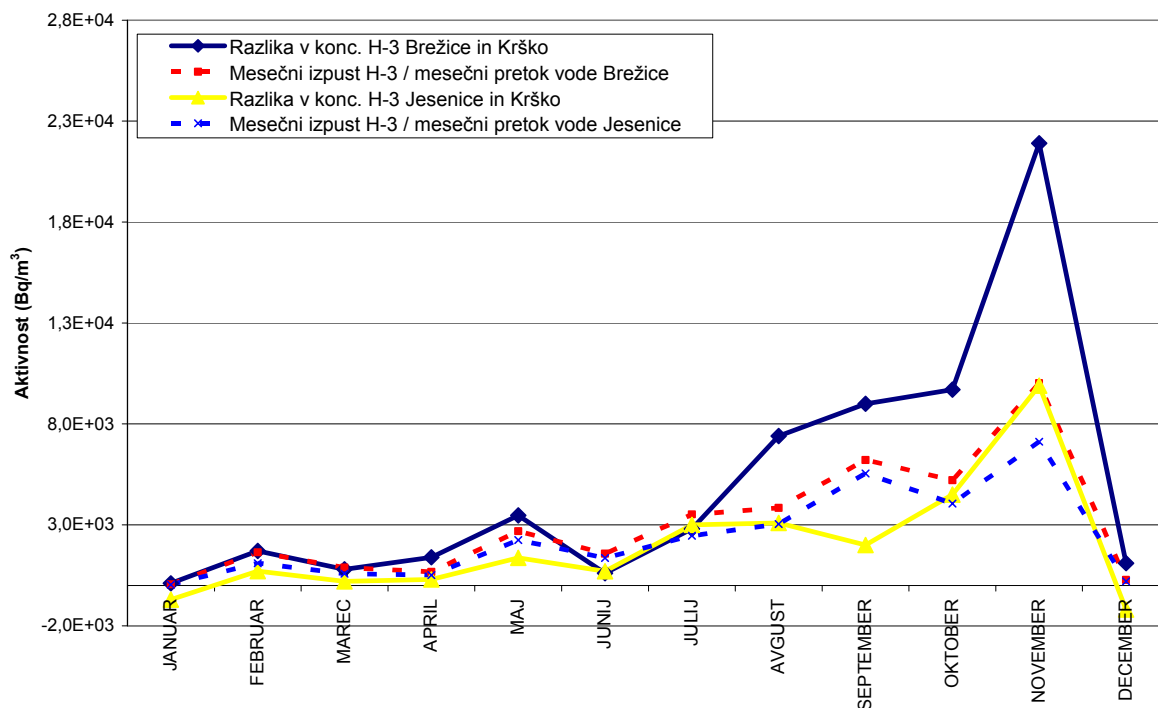
Vpliv na okolje smo ocenili na podlagi primerjave rezultatov emisijskih meritev (meritev vzorcev iz izpustnih tankov - WMT in kaluže uparjalnikov - SGBD), ki jih izvaja NEK, in rezultatov meritev vzorcev reke Save. Na sliki 9.1 (poglavje "Program B") je podana skupna aktivnost tekočinskih izpustov H-3 v reko Savo. Po podatkih NEK so bili največji izpusti opravljani v oktobru, ko je bilo v okolje izpuščeno $4.0 \text{ E}+12$ 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 pri meritvah IJS in IRB.

Negativni narastek v Jesenicah na Dolenjskem je verjetno posledica merskih negotovosti in dejstva, da je vzorčenje in meritve na referenčnem mestu Krško opravil IJS, medtem ko so meritve v Jesenicah na Dolenjskem opravili na IRB.

Povprečni letni prispevek koncentracije tritija v savski vodi zaradi vpliva NEK na odvzemnem mestu Brežice je bil $(4,8 \pm 2,0) \text{ kBq/m}^3$, kar je več kot v letih 2004 ($2,4 \text{ kBq/m}^3$), 2003 ($1,5 \text{ kBq/m}^3$) in 2002 ($3,6 \text{ kBq/m}^3$). Kljub povečani koncentraciji tritija v Savi povprečna koncentracija tritija v podtalnicah ni naraščala. Prav tako izmerjene vrednosti v podtalnicah v novembru in decembru niso bile nad povprečjem.



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 ($197 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \text{ s} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ d} = 6,2\text{E}+9 \text{ m}^3$). Izračunana izpuščena aktivnost tritija ($2,9 \pm 1,2$) E+13 Bq se dobro ujema z dejanskimi letnimi izpusti H-3 ($1,9 \text{ E}+13 \text{ Bq}$ v letu 2005).

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 ($-0,11 \pm 0,08$) Bq/m³ (v letu 2004 je bil $(0,2 \pm 0,07)$ Bq/m³). V primeru da primerjamo vodno sušino skupaj s filtrski ostankom, je razlika med Brežicami in referenčnim mestom Krško ($0,21 \pm 0,15$) Bq/m³, kar je podobno kot v letu 2004 ($0,34 \pm 0,14$) 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 v Krškem pred papirnico Vipap ($0,69 \pm 0,6$) Bq/m³. Meritve enkratnih vzorcev za papirnico Vipap so bile ukinjene, in tako ne moremo ločiti vpliva papirnice od NEK. V preteklem letu je bilo ugotovljeno, da je bila povprečna koncentracija cezija v nefiltrirani vodi za papirnico višja kot na referenčnem mestu v Krškem, kar nakazuje na možnost vpliva papirnice in tudi neenakomerne porazdelitve koncentracije radionuklidov zaradi globalne kontaminacije.

Višja vsebnost Cs-137 v Brežicah glede na referenčno mesto v Krškem najverjetneje ni posledica vpliva NEK v letu 2005.

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 2005. 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 ($0,6 \pm 0,2$) Bq/m³ kar je znotraj merske negotovosti enako kot v letu 2004. Koncentracije v filtrskem ostanku so zanemarljive.

Med kratkoživimi onesnaževalci je pomemben I-131, ki ga tudi v letu 2005 opažamo 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 (12 ± 4) Bq/m³ 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. Pri tem smo spremenili porabo referenčne skupine, ki je sedaj enaka kot v poglavju »Ocena letnih doz referenčne skupine za savske prenosne poti za leto 2005«.

Ocene so narejene na osnovi povprečnih letnih koncentracij, ki so izračunane tako, da vsebnost pod mejo kvantifikacije ne prispeva k dozi, ampak k negotovosti doze. 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.

UŽIVANJE RIB

Podobno kot v letu 2004 smo tudi za leto 2005 naredili oceno doze, ki bi jo prejel **odrasel človek – ribič** ob zaužitju 45 kg rib na leto (ekstremna poraba) [5]. Zaradi pomanjkanja podatkov smo pri izračunu upoštevali koncentracije radionuklidov v celih ribah in ne samo v mišicah rib kot v preteklih letih. Za umetne radionuklide brez upoštevanja I-131 smo dobili v Brežicah (preglednica 1.2a) vrednost $(0,78 \pm 0,2)$ μSv na leto. Predvidena letna doza zaradi prisotnosti I-131 v ribah je $0,2$ μSv na leto. Pri tej oceni smo predpostavili, da je koncentracija I-131 20-krat večja od njegove koncentracije v vodi.

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 1.2a). Na podlagi te metodologije smo izračunali, da je možni prispevek NEK v Brežicah zaradi uživanja rib **$(0,16 \pm 0,28)$ μSv na leto** za odrasle.

Prispevka NEK na podlagi meritev pri ribah ni mogoče ocenjevati, saj so negotovosti prevelike predvsem zaradi majhne količine vzorcev in nepoznanja koncentracij radionuklidov v mišicah rib.

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 $0,6$ m^3 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 1.2). Na podlagi te metodologije je razvidno, da je prispevek NEK in Vipap zaradi uživanje vode v Brežicah **$(0,09 \pm 0,02)$ μSv na leto** za odrasle in **$(0,08 \pm 0,02)$ μSv na leto** za otroke. Od te doze lahko z gotovostjo pripišemo NEK le tisti del, ki pride od H-3, to je **$(0,05 \pm 0,02)$ μSv na leto** za odrasle in **$(0,06 \pm 0,02)$ μSv na leto** za otroke.

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 podobno kot v letu 2004 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.



Tabela 1.2: 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 na Dolenjskem – Krško		
Odrasli <i>(E(50))</i>	Umetni radionuklidi	0,02	±	0,09	-0,11	±	0,09
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,09	±	0,02	0,02	±	0,01
	H-3	0,05	±	0,02	0,02	±	0,01
	Umetni in naravni radionuklidi	-0,01	±	0,87	-0,19	±	0,81
Otroci <i>(E(70))</i>	Umetni radionuklidi	-0,17	±	0,32	-0,38	±	0,33
	Umetni radionuklidi brez I-131	0,08	±	0,02	0,03	±	0,1
	H-3	0,06	±	0,02	0,02	±	0,01
	Umetni in naravni radionuklidi	0,66	±	1,83	-1,14	±	1,83

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

Ocena doze zaradi prispevka NEK, papirnice Vipap in drugih dejavnikov zaradi uživanja rib ni mogoče oceniti zaradi prevelike negotovosti.

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 2005". 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

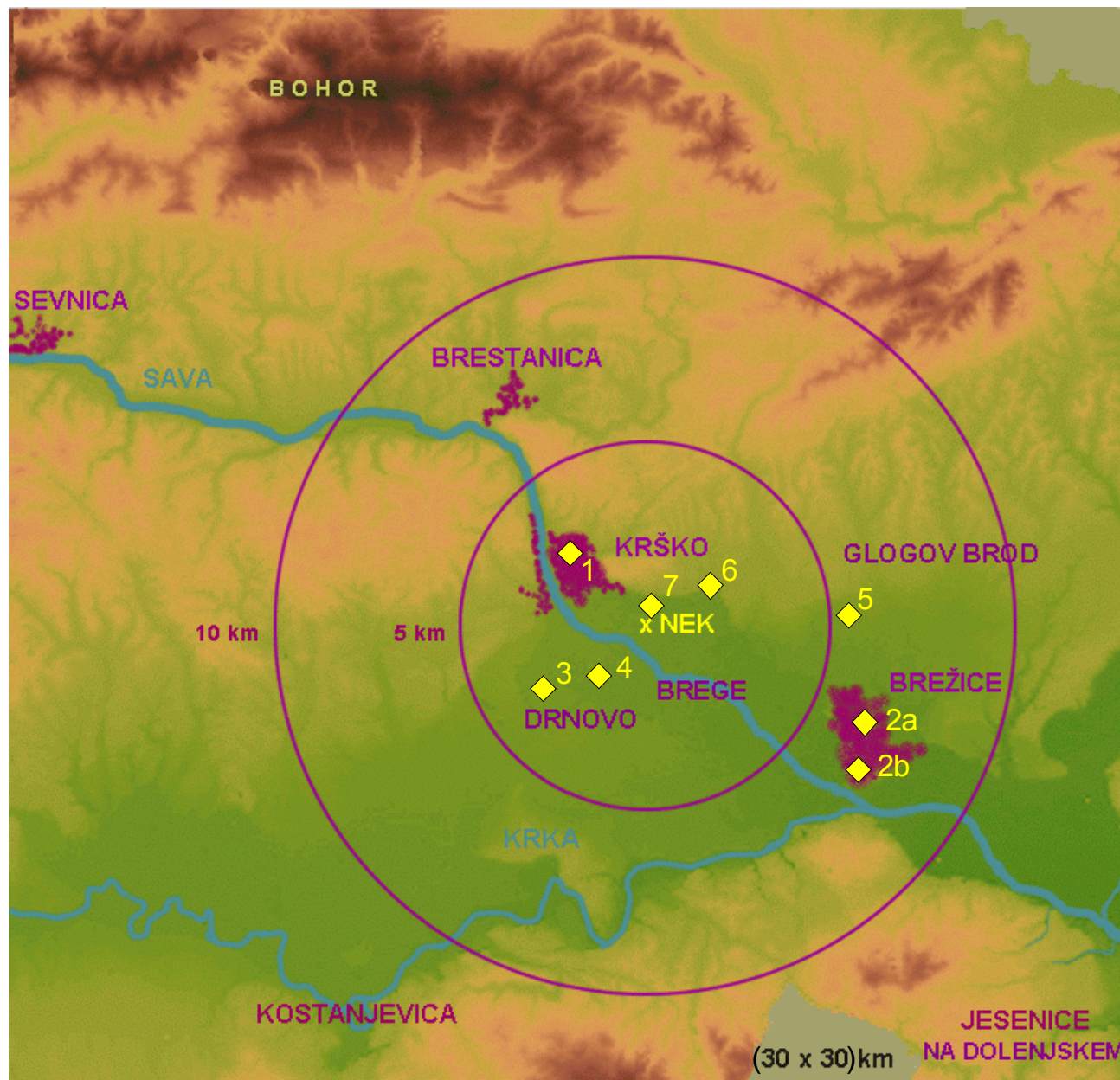
- [2] Basic Safety Standards for Radiation Protection, Safety Series No. 9, IAEA, Vienna 1982
- [3] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, BSS No. 115, IAEA, Vienna, 1996
Mednarodni temeljni varnostni standardi za varstvo 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
- [5] Izpostavitve prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NE Krško v reko Savo, IJS-DP-8801 (2003)



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 -
Glogov Brod VT1
- 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 2005 opravljalo na naslednjih lokacijah.

1. Enkratni četrtletni vzorci:

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

Na bencinskih servisih Petrol v Brežicah in v Krškem je bila v letu 2005 vodovodna voda vzorčevana štirikrat. Za primerjavo je bila dvakrat vzorčevana 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 2005 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 podatkov (RK-DN-03)*, *Radiokemična izločitev stroncija $^{90}\text{Sr}/^{89}\text{Sr}$ iz okoljskih vzorcev (RK-DN-09)*, *Meritve aktivnosti v pretočno proporcionalnem števcu (RK-DN-10)*, *Izračun specifičnih aktivnosti stroncija v okoljskih vzorcih (RK-DN-11)*.

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 **VodovodiCrpalisca2005.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 2005*.

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 2005 - meritve IJS

"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	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	Doza
	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-238	1,6E+00 ± 3E+00	1,8E-01 ± 3E-01	9,6E-01 ± 2E+00	1,1E-01 ± 2E-01	2,3E+00 ± 6E-01	2,5E-01 ± 6E-02	1,8E+00 ± 4E-01	2,0E-01 ± 4E-02
Ra - 226	0 ± 5E-01	0 ± 2E-01	1,1E+00 ± 5E-01	4,3E-01 ± 2E-01	6,1E-01 ± 5E-01	2,3E-01 ± 2E-01	3,3E-01 ± 1E-01	1,3E-01 ± 4E-02
Pb - 210	6,8E+00 ± 3E+00	9,8E+00 ± 4E+00	5,6E+00 ± 3E+00	8,0E+00 ± 4E+00	4,3E+00 ± 2E+00	6,2E+00 ± 3E+00		
Ra-228	0 ± 5E-01	0 ± 1E+00	1,7E+00 ± 4E-01	3,9E+00 ± 9E-01	3,0E-01 ± 2E-01	6,8E-01 ± 4E-01		
Th - 228	1,1E+00 ± 5E-01	6,7E-01 ± 3E-01	5,3E-01 ± 2E-01	3,1E-01 ± 1E-01	1,8E-01 ± 1E-01	1,1E-01 ± 6E-02	1,5E+00 ± 2E+00	8,8E-01 ± 1E+00
K - 40	4,1E+01 ± 1E+01	7,0E-01 ± 2E-01	6,8E+01 ± 9E+00	1,1E+00 ± 2E-01	2,5E+01 ± 2E+00	4,2E-01 ± 3E-02	3,0E+01 ± 7E+00	5,1E-01 ± 1E-01
Be - 7	1,2E+01 ± 7E+00	6,1E-04 ± 4E-04	1,3E+01 ± 7E+00	6,6E-04 ± 4E-04	7,7E+00 ± 5E+00	4,0E-04 ± 3E-04		
I - 131								
Cs - 134								
Cs - 137			0 ± 7E-02	0 ± 3E-04				
Co - 58								
Co - 60								
Cr - 51								
Mn - 54								
Zn - 65								
Nb - 95								
Ru,Rh - 106								
Sb - 125								
Sr-90/Sr-89	7,0E-01 ± 7E-01	2,0E-02 ± 2E-02	9,8E-01 ± 1E-01	2,8E-02 ± 3E-03	0 ± 3E-01	0 ± 8E-03	4,0E+00 ± 3E-01	1,2E-01 ± 1E-02
H - 3	1,0E+03 ± 1E+02	2,0E-02 ± 2E-03	1,2E+03 ± 1E+02	2,4E-02 ± 2E-03	3,8E+02 ± 2E+02	7,2E-03 ± 3E-03	1,3E+03 ± 1E+02	2,4E-02 ± 3E-03
Doza za umetne radionuklide		4,0E-02 ± 2E-01		5,2E-02 ± 2E-01		7,2E-03 ± 3E-02		1,4E-01 ± 1E-01
Doza, totalna		1,1E+01 ± 4E+00		1,4E+01 ± 4E+00		7,9E+00 ± 3E+00		1,9E+00 ± 1E+00

Preglednica 2.1a, drugi del: VODOVODI IN ČRPALIŠČA PITNE VODE 2005 - meritve IJS

"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	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-238	2,3E+00 ± 6E-01	2,6E-01 ± 7E-02	5,2E-01 ± 1E+00	5,9E-02 ± 1E-01	1,0E+00 ± 8E-01	1,1E-01 ± 9E-02	2,3E+00 ± 7E-01	2,6E-01 ± 7E-02	2,2E+00 ± 7E-01	2,5E-01 ± 7E-02
Ra - 226	1,5E+00 ± 6E-01	5,6E-01 ± 2E-01	1,3E+00 ± 3E-01	5,0E-01 ± 1E-01	1,8E+00 ± 4E-01	6,8E-01 ± 2E-01	6,6E-01 ± 3E-01	2,5E-01 ± 1E-01	1,7E-01 ± 9E-01	6,6E-02 ± 4E-01
Pb - 210	5,9E+00 ± 1E+00	8,4E+00 ± 2E+00	2,3E+00 ± 1E+00	3,3E+00 ± 2E+00	2,7E+00 ± 1E+00	4,0E+00 ± 2E+00	2,0E+00 ± 8E-01	2,9E+00 ± 1E+00	9,3E-01 ± 6E-01	1,3E+00 ± 9E-01
Ra-228	2,6E-01 ± 2E-01	6,0E-01 ± 6E-01	1,1E+00 ± 1E-01	2,5E+00 ± 3E-01	1,3E+00 ± 3E-01	3,0E+00 ± 6E-01	5,7E-01 ± 2E-01	1,3E+00 ± 4E-01	1,0E+00 ± 2E-01	2,3E+00 ± 5E-01
Th - 228	5,3E-02 ± 1E-01	3,1E-02 ± 6E-02	1,6E-01 ± 8E-02	9,5E-02 ± 5E-02	1,9E-01 ± 1E-01	1,1E-01 ± 7E-02	2,1E-01 ± 2E-01	1,2E-01 ± 9E-02	2,8E-01 ± 7E-02	1,7E-01 ± 4E-02
K - 40	2,6E+01 ± 1E+00	4,4E-01 ± 2E-02	7,1E+01 ± 5E+00	1,2E+00 ± 9E-02	8,6E+01 ± 3E+00	1,4E+00 ± 5E-02	1,8E+01 ± 1E+00	3,0E-01 ± 2E-02	2,6E+01 ± 1E+00	4,4E-01 ± 2E-02
Be - 7	1,1E+01 ± 3E+00	5,9E-04 ± 2E-04	7,6E+00 ± 2E+00	4,0E-04 ± 1E-04	8,7E+00 ± 3E+00	4,5E-04 ± 1E-04	5,1E+00 ± 1E+00	2,6E-04 ± 7E-05	1,8E-01 ± 2E-01	9,1E-06 ± 1E-05
I - 131										
Cs - 134										
Cs - 137	1,6E-02 ± 5E-02	7,5E-05 ± 2E-04	0 ± 7E-02	0 ± 3E-04	0 ± 6E-02	0 ± 3E-04	0 ± 3E-02	0 ± 1E-04	0 ± 3E-02	0 ± 1E-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 ± 5E-03	8,7E-01 ± 1E-01	2,5E-02 ± 3E-03	7,4E-01 ± 6E-02	2,2E-02 ± 2E-03	1,1E+00 ± 7E-02	3,1E-02 ± 2E-03	0 ± 2E-01	0 ± 5E-03
H - 3	4,2E+02 ± 6E+01	8,0E-03 ± 1E-03	1,4E+03 ± 1E+02	2,6E-02 ± 2E-03	1,4E+03 ± 2E+02	2,7E-02 ± 3E-03	1,2E+03 ± 6E+01	2,3E-02 ± 1E-03	3,3E+02 ± 7E+01	6,4E-03 ± 1E-03
Doza za umetne radionuklide		8,1E-03 ± 2E-02		5,1E-02 ± 9E-02		4,9E-02 ± 5E-02		5,4E-02 ± 2E-02		6,4E-03 ± 2E-02
Doza, totalna		1,0E+01 ± 2E+00		7,7E+00 ± 2E+00		9,3E+00 ± 2E+00		5,2E+00 ± 1E+00		4,6E+00 ± 1E+00

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 2005 - 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	$0,040 \pm 0,021$	$0,052 \pm 0,004$	$0,007 \pm 0,008$	$0,008 \pm 0,005$	$0,051 \pm 0,004$	$0,049 \pm 0,003$	$0,054 \pm 0,002$	$0,006 \pm 0,005$	$0,141 \pm 0,010$
	Umetni in naravni radionuklidi	$11,4 \pm 4,0$	$14,0 \pm 4,0$	$7,9 \pm 3,2$	$10,3 \pm 1,6$	$7,7 \pm 1,9$	$9,3 \pm 1,7$	$5,2 \pm 1,3$	$4,6 \pm 1,1$	$1,9 \pm 1,0$
ODRASLI	Umetni radionuklidi	$0,031 \pm 0,016$	$0,040 \pm 0,003$	$0,005 \pm 0,006$	$0,006 \pm 0,004$	$0,039 \pm 0,003$	$0,037 \pm 0,003$	$0,041 \pm 0,002$	$0,005 \pm 0,004$	$0,108 \pm 0,008$
	Umetni in naravni radionuklidi	$4,5 \pm 1,5$	$4,9 \pm 1,5$	$3,0 \pm 1,2$	$4,0 \pm 0,6$	$2,6 \pm 0,7$	$3,2 \pm 0,7$	$1,9 \pm 0,5$	$1,5 \pm 0,4$	$0,91 \pm 0,20$

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

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

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


Preglednica 2.1b: VODOVODI IN ČRPALIŠČA PITNE VODE 2005 - 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-238	2,0E+00 ± 2E-01	2,3E-01 ± 2E-02	1,4E+00 ± 1E-01	1,6E-01 ± 1E-02
Ra - 226	2,2E-01 ± 1E-01	8,5E-02 ± 4E-02	3,0E-01 ± 4E-02	1,2E-01 ± 2E-02
Pb - 210				
Ra-228			1,1E-01 ± 2E-01	2,6E-01 ± 4E-01
Th - 228	3,7E-01 ± 2E+00	2,2E-01 ± 1E+00	9,1E-01 ± 8E-01	5,4E-01 ± 5E-01
K - 40	4,0E+01 ± 4E+00	6,7E-01 ± 6E-02	1,7E+01 ± 1E+00	2,9E-01 ± 2E-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 ± 1E-02	3,9E+00 ± 2E-01	1,1E-01 ± 6E-03
H - 3	1,5E+03 ± 2E+02	3,0E-02 ± 4E-03	1,0E+03 ± 7E+01	1,9E-02 ± 1E-03
Doza za umetne radionuklide		1,3E-01 ± 1E-02		1,3E-01 ± 6E-03
Doza, totalna		1,3E+00 ± 1E+00		1,5E+00 ± 6E-01

**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 2005 - meritve IRB

SKUPINA		MEDSAVE (μSv na leto)	ŠIBICE (μSv na leto)
OTROCI 1–2 LETI	Umetni radionuklidi	0,132 ± 0,010	0,134 ± 0,006
	Umetni in naravni radionuklidi	1,3 ± 0,8	1,5 ± 0,6
ODRASLI	Umetni radionuklidi	0,101 ± 0,008	0,102 ± 0,005
	Umetni in naravni radionuklidi	0,62 ± 0,50	0,72 ± 0,30

 (*) 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 so bili le-ti v letu 2005 skupaj 1,9E+13 Bq/m³ in so bili najvišji v drugi polovici leta z vrednostmi 2,8E+12 Bq/m³, 3,7E+12 Bq/m³, 4,0E+12 Bq/m³ in 3,7E+12 Bq/m³ za mesece avgust, september, oktober in november.

Na sliki 2.2 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. Vodonosnik črpališča Brežice je namreč globlji in zato vsebuje staro vodo, kar pomeni, da je njegovo polnjenje iz površinskih vod šibko. Tritij, ki ima razpolovno dobo 12 let delno razpade in zato voda iz globljih vodonosnikov vsebuje manj tritija. V črpališču Brege, ki je od jezca NEK oddaljeno 1,4 km, so bile višje vrednosti H-3 izmerjene v drugi polovici leta, z maksimumoma v septembru (2000 ± 290) Bq/m³ in oktobru (2475 ± 270) Bq/m³. V vseh drugih mesecih so bile izmerjene vrednosti H-3 v tem črpališču manjše od 2000 Bq/m³. Letno povprečje mesečnih meritev H-3 v črpališču Brege je (1424 ± 153) Bq/m³. Meritve tritija v tem črpališču kažejo, da nihanje koncentracij H-3 sledi izpustom v Savo. V črpališču Drnovo, ki je od jezca NEK oddaljeno 3,1 km, je bila prav tako tudi v septembru izmerjena vrednost H-3 večja od 2000 Bq/m³, in sicer je bila (2325 ± 275) Bq/m³. V vseh drugih mesecih so bile izmerjene vrednosti manjše od 2000 Bq/m³. Povprečne letne vrednosti H-3 v črpališču Drnovo so bile (1356 ± 124) Bq/m³. V črpališču Dolenja vas je bila tudi v septembru izmerjena najvišja vrednost H-3, in sicer (1530 ± 250) Bq/m³, v vseh drugih mesecih pa so bile izmerjene vrednosti nižje. Letno povprečje za to vzorčevalno mesto je bilo (1172 ± 58) Bq/m³. Vsebnosti H-3 v odvzetem vzorcu pitne vode na bencinskem servisu Petrol v Krškem so bile v območju med 1030 Bq/m³ in 1495 Bq/m³, pri čemer je bila najvišja vrednost določena v vzorcu, ki je bil odvzet septembra. Vrednosti H-3 v mesečnih sestavljenih vzorcih iz črpališč vodovoda v Brežicah so nižje in so med (334 ± 66) Bq/m³ in (419 ± 64) 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 (376 ± 150) Bq/m³. 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

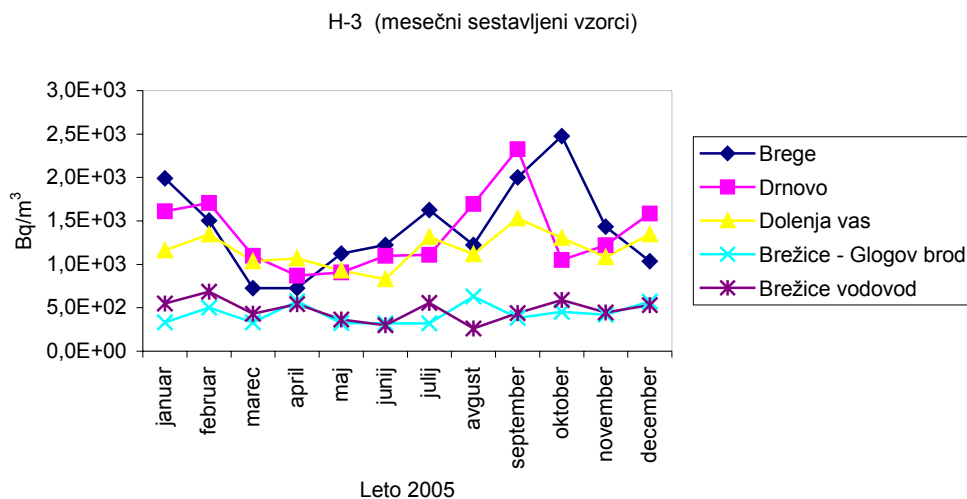


ljubljski vodovod, kar se kaže v višjih vsebnostih H-3. V ljubljanskem vodovodu je bila dobljena vrednost H-3 (1035 ± 96) Bq/m³. Vrednost je primerljiva z vrednostmi v krškem vodovodu (1233 ± 97) Bq/m³.

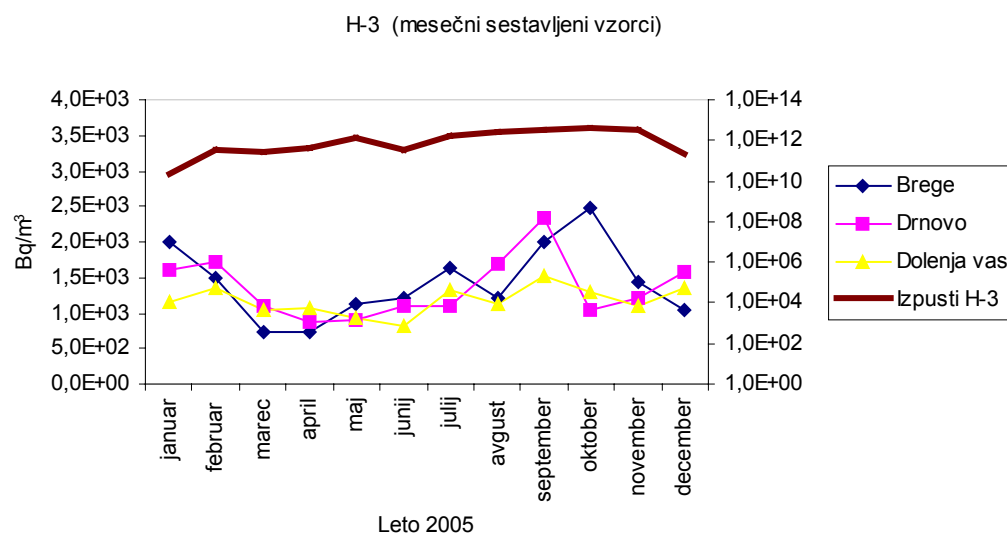
Vsebnost H-3 v podtalnici iz vrtine znotraj ograje NEK je v intervalu od 840 Bq/m³ do 1530 Bq/m³. Povprečje štirih enkratnih odvzemov je (1254 ± 138) Bq/m³.

V podtalnici vrtin Medsave in Šibice na področju Republike Hrvaške so bile povprečne izmerjene vrednosti (1549 ± 192) Bq/m³ za Medsave in (996 ± 73) Bq/m³ za Šibice.

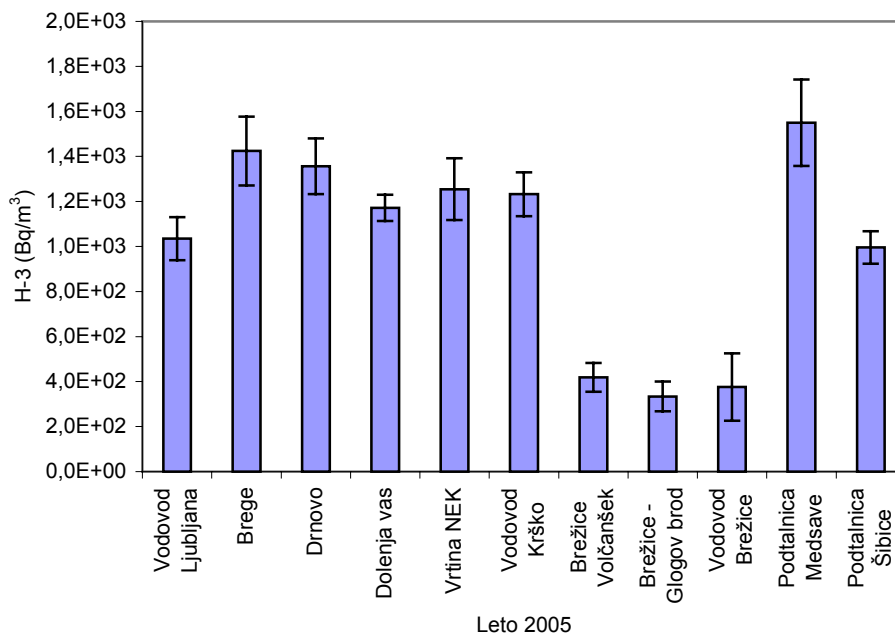
Primerjava vsebnosti H-3 za leto 2005 v vzorcih vode iz črpališč, vodovodov in podtalnice s podanimi merilnimi negotovostmi je prikazana na sliki 2.3. Na sliki je prikazana tudi vsebnost H-3 v ljubljanskem vodovodu. Rezultati potrjujejo, da je v brežiškem vodovodu zaradi globljih vrtin stara voda. Primerjava z ljubljanskim vodovodom pa kaže na to, da ni zaznati povečanja vsebnosti H-3 zaradi obratovanja NEK.



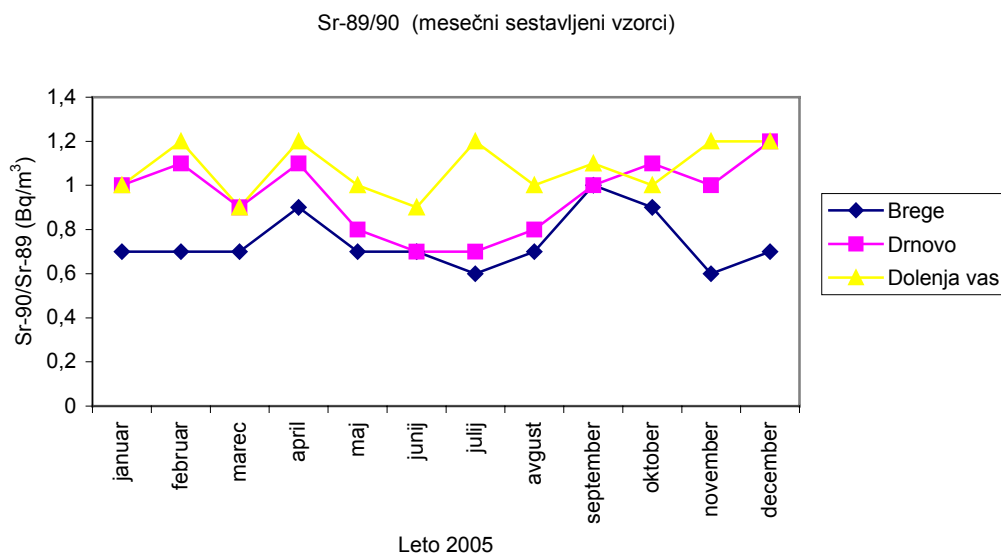
Slika 2.1: Vsebnosti H-3 v mesečnih sestavljenih vzorcih



Slika 2.2: Vsebnosti H-3 v mesečnih sestavljenih vzorcih ter mesečni izpusti H-3 v Savo

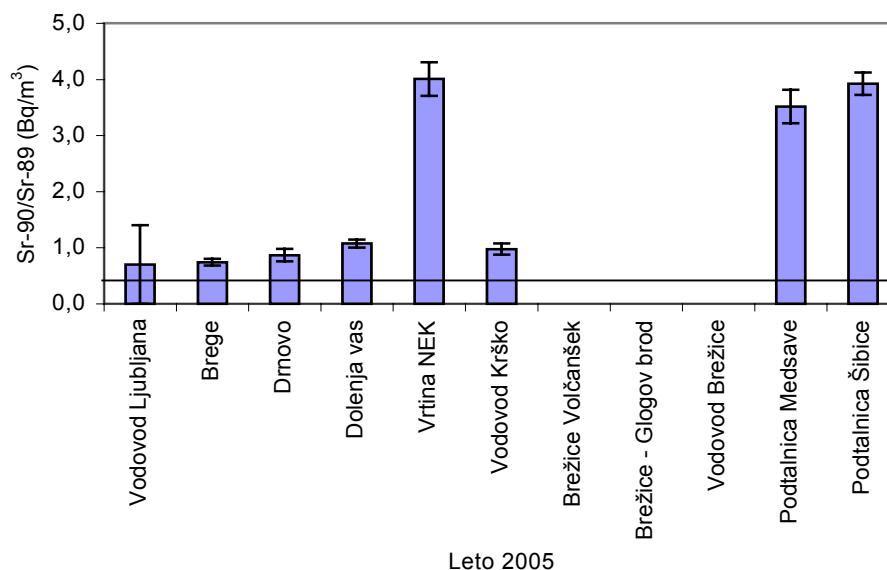


Slika 2.3: Primerjava povprečnih vrednosti H-3 v črpališčih, vodovodih in podtalnici za leto 2005



Slika 2.4: 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 $0,7 \text{ Bq/m}^3$ do $0,9 \text{ Bq/m}^3$. Vrednost $(1,0 \pm 0,1) \text{ Bq/m}^3$ 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 v vseh mesecih $< 0,5 \text{ Bq/m}^3$. Slika 2.4 prikazuje vsebnosti Sr-90/Sr-89 v mesečnih vzorcih črpališč krškega vodovoda.



Slika 2.5: Primerjava povprečnih vrednosti za Sr-90/Sr-89 v črpališčih, vodovodih in podtalnici. Meritve na lokacijah vrtina NEK ter podtalnica Medsava in Šibice izvaja IRB.

V letu 2005 je bil dvakrat odvzet vzorec vode iz ljubljanskega vodovoda. Izmerjeni vsebnosti Sr-90/Sr-89 sta bili prvič $(1,4 \pm 0,3)$ Bq/m³ in drugič manjši od $0,7$ Bq/m³.

Povprečne vrednosti štirih meritev vsebnosti Sr-90/Sr-89 v podtalnici v bližini NEK so bile $(4,0 \pm 0,3)$ Bq/m³, medtem ko so bile povprečne vrednosti mesečnih meritev vsebnosti Sr-90/Sr-89 v podtalnici na Hrvaškem v Medsavih $(3,5 \pm 0,3)$ Bq/m³ in v Šibicah $(3,9 \pm 0,2)$ Bq/m³. Navzgor odstopajoče vsebnosti Sr-90/Sr-89 pri teh meritvah izvirajo verjetno iz sistematskih vplivov v merski metodi. Podtalnico iz vrtine v NEK ter črpališč Medsava in Šibice namreč meri isti laboratorij (IRB). IRB je sodeloval v testih usposobljenosti z meritvami koncentracije Sr-90 v vodi pri meritvah koncentracij velikostnega reda kBq/kg z dobrim uspehom (tabela na strani M-105), pri meritvah koncentracij reda velikosti bekerel na kilogram pa je izmeril skoraj dvakrat previsok rezultat (tabela na strani M-94). Rezultati IJS se pri teh koncentracijah ujemajo s pripisano vrednostjo (tabela na strani M-107).

Primerjava vsebnosti Sr-90/Sr-89 s podatki merilne negotovosti v pitni vodi v črpališčih in podtalnici za leto 2005 je prikazana na sliki 2.5. 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 je bila analizirana vsebnost Cs-137 v septembrskem vzorcu $(0,19 \pm 0,11)$ Bq/m³, medtem ko so bile detektirane vsebnosti v pitni vodi v Krškem nižje od $0,6$ Bq/m³.

V vrtini znotraj ograje NEK vsebnost Cs-137 v letu 2005 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 I-131 ni bil detektiran.



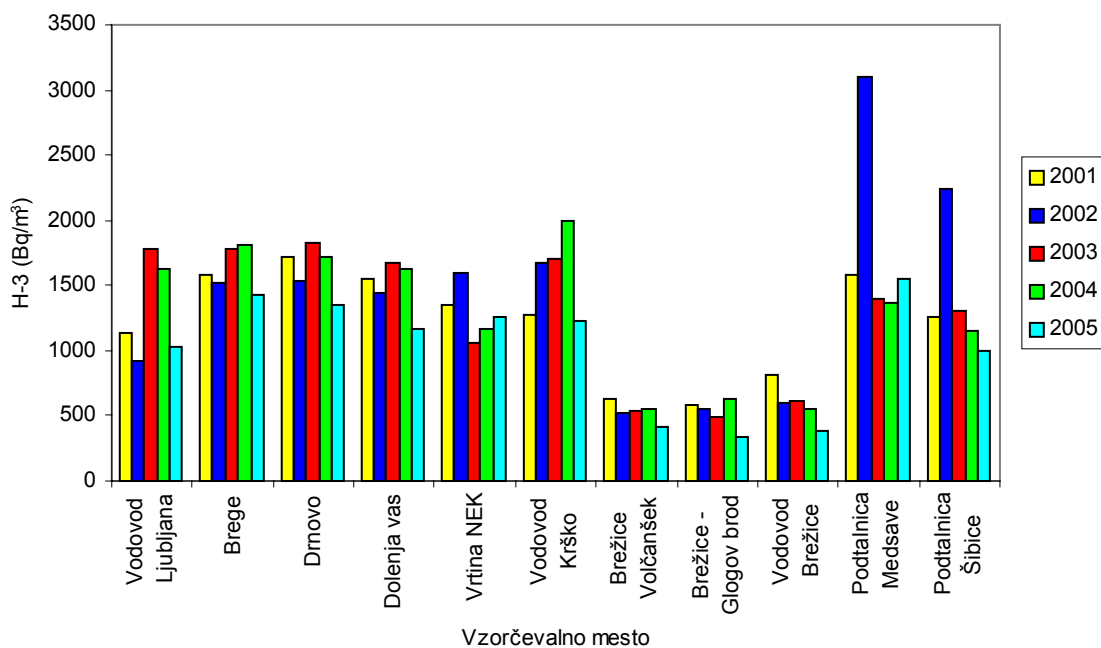
Naravni radionuklidi

V letu 2005 so bile opravljene meritve aktivnosti raztopljenih dolgoživih radionuklidov v podtalnici in pitni vodi. Naravni radionuklidi so bili sicer detektirani, vendar so bili večinoma, razen K-40, na večini lokacij pod mejo oziroma blizu meje kvantifikacije. Prisotnost K-40 v vodi je posledica splošne razširjenosti kalija v vrhnji plasti zemlje. Kalijeve spojine so v vodi topne, zato prisotnost kalija v vodi kaže na prisotnost kalija v snoveh, ki so bile v stiku z vodo. 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 vodonosniki nahajajo, in od koncentracij v dotokih, iz katerih se vodonosniki napajajo. Vsebnosti K-40 so bile izmerjene na vseh vzorčevalnih mestih in kažejo vrednosti od 14 Bq/m^3 do 95 Bq/m^3 v črpališčih, zajetju in vodovodu v Krškem, v Brežicah pa od 20 Bq/m^3 do 90 Bq/m^3 . V podtalnici na Hrvaškem so vrednosti K-40 med 12 Bq/m^3 in 57 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 nižje od 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 pa so se gibale v razponu od 1 Bq/m^3 do 25 Bq/m^3 . Podobne vrednosti so bile določene tudi v vzorcih pitne vode v Krškem in sicer od 6 Bq/m^3 in 23 Bq/m^3 , kakor tudi v Brežicah od 1 Bq/m^3 in 33 Bq/m^3 . To kaže na prisotnost sledov deževnice v vzorcih. Kozmogeni Be-7 pa ni bil detektiran v podtalnici na Hrvaškem in v vrtini NEK, določen pa je bil v ljubljanskem vodovodu s povprečno vrednostjo dveh meritev 12 Bq/m^3 . Omeniti je treba, da so totalne doze, ocenjene iz meritev IRB, mnogo nižje od doz, ocenjenih iz meritev IJS zato, ker IRB ni izmeril vsebnosti Pb-210, ki največ prispeva k oceni prejete doze.

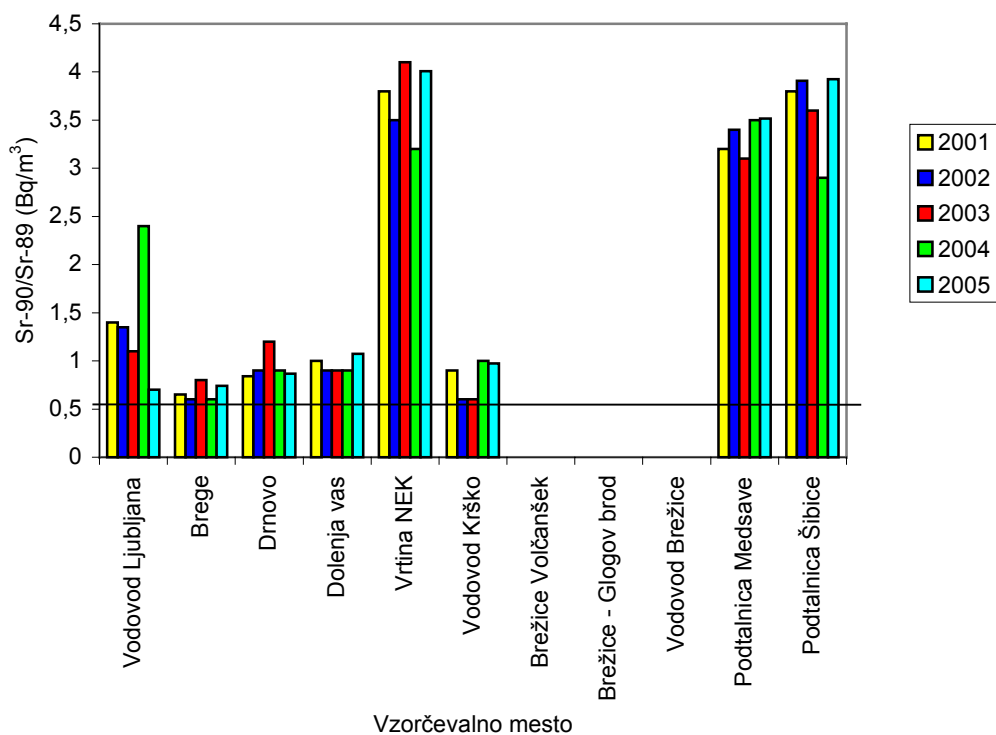
e) DISKUSIJA

Povprečne mesečne vsebnosti H-3, ki so bile izmerjene v letu 2005, so podobne tistim, ki so bile izmerjene v preteklem letu. Primerjava vrednosti za leta od 2001 do 2005 je prikazana na sliki 2.6.

Kot je razvidno s slike 2.6, je bila vsebnost H-3 v analiziranih vzorcih primerljiva z vrednostmi, ki so bile izmerjene v letih od 2001 do 2004, oziroma se kaže upadanje, kljub temu, da so bili izpusti tritija v letu 2005 približno 19 TBq , kar je za skoraj 50 % več kot leta 2002, ko so bili izpusti največji (slika 9.2). Iz tega sledi, da spremenljivosti letnih poprečij koncentracije tritija v vodovodih, črpališčih in podtalnici ne moremo pojasniti z izpusti NEK. Povišanih koncentracij za faktor 2 v podtalnici v Medsavah in Šibicah leta 2002 tudi ne moremo pripisati izpustom NEK, ki so bili tega leta le za 20% višji od povprečja v obdobju 1999 do 2004. 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 nižje od 500 Bq/m^3 . Vrednosti H-3, določene v vrtini NEK in v podtalnici na Hrvaškem, so skoraj enake kot v preteklem letu. Če predpostavimo, da povečanje koncentracije tritija septembra in oktobra v črpališčih Brege in Drnovo izvira iz povečanih izpustov NEK v teh mesecih, lahko ocenimo zgornjo mejo za vpliv izpustov NEK na koncentracije tritija v vodi črpališč krškega vodovoda. Primerjava med slikama 2.2 ter 9.1 kaže, da se povprečno povečanje izpustov za faktor 7 (razmerje poprečij mesečnih izpustov za september in oktober ter za april, maj in junij) odraža v povišanju koncentracije za 1000 Bq/m^3 v vodi teh črpališč. Pri črpališču Dolenja vas pa korelacija med koncentracijo tritija in izpusti NEK ni bila ugotovljena.



Slika 2.6: Povprečne letne vsebnosti H-3 v vodovodih, črpališčih in podtalnici v zadnjih petih letih



Slika 2.7: Povprečne vrednosti Sr-90/Sr-89 v vodovodni vodi, v črpališčih in podtalnici v zadnjih petih letih



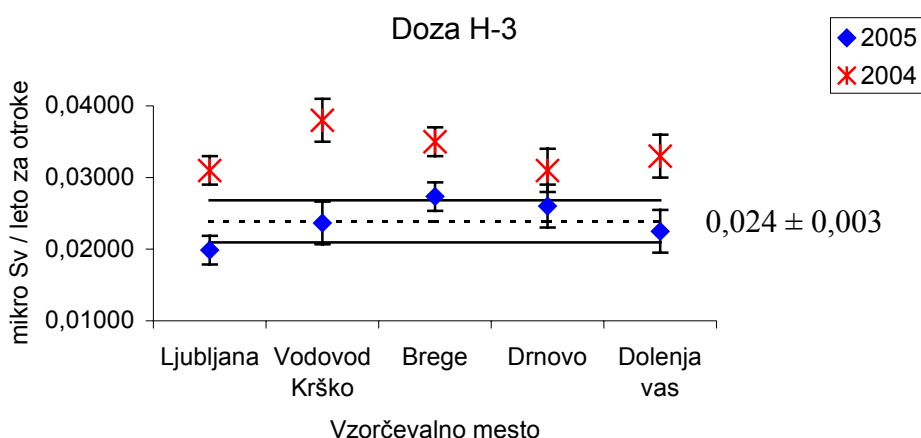
Primerjava vsebnosti za Sr-90/Sr-89 v vodovodih in črpališčih za leto 2005 ne kaže odmikov od vrednosti v letih od 2001 do 2004. Primerjava rezultatov za vsebnost Sr-90/Sr-89 od 2001 do 2005 je prikazana na sliki 2.7.

Izmerjene vsebnosti Cs-137 v letu 2005 so bile večinoma pod mejo kvantifikacije v vseh vzorcih iz okolice NEK in iz Ljubljane, razen v enem vzorcu brežiškega vodovoda. Na lokacijah, kjer izvaja vzorčevanje in meritve Institut Ruđer 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 Brežicah pa tudi v Ljubljani kaže na prisotnost sledov deževnice v vzorcih.

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 2005. Edini umetni 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 2.1a (povzetek) in 2.1b (povzetek) so ocenjene učinkovite 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. Prispevek **umetnih radionuklidov** v letu 2005 v brežiškem vodovodu k obremenitvi referenčnega človeka je **za odrasle ($0,005 \pm 0,004$) μSv na leto** in **za otroke (1–2 let) ($0,006 \pm 0,005$) μSv na leto**. Te vrednosti so manj kot 5 promilov celoletne obremenitve z umetnimi in naravnimi radionuklidi, ki so za odrasle $5 \mu\text{Sv}$ na leto in za otroke $12 \mu\text{Sv}$ na leto. Ocenjeni prispevek obremenitve zaradi **naravnih radionuklidov** se v primerjavi s preteklimi leti ni spremenil.

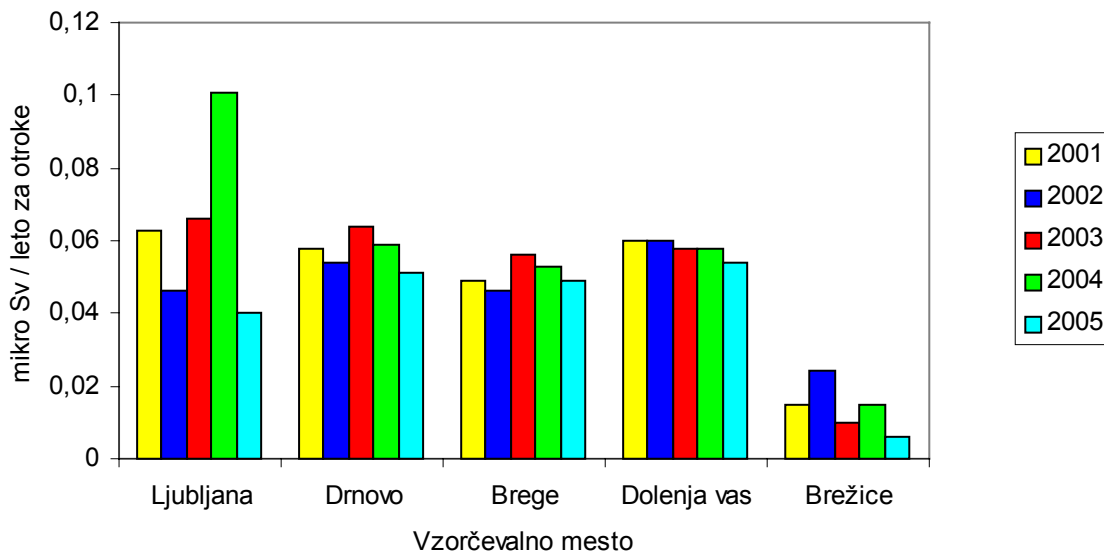
Dodatnega vpliva NEK v vodovodih in črpališčih v letu 2005 ni bilo mogoče zaznati. Višje vrednosti H-3 v črpališčih krškega vodovoda v primerjavi z brežiškim so bile opažene tudi v preteklih letih. Ker so vrednosti primerljive z vsebnostjo H-3 v ljubljanskem vodovodu, jih ni mogoče pripisati vplivu NEK.



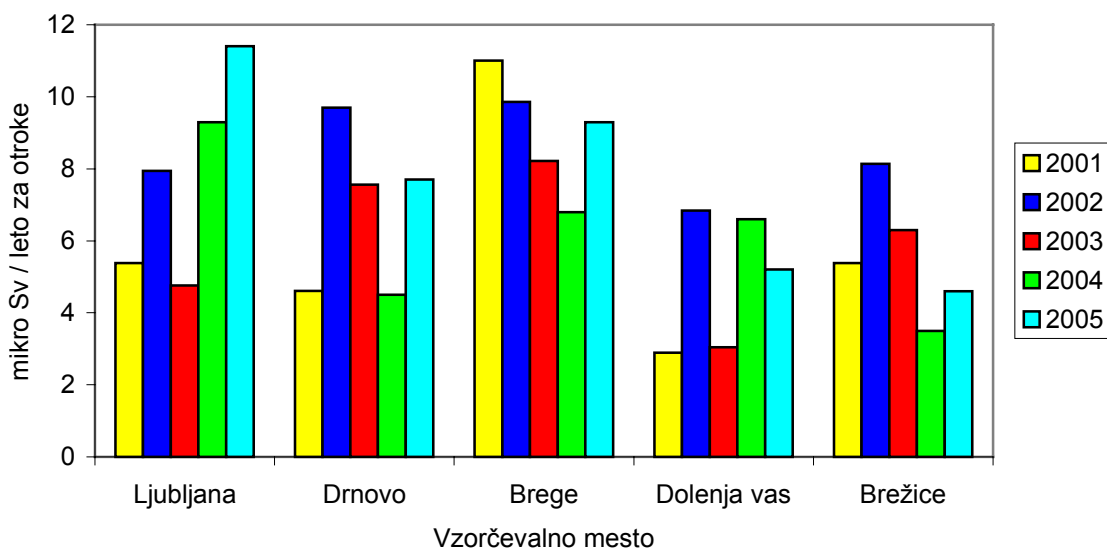
Slika 2.8: Primerjava med letnimi dozami, ki jih prejmejo otroci zaradi vnosa H-3 pri pitju vodovodne vode iz različnih lokacij v okolici Krškega in v Ljubljani



Na sliki 2.8 je prikazana doza, ki bi jo prejeli otroci zaradi vsebnosti H-3 v ljubljanskem in krškem vodovodu ter v črpališčih Brege, Drnovo in Dolenja vas. Kot je razvidno s slike, je doza zaradi tritija na teh vzorčevalnih mestih približno enaka. Vrednosti so namreč od 0,020 μSv do 0,027 μSv na leto. Njihova povprečna vrednost je $(0,024 \pm 0,003) \mu\text{Sv}$ na leto. Na sliki so predstavljene tudi vrednosti, ki so bile izračunane za leto 2004 in so bile nekoliko višje. Primerjava doz za leti 2004 in 2005 kaže, da se povečani izpusti tritija v letu 2005 niso povzročili povečanja doz zaradi prisotnosti tritija v pitni vodi. Iz tega lahko sklepamo, da je vpliv tritija v izpustih NEK na dozo zanemarljiv v primerjavi z vplivom sprememb koncentracij tritija v okolju.



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



Slika 2.10: Ocenjeni prispevki k dozi za otroke na leto zaradi vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov za zadnjih pet let za otroke



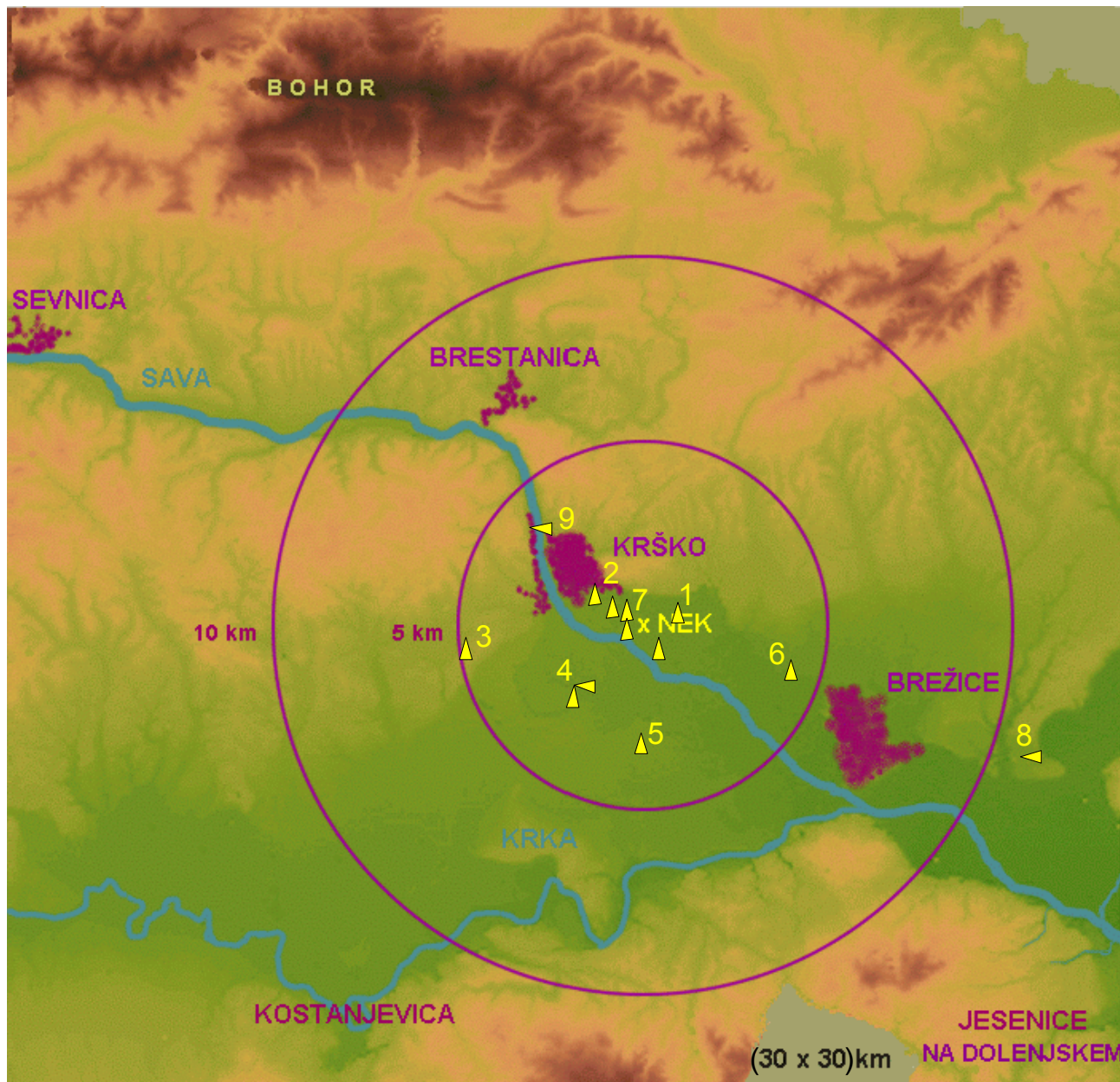
g) SKLEPI

Izmerjene koncentracije naravnih in umetnih radionuklidov v letu 2005 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 2005 je **za odrasle (0,005 ± 0,004) μSv na leto** in **za otroke (1–2 let) (0,006 ± 0,005) μSv na leto**. Celotna obremenitev zaradi vsebnosti **naravnih in umetnih radionuklidov** v brežiškem vodovodu je ocenjena na (1,5 ± 0,4) μSv na leto za odrasle in (4,6 ± 1,1) μSv na leto za otroke (1–2 let). V črpališčih krškega vodovoda je ocenjeni prispevek vseh umetnih radionuklidov od (0,037 ± 0,003) μSv do (0,041 ± 0,002) μSv na leto za odrasle in od (0,049 ± 0,003) μSv do (0,054 ± 0,002) μSv na leto za otroke. Celoletna obremenitev na teh črpališčih zaradi umetnih in naravnih radionuklidov pa je ocenjena na (1,9 ± 0,5) μSv do (4,9 ± 1,5) μSv na leto za odrasle in od (5,2 ± 1,3) μSv do (14,4 ± 4,0) 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, (0,031 ± 0,016) μSv za odrasle in (0,040 ± 0,021) μSv za otroke, to potrjuje. Doza zaradi prispevka vseh radionuklidov v ljubljanski vodovodni vodi je (4,5 ± 1,5) μSv za odrasle in (11,4 ± 4,0) 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 2.9 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 2001 v glavnem znižujejo. Slika 2.10 pa prikazuje ocenjene prispevke za vse radionuklide, tako naravne kot umetne. Največji prispevek k dozi daje Pb-210. S slik 2.9 in 2.10 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.



PADAVINE IN SUHI USEDI

- ▲ LOVILNE PLOŠČE USEDA
- ◀ PADAVINE IN USEDI

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

PADAVINE IN SUHI USEDI

Aerosoli in plini, ki so v ozračju, se izpirajo z dežjem ali pa se vezani na prašne delce usedajo na površje zemlje. Izpiranje z dežjem mnogo učinkoviteje čisti ozračje kot usedanje. Radioaktivne snovi, ki so v ozračju, se zaradi omenjenih procesov kopičijo na površinah. Z zbiralniki deževnice in suhega useda jih zbiramo, s specifično analizo radionuklidov v vzorcih pa ugotavljamo obseg njihove depozicije.

Rastline vsrkajo odložene radioaktivne snovi preko korenin ali listov ter skozi užitne dele pridejo v prehrabno verigo. Poleg tega deževnica prehaja skozi zemeljske plasti v podtalnico in tako lahko kontaminira pitno vodo. Padavine tako igrajo ključno vlogo pri prenosu kontaminantov iz zraka v človeško telo. 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 naravno prisotne oziroma kot posledica drugih dejavnosti. Rezultati meritev kažejo na to, da je kontaminacija deževnice in suhega useda zaradi zračnih izpustov NEK zanemarljiva.

a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST

Vzorčevalna mesta za padavine so v Bregah, Krškem in Dobovi. Vzorčevalna mesta za suhi used (vazelinske plošče) so 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 $0,25 \text{ m}^2$. Za zbiranje suhih usedov so postavljene plošče iz pleksi stekla od 1,8 m do 2 m nad površino tal, ploščine $0,3 \text{ m}^2$ 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 (sušinah) po izparevanju vzorcev padavin se uporablja visokoločljivostna spektrometrija gama (VLG), za merjenje koncentracij Sr-90/Sr-89 v suhih ostankih vzorcev padavin pa radiokemični analizni postopek. Aktivnosti H-3 v padavinah se merijo s tekočinskim scintilacijskim števcem, pred tem pa se vzorce tekočin elektrolitsko obogati.

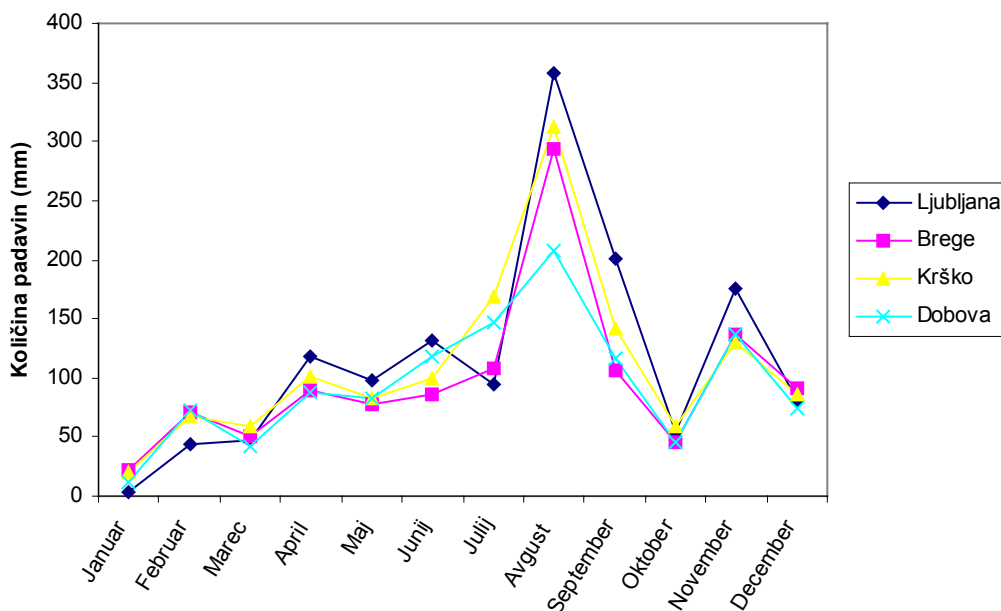
c) OBRAVNAVA REZULTATOV

Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v datoteki **PadavineUsedi2005.pdf**.

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

V prvi polovici leta 2005 je bila mesečna količina padavin v Ljubljani do največ 132 mm (v povprečju 74 mm), v Bregah do največ 89 mm (v povprečju 66 mm), v okolici Krškega do največ 101 mm (v povprečju 72 mm) in v Dobovi do največ 118 mm (v povprečju 69 mm). V drugi polovici leta so bile količine padavin v povprečju večje kot v prvi polovici leta 2005, in sicer v Ljubljani do največ 358 mm (v povprečju 160 mm), v Bregah do največ 294 mm (v povprečju 131 mm), v okolici Krškega do največ 312 mm (v povprečju 150 mm) in v Dobovi do največ 207 mm (v povprečju

121 mm). Najmanjša količina padavin je bila v januarju, ko je na vseh lokacijah v povprečju padlo le 15 mm dežja. Največja količina padavin na vseh lokacijah je bila v avgustu, v povprečju kar 293 mm. Letna vsota padavin v Ljubljani v letu 2005 je bila 1403 mm, v Bregah 1178 mm, v Krškem 1331 mm in v Dobovi 1141 mm. Mesečne porazdelitve padavin v Ljubljani, Bregah, Krškem in Dobovi so prikazane na sliki 3.1.

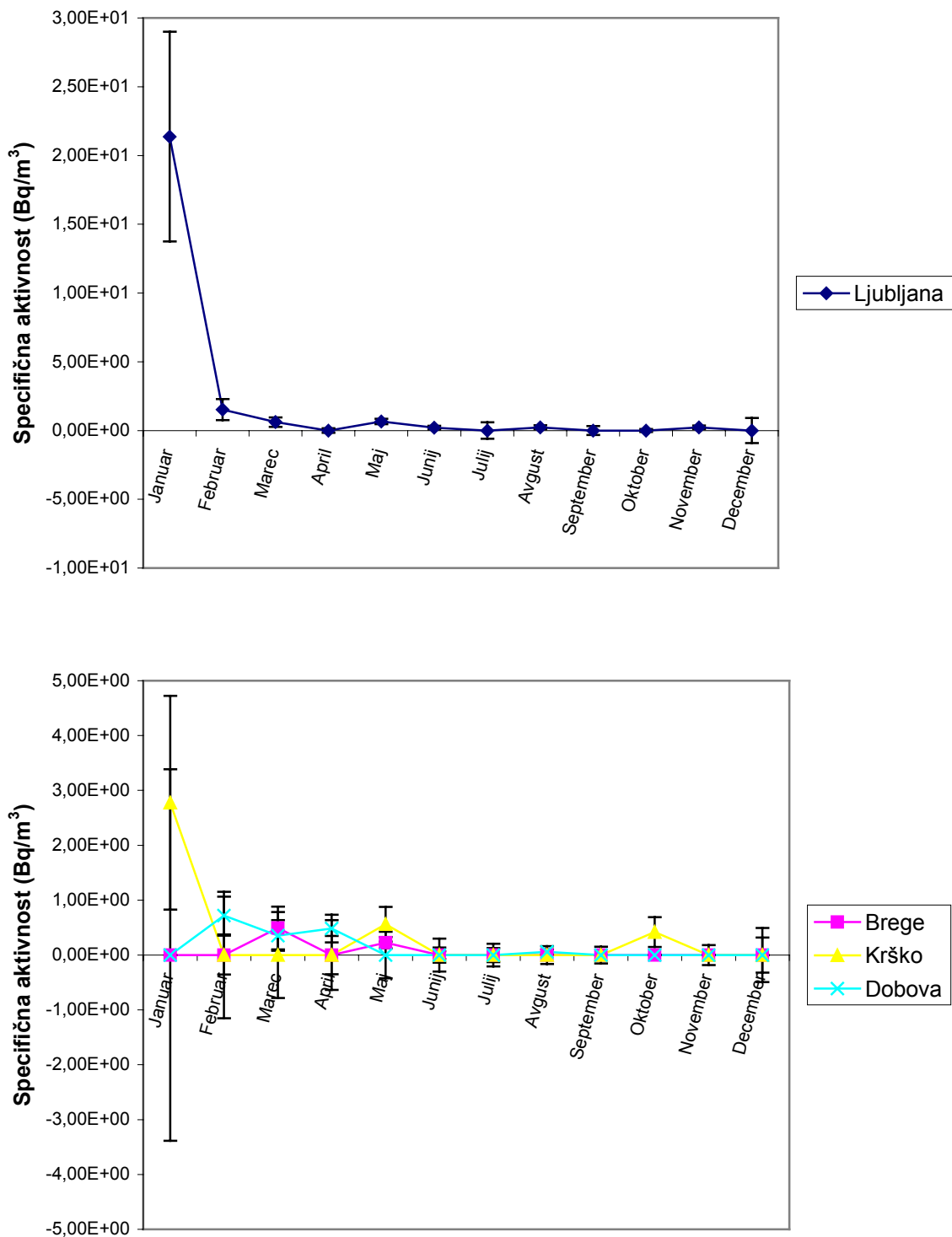


Slika 3.1: Mesečne količine padavin v Ljubljani, Bregah, Krškem in Dobovi v letu 2005

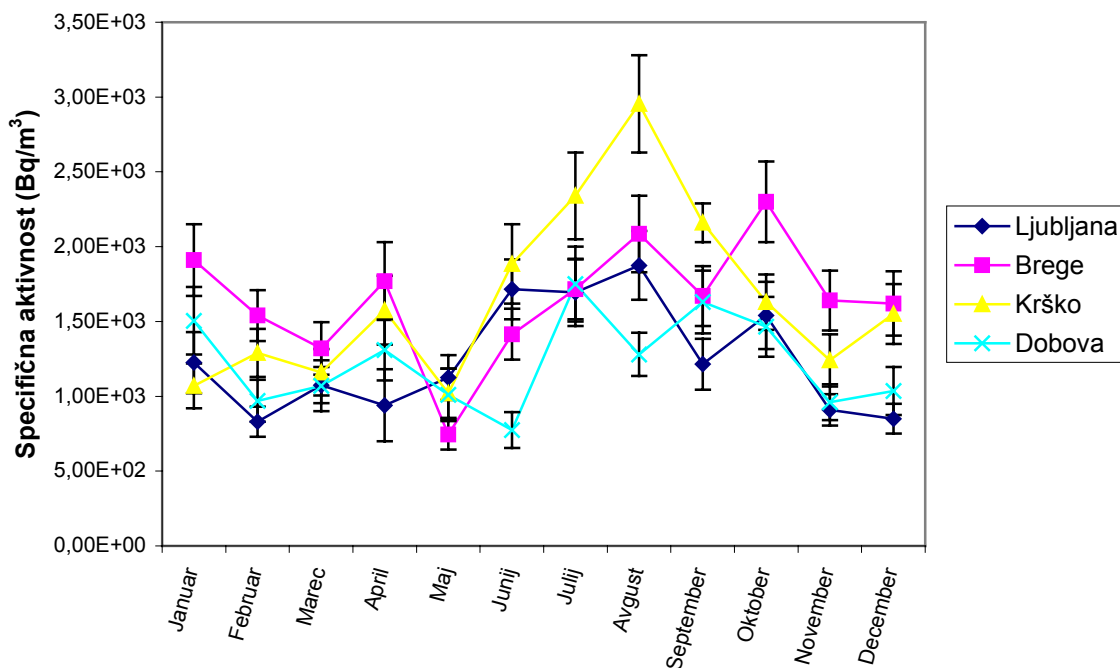
V vzorcih padavin in suhih usedov so bili prisotni naravni radionuklidi H-3, Be-7, Na-22, K-40, potomci uranove in torijeve razpadne vrste ter umetni radionuklid Cs-137. Koncentracija Sr-90/Sr-89 je bila v vseh vzorcih pod mejo določljivosti. Koncentracijo kozmogenega izotopa Na-22 v deževnici je mogoče izmeriti zaradi izboljšane občutljivosti spektrometrov. V tabeli 3.1 so podatki o največjih izmerjenih koncentracijah in letna povprečja koncentracij za 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 2005.

Največja koncentracija H-3 je bila izmerjena avgusta v Krškem ($(3000 \pm 300) \text{ Bq/m}^3$); v istem mesecu je bila najvišja vrednost H-3 izmerjena tudi v Ljubljani ($(1900 \pm 200) \text{ Bq/m}^3$). Največja koncentracija Be-7 je bila izmerjena avgusta tako v Krškem ($(1400 \pm 80) \text{ Bq/m}^3$) kot v Dobovi ($(1400 \pm 70) \text{ Bq/m}^3$); v istem mesecu je bila največja vrednost Be-7 izmerjena tudi v Ljubljani ($(1100 \pm 100) \text{ Bq/m}^3$). Koncentracije Sr-90/Sr-89 so bile v vseh primerih pod mejo določljivosti. Največja koncentracija Pb-210 je bila določena v Ljubljani ($(1800 \pm 900) \text{ Bq/m}^3$). Največja koncentracija K-40 je bila prav tako določena v Ljubljani ($(68 \pm 8) \text{ Bq/m}^3$). Povprečna koncentracija Cs-137 v širši okolici NEK je bila nižja od koncentracije Cs-137 v Ljubljani. Razmerja najvišjih vrednosti njegovih koncentracij in letnih povprečij so ponekod visoka, kar gre v veliki meri pripisati nihanju količine padavin. Koncentracije radionuklidov iz tabele 3.1 so primerljive z vrednostmi iz prejšnjih let, razen največje koncentracije Cs-137, izmerjene januarja v Ljubljani ($(21 \pm 8) \text{ Bq/m}^3$). Pri tem je pomembno dejstvo, da je bila v januarju količina padavin v Ljubljani kar 20-krat nižja od letnega mesečnega povprečja.

Mesečne koncentracije Cs-137 in H-3 v deževnici v Bregah, Krškem, Dobovi in v Ljubljani so prikazane na slikah 3.2. in 3.3. Najvišja vsebnost Cs-137 je bila določena januarja v Ljubljani. Ker je za več kot 10-krat presegala druge vrednosti, je diagram za Ljubljano zaradi jasnosti predstavljen posebej.



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



Slika 3.3: Koncentracije H-3 v deževnici v Ljubljani, Bregah, Krškem in Dobovi

Podatki za koncentracije H-3 v deževnici ne kažejo nobenih posebnosti tako glede vzorčevalnih mest kot časovnega poteka. Najvišje aktivnosti v Ljubljani in Krškem so bile v mesecu avgustu, v Bregah v oktobru in v Dobovi v juliju.

S slike 3.4, ki prikazuje koncentracije H-3 v talnem usedu (used v Bq/m², preračunan iz aktivnosti v deževnici) za vsa štiri vzorčevalna mesta, je opaziti višje aktivnosti v avgustu, kar se ujema z največjimi količinami padavin. Glede na podatke o izpustih H-3 v zrak in povišane vrednosti tudi v Ljubljani, tega povišanja ne moremo pripisati vplivu NEK na deževnico in s tem na talni used, ampak veliki količini padavin v tem mesecu.

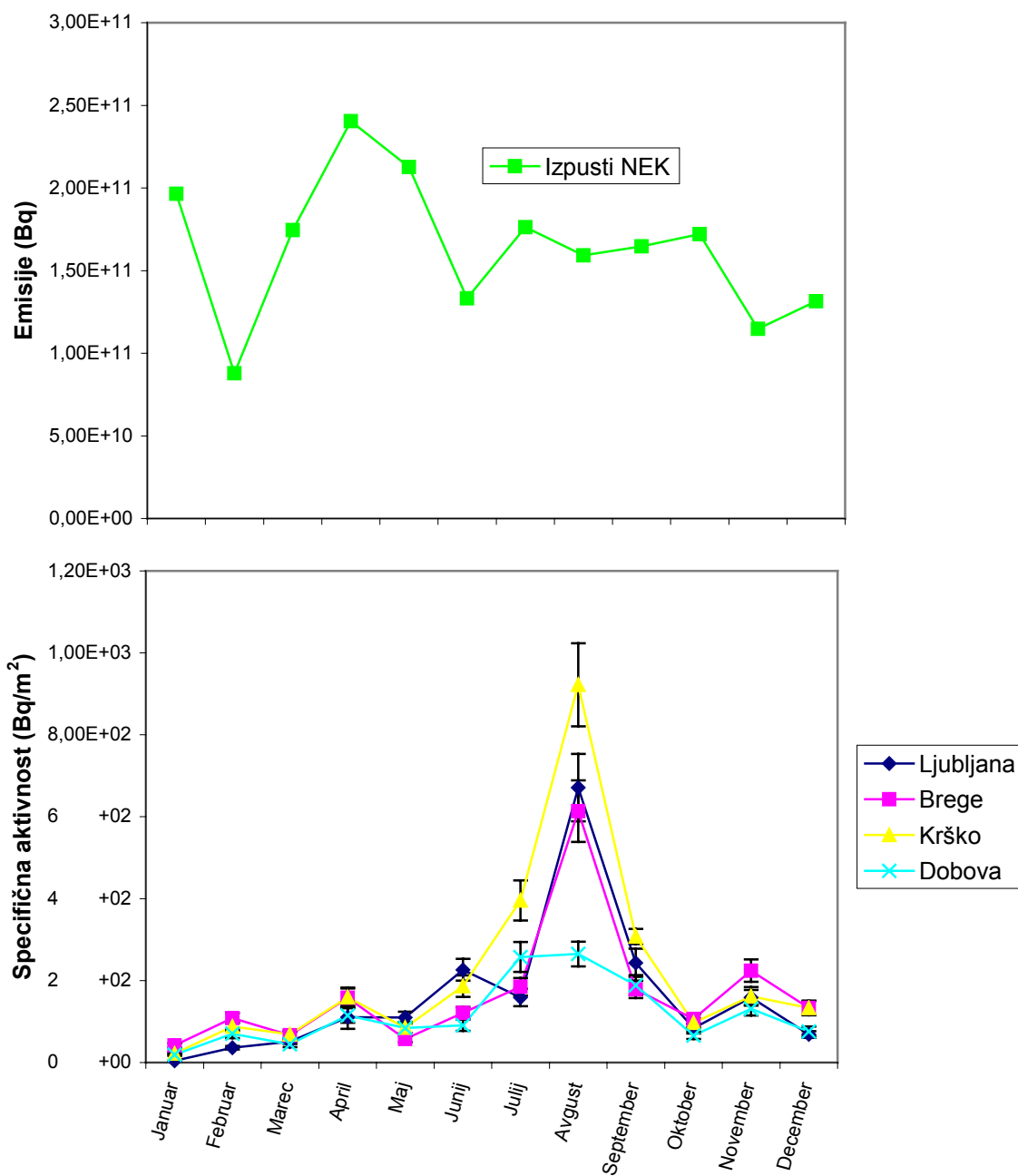
Na sliki 3.5 so prikazane sezonske variacije mesečnega depozita Be-7, izmerjene na vazelinskih ploščah. Razvidne so signifikantno nižje vrednosti, izmerjene v zimskih mesecih, v primerjavi z drugimi letnimi časi.

Slika 3.6 prikazuje mesečne koncentracije Cs-137 v suhem usedu na vazelinskih ploščah. Razmerje povprečnega useda Cs-137 v letu 2005 v okolici NEK glede na predhodno leto je 0,9. Spremembe povprečnega useda Cs-137 so si v obdobju po černobilski onesnažitvi v okolici NEK sledile takole:

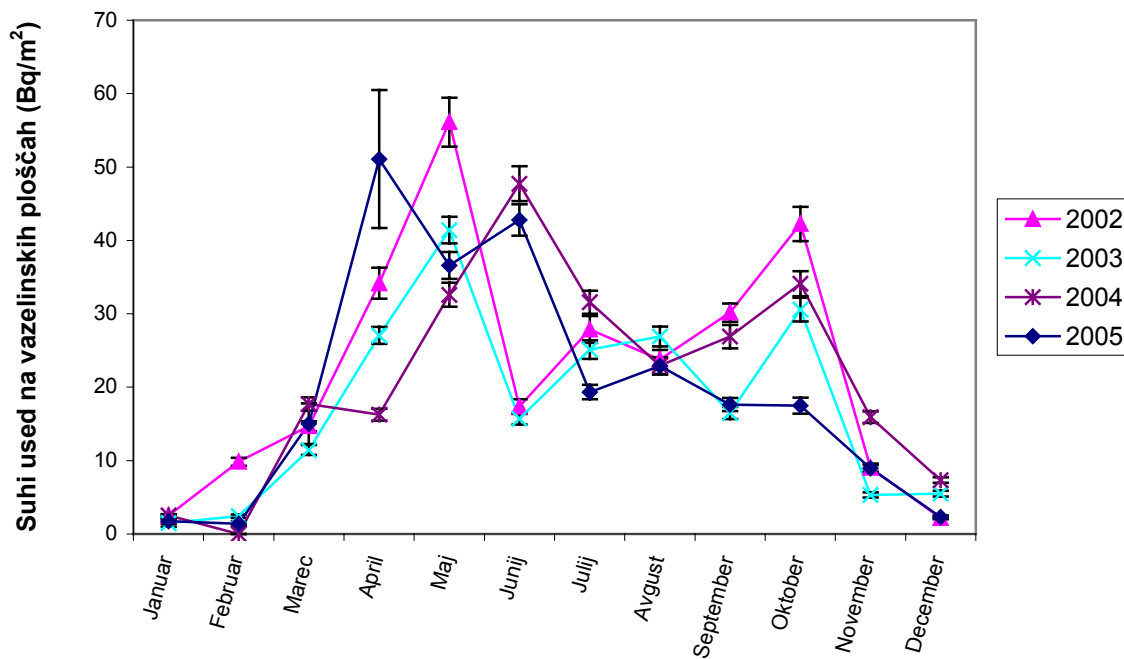
Razmerja velikosti dveh zaporednih letnih usedov Cs-137 v okolici NEK (vazelinske plošče):

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	2005/2004	0,9

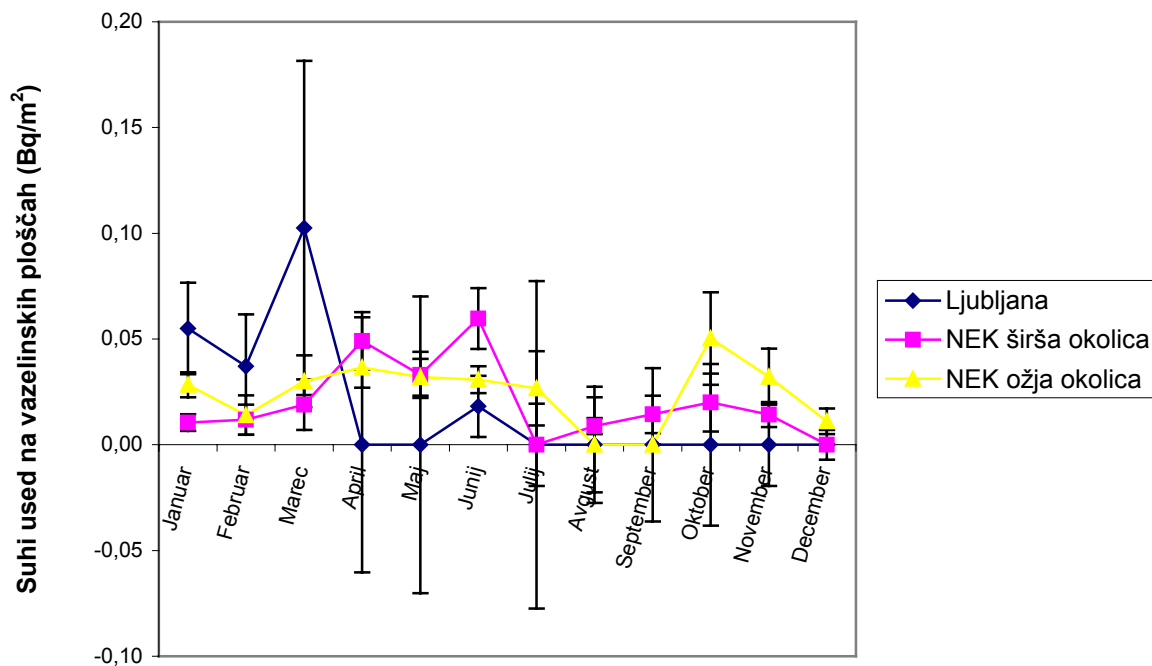
Iz razmerja 2005/2004 izhaja, da je bil izmerjeni povprečni used Cs-137 v okolici NEK v letu 2005 primerljiv z povprečnim letnim usedom v letu 2004.



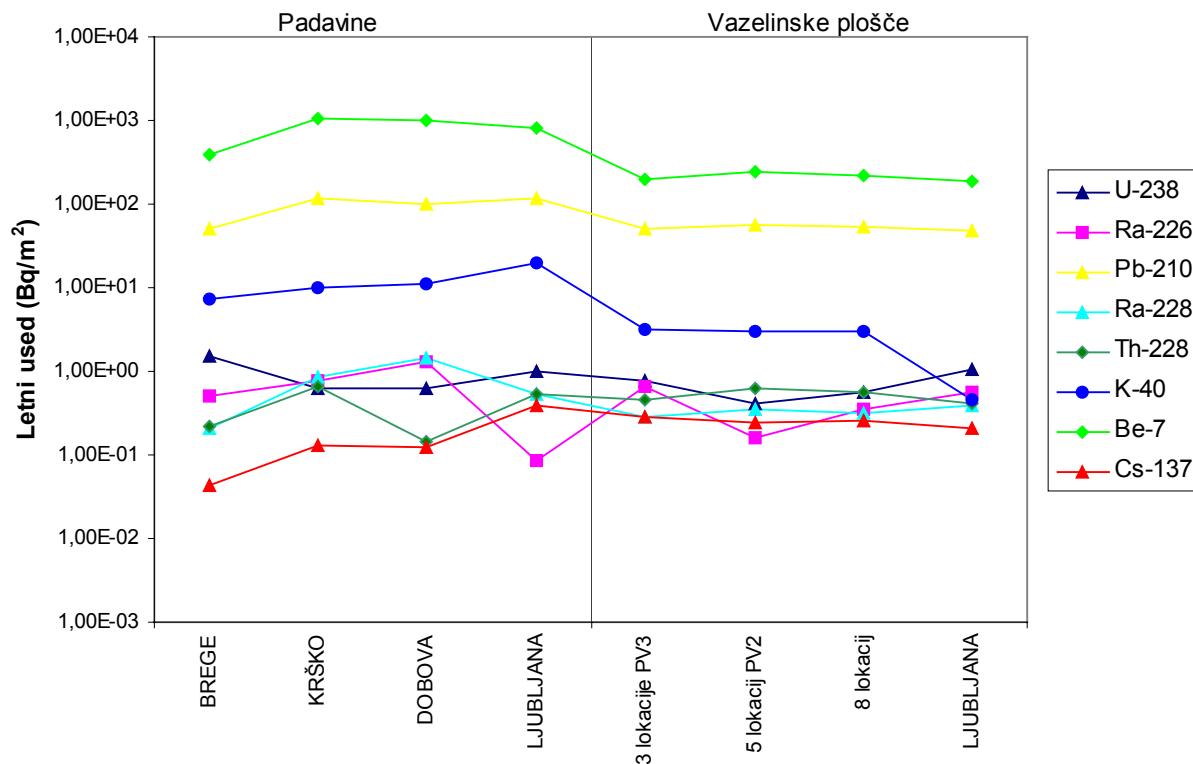
Slika 3.4: Koncentracije H-3 v talnem usedu, preračunanem iz aktivnosti deževnice (Bq/m^2), v Ljubljani, Bregah, Krškem in Dobovi v primerjavi z izpusti H-3 v zrak



Slika 3.5: Koncentracije Be-7 v suhem usedu (Bq/m^2) v širši okolici NEK v letih 2002–2005



Slika 3.6: Koncentracije Cs-137 v suhem usedu na vazelinskih ploščah



Slika 3.7: Povprečni letni talni usedi v padavinah, zbranih v lovilnikih deževnice, in suhi usedi na vazelinskih ploščah na različnih lokacijah okrog NEK in v Ljubljani v letu 2005

Na sliki 3.7 je prikazana primerjava vrednosti letnih talnih usedov v padavinah in suhih usedov na vazelinskih ploščah na vzorčevalnih mestih okrog NEK in v Ljubljani. Vsebnosti za Cs-137 v okolici NEK so bile približno dvakrat višje na vazelinskih ploščah. Višje vrednosti na vazelinskih ploščah v primerjavi z vrednostmi v padavinah so lahko posledica resuspenzije Cs-137 s tal. Najvišja vrednost za Cs-137 je bila izmerjena v padavinah v Ljubljani ($0,21 \pm 0,16 \text{ Bq/m}^2$). Pri primerjavi razmerij letnih usedov Cs-137 z usedi za K-40 je opaziti za faktor 9 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 bilo ($0,01 \pm 0,02$), medtem ko je za vazelinske plošče to povprečje ($0,09 \pm 0,04$). Ker je razmerje med aktivnostjo Cs-137 in K-40 v zgornji plasti zemlje približno 0,12, pojasnjujemo aktivnosti Cs-137 in K-40 v suhem usedu na vazelinskih ploščah kot posledico resuspenzije. Vazelinske plošče imajo namreč izkoristek za mokri used manjši kot za suhega. Manjše razmerje aktivnosti Cs-137 in K-40 v deževnici kaže na to, da izpiranje iz ozračja z dežjem ne prispeva k usedu Cs-137, ampak le k usedu K-40. V padavinah je bila vsebnost Sr-90/Sr-89 pod detekcijsko mejo v vseh vzorcih.



Preglednica 3.1: TALNI IN SUHI USEDNI V LETU 2005 - meritve IJS

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

"Doza" Predvidena efektivna **zunanja doza** (committed effective dose) 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		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)
Na-22	6,3E-02 ± 1E-02	6,9E-04 ± 1E-04	1,3E-01 ± 7E-02	1,5E-03 ± 8E-04	7,3E-02 ± 2E-02	8,1E-04 ± 2E-04	9,0E-02 ± 3E-02	9,9E-04 ± 3E-04	9,9E-01 ± 4E+00	8,9E-05 ± 3E-04
U-238	1,5E+00 ± 1E+00	1,3E-04 ± 1E-04	6,1E-01 ± 2E+00	5,5E-05 ± 2E-04	6,1E-01 ± 2E+00	5,5E-05 ± 1E-04	9,1E-01 ± 7E-01	8,2E-05 ± 7E-05		
Ra - 226	5,0E-01 ± 8E-01	4,2E-03 ± 6E-03	7,7E-01 ± 5E-01	6,4E-03 ± 4E-03	1,3E+00 ± 5E-01	1,1E-02 ± 4E-03	8,7E-01 ± 3E-01	7,2E-03 ± 2E-03	8,5E-02 ± 1E+00	7,1E-04 ± 9E-03
Pb - 210	5,0E+01 ± 2E+00	9,2E-04 ± 4E-05	1,2E+02 ± 6E+00	2,2E-03 ± 1E-04	1,0E+02 ± 3E+00	1,9E-03 ± 5E-05	9,0E+01 ± 3E+01	1,6E-03 ± 5E-04	1,2E+02 ± 7E+00	2,1E-03 ± 1E-04
Ra-228	2,1E-01 ± 4E-01	9,7E-04 ± 2E-03	8,4E-01 ± 4E-01	3,9E-03 ± 2E-03	1,4E+00 ± 6E-01	6,7E-03 ± 3E-03	8,3E-01 ± 3E-01	3,9E-03 ± 2E-03	5,4E-01 ± 3E-01	2,5E-03 ± 2E-03
Th - 228	2,2E-01 ± 2E-01	9,3E-04 ± 9E-04	6,5E-01 ± 2E-01	2,7E-03 ± 7E-04	1,4E-01 ± 2E-01	6,0E-04 ± 7E-04	3,4E-01 ± 1E-01	1,4E-03 ± 6E-04	5,3E-01 ± 2E-01	2,2E-03 ± 9E-04
K - 40	7,2E+00 ± 1E+00	5,7E-03 ± 1E-03	1,0E+01 ± 2E+00	7,8E-03 ± 2E-03	1,1E+01 ± 1E+00	8,6E-03 ± 1E-03	9,4E+00 ± 2E+00	7,4E-03 ± 2E-03	2,0E+01 ± 2E+00	1,6E-02 ± 1E-03
Be - 7	3,8E+02 ± 9E+00	2,0E-02 ± 5E-04	1,0E+03 ± 3E+01	5,6E-02 ± 1E-03	9,9E+02 ± 2E+01	5,3E-02 ± 1E-03	8,0E+02 ± 3E+02	4,3E-02 ± 1E-02	8,2E+02 ± 4E+01	4,4E-02 ± 2E-03
I - 131										
Cs - 134										
Cs - 137	4,2E-02 ± 1E-01	1,3E-04 ± 4E-04	1,3E-01 ± 1E-01	3,9E-04 ± 4E-04	1,2E-01 ± 7E-02	3,7E-04 ± 2E-04	9,7E-02 ± 5E-02	3,0E-04 ± 1E-04	3,8E-01 ± 1E-01	1,2E-03 ± 4E-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 ± 4E-01	0 ± 1E-05	0 ± 5E-01	0 ± 1E-05	0 ± 4E-01	0 ± 1E-05	0 ± 5E-02	0 ± 1E-04	0 ± 1E-01	0 ± 3E-06
H - 3	2,0E+03 ± 9E+01		2,6E+03 ± 1E+02		1,4E+03 ± 7E+01		2,0E+03 ± 6E+02		1,9E+03 ± 1E+02	
Doza za umetne radionuklide		1,3E-04 ± 4E-04		3,9E-04 ± 4E-04		3,7E-04 ± 2E-04		3,0E-04 ± 1E-04		1,2E-03 ± 4E-04
Doza		3,4E-02 ± 7E-03		8,1E-02 ± 5E-03		8,3E-02 ± 5E-03		6,6E-02 ± 1E-02		6,8E-02 ± 9E-03


Preglednica 3.1, nadaljevanje: TALNI IN SUHI USEDNI V LETU 2005 - meritve IJS

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

 "Doza" Predvidena efektivna **zunanja doza** (committed effective dose) ob predpostavki zadrževanja 4 ure na prostem

VAZELINSKE PLOŠČE (LETNI USED)												
Vzorčevalno mesto	3 lokacije PV3			5 lokacij PV2			8 lokacij			LJUBLJANA - IJS		
Lokacija	neposredno izmerjen	20-odstotni izkoristek	Doza	neposredno izmerjen	20-odstotni izkoristek	Doza	neposredno izmerjen	20-odstotni izkoristek	Doza	neposredno izmerjen	20-odstotni izkoristek	Doza
IZOTOP	A (Bq/m ²)	A (Bq/m ²)	(mikro Sv)	A (Bq/m ²)	A (Bq/m ²)	(mikro Sv)	A (Bq/m ²)	A (Bq/m ²)	(mikro Sv)	A (Bq/m ²)	A (Bq/m ²)	(mikro Sv)
Na-22												
U-238	7,8E-01 ± 6E-01	3,9E+00 ± 3E+00	3,5E-04 ± 3E-04	4,2E-01 ± 5E-01	2,1E+00 ± 2E+00	1,9E-04 ± 2E-04	5,5E-01 ± 5E-01	2,8E+00 ± 3E+00	2,5E-04 ± 2E-04	1,1E+00 ± 3E+00	5,4E+00 ± 1E+01	4,9E-04 ± 1E-03
Ra - 226	6,7E-01 ± 3E-01	3,3E+00 ± 2E+00	2,8E-02 ± 1E-02	1,6E-01 ± 6E-01	8,0E-01 ± 3E+00	6,7E-03 ± 2E-02	3,5E-01 ± 5E-01	1,8E+00 ± 2E+00	1,5E-02 ± 2E-02	5,6E-01 ± 8E-01	2,8E+00 ± 4E+00	2,3E-02 ± 3E-02
Pb - 210	5,0E+01 ± 2E+00	2,5E+02 ± 1E+01	4,6E-03 ± 2E-04	5,7E+01 ± 2E+00	2,8E+02 ± 1E+01	5,2E-03 ± 2E-04	5,4E+01 ± 2E+00	2,7E+02 ± 1E+01	5,0E-03 ± 2E-04	4,9E+01 ± 3E+00	2,4E+02 ± 1E+01	4,5E-03 ± 2E-04
Ra-228	2,8E-01 ± 2E-01	1,4E+00 ± 1E+00	6,6E-03 ± 5E-03	3,4E-01 ± 8E-02	1,7E+00 ± 4E-01	8,0E-03 ± 2E-03	3,2E-01 ± 1E-01	1,6E+00 ± 7E-01	7,5E-03 ± 3E-03	3,9E-01 ± 6E-01	2,0E+00 ± 3E+00	9,2E-03 ± 1E-02
Th - 228	4,5E-01 ± 1E-01	2,2E+00 ± 5E-01	9,3E-03 ± 2E-03	6,4E-01 ± 8E-02	3,2E+00 ± 4E-01	1,3E-02 ± 2E-03	5,7E-01 ± 8E-02	2,8E+00 ± 4E-01	1,2E-02 ± 2E-03	4,0E-01 ± 4E-01	2,0E+00 ± 2E+00	8,4E-03 ± 8E-03
K - 40	3,1E+00 ± 7E-01	1,5E+01 ± 3E+00	1,2E-02 ± 3E-03	3,0E+00 ± 5E-01	1,5E+01 ± 3E+00	1,2E-02 ± 2E-03	3,0E+00 ± 6E-01	1,5E+01 ± 3E+00	1,2E-02 ± 2E-03	4,7E-01 ± 2E+00	2,3E+00 ± 9E+00	1,8E-03 ± 7E-03
Be - 7	2,0E+02 ± 5E+00	1,0E+03 ± 2E+01	5,3E-02 ± 1E-03	2,4E+02 ± 1E+01	1,2E+03 ± 5E+01	6,3E-02 ± 3E-03	2,2E+02 ± 8E+00	1,1E+03 ± 4E+01	5,9E-02 ± 2E-03	1,9E+02 ± 6E+00	9,4E+02 ± 3E+01	5,0E-02 ± 2E-03
I - 131												
Cs - 134												
Cs - 137	2,9E-01 ± 6E-02	1,5E+00 ± 3E-01	4,5E-03 ± 9E-04	2,4E-01 ± 4E-02	1,2E+00 ± 2E-01	3,7E-03 ± 6E-04	2,6E-01 ± 5E-02	1,3E+00 ± 2E-01	4,0E-03 ± 7E-04	2,1E-01 ± 2E-01	1,1E+00 ± 8E-01	3,2E-03 ± 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			4,5E-03 ± 9E-04			3,7E-03 ± 6E-04			4,0E-03 ± 7E-04			3,2E-03 ± 2E-03
Doza			1,2E-01 ± 2E-02			1,1E-01 ± 2E-02			1,1E-01 ± 2E-02			1,0E-01 ± 4E-02



Preglednica 3.2: TALNI IN SUHI USEDI V LETU 2005 - meritve IJS

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

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

LOVILNIKI DEŽEVNICE (LETNI USEDI)												
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)	A (Bq/m ²)	Doza (mikro Sv)
Na-22	6,3E-02 ± 1E-02	2,2E-04 ± 4E-05	1,3E-01 ± 7E-02	4,6E-04 ± 2E-04	7,3E-02 ± 2E-02	2,5E-04 ± 8E-05	9,0E-02 ± 2E-02	3,1E-04 ± 8E-05				
U-238	1,5E+00 ± 1E+00	4,2E-02 ± 3E-02	6,1E-01 ± 2E+00	1,7E-02 ± 6E-02	6,1E-01 ± 2E+00	1,7E-02 ± 5E-02	9,1E-01 ± 1E+00	2,5E-02 ± 3E-02	6,9E-01 ± 4E+00	1,9E-02 ± 1E-01		
Ra - 226	5,0E-01 ± 8E-01	1,1E-01 ± 2E-01	7,7E-01 ± 5E-01	1,7E-01 ± 1E-01	1,3E+00 ± 5E-01	3,0E-01 ± 1E-01	8,7E-01 ± 4E-01	2,0E-01 ± 8E-02	8,5E-02 ± 1E+00	1,9E-02 ± 2E-01		
Pb - 210	5,0E+01 ± 2E+00	4,2E+01 ± 2E+00	1,2E+02 ± 6E+00	9,9E+01 ± 5E+00	1,0E+02 ± 3E+00	8,6E+01 ± 2E+00	9,0E+01 ± 2E+01	7,6E+01 ± 2E+01	1,2E+02 ± 7E+00	1,0E+02 ± 6E+00		
Ra-228	2,1E-01 ± 4E-01	2,8E-01 ± 5E-01	8,4E-01 ± 4E-01	1,1E+00 ± 5E-01	1,4E+00 ± 6E-01	1,9E+00 ± 8E-01	8,3E-01 ± 4E-01	1,1E+00 ± 5E-01	5,4E-01 ± 3E-01	7,2E-01 ± 4E-01		
Th - 228	2,2E-01 ± 2E-01	1,9E-02 ± 2E-02	6,5E-01 ± 2E-01	5,7E-02 ± 2E-02	1,4E-01 ± 2E-01	1,2E-02 ± 1E-02	3,4E-01 ± 2E-01	2,9E-02 ± 1E-02	4,9E-01 ± 2E-01	4,3E-02 ± 2E-02		
K - 40	7,2E+00 ± 1E+00	7,1E-02 ± 1E-02	1,0E+01 ± 2E+00	9,8E-02 ± 2E-02	1,1E+01 ± 1E+00	1,1E-01 ± 1E-02	9,4E+00 ± 1E+00	9,3E-02 ± 1E-02	2,0E+01 ± 2E+00	2,0E-01 ± 2E-02		
Be - 7	3,8E+02 ± 9E+00	7,9E-03 ± 2E-04	1,0E+03 ± 3E+01	2,2E-02 ± 6E-04	9,9E+02 ± 2E+01	2,0E-02 ± 4E-04	8,0E+02 ± 2E+02	1,7E-02 ± 4E-03	8,2E+02 ± 4E+01	1,7E-02 ± 8E-04		
I - 131												
Cs - 134												
Cs - 137	4,2E-02 ± 1E-01	1,2E-04 ± 3E-04	1,3E-01 ± 1E-01	3,6E-04 ± 3E-04	1,2E-01 ± 7E-02	3,4E-04 ± 2E-04	9,7E-02 ± 6E-02	2,7E-04 ± 2E-04	3,8E-01 ± 1E-01	1,1E-03 ± 4E-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 ± 4E-01	0 ± 6E-03	0 ± 5E-01	0 ± 8E-03	0 ± 4E-01	0 ± 6E-03	0 ± 2E-01	0 ± 4E-03	0 ± 1E-01	2E-03		
H - 3	2,0E+03 ± 9E+01	2,2E-02 ± 1E-03	2,6E+03 ± 1E+02	2,9E-02 ± 1E-03	1,4E+03 ± 7E+01	1,6E-02 ± 7E-04	2,0E+03 ± 4E+02	2,2E-02 ± 4E-03	1,9E+03 ± 1E+02	2,2E-02 ± 1E-03		
Doza za umetne radionuklide		2,2E-02 ± 6E-03		3,0E-02 ± 8E-03		1,6E-02 ± 6E-03		2,3E-02 ± 6E-03		2,3E-02 ± 2E-03		
Doza		4,3E+01 ± 2E+00		1,0E+02 ± 5E+00		8,8E+01 ± 3E+00		7,7E+01 ± 2E+01		1,0E+02 ± 6E+00		



Preglednica 3.2, nadaljevanje: TALNI IN SUHI USEDNI V LETU 2005 - meritve IJS

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

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

VAZELINSKE PLOŠČE (LETNI USED)												
Vzorčevalno mesto	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)	(mikro Sv)	(Bq/m ²)	(Bq/m ²)	(mikro Sv)	(Bq/m ²)	(Bq/m ²)	(mikro Sv)	(Bq/m ²)	(Bq/m ²)	(mikro Sv)
Na-22												
U-238	7,8E-01 ± 6E-01	3,9E+00 ± 3E+00	1,1E-01 ± 9E-02	4,2E-01 ± 5E-01	2,1E+00 ± 2E+00	5,9E-02 ± 7E-02	5,5E-01 ± 5E-01	2,8E+00 ± 3E+00	7,8E-02 ± 7E-02	1,1E+00 ± 3E+00	5,4E+00 ± 1E+01	1,5E-01 ± 4E-01
Ra - 226	6,7E-01 ± 3E-01	3,3E+00 ± 2E+00	7,5E-01 ± 4E-01	1,6E-01 ± 6E-01	8,0E-01 ± 3E+00	1,8E-01 ± 6E-01	3,5E-01 ± 5E-01	1,8E+00 ± 2E+00	3,9E-01 ± 5E-01	5,6E-01 ± 8E-01	2,8E+00 ± 4E+00	6,3E-01 ± 9E-01
Pb - 210	5,0E+01 ± 2E+00	2,5E+02 ± 1E+01	2,1E+02 ± 9E+00	5,7E+01 ± 2E+00	2,8E+02 ± 1E+01	2,4E+02 ± 9E+00	5,4E+01 ± 2E+00	2,7E+02 ± 1E+01	2,3E+02 ± 9E+00	4,9E+01 ± 3E+00	2,4E+02 ± 1E+01	2,0E+02 ± 1E+01
Ra-228	2,8E-01 ± 2E-01	1,4E+00 ± 1E+00	1,9E+00 ± 1E+00	3,4E-01 ± 8E-02	1,7E+00 ± 4E-01	2,3E+00 ± 6E-01	3,2E-01 ± 1E-01	1,6E+00 ± 7E-01	2,2E+00 ± 9E-01	3,9E-01 ± 6E-01	2,0E+00 ± 3E+00	2,6E+00 ± 4E+00
Th - 228	4,5E-01 ± 1E-01	2,2E+00 ± 5E-01	1,9E-01 ± 4E-02	6,4E-01 ± 8E-02	3,2E+00 ± 4E-01	2,8E-01 ± 3E-02	5,7E-01 ± 8E-02	2,8E+00 ± 4E-01	2,5E-01 ± 4E-02	4,0E-01 ± 4E-01	2,0E+00 ± 2E+00	1,7E-01 ± 2E-01
K - 40	3,1E+00 ± 7E-01	1,5E+01 ± 3E+00	1,5E-01 ± 3E-02	3,0E+00 ± 5E-01	1,5E+01 ± 3E+00	1,5E-01 ± 3E-02	3,0E+00 ± 6E-01	1,5E+01 ± 3E+00	1,5E-01 ± 3E-02	4,7E-01 ± 2E+00	2,3E+00 ± 9E+00	2,3E-02 ± 9E-02
Be - 7	2,0E+02 ± 5E+00	1,0E+03 ± 2E+01	2,1E-02 ± 5E-04	2,4E+02 ± 1E+01	1,2E+03 ± 5E+01	2,5E-02 ± 1E-03	2,2E+02 ± 8E+00	1,1E+03 ± 4E+01	2,3E-02 ± 9E-04	1,9E+02 ± 6E+00	9,4E+02 ± 3E+01	2,0E-02 ± 6E-04
I - 131												
Cs - 134												
Cs - 137	2,9E-01 ± 6E-02	1,5E+00 ± 3E-01	4,1E-03 ± 8E-04	2,4E-01 ± 4E-02	1,2E+00 ± 2E-01	3,4E-03 ± 5E-04	2,6E-01 ± 5E-02	1,3E+00 ± 2E-01	3,6E-03 ± 6E-04	2,1E-01 ± 2E-01	1,1E+00 ± 8E-01	3,0E-03 ± 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			4,1E-03 ± 8E-04			3,4E-03 ± 5E-04			3,6E-03 ± 6E-04			3,0E-03 ± 2E-03
Doza			2,2E+02 ± 9E+00			2,4E+02 ± 9E+00			2,3E+02 ± 9E+00			2,1E+02 ± 1E+01



Tabela 3.1: 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 2005

	BREGE			KRŠKO			DOBOVA			LJUBLJANA		
	Povprečna koncentracija (Bq/m ³)	Največja koncentracija (Bq/m ³)	Največja / povprečna koncentracija	Povprečna koncentracija (Bq/m ³)	Največja koncentracija (Bq/m ³)	Največja / povprečna koncentracija	Povprečna koncentracija (Bq/m ³)	Največja koncentracija (Bq/m ³)	Največja / povprečna koncentracija	Povprečna koncentracija (Bq/m ³)	Največja koncentracija (Bq/m ³)	Največja / povprečna koncentracija
H-3	1644 ± 61	2300 ± 300	1,4	1656 ± 61	3000 ± 300	1,8	1230 ± 52	1800 ± 300	1,5	1250 ± 106	1900 ± 200	1,6
Be-7	310 ± 7	570 ± 30	1,8	630 ± 10	1400 ± 80	2,2	790 ± 10	1400 ± 70	1,8	510 ± 100	1100 ± 100	2,2
Pb-210	51 ± 3	120 ± 9	2,4	76 ± 10	170 ± 20	2,2	100 ± 10	250 ± 100	2,5	250 ± 100	1800 ± 900	7,2
K-40	5,2 ± 1	8,8 ± 3	1,7	8,6 ± 4	17 ± 5	2,0	9,4 ± 1	26 ± 5	2,8	14 ± 10	68 ± 8	4,9
Cs-137	0,06 ± 0,3	0,49 ± 0,4	8,2	0,31 ± 0,2	2,8 ± 2	9,0	0,13 ± 0,07	0,72 ± 0,3	5,5	2,1 ± 2	21 ± 8	10,0
Sr-89/Sr-90	0 ± 0,7	0 ± 8	-	0 ± 0,8	0 ± 8	-	0 ± 0,7	0 ± 7	-	0 ± 0,1	0 ± 2	-



d) OCENA VPLIVOV

Analiza rezultatov meritev radionuklidov v padavinah in suhem usedu, predstavljenih v preglednicah 3.1 in 3.2, je pokazala, da prispevki umetnih radionuklidov ne vplivajo pomembno na skupno letno dozo okoliškega prebivalstva. Za izračun dodatnih doz, ki bi lahko bile kot posledica izpustov NEK, smo uporabili vrednosti letnih usedov za umetne radionuklide, kot sta npr. Cs-137 in Sr-90/Sr-89. V tabeli 3.3 so zbrane zunanje doze depozita, ki veljajo tako za odrasle kot tudi za otroke (1–2 leti). Zunanje doze so izračunane kot produkt letnega useda in doznega faktorja za posamezen radionuklid ob predpostavki štiriurnega dnevnega zadrževanja na prostem. Pri izračunu doz iz letnega useda na vazelinske plošče je upoštevan 20-odstotni izkoristek [6].

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 2005

	Lovilniki deževnice		Vazelinske plošče	
	Povprečje - okolica NEK	Ljubljana	Povprečje 8 lokacij	Ljubljana
Doza - umetni radionuklidi [μSv]	0,0003 ± 0,0001	0,0012 ± 0,0004	0,0040 ± 0,0007	0,0032 ± 0,0024
Doza [μSv]	0,066 ± 0,014	0,068 ± 0,009	0,11 ± 0,02	0,10 ± 0,04

Iz tabele 3.3 je razvidno, da so doze za umetne radionuklide, preračunane iz vrednosti letnih talnih usedov v padavinah, višje na referenčni lokaciji kot v okolici NEK. Doza za umetne radionuklide, preračunana iz letnih usedov na vazelinske plošče, pa je za odrasle osebe in otroke približno 0,0008 μSv višja v okolici Krškega kot v Ljubljani. Ocenjujemo, da je ta prispevek, ki je pravzaprav v okviru merske negotovosti, 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, kot tudi Cs-137, ki ga je v izpustih manj, jih ne moremo pripisati NEK. Skupna doza iz useda umetnih radionuklidov na vazelinske plošče v okolici Krškega je bila (0,0040 ± 0,0007) μSv, v Ljubljani pa (0,0032 ± 0,0024) μSv. Dodatna zunanja doza, ki jo prejme prebivalstvo zaradi delovanja elektrarne Krško, je tako ocenjena na 0,0008 μSv.

V tabeli 3.4 so izračunane ingestijske doze zaradi depozita radionuklidov na rastlinje. Vsebnost radionuklidov v rastlinju zaradi depozita radionuklidov v primeru dolgotrajnega odlaganja smo ocenili z izrazom [7]:

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



kjer oznake pomenijo:

$C_{v,d}$ / (Bq/kg)	koncentracija radionuklidov v masi 1 kg sveže rastline, ki jo zaužije človek
\dot{d} / (Bq/m ² d)	hitrost depozicije
α / (m ² /kg)	delež usedle aktivnosti, ki jo ujame užiten del rastline
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
t_h / d	čas med pobiranjem rastline in njenim zaužitjem

Izhodiščne vrednosti parametrov so:

Parameter	Vrednosti parametrov [6]
α	0,3 m ² /kg
λ_w	0,05 d ⁻¹
t_e	60 d
t_h	14 d

Ingestijska doza je ocenjena po naslednjem izrazu:

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

kjer oznake pomenijo:

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

V izračunu ingestijske doze smo za maso rastlinja, ki ga človek zaužije letno, privzeli 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 2005

		Lovilniki deževnice		Vazelinske plošče	
		Povprečje - okolica NEK	Ljubljana	Povprečje 8 lokacij	Ljubljana
ODRASLI	Doza – umetni radionuklidi [μSv]	0,015 ± 0,004	0,015 ± 0,001	0,007 ± 0,001	0,005 ± 0,004
	Doza [μSv]	25 ± 5	33 ± 2	74 ± 3	66 ± 4
OTROCI (1–2 leti)	Doza – umetni radionuklidi [μSv]	0,023 ± 0,006	0,023 ± 0,002	0,004 ± 0,001	0,003 ± 0,002
	Doza [μSv]	77 ± 17	99 ± 6	232 ± 9	208 ± 12

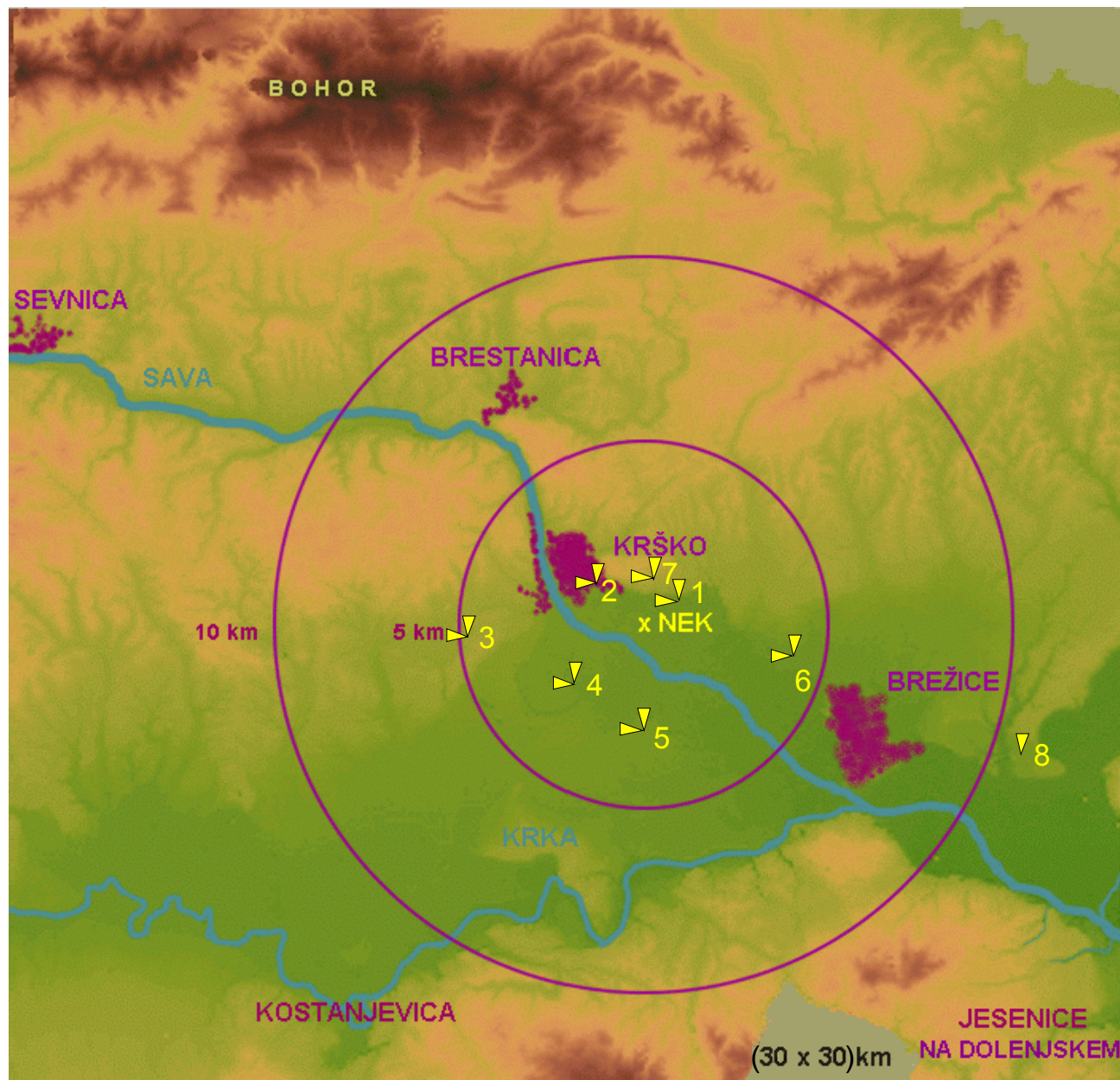


Iz tabele 3.4 je razvidno, da je doza, izračunana na podlagi podatkov za suhi used na vazelinskih ploščah, ki bi jo odrasli in otroci prejeli zaradi uživanja rastlinja, višja v okolici NEK kot v Ljubljani. Ingestijska doza zaradi umetnih radionuklidov bi bila višja približno za $0,002 \mu\text{Sv}$ za odrasle in $0,001 \mu\text{Sv}$ za otroke v okolici NEK kot v Ljubljani. K skupni ingestijski dozi v okolici NEK, $(74 \pm 3) \mu\text{Sv}$ za odrasle in $(232 \pm 9) \mu\text{Sv}$ za otroke, največ prispeva used Pb-210, ki pa je naravni radionuklid. Ker so aktivnosti umetnih izotopov v usedih pod mejo detekcije, prispevka ne moremo pripisati NEK.

Dodatna skupna doza (vsota zunanje in ingestijske doze) na odraslega prebivalca iz okolice Krškega zaradi useda umetnih radionuklidov iz zraka je v letu 2005 ocenjena na $(0,003 \pm 0,004) \mu\text{Sv}$. Za otroke, stare 1–2 leti, je ta dodatna doza $(0,002 \pm 0,003) \mu\text{Sv}$. Ta dodatna doza je posledica **globalne kontaminacije** in resuspenzije radionuklidov v vrhnem sloju zemlje. Glede na avtorizirano letno mejo za prebivalstvo $200 \mu\text{Sv}$ lahko sklenemo, da je prispevek doze zaradi delovanja elektrarne Krško na okoliško prebivalstvo kot posledica padavin in suhega useda zanemarljiv.

e) LITERATURA

- [2] 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
- [3] 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 JOD IN AEROSOLE
- ▼ ZRAČNE ČRPALKE ZA AEROSOLE

- 1 - SPODNJI STARI GRAD
- 2 - STARA VAS
- 3 - LESKOVEC
- 4 - BREGE
- 5 - VIHRE
- 6 - GORNJI LENART
- 7 - SPODNJA LIBNA
- 8 - DOBOVA



Z R A K

a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST

V letu 2005 je vzorčevanje zraka potekalo po programu, ki je bil nekoliko spremenjen glede na pretekla leta. Tako je bilo opuščeno eno izmed vzorčevalnih mest, na katerem je v preteklih letih potekalo vzorčevanje aerosolov, dodatno pa je potekalo vzorčevanje aerosolov na dveh lokacijah, kjer je v preteklih letih potekalo samo vzorčevanje joda. Skupno število mest za vzorčevanje aerosolov v okolici NEK je tako povečano s sedem na osem. Spremenjeno je tudi mesto, kjer je potekalo vzorčevanje za specifično meritev Sr-90/Sr-89. Vzorčevalna mesta za I-131 so ostala ista kot v preteklih letih.

Spremenjena porazdelitev vzorčevalnih mest za aerosole uspešno nadomešča opuščeno vzorčevalno mesto ter uvaja dodatno vzorčevalno mesto v smeri južno oz. jugovzhodno od NEK, kjer do sedaj ni potekalo vzorčevanje aerosolov. Tako je porazdelitev merilnih mest bolj enakomerna in lahko rečemo, da so izbrana mesta reprezentativna za oceno sevalnih vplivov zračnih izpustov NEK na okoliško prebivalstvo. Pri tem je treba upoštevati dejstvo, da so v okolici NEK pogoste spremembe smeri vetra tudi večkrat na dan in da meritve ne kažejo prevladujoče smeri vetra.

Vzorčevanje **aerosolov** je potekalo na naslednjih osmih mestih v okolici NEK, ki so v zračni oddaljenosti od 1,4 km do 12 km od NEK: Spodnji Stari Grad (ZR = 1,8 km), Krško - Stara vas (ZR = 1,8 km), Leskovec (ZR = 3 km), Brege (ZR = 2,3 km), Vihre (ZR = 2,9 km), Gornji Lenart (ZR = 5,9 km), Spodnja Libna (ZR = 1,4 km) in Dobova (ZR = 12 km). Vzorčevanje aerosolov je v letu 2005 prvič potekalo v Spodnjem Starem Gradu in Vihrah, opuščeno je bilo vzorčevalno mesto v Pesjem. Vzorčevalno mesto Libna je bilo preseljeno v Spodnjo Libno in Šentlenart v Gornji Lenart.

Vzorčevanje za specifično meritev **Sr-90/Sr-89** je v letu 2005 potekalo v Dobovi (v preteklih letih je vzorčevanje potekalo v Libni).

Kontrolne meritve za aerosole so bile opravljene na vzorcih, ki so bili pridobljeni z vzorčevanjem v Ljubljani (IJS).

Vzorčevanje **I-131** je, nasprotno od preteklih let, potekalo na sedmih mestih v okolici NEK v zračni oddaljenosti od 1,4 km do 5,9 km od NEK. Dosedanjim vzorčevalnim mestom Spodnji Stari Grad (ZR = 1,8 km), Stara vas (ZR = 1,8 km), Leskovec (ZR = 3,0 km), Brege (ZR = 2,3 km), Vihre (ZR = 2,9 km) in Gornji Lenart (ZR = 5,9 km) je bilo dodano še vzorčevalno mesto Spodnja Libna (ZR = 1,4 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 2005 potekalo na podoben način kot v preteklih letih, kar zagotavlja primerljivost z rezultati iz prejšnjih poročil.

Vzorčevanje **aerosolov** je potekalo s kontinuirnim prečrpavanjem zraka skozi aerosolne filtre. Črpanje je kontinuirno, filtri se menjajo vsakih 15 dni, pri čemer se skozi filtre prečrpa najmanj 10.000 m³ zraka mesečno. Izotopska analiza partikulatov se izvaja z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Vzorčevanje in meritve vzorcev na vseh osmih mestih ter vzorčevanje in meritve v Ljubljani (republiški program – vzorčevanje je potekalo samo v drugi polovici leta 2005) 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, pri čemer se skozi filtre prečrpa od 1000 m^3 do 1400 m^3 zraka. Specifična meritev I-131 in izotopska analiza partikulatov se izvaja z visokoločljivostno spektrometrijo gama. 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 sevalnih monitorjev in vrača v oddušnik. Posebej se vzorčuje tritij (H-3), ogljik C-14, Sr-90/Sr-89 (specifične analize s scintilacijskim spektrometrom beta) ter partikulati za izotopsko analizo sevalcev s spektrometrijo gama. Meritev žlahtnih plinov poteka kontinuirno v posebnem merilnem zbiralniku. Specifične analize vzorčevanja tritija (H-3) in ogljika C-14 je opravil IJS, meritve vzorcev filtrov za vzorčevanje partikulatov na ventilacijskem kanalu pa NEK in IJS. NEK je opravil tudi meritve emisij joda ter žlahtnih plinov.

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 sedem vzorčevalnih mest so zbrani v tabeli T-43.

Podatki o izmerjenih vsebnostih aerosolov za vseh osem vzorčevalnih mest v okolici NEK so v tabelah od T-44 do T-51, podatki o izmerjenih vsebnostih radionuklidov v aerosolih v Ljubljani pa so v tabeli 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 osem krajev v okolici NEK, kjer je potekalo vzorčevanje, ter vsebnosti posameznih radionuklidov za vzorčevalno mesto v Ljubljani.

Iz povprečnih vsebnosti za okolico NEK ter vsebnosti za Ljubljano so določene **predvidene efektivne doze $E(50)$ in $E(70)$** za referenčnega posameznika iz prebivalstva za dve starostni skupini: odrasle, starejše od 17 let, in otroke, stare od 1 do 2 let. Pri tem so bili upoštevani dozni pretvorbeni faktorji $h(g)_{j,inh}$ (predvidena efektivna doza na enoto vnosa) iz reference [8] in hitrosti dihanja 17 L/min (9000 m^3 na leto) za odraslega posameznika in $2,7\text{ L/min}$ (1400 m^3 na leto) za otroka. S seštevanjem predvidenih efektivnih doz za posamezne radionuklide dobimo predvideno efektivno dozo $E(50)$ oziroma $E(70)$ za inhalacijo umetnih radionuklidov ter za inhalacijo vseh radionuklidov v aerosolih, vključno z naravnimi.

Iz podatkov o meritvah vsebnosti plinov v izpuhu NEK, ki sta jih opravila NEK in IJS, ter iz podatka o nominalnem dnevnem izpuhu skozi oddušnik ($42\text{ m}^3/\text{s}$ 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 meritvah mesečnih emisij posameznih radionuklidov, ki sta jih opravila NEK in IJS, ter iz **izračunanih povprečnih mesečnih razredčitvenih 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.

Preglednica 4.1: AEROSOLNI FILTRI V LETU 2005 - meritve IJS

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

"Doza" Predvidena efektivna doza za odrasle za aerosole (*)

Vzorčevalno mesto	Sp. Stari Grad	Stara vas	Leskovec	Brege	Vihre	Gornji Lenart	Spodnja Libna	Dobova	POVPREČJE KRAJEV		LJUBLJANA (Republiški program)	
	A (Bq/m ³)	A (Bq/m ³)	A (Bq/m ³)	A (Bq/m ³)	A (Bq/m ³)	A (Bq/m ³)	A (Bq/m ³)	A (Bq/m ³)	A (Bq/m ³)	Doza (μSv)	A (Bq/m ³)	Doza (μSv)
U-238	4,6E-06 ± 5,9E-06	8,8E-06 ± 4,8E-06	8,0E-06 ± 7,5E-06	1,3E-05 ± 6E-06	1,0E-05 ± 5E-06	6,1E-06 ± 3E-06	1,4E-05 ± 6E-06	3,2E-06 ± 3E-6	8,4E-06 ± 2E-6	6,1E-01 ± 1,4E-01	4,6E-06 ± 9E-06	3,3E-01 ± 6,1E-01
Ra-226	1,3E-05 ± 1,0E-05	1,4E-05 ± 1,0E-05	1,0E-05 ± 9,3E-06	1,8E-05 ± 5E-06	1,4E-05 ± 1E-05	2,3E-05 ± 6E-06	1,7E-05 ± 2E-06	1,1E-05 ± 3E-6	1,5E-05 ± 3E-6	1,3E+00 ± 2,3E-01	1,2E-05 ± 4E-06	1,1E+00 ± 3,6E-01
Pb-210	7,6E-04 ± 7,3E-05	7,8E-04 ± 7,5E-05	6,5E-04 ± 7,4E-05	7,8E-04 ± 8E-05	7,8E-04 ± 7E-05	8,2E-04 ± 8E-05	6,8E-04 ± 7E-05	8,6E-04 ± 8E-5	7,6E-04 ± 3E-5	3,8E+01 ± 1,4E+00	9,8E-04 ± 1E-04	4,9E+01 ± 6,6E+00
Ra-228	1,1E-05 ± 1,1E-06	1,2E-05 ± 1,6E-06	1,0E-05 ± 1,6E-06	9,9E-06 ± 1E-06	1,3E-05 ± 1E-06	1,1E-05 ± 1E-06	1,0E-05 ± 2E-06	6,4E-06 ± 1E-6	1,0E-05 ± 6E-7	1,5E+00 ± 9,3E-02	2,9E-06 ± 6E-06	4,2E-01 ± 8,8E-01
Th-228	2,4E-05 ± 1,0E-05	2,0E-05 ± 6,7E-06	1,6E-05 ± 5,4E-06	1,3E-05 ± 2E-06	2,6E-05 ± 8E-06	1,8E-05 ± 5E-06	9,2E-06 ± 6E-07	8,0E-06 ± 2E-6	1,7E-05 ± 2E-6	2,4E+01 ± 3,3E+00	6,9E-06 ± 1E-06	9,9E+00 ± 2,0E+00
K-40	0 ± 1,6E-05	0 ± 2,7E-05	0 ± 1,8E-05	0 ± 1E-04	0 ± 2E-05	0 ± 2E-05	0 ± 2E-05	0 ± 1E-5	0 ± 2E-5	0 ± 2,9E-04	0 ± 5E-05	0 ± 8,8E-04
Be-7	3,8E-03 ± 3,6E-04	3,9E-03 ± 3,8E-04	3,7E-03 ± 4,9E-04	3,7E-03 ± 4E-04	3,7E-03 ± 4E-04	3,9E-03 ± 4E-04	3,7E-03 ± 4E-04	3,8E-03 ± 4E-4	3,8E-03 ± 1E-4	1,9E-03 ± 6,8E-05	3,4E-03 ± 6E-04	1,7E-03 ± 3,0E-04
I-131												
Cs-134												
Cs-137	1,5E-06 ± 6,0E-07	1,6E-06 ± 4,9E-07	1,3E-06 ± 6,4E-07	2,5E-06 ± 4E-07	1,6E-06 ± 6E-07	2,1E-06 ± 5E-07	1,1E-06 ± 4E-07	1,1E-06 ± 5E-7	1,6E-06 ± 2E-7	5,6E-04 ± 6,5E-05	2,3E-06 ± 9E-07	8,0E-04 ± 3,2E-04
Co-58												
Co-60												
Cr-51												
Mn-54												
Zn-65												
Nb-95												
Ru-106												
Sb-125												
Sr-89/Sr-90								0 ± 9E-7	0 ± 1E-7	0 ± 1,7E-04		
Vsota E(50) za umetne radionuklide (μSv na leto)										0,0006 ± 0,0002	0,0008 ± 0,0003	
Vsota E(50) za umetne in naravne radionuklide (μSv na leto)										66 ± 4	61 ± 7	

(*) Predvidene efektivne doze so izračunane iz predpostavke, da odrasel referenčni posameznik vdahne 9000 m³ zraka na leto (povprečna hitrost dihanja 17 L/min) oziroma da otrok (1–2 let) vdahne 1400 m³ zraka na leto (povprečna hitrost dihanja 2,7 L/min)



**POVZETEK VSOT PREDVIDENIH EFEKTIVNIH DOZ (*)
ZA ODRASLE IN OTROKE (1–2 LETI),**

izračunane iz merskih podatkov preglednice 4.1 ter doznih pretvorbenih faktorjev iz reference [8]

Preglednica 4.1 (povzetek): AEROSOLNI FILTRI v letu 2005

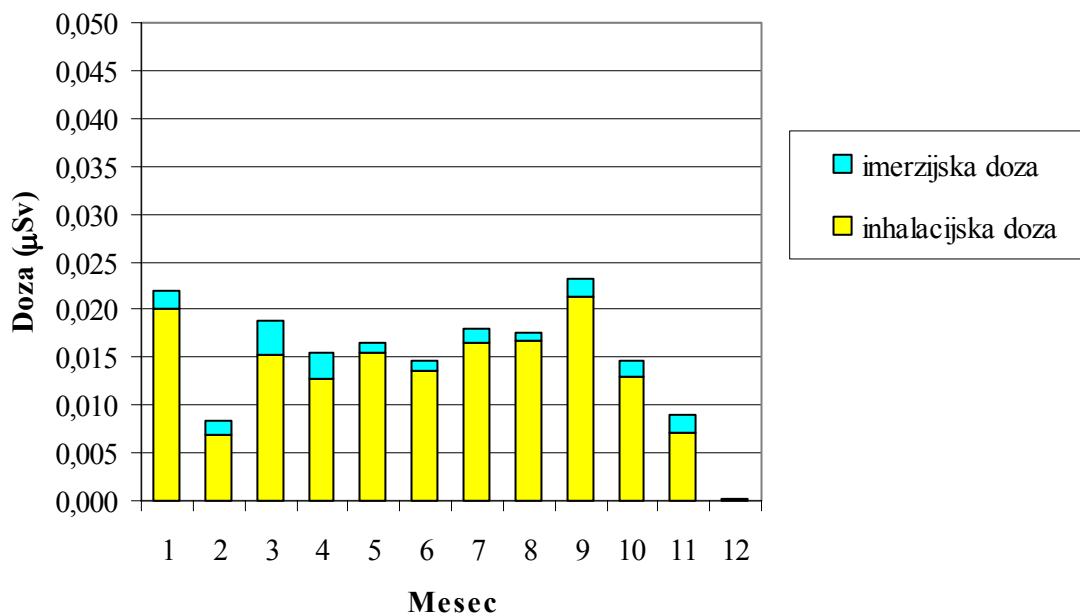
STAROSTNA SKUPINA	VRSTA VSOTE (μSv na leto)	AEROSOLNI FILTRI – POVPREČJE (μSv na leto)	
		OKOLICA NEK	LJUBLJANA
ODRASLI <i>E(50)</i>	umetni radionuklidi	0,0006 ± 0,0002	0,0008 ± 0,0003
	umetni in naravni radionuklidi	66 ± 4	61 ± 7
OTROCI 1–2 let <i>E(70)</i>	umetni radionuklidi	0,0002 ± 0,0001	0,0003 ± 0,0001
	umetni in naravni radionuklidi	29 ± 1	29 ± 3

(*) Predvidene efektivne doze so izračunane iz predpostavke, da odrasel referenčni posameznik vdahne 9000 m³ zraka na leto (povprečna hitrost dihanja 17 L/min) oziroma da otrok (1–2 let) vdahne 1400 m³ zraka na leto (povprečna hitrost dihanja 2,7 L/min).

KONSERVATIVNO OCENJENE MESEČNE DOZE IZ ZRAKA (OBLAKA)

**za referenčno skupino prebivalcev za leto 2005
(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 "χ/Q", Agencije RS za okolje za prizemni izpust



Slika 4.1: Največji prispevek k inhalacijski dozi daje H-3 (v obliki tritirane pare) 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

	Spodnji Stari Grad	Vrbina	Brežice	Vihre	Mrtvice	Brege	Žadovinek	Leskovec	Krško-Stara vas	Pesje	Dobova	Ograja NEK
januar	2,0E-05	1,9E-05	6,7E-07	1,7E-06	2,7E-06	1,9E-06	8,6E-07	8,3E-07	3,7E-06	2,1E-06	2,1E-07	4,5E-05
februar	1,6E-05	1,7E-05	5,7E-07	7,4E-07	2,6E-06	4,4E-06	3,0E-06	1,0E-06	4,2E-06	1,8E-06	9,1E-08	3,9E-05
marec	1,7E-05	2,1E-05	8,6E-07	2,1E-06	2,3E-06	4,6E-06	1,6E-06	8,2E-07	3,8E-06	2,7E-06	2,5E-07	4,7E-05
april	1,2E-05	6,1E-06	5,6E-07	7,7E-07	1,5E-06	3,0E-06	4,7E-07	7,9E-08	8,2E-07	1,8E-06	9,3E-08	2,6E-05
maj	1,4E-05	9,4E-06	9,5E-07	1,8E-06	1,0E-06	2,2E-06	6,1E-07	4,0E-07	1,6E-06	3,0E-06	2,2E-07	3,9E-05
junij	2,0E-05	1,0E-05	1,5E-06	1,7E-06	4,5E-06	2,5E-06	1,9E-06	4,3E-07	1,7E-06	4,6E-06	2,0E-07	5,6E-05
julij	2,1E-05	1,7E-05	1,3E-06	2,1E-06	3,6E-06	3,4E-06	8,9E-07	8,6E-08	2,8E-06	4,0E-06	2,7E-07	5,0E-05
avgust	2,0E-05	1,3E-05	1,6E-06	1,9E-06	5,5E-06	2,4E-06	8,7E-07	1,4E-07	4,7E-06	4,9E-06	2,2E-07	6,5E-05
september	2,4E-05	2,5E-05	1,4E-06	1,3E-06	6,0E-06	3,5E-06	1,5E-06	3,5E-07	4,5E-06	4,2E-06	1,6E-07	7,2E-05
oktober	2,2E-05	3,6E-05	1,7E-06	1,9E-06	9,4E-06	7,3E-06	4,4E-06	6,1E-07	1,3E-05	5,4E-06	2,4E-07	1,1E-04
november	1,1E-05	7,5E-06	4,4E-07	8,3E-07	1,7E-06	3,5E-06	1,7E-06	3,8E-07	2,0E-06	1,5E-06	9,2E-08	2,4E-05
december	1,3E-06	6,6E-07	4,0E-07	1,1E-07	5,3E-07	1,1E-06	5,6E-07	2,4E-07	8,4E-08	2,8E-07	7,5E-08	3,0E-06

Ob upoštevanju dogovorjenih hitrosti dihanja za določeno starostno skupino nam podatki o povprečnih mesečnih vsebnostih posameznih radionuklidov v preglednici 4.2a omogočajo oceno vnosa posameznega radionuklida v telo. Če te podatke pomnožimo z ustreznimi **doznimi pretvorbeni faktorji** $h(g)_{j,inh}$ [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 efektivni dozi** odraslega človeka (starost >17 let), narejeno na osnovi meritev mesečnih izpustov tritija (H-3), ogljika C-14 ter meritev partikulatov. Izračun v preglednici je narejen ob upoštevanju povprečnih mesečnih koncentracijskih faktorjev " χ/Q " za naselje Spodnji Stari Grad, ki je na podlagi mesečnih izračunov izbrano kot referenčno naselje z najvišjo izračunano dozo.

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

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

d) OBRAVNAVA REZULTATOV

Zračni I-131: Tabela T-43 (IJS)

Rezultati meritev vseh zbranih vzorcev so bili pod vrednostjo $1E-4$ Bq/m³, ki jo prevzemamo kot potrebno merilno mejo za izračun doz. Zato lahko rečemo, da **jod ni bil detektiran na nobenem od merilnih mest**.

Preglednica 4.2a: ZRAČNE EMISIJE 2005

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					2,0E+11	7,3E+09	9,4E+08					1,5E+02	1,7E+04	1,8E+03					4,3E+02			1,2E+03		
februar					8,8E+10	2,1E+09	5,8E+08	1,2E+08	4,2E+03	3,8E+02			1,0E+04	1,7E+03					1,1E+02			7,3E+02		
marec					1,8E+11	8,5E+09	5,1E+08	2,8E+08					1,3E+03	2,8E+03					3,0E+02			6,0E+02		
april					2,1E+11	6,2E+09	6,0E+08	4,8E+08					2,2E+03	6,3E+03					4,1E+02			5,2E+02		
maj					2,1E+11	6,0E+09	5,1E+08	1,7E+08											5,7E+02					
junij					1,3E+11	6,3E+09	5,7E+08	1,9E+08											7,5E+02					
julij					1,6E+11	7,0E+09	8,2E+08							4,9E+03					5,5E+02					
avgust					1,6E+11	7,7E+09	1,1E+09							1,4E+03					1,8E+03			3,0E+03		
september					1,7E+11	5,8E+09	1,5E+09							6,5E+03					1,9E+03					
oktober	3,6E+04				1,1E+11	7,1E+09	1,2E+09							4,8E+03								1,2E+03		
november					1,3E+11	6,8E+09	1,5E+09			2,1E+03		5,5E+02	2,7E+03	7,0E+04					8,6E+03	2,4E+03		1,6E+03		
december							1,1E+09			2,6E+03		5,3E+02	3,5E+03	5,3E+04					4,0E+03			4,8E+03		
Letna vsota (Bq)	3,6E+04				1,8E+12	7,1E+10	1,1E+10	1,2E+09	4,2E+03	5,1E+03		1,2E+03	3,7E+04	1,5E+05					1,9E+04	2,4E+03		1,4E+04		

Preglednica 4.2a: ZRAČNE EMISIJE 2005 – 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					2,0E-02	7,5E-06	3,3E-05					8,3E-10	2,1E-07	3,2E-07					1,0E-08			2,6E-07			2,0E-02
februar					7,0E-03	1,6E-06	1,6E-05	3,3E-06	6,9E-10	2,5E-09			9,3E-08	2,3E-07					2,0E-09			1,2E-07			7,0E-03
marec					1,5E-02	7,3E-06	1,5E-05	8,3E-06					1,3E-08	4,1E-07					6,0E-09			1,1E-07			1,5E-02
april					1,3E-02	3,7E-06	1,2E-05	9,8E-06					1,5E-08	6,4E-07					5,7E-09			6,8E-08			1,3E-02
maj					1,5E-02	4,4E-06	1,3E-05	4,2E-06											9,7E-09						1,5E-02
junij					1,3E-02	6,4E-06	2,0E-05	6,4E-06											1,8E-08						1,4E-02
julij					1,6E-02	7,3E-06	2,9E-05							8,8E-07					1,3E-08						1,7E-02
avgust					1,7E-02	7,7E-06	3,9E-05							2,4E-07					4,1E-08			6,5E-07			1,7E-02
september					2,1E-02	7,1E-06	6,3E-05							1,4E-06					5,6E-08						2,1E-02
oktober	1,7E-06				1,3E-02	8,0E-06	4,7E-05							9,3E-07								2,8E-07			1,3E-02
november					7,2E-03	3,7E-06	2,7E-05			9,5E-09		1,7E-09	1,7E-08	6,6E-06					1,1E-07	8,6E-08		1,9E-07			7,2E-03
december							2,6E-06			1,5E-09		2,0E-10	2,7E-09	6,2E-07					6,2E-09			7,0E-08			3,3E-06
Leta doza (μSv)	1,7E-06				1,6E-01	6,5E-05	3,2E-04	3,2E-05	6,9E-10	1,3E-08		2,7E-09	3,5E-07	1,2E-05					2,8E-07	8,6E-08		1,8E-06			1,6E-01
Skupna letna inhalacijska doza $E(50)$ = 1,6E-01 μSv																									
Skupna letna inhalacijska in imerzijska doza $E(50)$ = 1,8E-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 3.628.800 m³.

(***) Ocena doz, narejena na podlagi inhalacijskih in imerzijskih doznih pretvorbenih faktorjev iz ref. [8] 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 2005 izbrano kot referenčno z najvišjo izračunano dozo.



Preglednica 4.2b: ZRAČNE EMISIJE 2005 – 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							1,5E+09				
februar	1,3E+11						6,7E+08				
marec	8,1E+10						2,8E+09				
april							3,5E+09				
maj							1,3E+09				
junij							9,2E+08				
julij	4,4E+10						9,4E+08				
avgust		2,4E+09					7,1E+08				
september		8,1E+07					1,2E+09				
oktober		3,6E+07					1,1E+09				
november		2,5E+07	8,8E+10				6,5E+08				
december		6,6E+07					1,4E+09				
Letna vsota (Bq)	2,5E+11	2,6E+09	8,8E+10				1,7E+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							1,9E-03					1,9E-03
februar	7,7E-04						6,7E-04					1,4E-03
marec	5,3E-04						3,0E-03					3,5E-03
april							2,7E-03					2,7E-03
maj							1,2E-03					1,2E-03
junij							1,2E-03					1,2E-03
julij	3,5E-04						1,2E-03					1,6E-03
avgust		7,0E-05					9,0E-04					9,7E-04
september		2,9E-06					1,9E-03					1,9E-03
oktober		1,2E-06					1,6E-03					1,6E-03
november		3,9E-07	1,3E-03				4,5E-04					1,7E-03
december		1,3E-07					1,2E-04					1,2E-04
Letna doza (μSv)	1,6E-03	7,4E-05	1,3E-03				1,7E-02					2,0E-02
Skupna letna imerzijska doza $E =$								2,0E-02	μSv			
Skupna letna inhalacijska in imerzijska doza $E(50) =$								1,8E-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 $3.628.800 \text{ m}^3$.

(***) Ocena doz, narejena na podlagi inhalacijskih in imerzijskih doznih pretvorbenih faktorjev iz ref [8] in predpostavke o hitrosti dihanja 17 L/min ter mesečnih prizemnih razredčitvenih faktorjih χ/Q za razdaljo $0,8 \text{ km}$ okoli smeri VSV - naselje Spodnji Stari Grad. To naselje je bilo na podlagi mesečnih izračunov doz po 11 naseljih za leto 2005 izbrano kot referenčno z najvišjo izračunano dozo.



Aerosoli: Tabele od T-44 do T-51 in T-52 (IJS - 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 kozmogeni Be-7, za katerega lahko celo rečemo, da je v okviru merske negotovosti na vseh vzorčevalnih mestih v okolici NEK in Ljubljani izmerjena enaka vrednost. Zelo dobro ujemanje kažejo tudi meritve Pb-210, pri katerih so izmerjene razlike med posameznimi merilnimi mesti samo nekoliko večje, kot so merilne negotovosti posameznih meritev. Ujemanje velja tako za okolico NEK kot tudi za Ljubljano. Meritve se dobro ujemajo tudi s tistimi iz let 2004 in 2003. Med poročanimi aktivnostmi v letu 2005 (preglednica 4.1) ni aktivnosti K-40, ker le-ta izvira iz materiala, iz katerega so narejeni filtri. Prispevek materialov, ki se uporabljajo pri izdelavi vzorca, se v analizni proceduri odšteva.

Največje razlike med posameznimi merilnimi mesti v okolici NEK so pri podnizu U-238 (faktor štiri) in nekoliko manj pri Th-228 (faktor tri). Če upoštevamo ocenjene merilne negotovosti, so razlike med posameznimi merilnimi mesti bistveno manjše in primerljive z razlikami pri Ra-226, Ra-228 in edinem zaznanem umetnem radionuklidu Cs-137.

Primerjava izmerjenih povprečij v okolici NEK s kontrolno meritvijo v Ljubljani in ob upoštevanju merilnih negotovosti kaže ujemanje, ki je celo boljše kot med posameznimi merilnimi mesti v okolici NEK. Izjema sta le radionuklida iz torijevega niza Ra-228 in Th-228, pri katerih se izmerjena povprečja v okolici NEK in Ljubljani razlikujeta za faktor 3,6 oziroma 2,4.

Primerjava z meritvami v okolici NEK v preteklem letu pokaže dobro ujemanje, razen pri U-238 (letošnje povprečje je 27 % lanskoletnega) in Th-228 (letošnje povprečje je skoraj 400 % večje od lanskoletnega). Vendar če upoštevamo ocenjene merilne negotovosti rezultatov, ne moremo sklepati na dejanske spremembe merjenih koncentracij.

Izmed **umetnih radionuklidov** je bila zaznan samo **Cs-137**. Izmerjene povprečne vsebnosti Cs-137 na posameznih merilnih mestih v okolici NEK ne kažejo bistvenih odmikov od letnega povprečja ($1,6 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$), ki je, če upoštevamo merilno negotovost, nespremenjeno glede na leto 2004. Najvišja vrednost **Cs-137** (mesečno povprečje) je bila izmerjena julija 2005 v Starem Spodnjem Gradu ($6 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$). Rezultati meritev v Ljubljani se v okviru ocenjenih merilnih negotovosti ne razlikujejo od vrednosti, izmerjenih v okolici NEK, kot tudi od vrednosti, izmerjenih v okviru republiškega programa v Ljubljani v letu 2005.

Mesečne meritve **Sr-90/Sr-89** so v letu 2005 potekale v Dobovi (v preteklih letih so meritve potekale na Libni). Nasprotno od leta 2004, ko je bila detekcijska meja presežena pri vseh štirih kvartalnih meritvah, ta meja v letu 2005 ni bila presežena pri nobenem izmed pridobljenih vzorcev.

Nasprotno od leta 2004, ko je bil zaznan **Co-60**, v letu 2005 drugi umetni radionuklidi niso bili izmerjeni.


Preglednica 4.2c: OCENE INHALACIJSKIH IN IMERZIJSKIH DOZ ZA OKOLICO NEK V LETU 2005

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

e) OCENA VPLIVOV

Meritve I-131 v zraku (tabela T-43) kažejo, da merilna meja $1E-4 \text{ Bq/m}^3$ v letu 2005 ni bila presežena na nobenem od vzorčevalnih mest. Oceno za zgornjo mejo prispevka I-131 lahko dobimo tako, da za koncentracijo privzamemo merilno mejo $1E-4 \text{ Bq/m}^3$. Tako izračunane letne učinkovite doze za **odraslega človeka** (starost >17 let) in **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 in 220 nSv na leto za otroka. Zato lahko sklepamo, da je **s stališča varstva pred sevanji prispevek I-131 k celotni dozi nebitven**.

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 $(38 \pm 1) \mu\text{Sv}$ na leto, kar je praktično enako kot v letu 2004 $((34 \pm 6) \mu\text{Sv}$ na leto). Drugi po pomembnosti je prispevek predstavnika torijevega podniza Th-228, ki je bil v letu 2005 $(24,1 \pm 3,3) \mu\text{Sv}$ na leto. V letu 2004 je bil ocenjeni prispevek tega podniza samo $(1,6 \pm 1) \mu\text{Sv}$ na leto, vendar je v letu 2005 prišlo do razlike zaradi dveh vzrokov: izmerjene koncentracije v letu 2005 so skoraj petkrat višje od tistih v letu 2004, hkrati pa je pri izračunu upoštevan spremenjeni utežni faktor za omenjeni torijev podniz.

Spremenjeni utežni faktor in ter hkrati nižja izmerjena koncentracija (samo 27 % tiste iz leta 2004) sta tudi vzroka, da je prispevek U-238 podniza (prispevka Th-230 in Th-234) v letu 2005 bistveno nižji $((0,6 \pm 0,1) \mu\text{Sv}$ na leto) kot v letu 2004, ko je bil ocenjen na $(28 \pm 23) \mu\text{Sv}$ na leto. Prispevki drugih merjenih radionuklidov so prav tako majhni: prispevek Ra-226 je bil $(1,3 \pm 0,2) \mu\text{Sv}$ na leto, prispevek Ra-228 podniza $(1,5 \pm 0,1) \mu\text{Sv}$ na leto. Prispevek kozmogenega Be-7 je bil $(0,0019 \pm 0,0001) \mu\text{Sv}$ na leto. Omeniti je treba, da je v letu 2004 izvajal vzorčevanje, meritve in analize drug izvajalec kot v letu 2005 in da sistematske razlike v rezultatih lahko izvirajo iz spremenjene metodologije vzorčevanja in analize.



Edini izmerjeni umetni radionuklid, ki prispeva dozi, je bil Cs-137, vendar je njegov prispevek bistveno manjši od prispevkov naravnih radionuklidov in je $(0,6 \pm 0,1)$ nSv na leto, kar je v okviru negotovosti, enako kot v letu 2004. Nasprotno od leta 2004, ko sta bila detektirana tudi Sr-90/Sr-89 in Co-60, v letu 2005 niso bili zaznani drugi umetni radionuklidi in je zato celotni prispevek umetnih radionuklidov manjši.

Za **totalni prispevek k predvideni efektivni dozi** vseh detektiranih radionuklidov v letu 2005 za **odraslega človeka v okolici NEK** dobimo vrednost (66 ± 4) μ Sv na leto, ter za prispevek umetnih radionuklidov $(0,6 \pm 0,1)$ nSv. Izračunani totalni prispevek je sicer nižji kot v letu 2004 $((80 \pm 30)$ μ Sv na leto), vendar če upoštevamo ocenjene merilne negotovosti rezultatov, ne moremo sklepati na dejanske spremembe.

Podobno dobimo za **totalni prispevek k predvideni efektivni dozi za otroka** (1–2 leti) v okolici NEK vrednosti (29 ± 1) μ Sv na leto za celotni prispevek vseh radionuklidov in $(0,2 \pm 0,1)$ nSv za umetne radionuklide. Podobno kot pri totalnem prispevku k predvideni efektivni dozi za odraslega človeka, je vrednost prispevka v okviru negotovosti enaka tisti iz leta 2004 $((32 \pm 9)$ μ Sv na leto).

Totalna prispevka k predvideni letni efektivni dozi v letu 2005 v Ljubljani za odraslo osebo in otroka **sta enaka prispevkom v okolici NEK** in sta (61 ± 7) μ Sv na leto za odraslega ter (29 ± 3) μ Sv na leto za otroka. Pri tem je delež, ki ga totalni predvideni letni efektivni dozi prispeva Pb-210 v Ljubljani kar 80 % (Th-228 prispeva 16 %), v okolici Krškega pa okrog 57 % (prispevek Th-228 je 36 %).

Prispevek Cs-137, ki je bil edini zaznani umetni radionuklid tudi v Ljubljani, je ob upoštevanju negotovosti prav tako enak prispevku Cs-137 v okolici NEK in je $(0,8 \pm 0,3)$ nSv na leto za odraslega in $(0,3 \pm 0,1)$ nSv na leto za otroka.

Iz navedenega lahko sklepamo, da so tako v okolici NEK kot v Ljubljani **glavni prispevek k inhalacijski dozi zaradi aerosolov naravni radionuklidi, 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/m^3) 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 tritija**. Tritij prispeva k skupni inhalacijski dozi 0,16 μ Sv na leto (predvsem v obliki emisij HTO), ogljik C-14 pa še 0,0003 μ Sv na leto (predvsem emisije $^{14}CO_2$). Ocenjeni prispevek k skupni inhalacijski dozi vseh drugih radionuklidov je še bistveno manjši. **Skupna letna inhalacijska doza za Spodnji Stari Grad je 0,18 μ Sv**. Pri tem niso upoštevane posledice prehoda radionuklidov iz zraka v druge prenosne poti (voda, hrana, sevanje useda), ki povzročijo še dodatno izpostavljenost.

Zunanje obsevanje zaradi radioaktivnih izotopov v zraku (imerzijska doza) je tako kot v preteklih letih predvsem posledica izpustov žlahtnega plina Ar-41, ki je imerzijski dozi prispeval 0,017 μ Sv na leto. Poleg argona je NEK poročal še o izpustih Xe-131m in Xe-133m, ki sta k imerzijski dozi prispevala po 0,0016 μ Sv na leto in 0,0013 μ Sv na leto. NEK je še poročal o izpustih Xe-133, ki so povzročili še manjšo izpostavljenost od omenjenih radionuklidov. V letu 2005 NEK ni izvajal remonta, tako da ni bilo preprihovanja zadrževalnega hrama, ki navadno prinese dodatno imerzijsko dozo.

Celotna letna imerzijska doza za Spodnji Stari Grad za leto 2005 je 0,02 μ Sv, kar velja za odraslo osebo kot tudi za otroka. Imerzijska doza v letu 2004 je bila 0,04 μ Sv na leto, kar je še enkrat več kot v letu 2005.



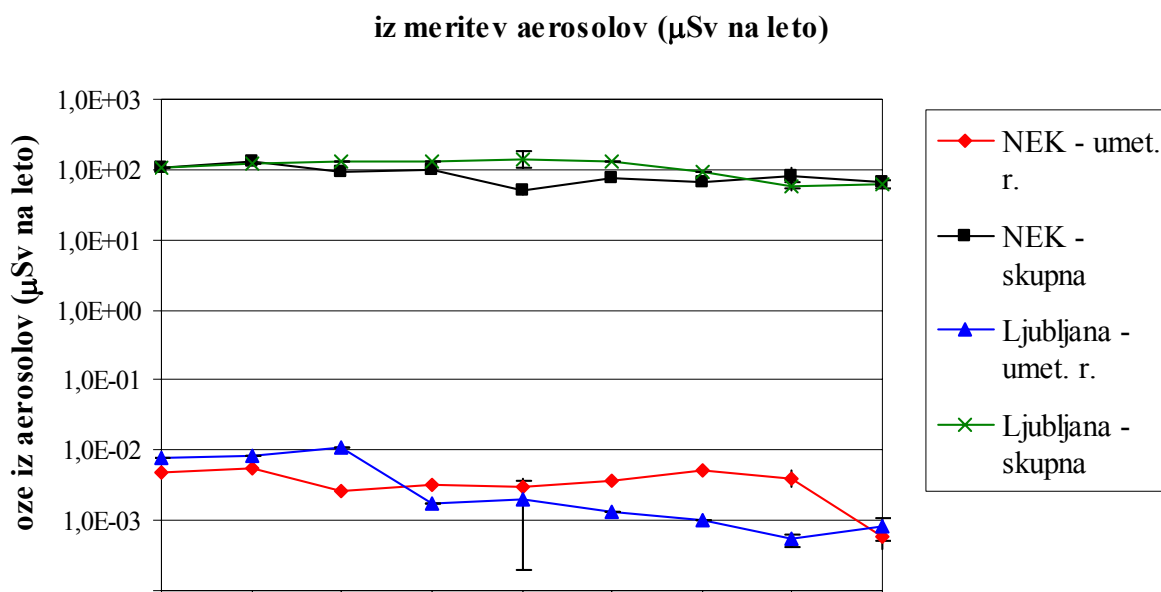
Celotna letna doza za odraslega človeka v Spodnjem Starem Gradu, ki je posledica inhalacije in imerzije, je bila v letu 2005 0,18 μSv .

V preglednici 4.2c so zbrani izračuni za odraslega človeka in otroka (1–2 leti), pripravljene na osnovi emisij in povprečnih mesečnih koncentracijskih faktorjev " γ/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 PREJŠNJI LETI

Na sliki 4.2 so predstavljene **totalne predvidene letne učinkovite doze in predvidene učinkovite 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 2005.



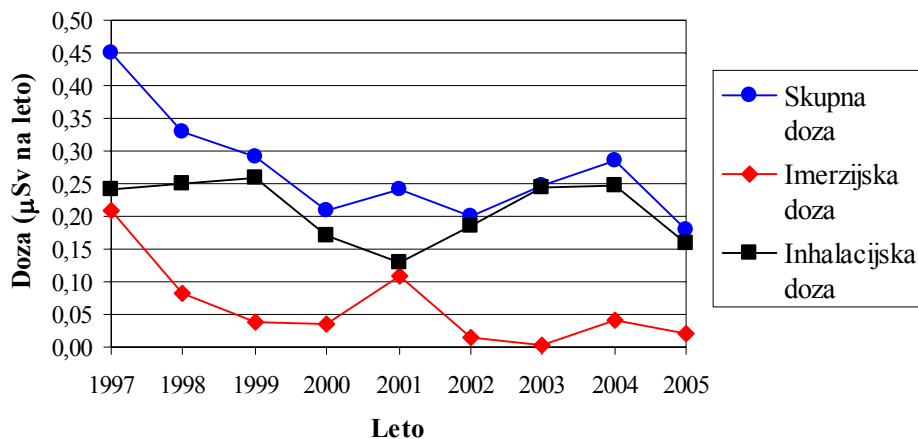
Slika 4.2

Kot je razvidno s slike 4.2, sta celotna prispevka naravnih in umetnih radionuklidov ter umetnih radionuklidov v okolici NEK in v Ljubljani zelo podobna, v letu 2005 pa praktično enaka. Večji odmik je bil samo leta 2001, ko je bila razlika totalnih predvidenih letnih učinkovitih doz skoraj 90 μSv (okolica NEK 51 μSv na leto in Ljubljana 142 μSv na leto).

Ker sta prispevka Cs-137 v okolici NEK in Ljubljani praktično enaka, je bil nekoliko višji prispevek umetnih radionuklidov v okolici NEK med leti 2000 in 2004 posledica izmerjenega Sr-90/Sr-89. V letu 2005 Sr-90/Sr-89 ni bil detektiran in sta tudi prispevka umetnih radionuklidov v okolici NEK in Ljubljani enaka.



Ocena inhalacijskih, imerzijskih in skupnih doz za odrasle za Sp. Stari grad v letih 1997–2005 v (μSv na leto)



Slika 4.3

Na sliki 4.3 je povzetek ocen inhalacijskih in imerzijskih doz za zadnjih devet let, izračunanih iz podatkov o emisijah NEK in iz povprečnih mesečnih koncentracijskih faktorjev " χ/Q ", ki so jih za Spodnji Stari Grad izračunali na Agenciji RS za okolje. S slike je razvidno, da se inhalacijski del prispevka ves čas giblje med $0,15 \mu\text{Sv}$ in $0,25 \mu\text{Sv}$ na leto, imerzijski del pa se je od vrednosti $0,20 \mu\text{Sv}$ na leto v letu 1997 zmanjšal na vrednost pod $0,05 \mu\text{Sv}$ na leto. Celotna letna doza za odraslega v naselju Spodnji Stari grad, ki je posledica inhalacije in imerzije, je tako v zadnjih šestih letih med $0,20 \mu\text{Sv}$ in $0,30 \mu\text{Sv}$ na leto.

PRIMERJAVE PODATKOV O KONCENTRACIJAH, IZRAČUNANIH IZ EMISIJ NEK IN POVPREČNIH MESEČNIH KONCENTRACIJSKIH FAKTORJEV " χ/Q " ZA LETO 2005

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 $1\text{E-}6 \text{ Bq/m}^3$).

PRIMERJAVA Z DRUGIMI EVROPSKIMI TLAČNOVODNIMI ELEKTRARNAMI (PWR)

V preglednici 4.3 je primerjava podatkov o povprečnih letnih emisijah (GBq na leto) tritija, žlahtnih plinov, joda I-131, ogljika C-14 in beta-gama sevalcev (preostali pomembni) posameznih PWR-elektrarn v EU za obdobje od leta 1999 do 2003 in podatkov za NEK. Podatki za tlačnovodne elektrarne EU so iz reference [9], podatki za NEK pa so izmerjeni emisijski podatki za leto 2005. Preglednica se razlikuje od podobnih v prejšnjih poročilih, kjer so bile vrednosti normalizirane na GW h proizvedene električne energije v obdobju od 1995 do 1999. Publikacija z novimi podatki (referenca [9]) sicer ne navaja moči in proizvodnje posameznih elektrarn, upošteva pa podatke iz vseh elektrarn v EU.

Na sliki 4.5 je primerjava podatkov o emisijah iz preglednice 4.3 za leta od 1996 do 2005. S slike je razvidno, da so emisije NEK, preračunane na GW h proizvedene električne energije, bistveno nižje ali primerljive z emisijami drugih tlačnovodnih elektrarn. Razen v letih 1996 in 1997, ko so bile emisije joda in žlahtnih plinov zelo velike, so višje od povprečja so samo zračne emisije tritija v letih 2004 in 2005. Višje od povprečja so samo zračne emisije tritija. Vendar primerjava s posameznimi



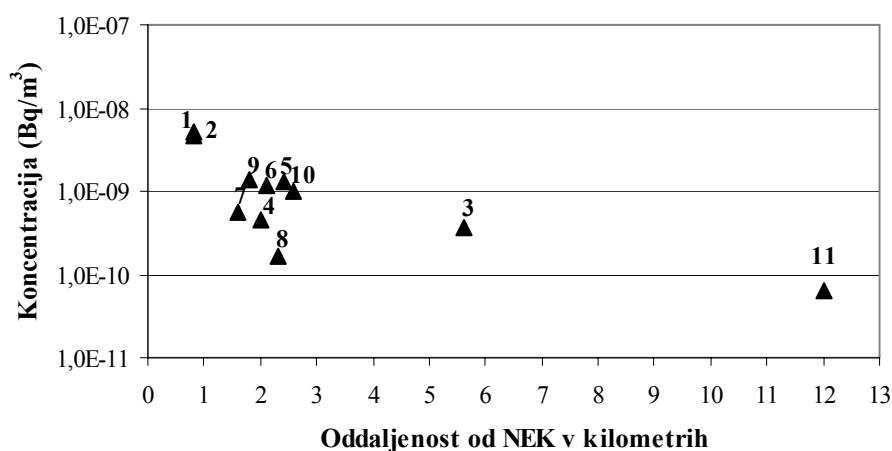
državami EU pokaže, da so emisije tritija v NEK popolnoma primerljive z emisijami povprečne PWR-elektrarne v Franciji ali Španiji (razmerje NEK/FR je 107 %, razmerje NEK/ES je 84 %) in večje kot v Nemčiji (razmerje NEK/D je 421 %). Tudi emisije C-14 so v posameznih državah zelo različne, vendar povsod bistveno večje kot v NEK (npr. razmerje NEK/FR je 2 % in razmerje NEK/ES je 21 %).

Preglednica 4.3: Podatki o povprečnih letnih zračnih emisijah (GBq na leto) za PWR-reaktorje v EU (povprečje 1999–2005) in primerljivi podatki za NEK v letu 2005

	EU (GBq na leto)	NEK (GBq na leto)	Razmerje NEK/EU (%)	Opomba za NEK
Tritij	1,22 E+03	1,76 E+03	144,6 %	Ekvivalent HTO
Žlahtni plini	6,79 E+03	8,89 E+02	13,1 %	Ekvivalent Xe-133
I-131	3,62 E-02	3,59 E-05	0,1 %	Ekvivalent I-131
C-14	3,33 E+02	1,35 E+01*	4,1 %	¹⁴ CO ₂
Beta-gama	5,64 E-02	1,4 E-04	0,2 %	Ekvivalent Cs-137

* Podatek za letno emisijo C-14 je iz Poročila o radioaktivnih emisijah iz NE Krško za leto 2005.

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

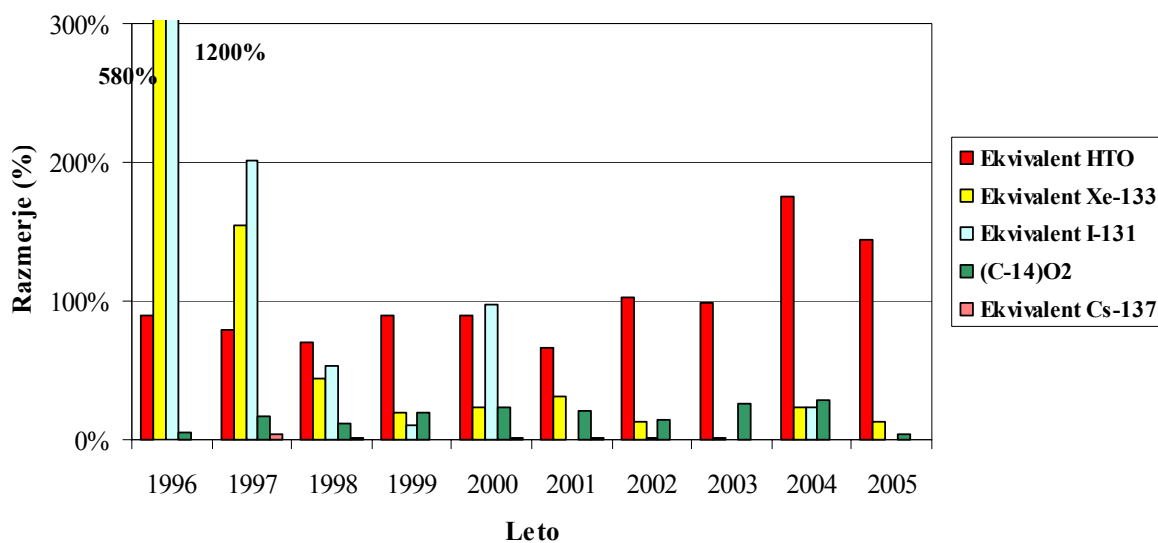


1	Sp. Stari grad
2	Vrbina
3	Brežice
4	Vihre
5	Mrtvice
6	Brege
7	Žadovinek
8	Leskovec
9	Krško-Stara vas
10	Pesje
11	Dobova

Slika 4.4



Razmerje emisij NEK in povprečje EU (1999-2003)



Slika 4.5

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 prehrabno verigo in je do 99 % celotne doze od C-14 [10]. Pomembnost prehoda v prehrabno verigo potrjujejo tudi podatki iz reference [11], kjer za celoten prispevek h kolektivni dozi zaradi atmosferskih izpustov na enoto sproščene aktivnosti za C-14 predlagajo tisočkrat večjo vrednost kot za H-3.

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 k letni predvideni učinkoviti dozi zaradi ingestije ocenjujejo na $12 \mu\text{Sv}$ [12]. Prav tako je pomemben ogljik C-14, ki je nastal ob atmosferskih jedrskih poskusih konec petdesetih let in za katerega ocenjujejo, da v globalnem povprečju prispeva okrog $20 \mu\text{Sv}$ k letni učinkoviti dozi posameznikov [12]. Podobna ocena za obstoječe jedrske naprave (elektrarne in tovarne za predelavo goriva) je, da v globalnem povprečju prispevajo k letni učinkoviti dozi posameznika okrog $0,6\text{--}0,8 \mu\text{Sv}$ na leto [12].

Kot je razvidno iz preglednice 4.3 je emisija $^{14}\text{CO}_2$ iz NEK v letu 2005 bistveno manjša od emisije v preteklem letu in povprečja emisij v drugih PWR-elektarnah v EU. V letu 2004 in vseh preteklih letih so bile emisije NEK višje in popolnoma primerljive z emisijami drugih elektrarn v državah EU (ter npr. višje kot v Španiji). Zaradi dolgoživosti ogljika C-14, mobilnosti in večletne prisotnosti v okolju, vpliv na prebivalstvo zaradi emisij NEK težko obravnavamo ločeno za vsako leto posebej. Dejanske ocene bi morale vsebovati oceno večletnih vplivov, kar je tudi osnova za vrednotenje globalnih vplivov C-14, sproščenega ob jedrskih poskusih, ali globalnih vplivov jedrskih elektrarn. Zato lahko sklepamo, da so ocene, ki so narejene za druge elektrarne [11], veljavne tudi za NEK. To pomeni, da je predvidena učinkovita doza zaradi ingestije ogljika C-14, sproščenega v atmosferskih emisijah, okrog $1 \mu\text{Sv}$ na leto, prenosna pot pa je uživanje mleka pri enoletnem otroku oziroma žitaric pri starejših skupinah.



To potrjuje tudi ocena, narejena na osnovi zelo poenostavljenega modela [10], vendar ob upoštevanju dejanskih emisij $^{14}\text{CO}_2$ iz NEK in razredčitvenih faktorjev, ki jih je pripravila ARSO. Za naselje Spodnji Stari Grad v letu 2005 je tako ocenjena predvidena letna efektivna doza zaradi ingestije C-14 okrog $2 \mu\text{Sv}$ na leto.

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.

Na osnovi poenostavljene ocene za emeisije NEK in modelskih ocenah za podobne jedrske elektrarne ugotavljamo, da povzroča prehod radionuklida C-14 iz zračne prenosne poti v ingestijsko prenosno pot doze, ki so za velikostni red večje od trenutno ocenjenih doz zaradi inhalacije in imerzije. Zato predlagamo, da se prispevek ogljika C-14 natančneje ovrednoti ob upoštevanju specifičnosti razmer v okolici NEK

h) SKLEPI

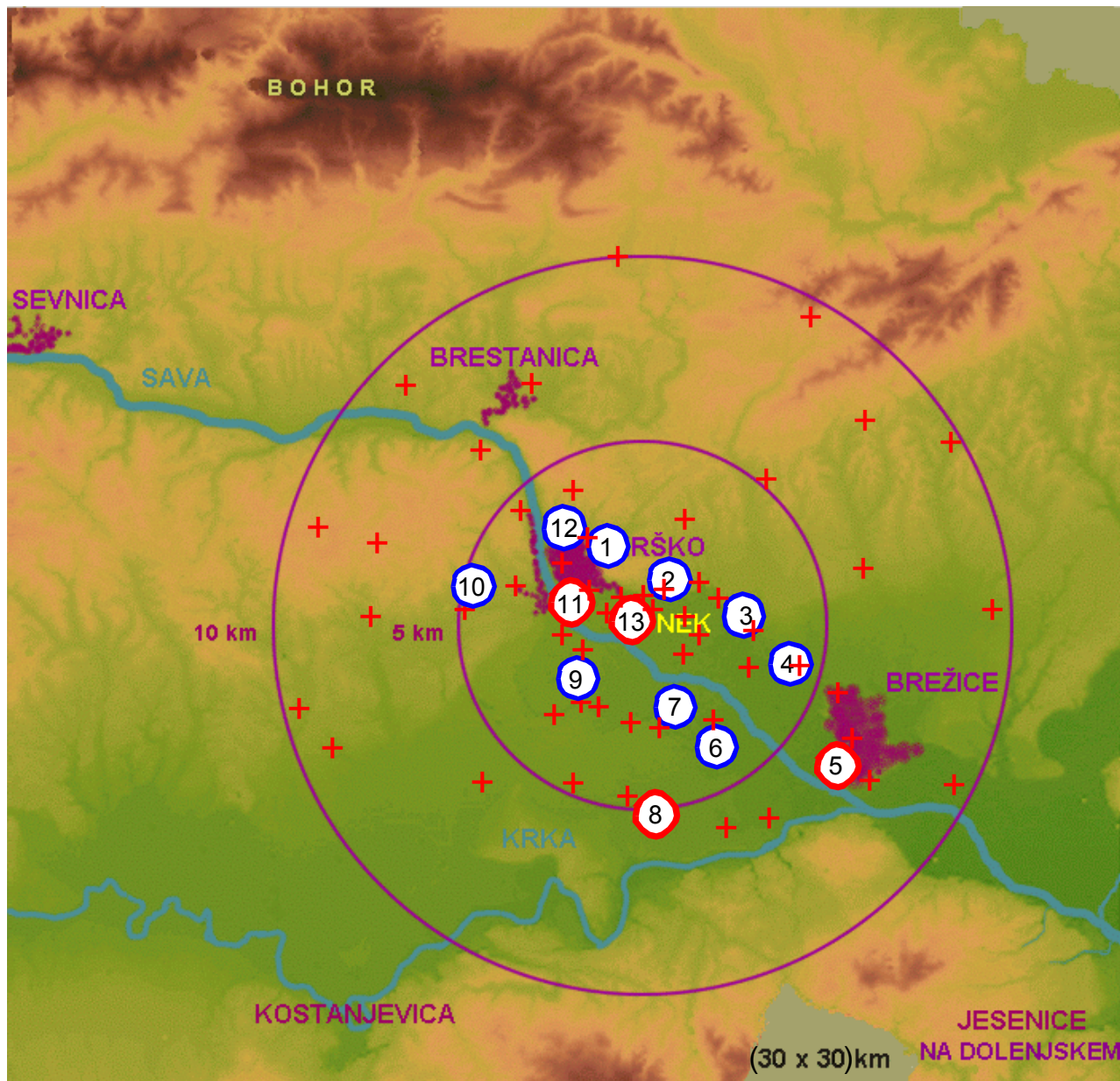
Ovrednotenje imisij na osnovi evalvacije meritev aerosolnih filtrov ter atmosferskih emisij z modelskimi izračuni razredčitvenih faktorjev, temelječimi na realnih vremenskih podatkih, je za leto 2005 pokazalo naslednje:

- predvidena efektivna doza zaradi **inhalacije aerosolov** v okolici NEK je predvsem posledica inhalacije naravnih radionuklidov in je za odraslega posameznika **$(66 \pm 4) \mu\text{Sv}$ na leto**;
- predvidena efektivna doza zaradi **inhalacije umetnih radionuklidov** v aerosolih v okolici NEK je posledica radionuklidov, ki so del globalne kontaminacije zaradi jedrskih poskusov in je za odraslega posameznika **$(0,0006 \pm 0,0002) \mu\text{Sv}$ na leto**;
- **umetnih radionuklidov**, ki bi izvirali iz NEK, meritve z aerosolnimi filtri niso zaznale;
- vsebnost **žlahtnih plinov** v zraku povzroča glavnino zunanjega sevanja, ki je za odraslega posameznika iz referenčne skupine prebivalstva (naselje Stari Spodnji Grad) **$0,02 \mu\text{Sv}$ 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 **$0,16 \mu\text{Sv}$** ; prispevki drugih radionuklidov k inhalacijski dozi so bistveno manjši, vendar 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 **$0,18 \mu\text{Sv}$ na leto**;
- enostavne ocene, narejene na osnovi dejanskih izpustov NEK in na osnovi podatkov o realnih vremenskih razmerah, ter primerjava z modelskimi ocenami za podobne elektrarne kažejo, da kot posledica atmosferskih izpustov prevladuje **ingestijska doza zaradi C-14**, ki je velikostnega reda **$1 \mu\text{Sv}$ na leto**. Zaradi primerljivosti izpustov C-14 iz NEK z drugimi elektrarnami v večletnem obdobju privzemamo gornjo oceno tudi za NEK.



i) REFERENCE

- [4] Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih, Uradni list RS 49/2004
- [5] Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing sites in the European Union, 1999–2003, Radiation Protection 143, European Commission, Brussels, 2005
- [6] 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
- [7] 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, Oxford, 35 (1991) 24, 211–214
- [8] 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



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 prejšnji 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 2005*).

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

Kontinuirni merilniki sevanja

V okolici NEK je postavljenih 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 33 kontinuirnih merilnikov, ki jih nadzirajo: Agencija RS za okolje ARSO (20), Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost URSJV (8) in Elektro-inštitut "Milan Vidmar", EIMV (5). 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 individualna kalibracija 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 z računalniškim programom RASCAL 3.0.3 [15].

Izpostavljenosti zunanjemu sevanju iz oblaka so bile ocenjene v poglavju "Zrak" z uporabo podatkov o atmosferskih izpustih iz NEK in z modelskim izračunom, ki upošteva realne meteorološke podatke.

d) OBRAVNAVA REZULTATOV

Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v datoteki **ZunanjeSevanje2005.pdf**.

TERMOLUMINISCENČNI DOZIMETRI

Leto 2005

Rezultati meritev zunanjega sevanja (sevanja gama in ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja) za leto 2005 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	$0,789 \pm 0,088$	0,584 – 0,997
stanovanja (1998)	100	$0,774 \pm 0,202$	0,338 – 1,49
znotraj ograje NEK	9	$0,599 \pm 0,058$	0,497 – 0,681
Slovenija	50	$0,822 \pm 0,135$	0,625 – 1,34
Hrvaška	9	$1,036 \pm 0,091$	0,923 – 1,183

* SD – disperzija populacije izmerkov

Povprečna letna doza v **okolici NEK** je bila **(0,789 \pm 0,088) mSv na leto** z razponom od 0,584 mSv do 0,997 mSv na leto. Pri 50 TLD v **Sloveniji** v okviru republiškega nadzornega programa je bila v letu 2005 povprečna letna doza primerljiva in je bila **(0,822 \pm 0,135) mSv na leto** z razponom od 0,625 mSv do 1,34 mSv na leto.

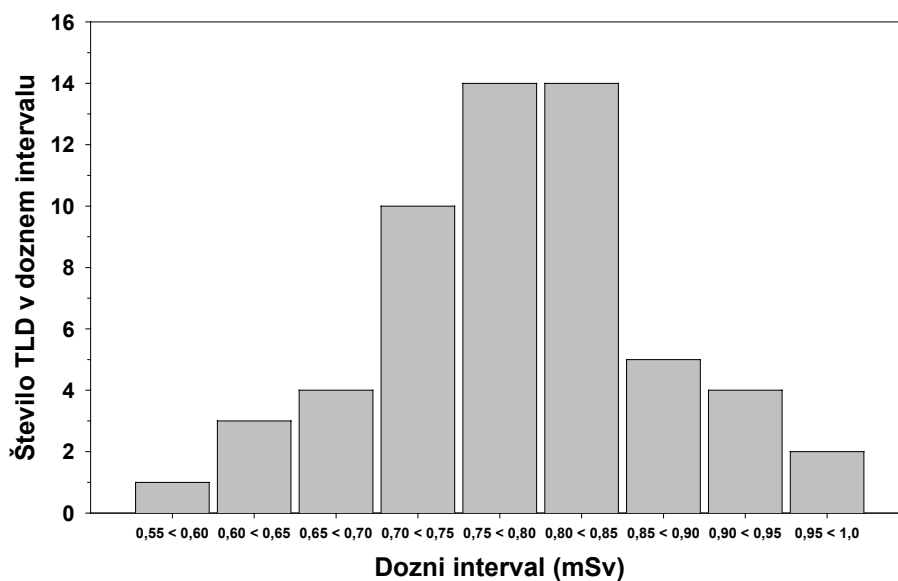
Tako v okolici NEK kot drugje po Sloveniji variacije med letnimi dozami na različnih lokacijah pripisujemo lokalnim dejavnikom, kot so različne vsebnosti naravnih radionuklidov v zemljišču, konfiguracija zemljišča in umetni objekti, kot so zgradbe in asfaltirane ali betonirane površine, ki slabijo sevanje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

Za devet dozimetrom **na ograji NEK** je značilna nižja letna doza, ki je bila **(0,599 \pm 0,058) mSv na leto** z razponom od 0,497 mSv do 0,681 mSv na leto. Tako je povprečna letna doza v okolici NEK za tretjino višja od tiste znotraj ograje NEK. Razliko pripisujemo prodnatim tlem in 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

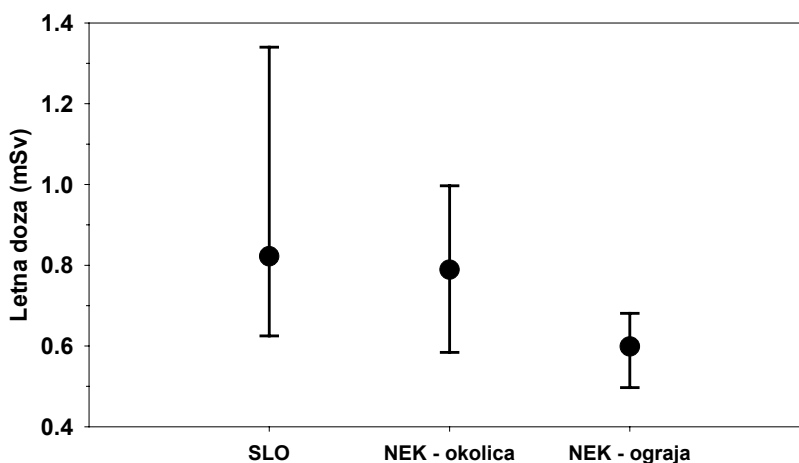


sklep potrjujejo meritve sevanja z ionizacijsko celico na krožni poti znotraj ograje ob rednih obhodih mobilne enote v NEK (ROMENEK). Nekoliko povišane vrednosti so opazne le v bližini skladišča RAO in rezervoarja RWST, drugod pa so nižje od tistih v navadnem okolju.

Na sliki 5.1 je prikazana pogostost doz po doznih intervalih za okolico NEK v letu 2005. Najverjetneše so letne doze med 0,75 mSv in 0,85 mSv na leto. Na sliki 5.2 so za leto 2005 prikazane še povprečne letne doze TLD v Sloveniji, v okolici NEK in znotraj ograje NEK. Značilno je, da se povprečni letni dozi za Slovenijo in okolico NEK neznatno razlikujeta. Pri dozimetrih v Sloveniji je razpon doz nekoliko večji kot pri dozimetrih v okolici NEK. Lokacije TLD v Sloveniji so nekoliko bolj raznolike kot je to pri tistih v okolici NEK.



Slika 5.1: Pogostost doz v raznih doznih intervalih za okolico NEK



Slika 5.2: Povprečne vrednosti letnih doz TLD in njihovi razponi za Slovenijo, okolico NEK in pri dozimetrih znotraj ograje NEK v letu 2005



Rezultati v preteklosti

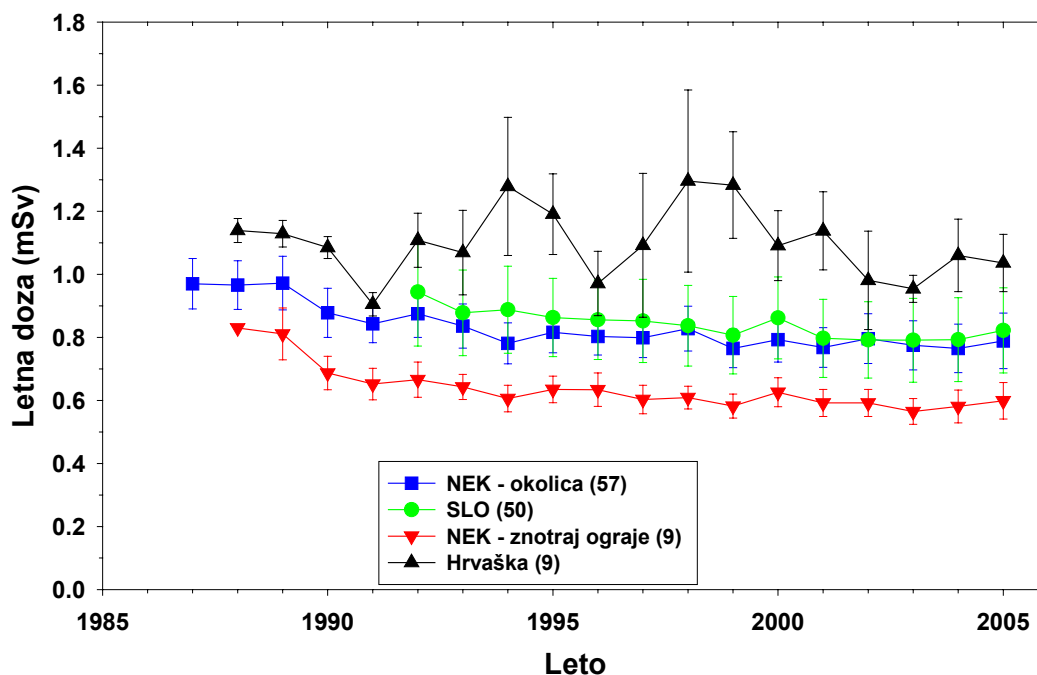
Na sliki 5.3 so za vsa obdobja meritev povzeti rezultati letnih doz s TLD v okolici NEK, znotraj ograje NEK, v Sloveniji in na Hrvaškem.

Za meritve v Sloveniji je v vseh primerih značilno zmanjševanje letne doze, predvsem v prvih letih po černobilski nesreči, ki se je zgodila leta 1986. Vzrok je razpad kratkoživih izotopov, ki so v začetnem obdobju največ prispevali k zunanjemu 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 zmanjšuje le za 2,3 % na leto. Neposrednega prispevka Cs-137 k zunanjemu sevanju iz meritev s TLD ni mogoče oceniti, ker ne razpolagamo s primerljivimi podatki iz predčernobilskega 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 podglavju 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 $(0,774 \pm 0,202)$ 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 2005 opazno znatnejše stresanje vrednosti na različnih lokacijah, znatno pa se razlikujejo povprečne vrednosti v posameznih letih. Ker dvomimo, da se naravne radiološke razmere na Hrvaškem znatno razlikujejo od tistih v Sloveniji, bi bilo treba preveriti kalibracijo dozimetrov.



Slika 5.3: Povprečne letne doze TLD v okolici NEK, znotraj ograje NEK, v Sloveniji in na Hrvaškem



KONTINUIRNI MERILNIKI MFM-202

Zaradi sistematskih odmikov med letnimi dozami, merjenimi s TLD in MFM-202, je NEK v letu 2005 zamenjal stare merilnike MFM-202 z novimi, ki kažejo nižje, realnejše vrednosti. Zamenjava je potekala postopoma, zato so na nekaterih lokacijah v začetnem obdobju leta uporabljeni še stari merilniki, na štirih lokacijah pa so bili v vsem letu uporabljeni novi merilniki. Zaradi tega primerjave z odčitki v preteklosti niso možne. Kontinuirne meritve hitrosti doze zunanjega sevanja v okviru programa nadzora radioaktivnosti v R Sloveniji (tabela 56/c) se izvaja s starimi merilniki MFM-202. Ti merilniki kažejo previsoke vrednosti hitrosti doze zaradi ozadja merilnikov, zato primerjava s hitrostmi doz v okolici NEK (tabela 56/b) ni možna.

e) OCENA VPLIVOV

Prebivalstvo v okolici NEK je izpostavljeno več virom zunanjega sevanja:

- sevanju gama zaradi naravnih izotopov v okolju
- kozmičnemu sevanju
- sevanju gama zaradi črnobilske kontaminacije in kontaminacije ob poskusnih jedrskih eksplozijah
- zunanjemu sevanju zaradi vplivov NEK
- medicinskim izpostavitvam, zlasti RTG–pregledom (teh izpostavitve 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 visokoločljivostnim spektrometrom gama z ustreznimi konverterji na desnem bregu Save na razdalji 450 m od zadrževalnega hrama. Izmerjeno je bilo le naravno ozadje kozmičnih nevtronov [14].

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

Sevanje iz oblaka

Letne doze zunanjega sevanja 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 2005 segajo od velikostnih redov **1 E-7 mSv do**



1 E-5 mSv na leto in po pričakovanju pojemajo z oddaljenostjo od NEK. Glede na značilno velikost letne doze naravnega ozadja zunanjega sevanja (okrog 1 mSv na leto) ta prispevek NEK ne more biti neposredno merljiv.

Tabela 5.2: Letne efektivne doze zunanjega sevanja iz oblaka (leto 2005)

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

Used radioaktivnih snovi iz oblaka

Izpostavitve zunanjemu sevanju zaradi usedlih radioaktivnih snovi iz oblaka je bila ocenjena z uporabo računalniškega programa RASCAL 3.0.3 [15]. 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 [16]. 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 2005 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 10 nSv na leto. Tega prispevka NEK ni mogoče izmeriti s TLD in MFM-202 v okolici NEK. Letna doza zaradi zunanjega sevanja je za približno pet velikostnih redov večja. Spremembe letne doze zaradi naravnih vplivov in sprememb splošne kontaminacije okolja z radioaktivnimi snovmi namreč daleč presega vrednost prispevka NEK.



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

Izotop	$t_{1/2}$	enota	$t_{1/2} / d$	Bq na leto	Bq/m ²	(E/t)/A (Sv/d)/Bq	ft / d	Sv na leto
I-131	8,04	d	8,04	3,6 E4	5,1 E-2	1,57 E-16	2,899	1,6 E-11
I-132	2,3	h	0,0958	-	-	3,94 E-17	0,03455	-
Cr-51	27,7	d	27,7	4,2 E3	6,0 E-3	1,45 E-17	9,997	6,1 E-13
Mn-54	312	d	312	5,1 E3	7,1 E-3	3,98 E-16	62,51	1,3 E-10
Co-57	271	d	271	1,2 E3	1,7 E-3	5,64 E-17	59,32	4,0 E-12
Co-58	70,8	d	70,8	3,7 E4	5,3 E-2	4,59 E-16	24,82	4,2 E-10
Co-60	5,27	a	1924	1,5 E5	2,1 E-1	1,16 E-15	85,51	1,5 E-8
Zr-95	64	d	64	-	-	3,63 E-16	22,64	-
Nb-95	35,1	d	35,1	-	-	3,54 E-16	12,65	-
Te-123m	120	d	120	-	-	6,97 E-17	38,02	-
Te-125m	58	d	58	1,9 E4	2,7 E-2	1,74 E-17	20,65	6,8 E-12
Sb-125	2,77	leto	1011	2,4 E3	-	2,09 E-16	80,73	-
Cs-134	2,06	leto	752	-	-	7,47 E-16	77,49	-
Cs-137	30	leto	10950	1,4 E4	2,0 E-2	2,08 E-16	90,20	2,6 E-10
Vsota								1,6 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 [13]. 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. 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 2005.

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 in sevanja gama kozmičnega porekla ter 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 2005 je bila 0,789 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 2005 je bila za bivanje na prostem in v zaprtih prostorih v okolici NEK **0,78 mSv na leto**.



Dozimetri TLD ne merijo doze nevtronske komponente kozmičnega sevanja, zato smo le-to privzeli iz poročila [12]. 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 [12], kjer za gladino morja na geografski širini 50⁰ 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 in sevanja gama kozmičnega porekla, kozmičnih nevtronov in prispevka černobilskega Cs-137 v okolici NEK je 0,85 mSv na leto in se dobro sklada z oceno iz poročila [12] 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 2005 so bile od 1,7 nGy/h do 14 nGy/h. Upoštevajoč pretvorbeni faktor med absorbirano dozo v zraku in efektivno dozo¹ 0,7 Sv/Gy [12], so letne efektivne doze med 0,010 mSv in 0,086 mSv na leto. To je od 1,2 % do 10 % povprečne celotne letne zunanje doze v okolici NEK (0,85 mSv na leto iz meritev s TLD in ocene nevtronske komponente). Ocena prispevka Cs-137 k letni dozi je skrajno konservativna, saj temelji na nerealni predpostavki, da se prebivalec vse leto zadržuje na prostem.

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).

Prispevek Cs-137 k celotni zunanji dozi v letu 2005 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 efektivne doze zunanjega sevanja za prebivalstvo v okolici NEK. Prevladuje izpostavitve zaradi naravnega sevanja (≤ 100 %), used Cs-137 zaradi atmosferskih jedrskih poskusov in černobilske nesreče prispeva le kak odstotek, medtem ko je prispevek NEK pod 0,01 %.

¹ Pretvorbeni faktor med absorbirano dozo v zraku in efektivno 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.


Tabela 5.4: Letne efektivne doze zunanjega sevanja v letu 2005 za prebivalstvo v okolici NEK

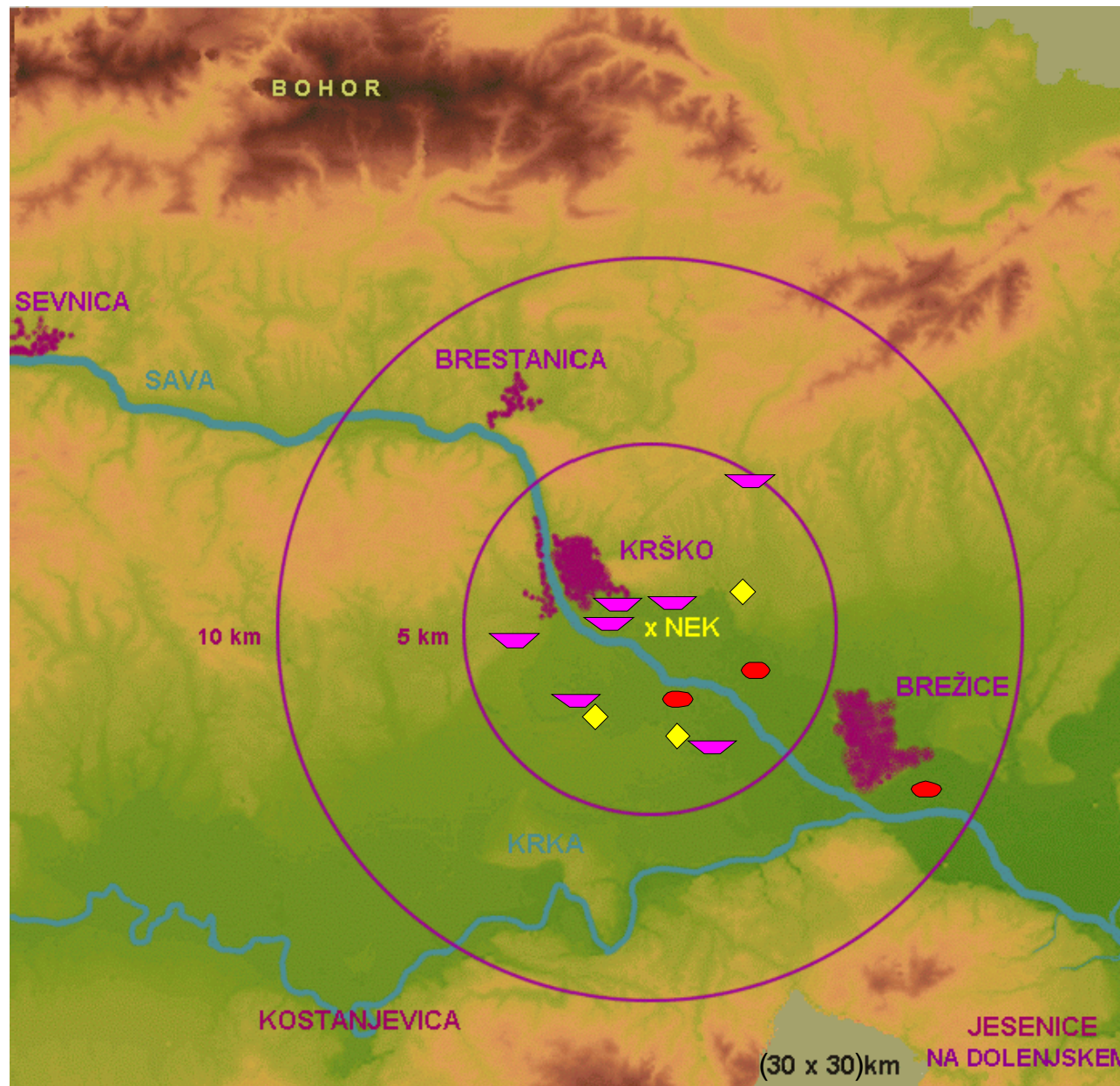
Vir	Podatki	Letna efektivna doza (mSv)
sevanje gama + ionizirajoča komponenta kozmičnega sevanja	TLD	0,78 (92 %)
kozmični nevtroni	[12]	0,070 (8 %)
naravno sevanje - skupaj		0,85 (100 %)
kontaminacija zaradi černobilske nesreče in poskusnih jedrskih eksplozij	Cs-137 v zemlji ali na urbani površini + model	< 0,01 (< 1 %)
NEK – atmosferski izpusti	oblak + used (modeli)	< 0,0001 (< 0,01 %)
Skupaj		0,85

g) SKLEPI

- Celotna letna doza naravnega ozadja zaradi naravnih sevalcev gama, ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja in kozmičnih nevtronov v letu 2005 je bila za prebivalstvo v okolici NEK 0,85 mSv na leto in se sklada z oceno za svetovno prebivalstvo.
- Prispevki NEK k zunanjemu sevanju zunaj ograje 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 2005 se ujema z ocenami treh primerljivih švicarskih jedrskih elektrarn in je manjša od 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 2005 je velikostnega reda enega odstotka naravnega ozadja oziroma okrog 0,01 mSv na leto.

h) REFERENCE

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

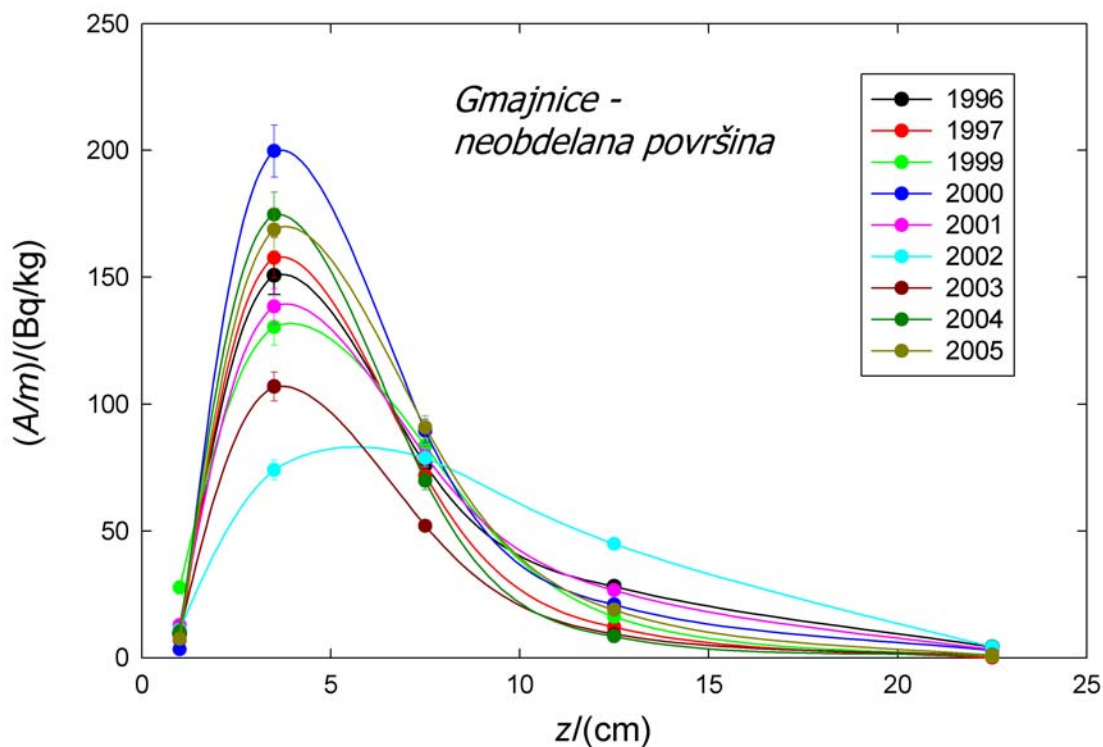
Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v datoteki **Zemlja2005.pdf**.

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, 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 2005, s tisto Co-60. Skupni tekoči izpusti Co-60 so bili leta 2005 petkrat, skupni zračni izpusti Co-60 pa desetkrat večji od izpustov Cs-137. To je pomembno zato, ker sta poplavljanje reke

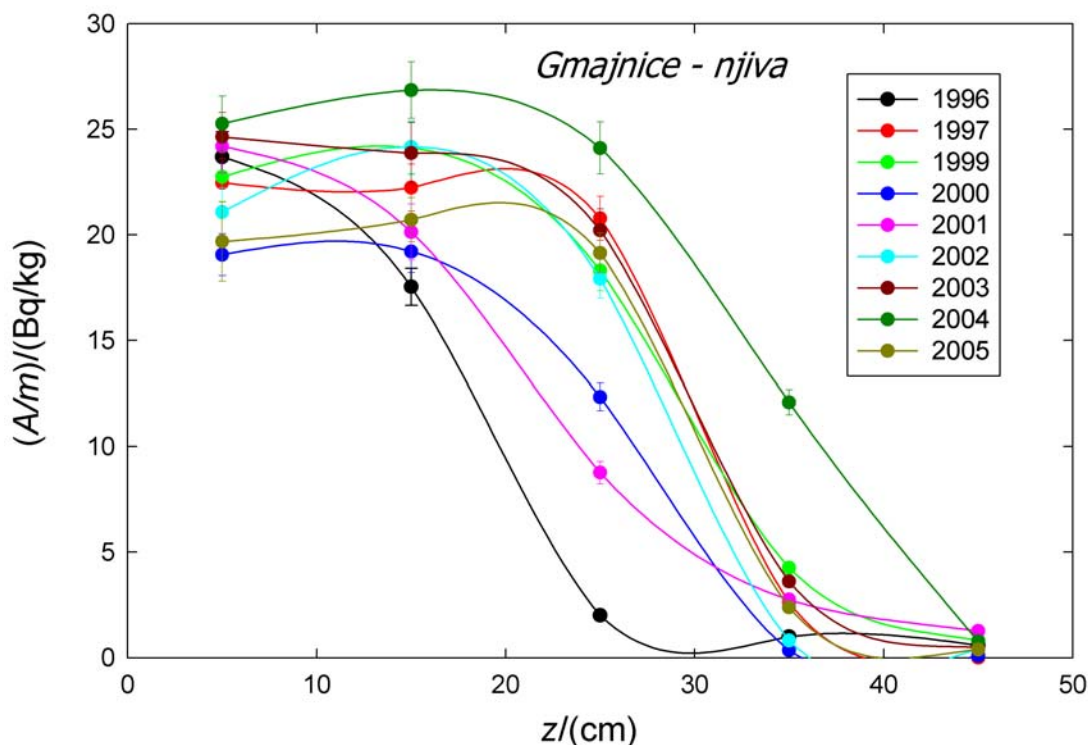


Save in odlaganje iz zraka glavni prenosni poti za oba radionuklida iz NEK do območij, kjer vzorčujemo zemljo. Pri tem Co-60 nismo zaznali ne v zemlji, ne v vzorcih vode, rečnih in suspendiranih sedimentov reke Save in ne v zraku. Tako torej tudi Cs-137 v vzorcih zemlje ne more izvirati iz NEK. Radionuklida Cs-134 v letu 2005 v vzorcih zemlje ni bilo, kar potrjuje neproblematičnost vpliva NEK na okolje. Specifične aktivnosti radionuklida Sr-90/Sr-89 (0,6–2,9 Bq/kg) so nizke in v skladu z vrednostmi iz prejšnjih let. Razpon specifičnih aktivnosti naravnih radionuklidov, povprečen po globini zemlje, je (320–460) Bq/kg za K-40, (26–34) Bq/kg za U-238 in (27–38) Bq/kg za Th-228, kar se ujema s povprečnimi masnimi 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 [12].

Pregledali smo tudi koncentracije Cs-137, izmerjene v zadnjem desetletju v vzorcih iz Gmajnic z neobdelane in z obdelane površine. S slike 6.1 je razvidno, da se na neobdelanem zemljišču oblika globinske porazdelitve s časom le malo spreminja, kar pomeni, da difuzija in migracija Cs-137 nista izraziti. Razlike v vrednostih za dano globino v posameznih letih, ki so precej večje od negotovosti rezultatov, gre tako pripisati jemanju vzorcev na različnih mikrolokacijah. Zanimivo pa je, da izbira mikrolokacije ne vpliva na obliko porazdelitve in da so si torej lastnosti zemljišča, pomembne za migracijo in difuzijo Cs-137, na dani makrolokaciji povsod zelo podobne. Da bi bolje raziskali razmere in zagotovili reprezentativnost vzorcev, bi torej v vzorčevanje kazalo vpeljati statistični način. Poseben primer je globinska porazdelitev, izmerjena v letu 2002, kjer gre verjetno za kontaminacijo vzorcev iz globljih plasti s tistimi iz nižje ležečih, kar povzroči navidezno bolj enakomerno porazdelitev specifične aktivnosti. Podobno splošne ugotovitve kot za vzorce neobdelane zemlje veljajo tudi za vzorce obdelane (slika 6.2), vendar je v tem primeru površina zaradi oranja vendarle bolj homogena in so razlike med lastnostmi mikrolokacij ter s tem med izmerjenimi koncentracijami manjše, vsaj do globine približno 20 cm. Do te globine je porazdelitev zaradi mešanja plasti zemlje skoraj enakomerna.



Slika 6.1: Globinske porazdelitve koncentracije Cs-137, izmerjene v zadnjem desetletju v vzorcih zemlje z neobdelane površine v Gmajnicah. Črte, ki povezuje posamezne izmerjene vrednosti, so na sliki zgolj v pomoč bralcu in niso rezultat računa.



Slika 6.2: Globinske porazdelitve koncentracije Cs-137, izmerjene v zadnjem desetletju v vzorcih zemlje z obdelane površine v Gmajnicah. Črte, ki povezuje posamezne izmerjene vrednosti, so na sliki zgolj v pomoč bralcu in niso rezultat računa.

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 [17] 49 nGy/h in je enak kot v letu 2004. 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 2005. Izračunali smo jih tako, da smo upoštevali izmerjene porazdelitve depozita po plasteh zemlje na posameznih lokacijah. V prejšnjih letih smo za obdelano površino v Gmajnicah privzeli enakomerno porazdelitev Cs-137 po globini, vendar meritve v septembru 2005 te predpostavke ne potrjujejo. Izračun doze z dejansko porazdelitvijo da tako dozo, ki je približno dvakrat nižja od tiste iz leta 2004. Večjo spemembo opazimo še pri septembrski vrednosti za neobdelano površino v Gmajnicah, kjer je poplava morda odnesla zgornje plasti zemlje. Pretvorbene količnike med depozitom Cs-137 in hitrostjo doze zunanjega sevanja smo povzeli po [18] ob predpostavki, 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 g/cm³. 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. Kot v prejšnji letih je bila tudi v letu 2005 hitrost doze najvišja na neobdelani površini v Gmajnicah, kar je lahko posledica nanosov ob poplavih.

Tabela 6.1: Povprečne hitrosti absorbirane doze zunanjega sevanja zaradi Cs-137 v zemlji v nGy/h v maju in septembru 2005

Lokacija / Čas vzorčevanja	Maj	September
Amerika	4,5 ± 1,0	4,7 ± 1,0
Gmajnice, neobdelana površina	14,1 ± 3,0	7,0 ± 1,5
Gmajnice, njiva	2,4 ± 0,5	2,7 ± 0,6
Kusova vrbina – Trnje	1,7 ± 0,4	3,1 ± 0,7

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. Primerjava izmerjenih globinskih porazdelitev koncentracije Cs-137 v vzorcih zemlje z iste makrolokacije, ki so bili skozi čas vzeti na različnih mikrolokacijah, pove, da je zaradi konsistentnosti in ponovljivosti analiz treba vpeljati statistične metode v postopke vzorčevanja zemlje.

g) REFERENCE

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



H R A N A

Namen določanja radioaktivnosti 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 2005 ($0,9 \pm 0,13$) μSv , pa še ta izvira iz kontaminacije zaradi jedrskih poskusov in nesreče v Černobilu.

Različne študije v Evropi [12, Annex A, 19, 20, 21] so pokazale, da je v prehranski verigi treba upoštevati tudi Po-210 [22], ki je sevalec alfa, in C-14, ki dejansko največ prispeva k obremenitvi odraslih oseb [12, Annex A]. Po-210 je potomec v razpadni verigi U-238 in ne izhaja neposredno iz NEK, medtem ko se C-14 pojavlja v izpustih NEK. Zaradi tega dejstva smo v desetih vzorcih hranil izmerili koncentracijo C-14. Iz rezultatov teh meritev izhaja, da je koncentracija C-14 v vzorcih v povprečju 10 % nad naravno, ki je 226 Bq/kg ogljika [23]. Koncentracije C-14 v okolici NEK in na referenčni lokaciji v okolici rudnika Žirovski Vrh so v okviru negotovosti enake in se ujemajo s pričakovanimi koncentracijami v biosferi, zato tega povečanja ne moremo pripisati NEK, ampak globalni kontaminaciji v okolju.

a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST

Na več kot polovici kmetijskih zemljišč na krško-brežiškem polju se prideluje hrana (žitarice, sadje, zelenjava). Vzorčevanje hrane poteka na mestih, ki imajo podobno sestavo tal kot tista pri vzorčevanju 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 2005, 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) in Kočno (meso).

b) ZNAČILNOSTI MERITEV

V vzorcih hrane so bile izmerjene vsebnosti sevancev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama (VLG) in vsebnost Sr-90/Sr-89 z radiokemijsko metodo. Vzorčevanje, meritve in analize vseh vzorcev hrane so bile opravljene na IJS.

c) OBRAVNAVA REZULTATOV

Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v datotekah **Hrana2005.pdf**.

Rezultati meritev vzorcev hrane so prikazani v tabelah T-61 (Mleko – Pesje), T-62 (Mleko – Vihre), T-63 (Mleko – Brege), T-65 (Kokošje meso in jajca), T-66 (Svinjsko in goveje meso), T-67 (Povrtnine in poljščine – pšenica), T-68 (Povrtnine in poljščine – koruza, ječmen), T-69 (Povrtnine in poljščine – fižol), T-70 (Povrtnine in poljščine – krompir, korenje), T-71 (Povrtnine in poljščine – peteršilj), T-72 (Povrtnine in poljščine – solata), T-73 (Povrtnine in poljščine – zelje), T-74



(Povrtnine in poljščine – paradižnik, čebula), T-75 (Sadje – jabolka), T-76 (Sadje – hruške), T-77 (Sadje – jagode) in T-78 (Sadje – vino).

V vseh vzorcih hrane so bili detektirani naravni radionuklidi iz razpadnih nizov radionuklidov U-238 in Th-232 ter K-40, med umetnimi pa le Cs-137 in Sr-90/Sr-89.

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 drugi, močno vplivajo na prenos snovi. Merilo za količino črpanja radioaktivnosti 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 so se v počernobilskem času v različnih vrstah hranil približno eksponentno zmanjševali s časom. Od sredine 90-ih let pa so konstantni, pri čemer so v posameznih letih opazna nihanja pri posameznih vrstah hrane. To variabilnost lahko pripišemo uporabi različnih vrst gnojil, ki vplivajo na sorpcijo Cs-137 preko koreninskih sistemov. Značilne vrednosti prenosnih faktorjev so za Cs-137 med 0,001 (povrtnine) 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 (povrtnine) in 0,2 (žitarice).

Za primerjavo doznih obremenitev prebivalstva v okolici NEK pri ingestiji hrane, ki jih povzročajo posamezni radionuklidi, specifično aktivnost 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)*):

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

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 7.1, ki temelji na povprečni količini nabavljenih živil in pijač na člana gospodinjstva, ki jo je pripravil Statistični urad Republike Slovenije [24].

Tako lahko iz zgornje enačbe izračunamo, da je efektivna doza, ki jo dobi odrasla oseba ob zaužitju vseh vrst hrane (50 ± 40) μSv . V vzorcih hrane je bila specifična aktivnost Pb-210 nad mejo kvantifikacije le v vrtninah in sadju. Prispevki drugih naravnih radionuklidov, kot so U-238, Ra-228 in Th-228, k celotni dozi so okrog dve tretjini. Letni efektivni dozi zaradi Cs-137 in Sr-90/Sr-89 pri ingestiji hrane sta bili ($0,25 \pm 0,03$) μSv in ($0,65 \pm 0,07$) μSv .

Globalna kontaminacija

Radionuklida Cs-137 in Sr-90/Sr-89 se pojavljata kot kontaminacija v vrhnji plasti zemlje zaradi jedrskih preskusov in nesreče v Černobilu. Specifična aktivnost radionuklida Sr-90/Sr-89 je nekaj Bq/kg, Cs-137 pa nekaj deset Bq/kg [25]. Specifične aktivnosti (vsebnosti) radionuklidov v hranilih se navaja na enoto sveže količine snovi. Atomi Cs-137 se v telesu človeka nalagajo v mehkih tkivih, 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 od Cs-137 se stroncij nalaga večji del v kosteh, 70–80 % se ga izloči, približno 1 % začetne koncentracije stroncija pa se absorbira v krvi, medcelični tekočini in mehkem tkivu.



Tabela 7.1: Letne porabe posamezne vrste hrane, po podatkih, ki jih je pripravil Statistični urad Republike Slovenije [24].

Hrana	Poraba hrane odraslega (kg na leto)
Kokošja jajca	10
Kokošje meso	11
Svinjsko meso	17,3
Goveje meso	11,5
Pšenica	65
Stročji fižol	1
Fižol v zrnju	1
Solata	11
Paradižnik	9
Čebula	5
Zelje	4
Koruza	5
Ječmen	2
Hruške	2,5
Jagode	3
Vino	23
Krompir	42
Korenje	3
Peteršilj	0,5
Jabolka	23
Mleko	80

Iz tabel rezultatov meritev lahko razberemo, da je bila koncentracija Cs-137 v vzorcih hrane živalskega izvora od $(0,052 \pm 0,009)$ Bq/kg v mleku do $(0,6 \pm 0,1)$ Bq/kg v svinjskem mesu, pri kokošjih jajcih je bila pod mejo kvantifikacije. Povprečna izmerjena vsebnost Cs-137 v hrani v letu 2005 je bila $(7 \cdot 410^{-2} \pm 1,3 \cdot 410^{-1})$ Bq/kg. Izmerjene specifične aktivnosti Sr-90/Sr-89 v hrani živalskega izvora so pod mejo kvantifikacije, razen v mleku, kjer je $(0,041 \pm 0,006)$ Bq/kg. V hranilih rastlinskega izvora je bila najnižja vsebnost Sr-90/Sr-89 v jabolkah, kjer je bila $(1,6 \cdot 410^{-2} \pm 5 \cdot 410^{-3})$ Bq/kg, najvišja pa v zelju $(0,39 \pm 0,22)$ Bq/kg. Povprečna specifična aktivnost Sr-90/Sr-89 v hrani je bila $(0,1 \pm 0,1)$ Bq/kg. Na slikah 7.1 in 7.2 so prikazane specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v različnih vrstah hrane za leto 2005. Vsebnosti Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v hrani z leti nihajo, vendar je opazno zmanjševanje. Tako je s slike 7.3 razvidno, da se je specifična aktivnost Sr-90/Sr-89 v mleku od Černobilske nesreče do danes znižala za faktor 5, specifična aktivnost Cs-137 v mleku pa se je v enakem obdobju znižala za približno 100-krat. Izmerjena specifična aktivnost Cs-137 v mleku v letu 2005 je na ravni izpred Černobilskega obdobja (1984, 1985), specifična aktivnost Sr-90/Sr-89 pa je tudi za faktor 2 nižja. Za druga hranila tako rastlinskega kot živalskega izvora lahko prav tako ugotovimo opazna znižanja vsebnosti umetnih radionuklidov. Znižanje vsebnosti 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 aktivnosti Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v hranilih živalskega izvora.

Na sliki 7.4 prikazujemo grafikone kvantilov za koncentracije radionuklidov v hranilih v letu 2005. Kvantili se uporabljajo pri predstavitvi porazdelitev in predstavljajo intervale enakih ploščin porazdelitve. Z grafikonom kvantilov prikažemo medkvartilni razpon (pravokotnik), mediano,



razpon, (a) simetričnost porazdelitve (s kvartili) in neobičajne ekstremne vrednosti (osamelce). Specifične aktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov so porazdeljene nesimetrično glede na hranila. Opazimo, da imajo porazdelitve maksimum pri 0. Edina izjema je Sr-90/Sr-89, ki ima maksimum porazdelitve pri 0,05 Bq/kg. Specifične aktivnosti naravnih in umetnih radionuklidov v hranilih so manjše od 1 Bq/kg. Izjemi sta K-40 in Be-7. Specifične aktivnosti K-40 v hranilih dosegajo vrednosti v razponu od 34 Bq/kg v jabolkih do 160 Bq/kg v fižolu v zrnju, Be-7 pa so v razponu od 0 Bq/kg (pod mejo kvantifikacije) do 10 Bq/kg v ječmenu. Pri naravnih radionuklidih je več kot 50 % vrednosti pod mejo kvantifikacije. Na sliki 7.5 je prikazan grafikon kvantilov izračunanih doz zaradi prispevkov posameznih radionuklidov v hrani, kjer je bila upoštevana letna poraba posamezne vrste hrane (tabela 7.1). Iz tega grafikona lahko razberemo, da k obremenitvi prebivalstva zaradi uživanja hrane na krško-brežiškem polju največ prispevajo naravni radionuklidi Ra-228, Pb-210 in Ra-226. Efektivne doze zaradi ingestije the radionuklidov so v razponu od 2,1 μ Sv za Ra-226 do 20 μ Sv za Pb-210.

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.

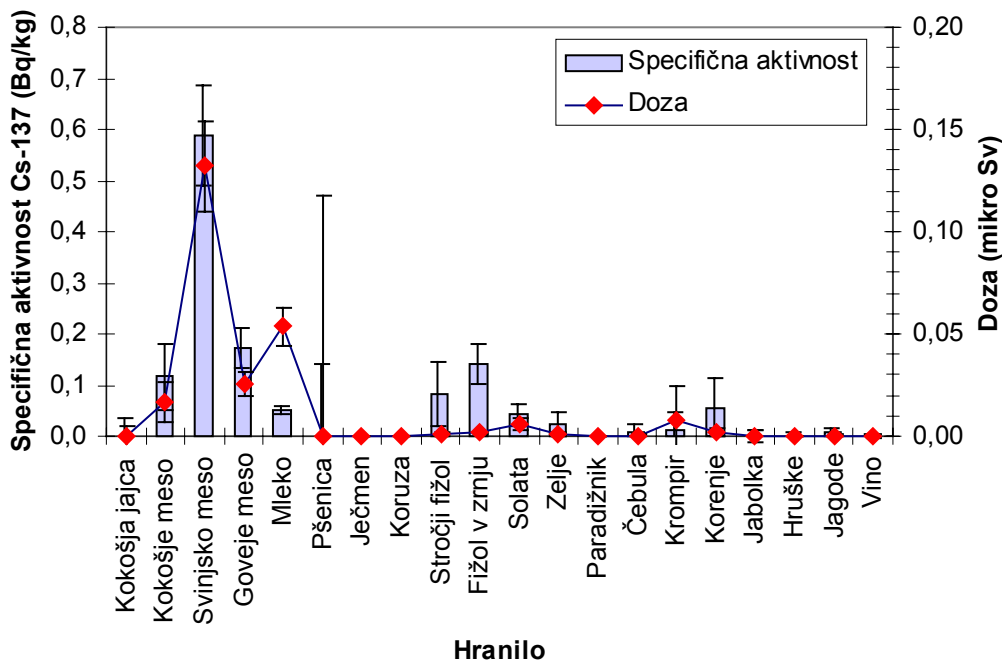
Časovna retrospektiva vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov v hrani od 1983 prikazuje naslednje statistične značilnosti:

1. Vsebnosti Pb-210 in Be-7 v hranilih so od 1987 časovno medsebojno slabo korelirane, kar prikazujemo z vzorčnim korelacijskim koeficientom (slika 7.6) [26]. Še največjo korelacijo lahko opazimo v koruzi, solati, fižolu v zrnju, hruškah in mleku. To so mediji, kjer je možnost vnosa Be-7 preko foliarne absorpcije dovolj velika, da ga lahko primerjamo z črpanjem Pb-210 preko koreninske absorpcije. Pri mleku predpostavimo foliarni vnos preko trave.
2. Vsebnosti Cs-137 v hranilih s časom pojemajo eksponentno (slika 7.7). Predčernobilski red velikosti vsebnosti Cs-137 v hranilih je bil v večini hranil dosežen v sredini 90-ih let.

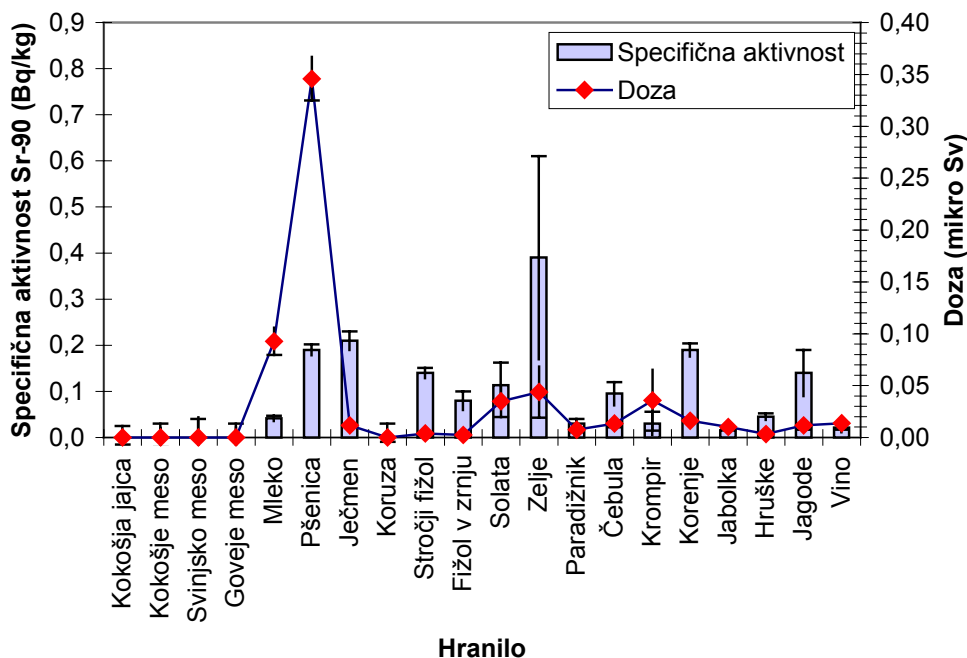
Naravni radionuklidi

Med naravnimi radionuklidi, ki jih najdemo v hrani, kamor pridejo po različnih prenosnih poteh iz zemlje in umetnih gnojil, so K-40, Be-7 ter radionuklidi iz razpadnih verig U-238 in Th-232.

K-40 je naravni sevalec beta in gama. 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. 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 vsebnost K-40 v hrani, ki je bila pridelana na krško-brežiškem polju, je $(85,5 \pm 41,7)$ Bq/kg. Največ K-40 je v vrtninah in poljščinah, najmanj pa v sadju, mleku in jajcih. Zaradi ingestije hrane, ki vsebuje K-40, oseba ne prejme nobene dodatne doze.



Slika 7.1: Izmerjene specifične aktivnosti Cs-137 in izračunane efektivne doze zaradi kontaminacije hrane s Cs-137 v različnih vrstah hrane v letu 2005

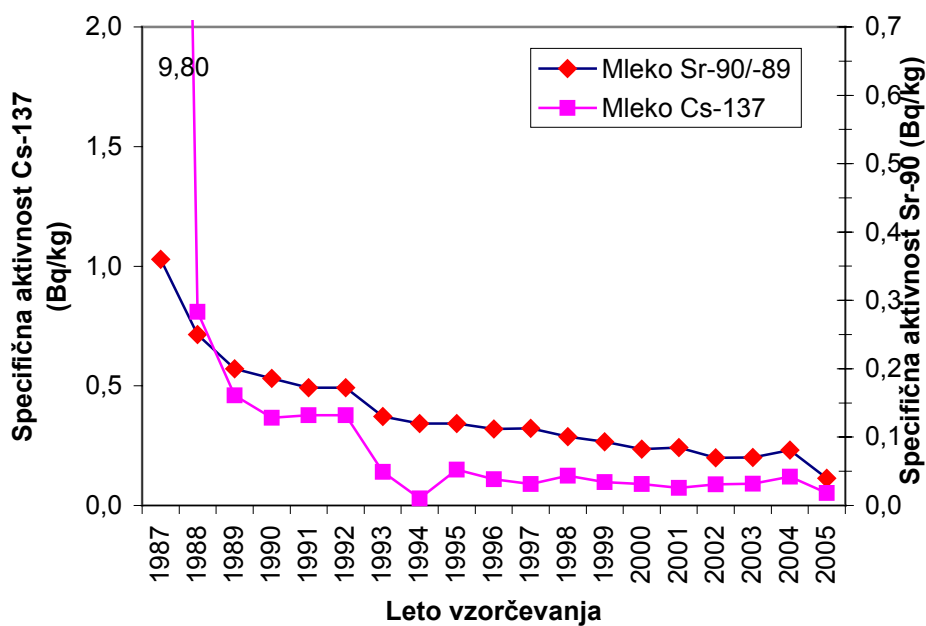


Slika 7.2: Izmerjene specifične aktivnosti Sr-90/Sr-89 in izračunane efektivne doze zaradi kontaminacije hrane s Sr-90/Sr-89 v različnih vrstah hrane v letu 2005



Tabela 7.2: Primerjava povprečnih vsebnosti Cs-137, Sr-90/Sr-89 in K-40 v hrani, travi, zemlji in padavinah. Vsebnosti radionuklidov so podane v Bq/kg sveže snovi, razen pri travi. V letu 1994 goveje meso ni bilo vzorčevano. V letu 2005 so bile specifične aktivnosti Sr-90/Sr-89 v hranilih živalskega izvora, razen v mleku, pod mejo kvantifikacije (MKV).

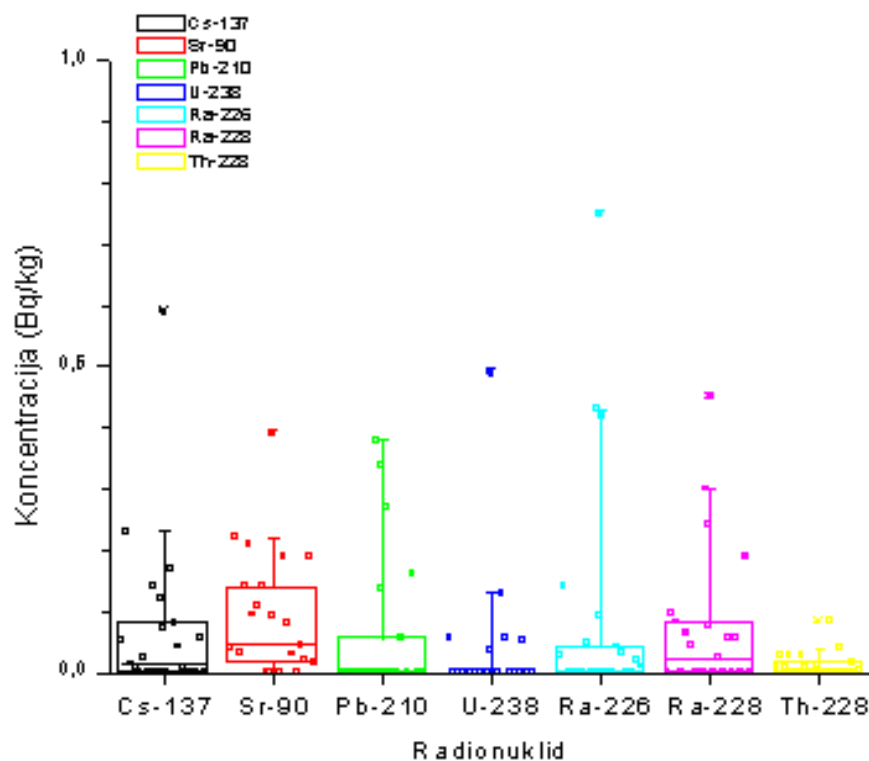
Leto	Cs-137					Sr-90/Sr-89				
	Mleko	Kokošja jajca	Kokošje meso	Goveje meso	Svinjsko meso	Mleko	Kokošja jajca	Kokošje meso	Goveje meso	Svinjsko meso
	Specifična koncentracija (Bq/kg)									
1987	9,80	0,86	3,80	4,10	12,00	0,36	0,20	0,03	0,13	0,04
1988	0,81	0,30	0,90	2,00	2,30	0,25	0,17	0,01	0,05	0,12
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	0,07	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
2005	0,052	MKV	0,12	0,17	0,59	0,04	MKV	MKV	MKV	MKV

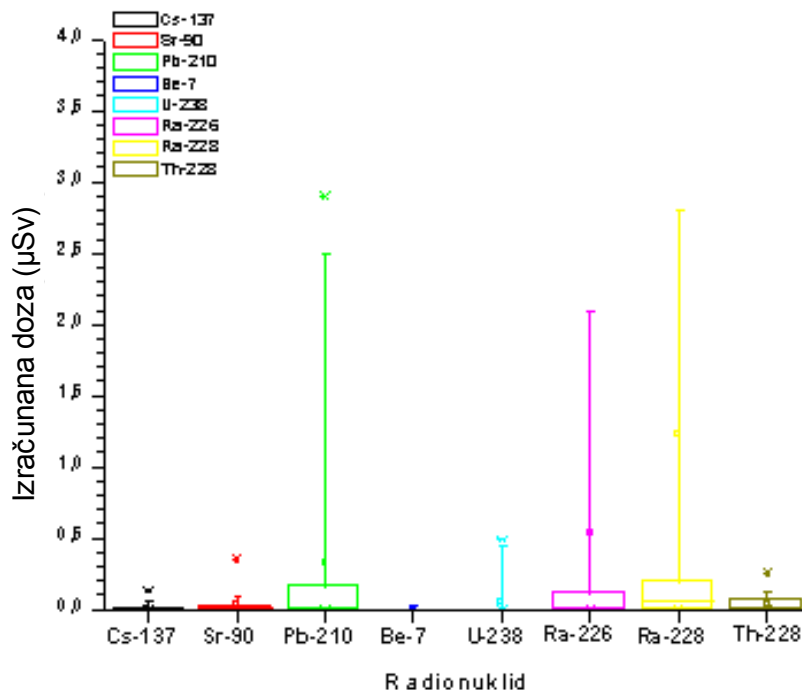


Slika 7.3: Izmerjene specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90/Sr-89 v mleku za različna leta vzorčevanja

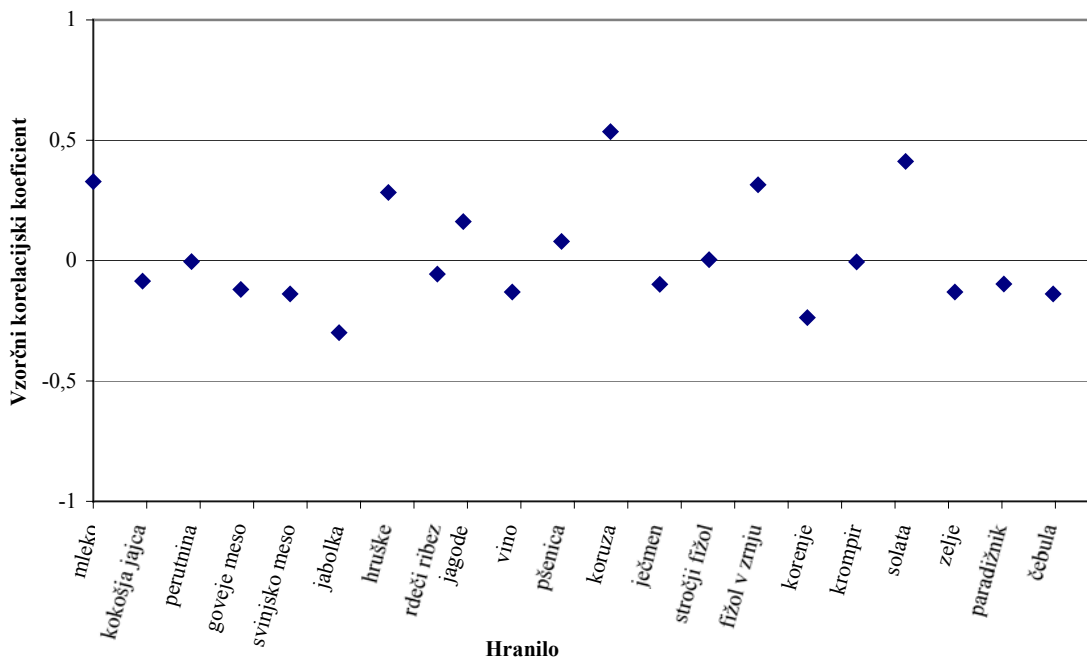

Tabela 7.3: Primerjava učinkovitih doz različnih radionuklidov pri ingestiji hrane

		Efektivna doza (μSv)	
Umetna radionuklida	Cs-137	0,25	\pm 0,03
	Sr-90/Sr-89	0,65	\pm 0,07
Umetni radionuklidi	K-40	158,3	\pm 4,23
	Pb-210	6,8	\pm 40,9
	Ra-228	26	\pm 12
	Ra-226	11,3	\pm 5,2
	U-238	1	\pm 15
	Th-228	0,7	\pm 1,9
	Be-7	5,8E-03	\pm 5,4E-04

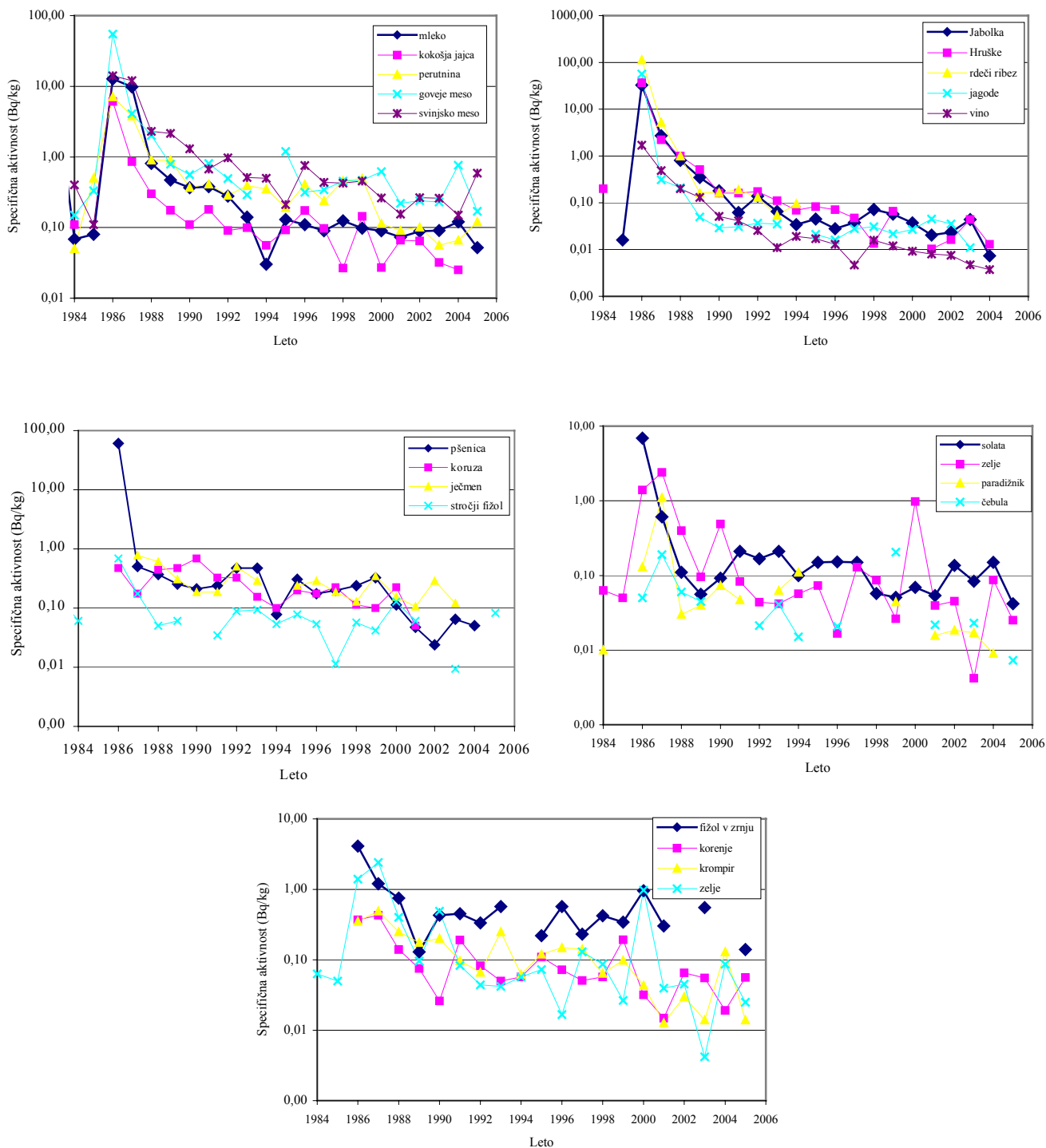

Slika 7.4: Grafikon kvantilov koncentracij radionuklidov v hrani, pridelani na krško-brežiškem polju v letu 2005. Na grafikonu niso prikazane koncentracije K-40 in Be-7 v hrani, ker so izmerjene vrednosti zunaj obsega prikaza.



Slika 7.5: Grafikon kvantilov izračunanih doz zaradi prispevkov posameznih radionuklidov v hrani, pridelani na krško-brežiškem polju v letu 2005. Na grafikonu niso prikazane izračunane doze K-40 v hrani, ker so vrednosti zunaj obsega prikaza.



Slika 7.6: Korelacija med povprečnimi letnimi koncentracijami Pb-210 in Be-7 v hranilih od leta 1987 do 2005 z uporabo vzorčnega korelacijskega koeficienta



Slika 7.7: Eksponentno časovno pojevanje vsebnosti Cs-137 v hranilih



Podobno kot kalij se tudi Ra-226 hitro izloči 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. Sčasoma atomi migrirajo v sredico kosti, kjer lahko ostanejo. Po podatkih iz reference [27] je specifična aktivnost Ra-226 v telesu zaradi uživanja hrane $0,017 \text{ Bq/kg}$. Povprečna specifična aktivnost Ra-226 v hrani, ki je bila pridelana na krško-brežiškem polju, je $(0,1 \pm 0,2) \text{ Bq/kg}$. Najnižja specifična aktivnost Ra-226 je v vrtninah (korenje) in mleku od $2,1 \cdot 10^{-2} \text{ Bq/kg}$ do $2,8 \cdot 10^{-2} \text{ Bq/kg}$, najvišja pa je v žitaricah, in sicer v ječmenu $(0,75 \pm 0,46) \text{ Bq/kg}$ in pšenici $(0,43 \pm 0,27) \text{ Bq/kg}$. V drugih hranilih živalskega izvora, sadju, krompirju, koruzi in fižolu v zrnju, je bila specifična aktivnost Ra-226 pod mejo kvantifikacije.

Atomi U-238 se izločijo iz telesa v nekaj dneh po zaužitju hrane. Povprečna specifična aktivnost U-238 v hrani je $(0,04 \pm 0,1) \text{ Bq/kg}$. Največja specifična aktivnost U-238 je bila izmerjena v hranilih živalskega izvora, in sicer do $5 \cdot 10^{-1} \text{ Bq/kg}$, najmanjša pa v sadju, $5 \cdot 10^{-2} \text{ Bq/kg}$, v poljščinah in vrtninah pa je le v sledovih.

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 vsebnost Pb-210 največja v žitaricah in vrtninah (solata) od $0,1 \text{ Bq/kg}$ do $0,38 \text{ Bq/kg}$, v manjših koncentracijah do $(0,1 \pm 0,3) \text{ Bq/kg}$ je v sadju in mleku, pod mejo kvantifikacije pa je v hrani živalskega izvora. Povprečna specifična aktivnost Pb-210 v hrani je $(0,1 \pm 0,4) \text{ Bq/kg}$.

Med naravne radionuklide lahko prištevamo tudi C-14. Atomi C-14 vstopijo v rastlino ali živi organizem z absorpcijo $^{14}\text{CO}_2$ v tkivu. V svetovnem merilu se izmerjene specifične aktivnosti C-14 v hranilih gibljejo med $(237 \pm 3) \text{ Bq/kg}$ ogljika v bananah do $(251 \pm 4) \text{ Bq/kg}$ ogljika v svinjskem mesu. Tako naloženi atomi C-14 prispevajo učinkovito letno dozo $12 \mu\text{Sv}$ pri užitju hrane [12, Annex A].

Izračunamo lahko, da bi odrasla oseba, ki bi uživala le hrano s krško-brežiškega polja, zaradi obsevanja z naravnimi radionuklidi prejela učinkovito dozo $(47 \pm 40) \mu\text{Sv}$. K dodatni dozi največ prispeva Ra-228 $(26 \pm 12) \mu\text{Sv}$, najmanj pa Be-7, $(6 \cdot 10^{-3} \pm 5 \cdot 10^{-4}) \mu\text{Sv}$. Prispevki izmerjenih radionuklidov k učinkoviti dozi so prikazani v tabeli 7.3. Tako prikazani podatki kažejo tudi na konsistenco računanja povprečnih vrednosti. Razberemo lahko, da ima v primeru Ra-228 izračunana učinkovita doza majhno negotovost, saj je občutljivost meritev vsebnosti Ra-228 velika, v primeru Pb-210 pa je izračunana učinkovita doza opremljena z veliko negotovostjo zaradi manjše merske občutljivosti (v več kot 50 % izmerkov je bila pod mejo kvantifikacije).

Izpusti iz NEK

Zračni izpusti NEK so vsebovali naslednje umetne radionuklide, ki niso del globalne kontaminacije: Cr-51, Mn-54, Co-57, Co-58, Co-60, Zr-75, Nb-95, Sb-125, Te-125m in Fe-55. Koncentracije teh radionuklidov so v okolju tako nizke, da niso bili detektirani v prehranski verigi. Iz tega lahko sklenemo, da dosedanji izpusti iz NEK niso mogli vplivati na obsevanje z radionuklidi pri uživanju različnih vrst hrane.

V letu 2005 smo opravili 10 analiz vzorcev hranil s spektrometrijo beta za C-14 s tekočinskim scintilacijskim števcem (absorpcija CO_2), kar sicer v programu radiološkega nadzora ni bilo predvideno. Analiziranih je bilo 7 vzorcev hranil iz okolice NEK in trije vzorci iz referenčne lokacije okolice rudnika Žirovski Vrh. Vzorci so bili iz arhiva vzorcev, vzorčeni pa so bili v letih 2003 in 2004. Rezultati meritev so prikazani v tabeli 7.4. Meritve so opravili sodelavci Zavoda za eksperimentalno fiziko, Laboratorij za mjerenje niskih aktivnosti na Institutu Ruđer Bošković v Zagrebu, Hrvaška. Prikazane so tudi izračunane dozne obremenitve za posamezno hranilo. Iz merskih podatkov lahko koncentracijo C-14 izračunamo na podlagi naslednje enačbe [23]:



$$C(C-14) = C_0 (A(C-14)/100) (((1+(\Delta(C-13))/1000))/0,975)^2 e^{-(t-1950)/8267}$$

V enačbi smo s C_0 označili normalizirano referenčno standardno koncentracijo ogljika (226 Bq/kg), $A(C-14)$ je izmerjena koncentracija C-14 v vzorcu, podana v procentih modernega ogljika (pMC), $(((1+\Delta(C-13))/0,975)^2)$ pomeni delež izotopa C-13 v vzorcu, izražen v promilih, t pa je leto vzorčevanja. Iz reference [28] lahko zaradi lažjega računanja ocenimo, da je $(((1+\Delta(C-13))/0,975)^2)$ približno enak 1 (variira med 1,02 do 1,04 glede na vrsto hrane; za natančna merjenja je treba delež izotopa C-13 določiti v vsakem vzorcu [23]). V zgornji enačbi lahko prav tako postavimo eksponentni člen enak 1, tako da enačbo prepíšemo kot:

$$C(C-14) = C_0 (A(C-14)/100).$$

Iz zgornje enačbe lahko izračunamo dozo zaradi C-14 ob upoštevanju doznega faktorja za C-14 $5,8 \cdot 10^{-10}$ Sv/Bq.

Iz podatkov iz tabele 7.4 lahko razberemo, da je povprečna koncentracija C-14 v hranilih iz okolice rudnika Žirovski Vrh (256 ± 12) Bq/kg ogljika. Opazimo lahko, da koncentracije C-14 v hranilih iz okolice NEK niso sistematsko višje od tistih v hranilih v okolici rudnika Žirovski Vrh. Zaradi C-14 v izpustih NEK obstaja možnost manjših povišanj koncentracije C-14 v hranilih v okolici Krškega v primerjavi s pričakovano koncentracijo, zato predlagamo, da se meritve v letu 2006 ponovijo. Edini vzorec, kjer se koncentracija C-14 pomembno odmika od povprečja, je vzorec pšenice, vzorčevan v Spodnjem Starem Gradu. Lokacija vzorčevanja je od glavnega dimnika NEK oddaljena približno 1,5 km.

Tabela 7.4: Koncentracija C-14 (v Bq/kg ogljika) v hranilih z krško-brežiškega polja in okolice rudnika Žirovski Vrh, zbranih v letih 2003 in 2004. Meritve so opravili sodelavci Zavoda za eksperimentalnu fiziku, Laboratorij za mjerenje niskih aktivnosti na Institutu Ruđer Bošković v Zagrebu, Hrvaška.

Vzorec	Izmerjena koncentracija (Bq/kg ogljika)
Jabolko - zlati delišes	249,7 ± 6,6
Zelje – Spodnji Stari Grad	256,5 ± 6,2
Stročji fižol – Spodnji Stari grad	243,0 ± 6,5
Pšenica - Brege	243,0 ± 6,0
Pšenica - Spodnji Stari Grad	312,3 ± 6,4
Koruza - Brege	253,3 ± 7,3
Ječmen - Spodnji Stari Grad	247,9 ± 6,1
Povprečje (vzorci iz okolice NEK)	258,0 ± 9,6
zelje - Potokar (RŽV)	267,6 ± 6,2
jabolka - Bukovščica (RŽV)	256,5 ± 7,6
krompir - Bukovščica (RŽV)	243,0 ± 6,0
Povprečje (vzorci iz okolice RŽV)	255,7 ± 8,1



d) OCENA VPLIVOV IN SKLEPI

V letu 2005 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 učinkovitih doz zaradi uživanja hrane, ki vsebuje umetne in naravne radionuklide, so pokazali, da je celotna učinkovita doza zaradi umetnih radionuklidov v hrani 0,5 % celotne učinkovite doze zaradi vseh radionuklidov v hrani. Pri tem je celotna učinkovita doza zaradi Cs-137 pri ingestiji hrane ($0,25 \pm 0,03$) μSv na leto, celotna učinkovita doza zaradi Sr-90/Sr-89 pa ($0,65 \pm 0,07$) μSv 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 2005, je učinkovita doza zaradi splošne prisotnosti radioaktivnih snovi v okolju (50 ± 40) μSv , pri čemer ne upoštevamo prispevka K-40, saj se njegova vsebnost v telesu homeostatsko uravnava. Pri primerjavi rezultatov meritev radionuklidov v hrani, opravljenih v letu 2005, 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 je Cs-137 difundiral v globino, zato ga rastline preko korenin z leti črpajo vse manj.

Rezultati študije IJS so pokazali, da koncentracije C-14 v vzorcih hrane iz okolice NEK niso sistematsko višje od koncentracij C-14 na referenčni lokaciji. Tako lahko iz negotovosti povprečij ocenimo le zgornjo mejo prispevka C-14 k celotni učinkoviti dozi pri ingestiji hrane, pridelane na krško-brežiškem polju na 0,9 μSv . Predlagamo, da se v letu 2006 izvede posebna projektna naloga, katere namen bi bil neposredno izmeriti vpliv izpustov C-14 iz NEK na prehransko verigo.

e) REFERENCE

- [8] Z. Ould-Dada, I. Fairlie, C. Read, Transfer of radioactivity to fruit: significant radionuclides and speciation, *Journal of Environmental Radioactivity* 52 (2001), 159–174
- [9] K. Mueck, Sustainability of radiologically contaminated territories, *Journal of Environmental Radioactivity* 65 (2003), 109–130
- [10] J. T. Zerquera, M. P. Alonso, I. M. F. Gomez, G. V. R. Castro, N. M. Ricardo, G. Lopez Bejerano, J. O. A. Lopez, N. A. Rodriguez, J. C. Gonzales, O. B. Flores, A. H. Perez, O. D. Rizo, Studies on internal exposure doses received by Cuban population due to the intake of radionuclides from the environmental sources, *Radiation Protection Dosimetry* (2006), 1–7
- [11] M. J. Fulker, The role of fruit in the diet, *Journal of Environmental Radioactivity* 52 (2001), 147–157
- [12] E. Douville, B. Fievet, P. Germain, M. Fournier, Radiocarbon behaviour in seawater and the brown algae *Fucus serratus* in the vicinity of the COGEMA La Hague spent fuel reprocessing plant (Goury) – France, *Journal of Environmental Radioactivity* 77 (2004), 355–368
- [13] Statistične informacije, Statistični urad RS, št. 05, 30. julij 2002
- [14] Human Health Fact Sheet, ANL, October 2001
- [15] R. Jamnik, Matematična statistika, Državna založba Slovenije, 1980
- [16] NCRP 94, stran 12 (1987)
- [17] T. Yoneyama, H. Okada, P. Chongpradnun, S. Ando, P. Prasertsak, K. Hirai, 17th WCSS, 14–21 August 2002, Thailand
- [18] Report WP1 IDRANAP 20-02/2001
- [19] Bogdan Pucelj, osebno sporočilo, 2006



OCENA LETNIH DOZ REFERENČNE SKUPINE ZA SAVSKE PRENOSNE POTI ZA LETO 2005

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. V vzorcih iz okolja je mogoče izmeriti le tritij, ki ga zagotovo lahko pripišemo vplivu NEK. **Izpostavitev prebivalstva se zato ocenjuje na podlagi neposrednih meritev izpustov (emisij) in z uporabo ustreznih modelov.** V poglavju "Reka Sava" je narejena ocena prejetih doz iz meritev v okolju, ki se uporablja le za dodatno primerjavo.

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

V letu 2003 je bila na IJS izdelana nova metodologija za oceno doz pri izpostavitvi prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NE Krško v reko Savo (IJS-DP-8801) [5]. 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 na zelo pregleden način 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.

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, 197 m³/s v letu 2005;
- vrednost za povprečno koncentracijo suspendirane snovi 2,2 E-2 kg/m³ je dobljena iz podatkov pri meritvah filtrskega ostanka vode;
- prirastek h koncentraciji na posameznih mestih zaradi izpustov je izračunan tako, da celotno letno aktivnost WMT in SGBD (1,9 E +13 Bq) razredčimo v letni količini pretočene Save (upoštevali smo povprečni pretoka Save 197 m³/s). Tako dobimo teoretični razredčitveni faktor $D_{\text{teoretični}} = 1,08 \text{ E}+6$, ki je razmerje med povprečno koncentracijo v WMT in SGBD (3,3 E+9 Bq/m³) in izračunanim narastkom koncentracije v Brežicah (3,07 E+3 Bq/m³). Podobno kot v preteklih letih ga primerjajmo z izmerjenim razredčitvenim faktorjem $D_{\text{izmerjeni}} = (6,85 \pm 2,8) \text{ E}+5$, izračunanim na podlagi povprečne letne koncentracije H-3 v WMT in SGBD (3,3 E+9 Bq/m³), deljene z izmerjenim narastkom H-3 v brežiški Savi (4,8 ± 2,0) kBq/m³. Teoretični in izmerjeni razredčitveni faktor se dobro ujemata.



a) **VHODNI PODATKI ZA OCENO PREJETIH DOZ
RAZŠIRJENI INVENTAR LETNIH IZPUSTOV V LETU 2005**

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

IZOTOP	IZPUST (Bq na leto)	IZOTOP	IZPUST (Bq na leto)
H! 3	1,9E+13	Sn! 113	!
Na! 24	!	Sb! 124	!
Cr! 51	!	Sb! 125	5,3E+05
Mn! 54	!	Tel! 123m	!
Fe! 55	3,9E+06	Tel! 125m	!
Fe! 59	!	Tel! 127m	!
Co! 57	!	Tel! 129m	!
Co! 58	1,3E+07	Tel! 132	!
Co! 60	3,5E+07	I! 129	!
Zn! 65	!	I! 131	!
Se! 75	!	I! 132	!
Sr! 85	!	I! 133	!
Sr! 89	!	I! 134	!
Sr! 90	1,4E+05	Cs! 134	7,9E+04
Y! 92	!	Cs! 137	6,0E+06
Zr! 95	!	Cs! 136	!
Nb! 95	5,9E+04	Cs! 138	!
Nb! 97	!	Xe! 131m	!
Mo! 99	!	Xe! 133	2,4E+07
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	2,8E+05		

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

b) **FAKTORJI PORABE**

Podrobne podatke o navadah ribičev smo dobili od gospodarja Ribiške družine Brestanica-Krško. Ta družina šteje 150 članov, od tega 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 (mladinec)	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 (mladinec)	3 kg	5 kg	10 kg	10 kg
letna poraba rib iz Save – otrok (1-2 leti)	0 kg	0 kg	0 kg	0 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. Negotovost pri izračunu doze smo ocenili samo z upoštevanjem negotovosti izmerjenega razredčitvenega faktorja ($\pm 40\%$).


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 8.4), dajo vrednosti do **(0,008 ± 0,003) μSv na leto** (standardna prenosna pot). Prejeta doza za standardno prenosno pot je nižja, kot smo jo ocenili v letu 2004, predvsem zaradi manjših izpustov cezija. Povečani izpusti H-3 se poznajo pri povečani dozi zaradi pitja savske vode, vendar ta ni realna. V poročilu *Izpostavitve prebivalcev sevanju zaradi tekočih izpustov NE Krško v reko Savo (IJS-DP-8801)* [5] je bilo ugotovljeno, da je prenosna pot pitja rečne vode malo verjetna in nam zato ne da realnih rezultatov.

Preglednica 8.4: EFEKTIVNA LETNA ENAKOVREDNA DOZA POSAMEZNIKA IZ REFERENČNE SKUPINE PREBIVALSTVA V BREŽICAH (μSv) ZA LETO 2005
Upoštevamo maksimalno izpostavljenega posameznika (ekstremna poraba).

Starostna skupina	Prenosna pot	
	Standardna Brežice (rečni breg in ingestija ribe)	Pitje savske vode Brežice
odrasli (>17 let)	0,008	0,033
mladinci (od 7 do 12 let)	0,003	0,024
otroci (od 1 do 2 let)	0	0,038

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 0,09 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.



PROGRAM B

a) ZNAČILNOSTI VZORČEVALNIH MEST IN MERITEV

Meritve nadzornega dela programa B so namenjene dodatnemu preverjanju oziroma dopolnjevanju emisijskih meritev na izviru, 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 moštév;
- 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 (CH₃T) in analize C-14 v ogljikovem dioksidu (¹⁴CO₂) ter ogljikovodikih (¹⁴CH₄) oziroma neoksidiranem ogljiku so 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 z visokoločljivostno spektrometrijo 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 izviru zračnih izpustov, visokoločljivostna spektrometrija gama v partikulatnih filterih, meritve je opravil IJS.

Rezultati primerjalnih meritev iz prve točke, opravljenih v aprilu, avgustu in novembru 2005, so podani v ustreznih tabelah posebnih poročil ROMENEK 1/05 (IJS-DP-9153), ROMENEK 2/05 (IJS-DP-9214) in ROMENEK 3/05 (IJS-DP-9267). Poročilo o organizaciji, pripravljenosti in delu ELME v letu 2005 je v letnem poročilu *Ekološki laboratorij z mobilno enoto – Radiološki del - Poročilo za leto 2005 (IJS-DP-9293)*.

Vse meritve iz druge, tretje in četrte točke so bile v letu 2005 redno izvedene. Rezultati meritev NEK in IJS za zračne izpuste pa so 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 2005*, ki ga je pripravil NEK.

b) OBRAVNAVA REZULTATOV

Obravnava 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 2005 izvajal IRB.



c) OCENA VPLIVOV

ZRAČNI IZPUSTI

Meritve emisij na izpuhu NEK (preglednica 4.2 a, del A1, in preglednica 4.2 b, 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 4.2 a, del B1, in preglednici 4.2 b, 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 4.2 a, del B1, in 4.2 b, del B2, lahko ugotovimo, da je praktično celotna inhalacijska doza posledica emisij tritija in skoraj celotna imerzijska doza posledica emisij argona Ar-41. Izmed drugih radionuklidov, detektiranih v hlapih, plinih in partikulatih, k skupni letni inhalacijski in imerzijski dozi prispevajo le izotopi žlahtnega plina ksenona (Xe-131m in Xe-133m). Prispevek drugih detektiranih radionuklidov k skupni letni dozi je bistveno manjši od omenjenih, pri čemer je treba omeniti, da ocena vplivov upošteva samo direktno izpostavljenost hlapom, plinom in partikulatom, ne pa tudi prehoda v druge prenosne poti, kar je predvsem pomembno pri ogljiku C-14. Ocenjeni prispevek k celotni dozi zaradi prehoda ogljika C-14 v prehransko verigo je $1 \mu\text{Sv}$ na leto, kar je več, kot je vsota vseh ocenjenih inhalacijskih in imerzijskih prispevkov.

Prispevek tritija inhalacijski dozi (predvsem pomembna je oblika HTO) je bil v letu 2005 $0,16 \mu\text{Sv}$ na leto, kar je nekoliko manj kot v letu 2004, ko je bil $0,19 \mu\text{Sv}$ na leto. Prispevki drugih radionuklidov inhalacijski dozi so bistveno manjši, tako da je skupna letna inhalacijska doza v letu 2005 $0,16 \mu\text{Sv}$ na leto. Za otroka, starega od enega do dve leti, je bila v letu 2005 celotna inhalacijska efektivna doza $0,076 \mu\text{Sv}$ na leto.

Imerzijski prispevek k skupni letni dozi je enak za odraslo osebo in otroka in je bil v letu 2005 predvsem posledica izpustov argona Ar-41, ki je prispeval $0,017 \mu\text{Sv}$ na leto, in izpustov izotopov ksenona Xe-131m in Xe-133m, ki sta skupaj prispevala $0,003 \mu\text{Sv}$ na leto. Tako je bila v letu 2005 skupna letna imerzijska doza za odraslo osebo in otroka $0,020 \mu\text{Sv}$ na leto.

Skupna efektivna doza za odraslega človeka v Spodnjem Starem Gradu, ki je posledica inhalacije in imerzije, je bila v letu 2005 $0,18 \mu\text{Sv}$ na leto, za otroka v starosti od enega do dveh let pa $0,095 \mu\text{Sv}$ na leto. V drugih naseljih v okolici NEK so bile te doze še nižje, povzetek vseh ocenjenih skupnih letnih inhalacijskih in imerzijskih doz za okolico NEK v letu 2005 pa je v preglednici 4.2 c.

Vsi zračni izpusti iz NEK, preračunani na proizvedeno enoto električne energije, so bili v letu 2005 precej nižji od povprečja EU, razen emisij tritija, ki so to povprečje presegle za 160 %. Na sliki 4.5 je podano razmerje zračnih emisij NEK za različne radionuklide glede na EU-povprečje od leta 2002 naprej. S slike je tudi razvidno, da so v letu 2005 vse emisije nižje kot v letu 2004 in razen v primeru tritija tudi nižje kot v preteklih letih.

TEKOČINSKI IZPUSTI

V reko Savo je bilo izpuščenih 1170 m^3 vode iz WMT in 4600 m^3 iz SGBD. Primerjava z letom 2004 ($1\,426 \text{ m}^3$ iz WMT in $19\,032 \text{ m}^3$ iz SGBD) kaže zmanjšanje volumna izpustov iz tankov.

Meritve nerazredčenih efluentov v zadrževalnikih WMT in meritve kaluže uparjalnikov, ki sta jih opravila NEK in IRB, so v letu 2005 pokazale višje emisije kot v predhodnih letih. Večji izpusti so bili opravljeni v drugi polovici leta (slika 9.1).



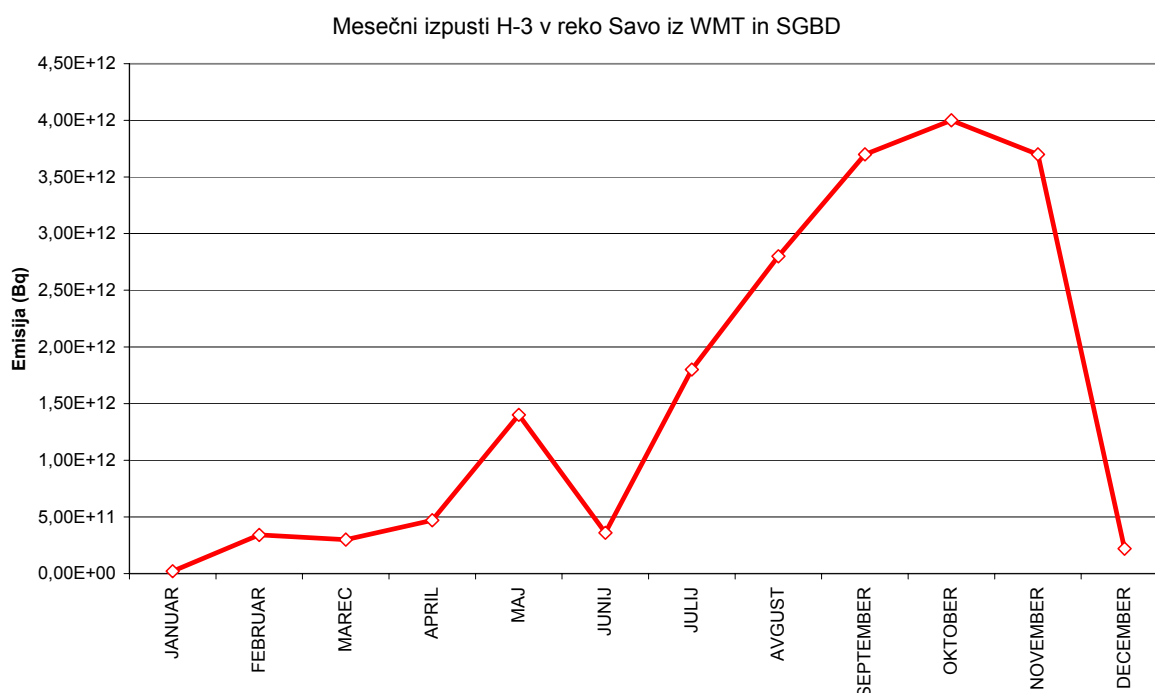
Tekoči izpusti H-3 v letu 2005 so bili na podlagi meritev NEK ($1,9 \text{ E}+13$) Bq na leto, kar lahko primerjamo s preteklimi leti: ($1,1 \text{ E}+13$) Bq (2004), ($1,03 \text{ E}+13$) Bq (2003), ($1,3 \text{ E}+13$) Bq (2002) (slika 9.2). Normaliziran izpust H-3 glede na količino proizvedene električne energije je tako bil **3,4 GBq/GW h** (letna proizvodnja električne energije 5,613 TW h).

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

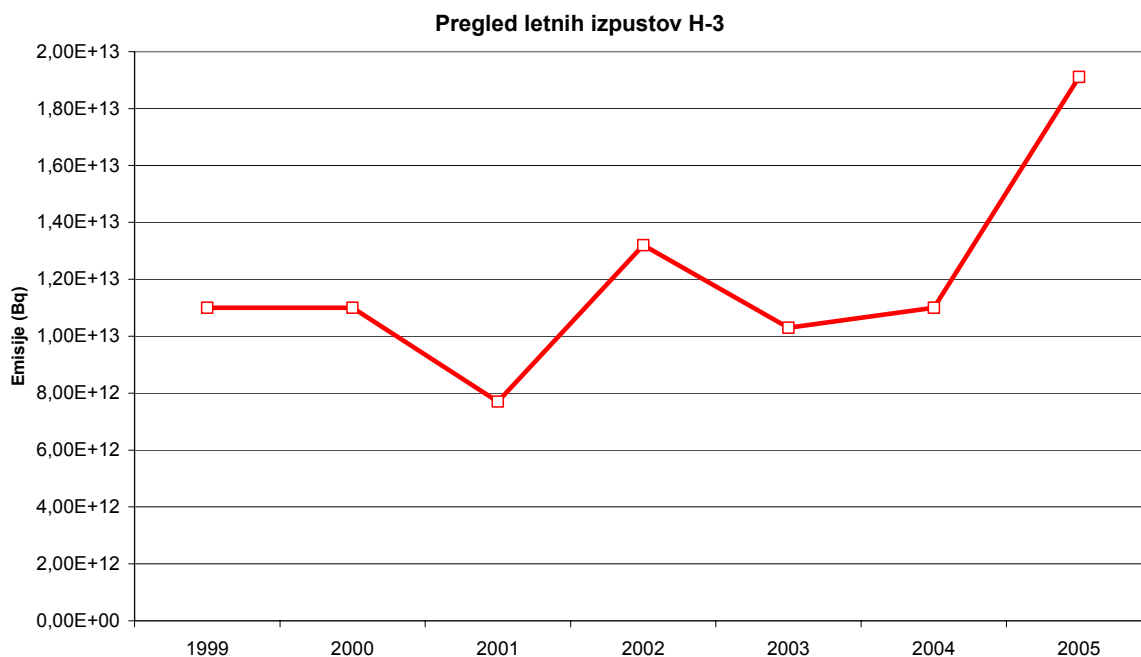
Analize Sr-90 v alikvotnih tekočih vzorcih so dale oceno velikosti emisij ($1,4 \text{ E}+5$) Bq na leto (meritve IRB), kar lahko primerjamo z naslednjimi vrednostmi v preteklih letih (slika 9.3): ($1,1 \text{ E}+5$) Bq na leto (2004), ($2,5 \text{ E}+5$) Bq na leto (2003), ($1,9 \text{ E}+5$) Bq na leto (2002), ($4,1 \text{ E}+5$) Bq na leto (2001), ($3,0 \text{ E}+5$) Bq na leto (2000); ($2,2 \text{ E}+5$) Bq na leto (1999); ($1,1 \text{ E}+5$) Bq na leto (1998); ($2,5 \text{ E}+5$) Bq na leto (1997); ($9,0 \text{ E}+5$) Bq na leto (1996); ($2,4 \text{ E}+5$) Bq na leto (1995); ($5,7 \text{ E}+5$) Bq na leto (1994); ($1,1 \text{ E}+5$) Bq na leto (1993) in ($4,3 \text{ E}+4$) Bq na leto (1992, 1991).

Mesečni izpusti kobalta in cezija so podani na sliki 9.4. Skupna aktivnost izpuščenega Co-60 v reko Savo je bila ($3,5 \text{ E}+7$) Bq na leto (v letu 2004: ($3,6 \text{ E}+7$) Bq na leto - meritve NEK) in aktivnost izpuščenega Cs-137 v Savo ($6,0 \text{ E}+6$) Bq na leto (v letu 2004: ($7,7 \text{ E}+7$) Bq na leto – meritve NEK). Primerjava letnih izpustov Co-60 in Cs-137 z izpusti v preteklih letih je podana na sliki 9.5.

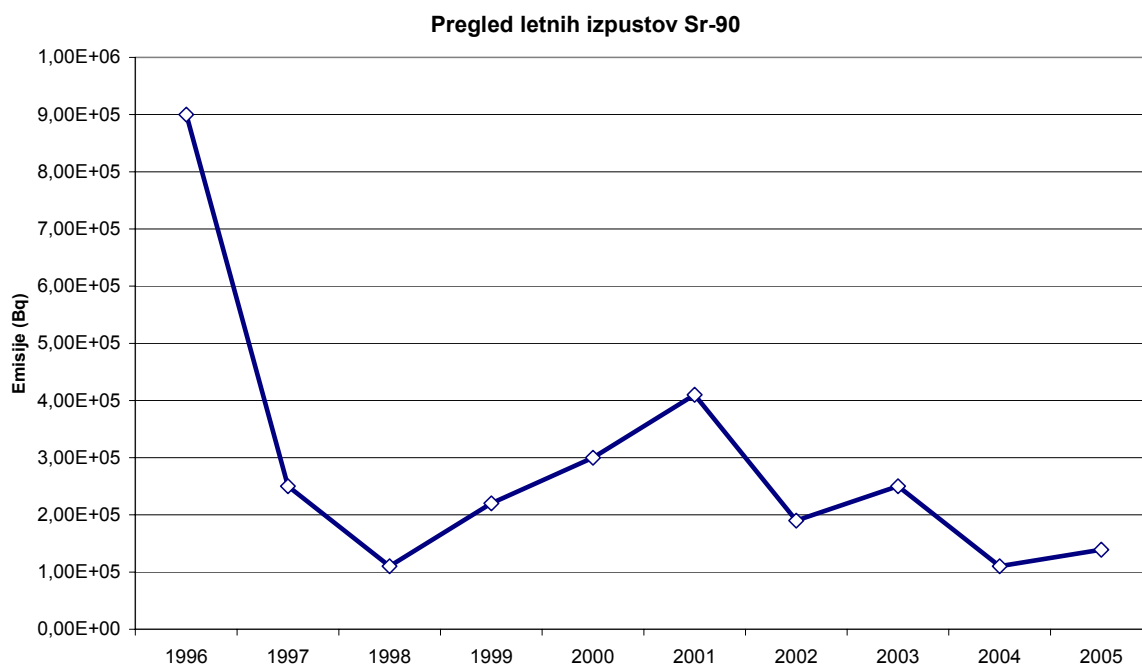
Poleg H-3 je bilo največ izpuščenega Xe-133 ($2,4 \text{ E}+7$) Bq na leto) in Co-60 ($3,5 \text{ E}+7$) Bq na leto).



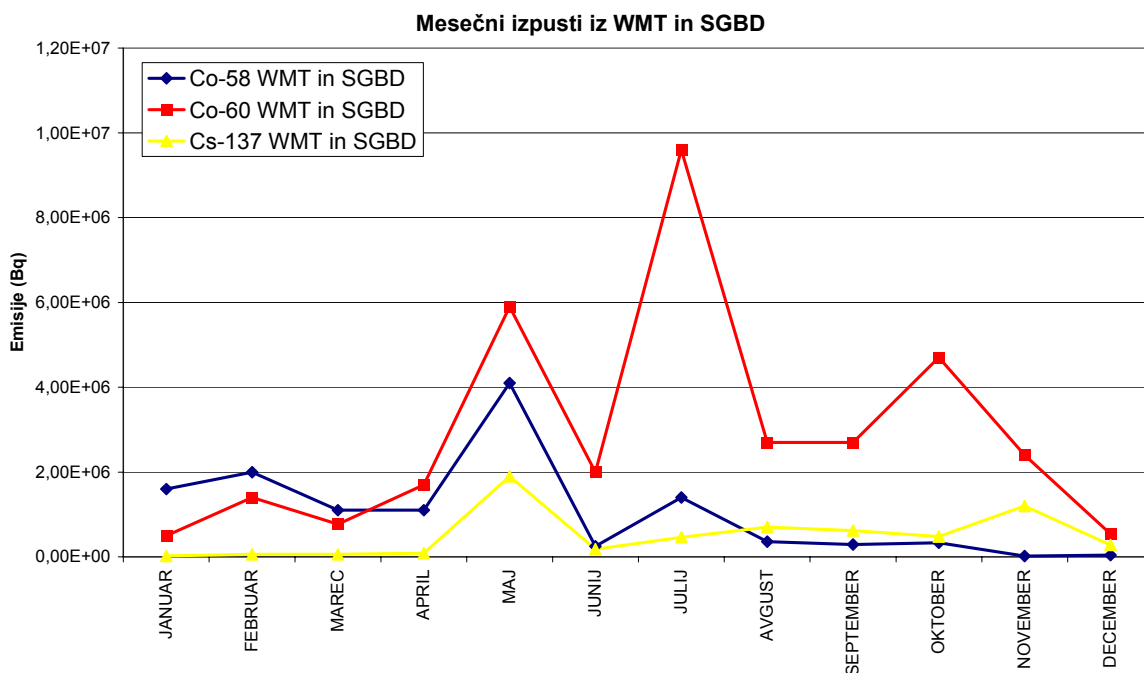
Slika 9.1: Mesečni izpusti H-3 v reko Savo. Največja aktivnosti je bila izpuščena v mesecu oktobru.



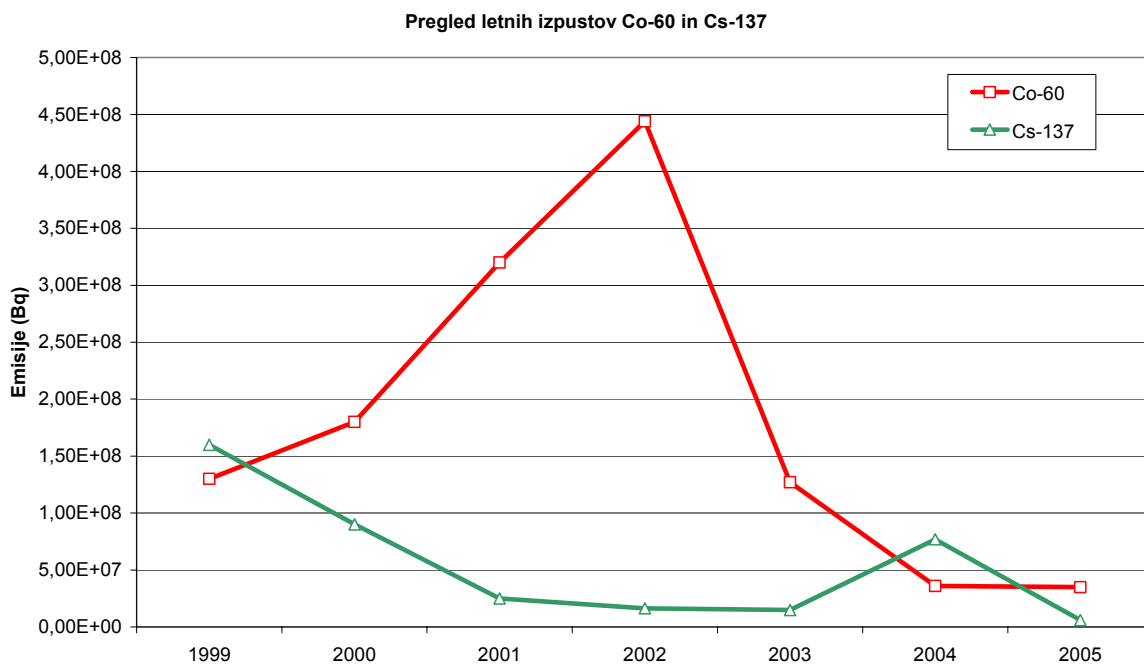
Slika 9.2: Primerjava letnih izpustov H-3 v reko Savo



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



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 2005

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

MednarodnePrimerjave2005.pdf in **MedsebojnePrimerjave2005.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 so sodelovale posamezne pogodbene organizacije. Odebeljene številke veljajo za udeležbo v mednarodnih primerjalnih meritvah, ležeče pa za sodelovanje pri domačih (medsebojnih) medlaboratorijskih primerjalnih meritvah. IJS je povečal udeležbo pri mednarodnih medlaboratorijskih primerjavah iz 17 v letu 2004 na 22 v letu 2005 in istočasno zagotovil dobro pokrivanje tipov vzorcev in merjencev (radionuklidov) s tistimi, ki jih meri v okviru programa nadzora radioaktivnosti v okolici NEK. Istočasno pa moramo ugotoviti, da se je sodelovanje IRB in ZVD v mednarodnih preskusih usposobljenosti močno znižalo, pri čemer IMI že v letu 2004 ni sodeloval pri mednarodnih preskusih. V letu 2005 je IRB sodeloval pri treh preskusih usposobljenosti, in sicer za določanje vsebnosti H-3, Fe-55 ter Sr-89 in Sr-90 v vodni raztopini. V letu 2005 pa IRB ni sodeloval pri nobenem mednarodnem preskusu usposobljenosti na področju spektrometrije gama. To je v primerjavi z letom 2004, ko smo imeli skupaj 12 mednarodnih sodelovanj, velik korak nazaj. ZVD je svoje sodelovanje pri mednarodnih preskusih usposobljenosti v primerjavi z letom 2004 prepolovil. Kar pomeni namesto dveh le eno sodelovanje pri preskusih usposobljenosti za določanje radionuklidov v vzorcih zraka, vegetacije in zemlje.

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	4 / -	- / -	- / -	1 / -
VEGETACIJA	2 / -	- / -	- / -	1 / -
ZEMLJA (MIVKA)	2 / 1	- / 1	- / 1	1 / 1
MLEKO V PRAHU	- / 1	- / 1	- / 1	- / 1
VODA	4 / 3	- / 3	3 / 3	- / -
URIN	4 / -	- / -	- / -	- / -
VODNE RAZTOPINE Z DODANIMI IZOTOPI	6 / -	- / -	- / -	- / -
Σ	22 / 5	- / 5	3 / 5	3 / 2



Program kontrolnih meritev lahko razdelimo na tri področja:

1. Preverjanje usposobljenosti laboratorijev za meritve v okolju (imisij).
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 2005. Laboratoriji pooblaščenih izvajalcev, ki izvajajo kontrolne meritve emisij, izvajajo svoje neodvisne meritve za preverjanje usposobljenosti.
3. Preverjanje usposobljenosti izvajalcev za meritve emisij, ki jih laboratoriji NEK ne izvajajo, zato jih pa NEK naroča pri pooblaščenih izvajalcih. To so meritve koncentracij Fe-55 in C-14 ter meritve Sr-89 in Sr-90 v aerosolih, ki so v izpuhu NEK.

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

Omeniti je treba, da kljub zahtevam upravnih organov primerjalne meritve C-14 niso bile izvedene.

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

Področje	SODELUJOČA ORGANIZACIJA			
	IJS	IMI	IRB	ZVD
1	14	-	-	2
2	7	-	2	1
3	1	-	1	-

Environmental Resource Associates (ERA), ZDA

MRAD-002: V marcu 2005 je ERA v okviru primerjalnih meritev MRAD-002 razposlala vzorce vode, vegetacije, zemlje in zračnega filtra [31]. Končni rezultati so bili objavljeni junija 2005. Medlaboratorijske primerjave se je udeležil IJS, ki je analiziral vse štiri vrste vzorcev.

V vzorcu vode je IJS določil Am-241, Cs-134, Cs-137, Co-60, U-238, naravni uran in Fe-55. Vsi podani rezultati se ujemajo s pripisanimi vrednostmi v okviru nekaj odstotkov in tako kot pri vzorcu vegetacije ležijo globoko v opozorilnem območju.

V vzorcu vegetacije so bili določeni naslednji radionuklidi: Am-241, Cs-137, Co-60 in K-40. V vseh primerih je ujemanje rezultatov s pripisanimi vrednostmi zelo dobro. ERA podaja pri poročanju rezultatov dve območji, in sicer področje sprejemljivosti in opozorilno območje. Razdelitev je podobna tisti, ki se uporablja pri kontrolnih kartah, kjer je opozorilno območje v območju sprejemljivosti. Torej je v opozorilnem območju odmik od pripisane vrednosti manjši kot v območju sprejemljivosti. Točne meje se določajo za vsak radionuklid posebej in so odvisne od več faktorjev, predvsem pa od vsebnosti (aktivnosti) merjenega radionuklida. V primeru vzorca vegetacije so bili rezultati za vse določene radionuklide blizu pripisane vrednosti in znotraj opozorilnega območja.



Pri analizi vzorca zemlje je IJS določil Ac-228, Am-241, Bi-212, Bi-214, Cs-137, Pb-212, Pb-214, K-40, U-238 in naravni uran. Vzorec zemlje je bil merjen na dva načina, in sicer kot nezatesnjen in zatesnjen vzorec. V drugem primeru je bilo zmanjšano izhajanje radona, zato sta aktivnosti potomcev Bi-214 in Pb-214 precej višji in in po merilih organizatorja nista sprejemljivi. Istočasno so rezultati določitve vsebnosti Bi-214 in Pb-214, opravljene na nezatesnjenem vzorcu zemlje, sprejemljivi. To kaže na razlike med merilnimi principi in zahteva strokovno pozornost pri vrednotenju in podajanju rezultatov. Sicer pa opažamo pri meritvah vseh radionuklidov v vzorcu zemlje MRAD-002, razen pri K-40 (-2 %), višje rezultate in sicer med 6 % in 49 %. Ekstremne odmike pri Bi-214 (47 %) in Pb-214 (49 %) smo že komentirali, enako velja za vse radionuklide, ki so v vzorcu kot potomci radona.

V vzorcu zračnega filtra je IJS določil naslednje radionuklide: Am-241, Cs-134, Cs-137, Co-60, U-238 in naravni uran. Kot pri analizah v prejšnjih letih je bila tudi tokrat opažena nehomogenost vzorca in so bile meritve zato opravljene pri dveh različnih geometrijah vzorca. V prvem primeru in v skladu z navodili organizatorja je bil vzorec merjen v geometriji $\Phi(47 \times 1)$ mm. V drugem primeru pa je bil vzorec merjen pri geometriji $\Phi(8 \times 5)$ mm, s čimer je bila zagotovljena večja stopnja homogenosti vzorca. Vsi rezultati v obeh merilnih geometrijah so sprejemljivi, ležijo znotraj opozorilnega nivoja in se v okviru nekaj odstotkov ujemanja s pripisano vrednostjo organizatorja.

MRAD-003: V septembru 2005 je ERA organizirala novo medlaboratorijsko primerjavo določitve radionuklidov v vzorcih zračnega filtra, vegetacije, zemlje in vode, MRAD-003 [32]. Vzorce vegetacije, zemlje in zračnega filtra sta analizirala IJS in ZVD, primerjalne meritve vode pa se je udeležil samo IJS. Končni rezultati so bili objavljeni decembra 2005.

V primeru vzorca vode, ki ga je analiziral samo IJS, so bili določeni naslednji radionuklidi: Am-241, Cs-134, Cs-137, Co-60, U-238 in Fe-55. Z namenom preveritve / potrditve primerljivosti rezultatov so bili vzorci izmerjeni pri dveh različnih geometrijah, in sicer $\Phi(60 \times 15)$ mm in $\Phi(90 \times 19)$ mm. V primeru U-238 je rezultat previsok za 19 % in ni sprejemljiv. Ujemanje vseh drugih rezultatov s pripisanimi vrednostmi organizatorja je dobro.

V vzorcu vegetacije je IJS določil Am-241, Cs-137, Co-60 K-40, ZVD pa je poleg naštetih radionuklidov določil še Sr-90. Po merilih organizatorja ni sprejemljiv rezultat določitve C-60 od IJS, ki je prenizek. Vsi rezultati ZVD so sprejemljivi in znotraj opozorilnega območja. Samo rezultat določitve Sr-90 leži znotraj širšega območja – območja sprejemljivosti.

Določitev radionuklidov v vzorcu zemlje MRAD-003 je bila na IJS zopet izvedena na dva načina, namreč v zatesnjenem in nezatesnjenem vzorcu, rezultati pa kažejo podobno sliko sprejemljivosti kot v primeru vzorca zemlje pri primerjavi MRAD-002. Določitev radonovih potomcev Bi-214 in Pb-214 v zatesnjenem vzorcu je tudi tokrat vodil do previsokih rezultatov. Izven opozorilnega območja pa so bili rezultat Am-241 od IJS in rezultati ZVD v primeru določitve U-238, Th-234 in Sr-90. IJS v tem vzorcu ni določal Th-234 in Sr-90. Rezultati določitve Ac-228, Bi-212, Bi-214, Cs-137, Pb-212, Pb-214, K-40 kažejo v obeh laboratorijih (IJS in ZVD) dobro ujemanje s pripisanimi vrednostmi organizatorja.

V vzorcu zračnega filtra MRAD-003 je IJS ponovno določil Am-241, Cs-134, Cs-137, Co-60 in U-238 v dveh merilnih geometrijah, ZVD pa je določil Am-241, Cs-134, Cs-137 in Co-60. Vsi rezultati IJS se izredno dobro ujemanja s pripisanimi vrednostmi, medtem ko rezultata določitve Cs-134 in Cs-137 od ZVD ležita zunaj opozorilnega območja.

RAD-61: Maja 2005 je ERA organizirala primerjalno meritev radionuklidov v vzorcu vode RAD-61 [33], ki se je udeležil IJS. Končni rezultati so bili objavljeni julija 2005. IJS je analize izvedel na tri različne načine, in sicer z direktno meritvijo vodnega vzorca pri dveh različnih geometrijah ($\Phi(32 \times 4)$ mm in $\Phi(90 \times 10)$ mm) razredčenega vzorca vode in z določitvijo radionuklidov v sušini. Vsi rezultati, ne glede na uporabljeno merilno geometrijo, kažejo izredno dobro ujemanje z vrednostmi, pripisanimi od organizatorja. Izjemi sta le rezultata določitve Cs-137



pri geometriji Φ (32×4) mm in Cs-134, določenega v sušini vodnega vzorca. Zanimivo pa je, da se srednje vrednosti treh meritev, izvedenih v različnih geometrijah, izredno dobro ujemajo s pripisanimi vrednostmi. Za Cs-137 je srednja vrednost 207 pCi/L, pripisana pa 201 pCi/L; za Cs-134 pa je srednja vrednost treh meritev 77,6 pCi/L pripisana pa 78,6 pCi/L. V splošnem ocenimo rezultate vseh treh serij kot zelo dobre.

RAD-63: Novembra 2005 je ERA organizirala primerjalno meritev radionuklidov Ra-226, Ra-228 in naravnega urana v vzorcu vode [34]. Primerjave se je udeležil IJS in podal rezultate v obliki treh neodvisnih setov za vse tri merjence. Rezultati za Ra-226 in Ra-228 se odlično ujemajo s pripisanimi vrednostmi, medtem ko je rezultat določitve naravnega urana (20,9 pCi/L) nekoliko previsok in leži zunaj opozorilnega območja. Je pa znova zanimivo, da je srednja vrednost treh meritev U (Nat) 17,67 pCi/L znova zelo blizu pripisane vrednosti, ki je 16,1 pCi/L.

Analytics, ZDA

V letu 2005 sta pri medlaboratorijski primerjavi določitve radionuklidov v vodni raztopini, ki jo je organiziral Analytics, sodelovala IJS in IRB. Poudariti pa je treba, da je tokrat IRB sodeloval samo pri določitvah H-3, Fe-55, Sr-89 in Sr-90, ni pa sodeloval pri nobenem preskusu določitve sevalcev gama.

Environmental Cross Check: Analytics je v decembru 2005 razposlal vzorec vode s naslednjimi radionuklidi (sevalci γ): I-131, Ce-141, Cr-51, Cs-134, Cs-137, Co-58, Mn-54, Fe-59, Zn-65 in Co-60 [35]. Vsebnosti radionuklidov so bile reprezentativne za vzorce iz okolja. Vodna raztopina je bila pripravljena z dodajanjem znanih količin radionuklidov, katerih vrednosti so metrološko sledljive do vrednosti nacionalnih standardov, in sicer NIST (USA) in NPL (UK). V tej medlaboratorijski primerjavi je sodeloval IJS. Analyticsov način podajanja rezultatov je drugačen kot v primeru ERA, in sicer so podana razmerja med vrednostjo, določeno na IJS, in pripisano vrednostjo. Pregled rezultatov kaže, da se večina IJS-vrednosti zelo dobro ujema s pripisanimi vrednostmi, in sicer v okviru nekaj odstotkov. Izjema je določitev Fe-59, kjer je rezultat višji za 13 % in pa vrednost določitve I-131, ki je za 54 % previsok. Razlaga za tak odmik je podana in je rezultat pozne izvedbe meritve, razpolovni čas I-131 je relativno kratek ($t_{1/2} = 8,04$ dni), vzorec pa je bil merjen skoraj dva meseca po njegovi pripravi. V takem primeru, kjer je možno predvideti "slab rezultat", bi bilo bolj smiselno ne podati rezultata.

Radiochemical Cross Check: Analytics je v letu 2005 razposlal tri vzorce vodnih raztopin z dodanimi radionuklidi H-3, Fe-55 oziroma Sr-89 in Sr-90 [36]. Vrednosti dodanih radionuklidov so metrološko sledljive do vrednosti nacionalnih standardov, in sicer NIST (USA) in NPL (UK). Pri teh preskusih je sodeloval IRB. Po oceni organizatorja so vse IRB-vrednosti sprejemljive in v skladu s pripisanimi vrednostmi. Vrednosti H-3, Sr-89 in Sr-90 se ujemajo v okviru od 5 % do 10 %, medtem ko je vrednost Fe-55 za 13 % previsoka. Glede na relativno visoko aktivnost Fe-55 (≈ 50 Bq/mL) zahteva ta odmik vseeno nekaj pozornosti IRB.

PROCORAD, Francija

Procorad je tudi v letu 2005 organiziral medlaboratorijske primerjave za določitev Sr-90 in sevalcev gama v vzorcih urina. Vzorce so pripravili in razposlali februarja 2005, končno poročilo pa je bilo objavljeno v juniju [37]. Vzorce so v Procoradu pripravili z dodajanjem certificiranih referenčnih materialov s točno znano aktivnostjo posameznih radionuklidov proizvajalca Amersham. Tudi pri teh mednarodnih primerjavah je v letu 2005 sodeloval samo IJS. Analize urina so na IJS izvedli v marcu 2005. Kot v prejšnjih letih je IJS analiziral štiri različne vzorce urina. Vzorec A je vseboval K-40, vzorec B I-129, Co-57 in Co-60, vzorec C I-129, Cs-137, Co-57 in Co-60 in vzorec "Surprise Urin" K-40 in Cs-137. Procorad podaja rezultate uspešnosti sodelovanja v svojih medlaboratorijskih primerjavah / preskusih usposobljenosti v obliki relativnega odmika (bias), in sicer:



$[(\text{vrednost IJS} - \text{pripisana vrednost}) / \text{pripisana vrednost}] \times 100$. Organizator ne postavlja meril za sprejemljivost rezultatov, temveč poroča zgolj o omenjenem odmiku. V tem oziru so bili vsi rezultati IJS v okviru odmikov, manjših od 6 %, razen za I-129, kjer je bil odmik 11,3 %.

National Physics Laboratory (NPL), Velika Britanija

V letu 2005 je IJS sodeloval tudi pri primerjalnih meritvah "Environmental Radioactivity Comparison Exercise 2005", ki jih je organiziral NPL iz Velike Britanije [38]. NPL je pripravil vzorce vode z dodanimi njim točno poznanimi količinami sevalcev α , β , α/β in sevalcev γ . Tudi tokrat je analize Sr-89, Sr-90 in H-3 opravil Odsek K-3, ki opravlja meritve vsebnosti teh radionuklidov v okviru programa nadzora radioaktivnosti v okolici NEK. Uspešnost analiz in kvaliteta podanih rezultatov sta ocenjeni na dva načina. Enako kot v primeru Procorad je podan odmik, poleg tega pa še takoimenovani "u-test", kjer sta pri vrednotenju upoštevani tudi merilna negotovost rezultata udeleženca in merilna negotovost pripisane vrednosti. Formula za izračun in merila sprejemljivosti so podani pri tabelah. Analiziranih je bilo pet vzorcev.

NPL – ABL je vzorec vodne raztopine z dodanimi nizkimi aktivnostmi sevalcev alfa in beta (Fe-55, Sr-89, Sr-90 in Am-241). Rezultati za Sr-89, Sr-90 in Am-241 se po ocenah organizatorja ne razlikujejo signifikantno od pripisane vrednosti. Enako velja za rezultat določitve Fe-55, vendar je v tem primeru potrebnih več podatkov za zanesljivo oceno.

NPL – ABH je vzorec vodne raztopine z dodanimi visokimi aktivnostmi sevalcev alfa in beta (Fe-55, U-238, Pu-238 in Am-241). Medtem ko se rezultata določitve U-238 in Am-241 dobro ujemata s pripisanimi vrednostmi, je pri Fe-55 razlika večja in ujemanja ne moremo potrditi, za rezultat določitve Pu-238 pa lahko z gotovostjo trdimo, da je napačen in zahteva temeljito analizo vzroka za opaženi odmik.

NPL – LB/02 je vzorec vodne raztopine z dodano nizko aktivnostjo tritija (H-3, sevalec β). Odmik rezultata 6,11 % in vrednost "u-testa" 1,18 kažeta na sprejemljiv rezultat IJS in ustrezno ovrednoteno merilno negotovost.

NPL – GL je vzorec vodne raztopine z dodanimi nizkimi aktivnostmi sevalcev gama (Na-22, Co-60, Y-88, Zr-95, Nb-95, Sb-125, Ba-133, Cs-134, Cs-137 in Eu-152). Vsi rezultati, razen za Na-22, kažejo izredno majhen odmik od pripisane vrednosti (med 0,8 % in 6 %) in nizke vrednosti "u-testa". Ta informacija je pomembna, saj pove, da IJS poleg pravih rezultatov podaja tudi ustrezno ovrednotene merilne negotovosti (kar pomeni, da merilne negotovosti niso ne podcenjene ali precenjane). V primeru Na-22 pa je odmik previsok (15 %) in tudi "u-test" 4,34 nakazuje nesprejemljiv rezultat.

NPL – GH je vzorec vodne raztopine z dodanimi visokimi aktivnostmi sevalcev gama (Na-22, Co-60, Y-88, Zr-95, Nb-95, Sb-125, Ba-133, Cs-134, Cs-137 in Eu-152). Enako kot pri nizko aktivnem vzorcu NPL - GL tudi v tem primeru rezultat določitve Na-22 ni sprejemljiv in sta tako odmik kot tudi "u-test" močno previsoka. Rezultati določitve vseh drugih radionuklidov pa kažejo izredno dobro ujemanje s pripisanimi vrednostmi in ustrezne ovrednotene merilne negotovosti. Razloge za odmike rezultata določitve Na-22 pri nizkih in visokih aktivnostih mora IJS raziskati sam.

Bundesamt für Strahlenschutz in PTB, Nemčija

Abluft 2005: V decembru 2005 je IJS sodeloval pri primerjalnih preskusih določitve radionuklidov (sevalcev gama) v simuliranih aerosolnih filtrih, 27th interlaboratory exercise Abluft 2005, ki jih je organiziral nemški Zvezni urad za varstvo pred sevanji v sodelovanju s PTB iz Nemčije [39]. Vsak filter je bil pripravljen posebej in vrednosti aktivnosti posameznih radionuklidov so bile organizatorju točno poznane. Sodelujoči laboratorij je moral opraviti šest serij meritev. Tudi v tem



primeru sta bila vrednotena odmik (bias) in "u-test". Rezultati IJS kažejo izredno dobro ponovljivost in ujemanje s pripisanimi vrednostmi za vse izmerjene radionuklide. Pomembno je poudariti, da so odmiki vrednosti IJS (bias) v okviru nekaj odstotkov in tudi vrednosti "u-testa" so zelo ugodne. To potrjuje, da je IJS podal pravilne in ponovljive vrednosti ter istočasno ustrezno ovrednotil pripadajočo merilno negotovost.

Institute for Reference Materials and Measurement (IRMM), JRC, EC

V letu 2005 so bili objavljeni preliminarni rezultati medlaboratorijske primerjave določitve Cs-137 v simuliranih aerosolnih fitrih, ki jo je že leta 2003 organiziral IRMM [40]. Vzorce je IRMM pripravil za vsak sodelujoč laboratorij posebej, in sicer tako, da so dodali znano količino Cs-137 na filter, ki ga je v ta namen dostavil laboratorij. Filter naj bi bil tak, kot ga sicer laboratorij uporablja pri rednem delu. Preliminarna ocena rezultata IJS kaže na 11,2 % previsoko vrednost. Vrednost ostaja previsoka tudi če upoštevamo območje merilne negotovosti, zato mora IJS sam raziskati razloge za omenjeno odstopanje.

b) MEDLABORATORIJSKI PRESKUSI POOBlašČENIH IZVAJALCEV

V letu 2005 je vzorce za medlaboratorijske preskuse pooblaščenih izvajalcev pripravil IJS. Pripravljen je bil vzorec mleka v prahu, vzorec mivke in trije vzorci vode iz reke Krke, Save in sintetični vzorec.

Mleko v prahu: Zaradi izbrane vrste vzorca je število prisotnih radionuklidov dokaj omejeno in zanesljivo so v mleku v prahu določljivi samo K-40, Cs-137 in Sr-90. Vrednotenje rezultatov je osnovano na primerjavi rezultatov sodelujočih laboratorijev z rezultati, določenimi na IJS. K-40 so določili IRB, IMI, ZVD in Baja. Rezultata IRB in Baje sta v primerjavi z rezultatom IJS za 30 % nižja, rezultat ZVD je nižji za 10 %, medtem ko je rezultat IMI za 20 % višji. Določitev stroncija so izvedli IJS, IMI in ZVD, pri čemer je rezultat IMI za 20 % nižji, rezultat ZVD pa za 10 % višji kot rezultat IJS. Vrednosti drugih radionuklidov U-238, Ra-226, Th-228 in Pb-210 je IJS podal kot informacijske vrednosti (kot mejo kvantifikacije in kot detekcijsko mejo v primeru Pb-210). Na žalost s tem ni bilo možno vrednotenje vseh rezultatov, ki sta jih posredovala IMI in ZVD.

Zemlja – mivka: V vzorcu mivke je IJS določil aktivnosti U-238, Ra-226, Ra-228, Pb-210, Be-7, K-40, Cs-137 in Sr-90. Primerjava rezultatov z rezultati sodelujočih laboratorijev nakazuje zelo nekonsistentno situacijo. Razmerja rezultatov določitve U-238 ležijo med 0,8 (IRB) in 1,8 (IMI). Razmerja rezultatov določitve Ra-226 (z merjenjem aktivnosti Bi-214) ležijo med 0,4 in 0,9. Nič kaj dosti boljša ni situacija pri Cs-137 in Sr-90. Še najbolj v skladu so rezultati določitve K-40.

Voda – nizka aktivnost H-3: Dva vzorca vode z nizko vsebnostjo tritija so analizirali na IJS, IRB in v Baji. Medtem ko se rezultata IJS in Baje ujemata v okviru 10 %, pa opazimo med rezultati IJS in IRB razliko za več kot 60 %. Podobno razmerje kaže tudi primerjava rezultatov IRB in Baje.

Voda – višja aktivnost H-3: Aktivnost H-3 je bila v tem vzorcu za štiri velikostne rede višja kot v vzorcih z nizko aktivnostjo H-3. Pri teh analizah pa opazimo, da IRB v primerjavi z IJS podaja za 20 % višji rezultat, Baja pa obratno, za 20 % nižji rezultat.

c) SKLEPI

Razen pri IJS, kjer so s povečanim sodelovanjem v medlaboratorijskih primerjavah v letu 2005 pokrili vse vrste vzorcev in merjencev, lahko v splošnem pokritje vrste vzorcev z medlaboratorijskimi primerjavami v sodelujočih laboratorijih ocenimo kot nezadovoljivo. Po mednarodnih normah [41] za preverjanje usposobljenosti laboratorijev je namreč priporočljivo, da



sta letno opravljene vsaj dve primerjalni meritvi pri posameznem tipu vzorcev. Treba je poudariti, da je na mednarodnem trgu ponudba preskusov usposobljenosti za določitev radionuklidov v različnih vrstah vzorcev zadovoljiva in da ni razlogov, da laboratoriji ne bi redno (najmanj 2-krat letno) sodelovali pri ustreznih preskusih usposobljenosti.

IJS je v kar nekaj primerih opravil več različnih tipov določitve istega radionuklida, uporabil različne merilne geometrije in nasploh kritično ovrednotil svoje rezultate, vključno z merilno negotovostjo. Od približno 170 rezultatov v okviru mednarodnih primerjav je v primeru IJS 19 takih, da zahtevajo pozornost oziroma nesprejemljivih. To je približno 11 %. Pri kritičnem vrednotenju teh rezultatov pa moramo upoštevati, da je pri vseh določitvah radonovih potomcev poznan problem ekshalacije radionuklidov. Tu imamo različne tehnične načine meritev, ki vodijo do sistematičnih razlik med rezultati. Zato IJS namensko podaja dve seriji rezultatov, od katerih meritve zatesnjenega vzorca, kot je znano, vedno vodijo do previsokih rezultatov. Zavedajoč se te tehnične razlike lahko torej ugotovimo, da je "nesprejemljivih" le okrog 5 % rezultatov. To pa je statistično gledano zelo dober uspeh, saj je v okviru normalne razporeditve rezultatov. Dodaten razlog za nekatere dvomljive rezultate je ta, da nekateri organizatorji preskusov usposobljenosti ne upoštevajo merilne negotovosti. S tem je število sprejemljivih rezultatov še dodatno zmanjšano, čeprav lahko tudi neupravičeno.

Glede na splošno dobro oceno rezultatov IJS v večini mednarodnih medlaboratorijskih primerjavah lahko rezultate IJS tudi v primeru organizacije domačih medlaboratorijskih primerjav štejemo za zanesljive. S tem pa se znova pokaže in potrdi situacija iz prejšnjih let, kjer so opaženi odmiki med pogodbenimi organizacijami pri oceni radioaktivnosti v okolju NEK v splošnem prevelika. Razlike so nesprejemljivo velike za tako majhen znanstveno-tehnični prostor, kot je v tem primeru.

Predlagamo, da se zahteva redno sodelovanje laboratorijev v mednarodnih primerjalnih meritvah. Domače primerjalne meritve niso dovolj, ker ne obsegajo vseh vrst vzorcev in merjencev in tudi ne različnih nivojev aktivnosti merjenih radionuklidov. Poleg tega predlagamo, da laboratoriji predložijo k poročilu za pripravo ocene v prihodnjih letih še informacijo o zagotavljanju interne kontrole kvalitete izvajanja meritev med letom v obliki kontrolnih kart in ustreznih statističnih analiz. Opisano situacijo je treba v čim krajšem času popraviti ali pa razmisliti o drugačni izbiri sodelujočih laboratorijev (institucij). Edina sodelujoča organizacija (laboratorij), ki sedaj lahko ustrezno vrednoti svoje rezultate in je sposobna predstaviti solidno evidenco za zaupanje v merilne rezultate, je IJS.

Za leto 2005 ugotovljamo, da ne sledi usmeritvam iz leta 2004, ko smo sklenili, da se razlike med rezultati laboratorijev v splošnem zmanjšujejo in da se primerljivost rezultatov izboljšuje. Neudeležba laboratorijev IRB in IMI pri preskusih usposobljenosti na področju spektrometrije gama na mednarodnem nivoju in le eno sodelovanje ZVD s tremi vzorci, na domačem nivoju pa relativno majhno pokritje radionuklidov in tipov vzorcev ter slabo ujemanje rezultatov med posameznimi laboratoriji, ne dovoljujejo ustreznega zaupanja v primerljivost rezultatov.

Ker IRB izvaja kontrolne meritve tekočih efluentov, bi bilo nujno okrepiti primerjalne meritve H-3. Izpusti iz NEK so namreč blizu upravno določene meje, zato za 5 % prenizek rezultat IRB pri primerjalni meritvi H-3 pri Analyticsu dopušča možnost, da je dejanska izpuščena aktivnost višja od aktivnosti, ocenjene iz meritev.



d) REFERENCE

- [20] Study MRAD-002, Final Report, Proficiency Test Studies, ERA, Environmental Resource Associates, Report issued 17/06/05, Arvada, ZDA, June 2005
- [21] Study MRAD-003, Final Report, Proficiency Test Studies, ERA, Environmental Resource Associates, Report issued 14/12/05, Arvada, ZDA, December 2005
- [22] Study RAD-61, Final Report, Proficiency Test Studies, ERA, Environmental Resource Associates, Report issued 22/07/05, Arvada, ZDA, July 2005
- [23] Study RAD-63, Final Report, Proficiency Test Studies, ERA, Environmental Resource Associates, Report issued 19/01/06, Arvada, ZDA, January 2006
- [24] Results of Environmental Cross Check Program, Jožef Stefan Institute, Fourth Quarter 2005, Analytics, U.S.A., poročilo Analytica z dne 9. februar 2006, primerjava rezultatov za sevalce gama
- [25] Results of Radiochemistry Cross Check Program, Ruđer Bošković Institute, Second Quarter 2005, Analytics, U.S.A., poročilo Analytica, primerjava rezultatov za H-3, Fe-55, Sr-89 in Sr-90
- [26] Radiotoxicological Intercomparison Exercise, 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, June 2005
- [27] NPL, Environmental Radioactivity Comparison Exercise 2005, osebna komunikacija, 2006, NPL, UK
- [28] Bundesamt für Strahlenschutz, 27th interlaboratory intercomparison exercise "Abluft 2005", osebna komunikacija, 2006, Oberschleißheim, Nemčija
- [29] EC interlaboratory comparison Cs-137 in air filters, IRMM, Radionuclide Metrology Section, Geel, Belgium, elektronska pošta U. Wätjena z dne 12. 5. 2005, predstavitev primerjalnih meritev na konferenci 15th International Conference on Radionuclide Metrology and its applications (ICRM 2005), Oxford, september 2005
- [30] M. Thompson, S. L. R. Ellison, R. Woods, The international harmonized protocol for the proficiency testing of analytical chemistry laboratories (IUPAC Technical report), Pure Appl. Chem., 78(2006)1, 145–196



PREGLED REFERENC

- [1] Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2004, Ljubljana, april 2005, interna oznaka 3/2005, 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] Izpostavitve prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NE Krško v reko Savo, IJS-DP-8801 (2003)
- [6] 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
- [7] 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
- [8] Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih, Uradni list RS 49 / 2004
- [9] Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing sites in the European Union, 1999–2003, Radiation Protection 143, European Commission, Brussels, 2005
- [10] 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
- [11] 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, Oxford, 35 (1991) 24, 211–214
- [12] 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
- [13] HSK – Annual Report 1995 Tables 1-5
(<http://www.hsk.psi.ch/english/files/pdf/annual-report1995.pdf>)
- [14] Matjaž Korun, osebno sporočilo, 2003
- [15] PC program: Radiological Assessment System for Consequence Analysis RASCAL 3.0.3, NRC, June 2002
- [16] Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment, Radiation Protection 72, European Commission, Report EUR 15760 EN, 1995
- [17] ICRU Report 53, Gamma-ray Spectrometry in Environment, ICRU, Bethesda, Maryland, 1994
- [18] A. Likar, T. Vidmar, B. Pucelj, Monte Carlo Determination of Gamma-ray Dose Rate with the GEANT System, Health Physics, 75 (1998) 2
- [19] Z. Ould-Dada, I. Fairlie, C. Read, Transfer of radioactivity to fruit: significant radionuclides and speciation, Journal of Environmental Radioactivity 52 (2001), 159–174
- [20] K. Mueck, Sustainability of radiologically contaminated territories, Journal of Environmental Radioactivity 65 (2003), 109–130
- [21] J. T. Zerquera, M. P. Alonso, I. M. F. Gomez, G. V. R. Castro, N. M. Ricardo, G. Lopez Bejerano, J. O. A. Lopez, N. A. Rodriguez, J. C. Gonzales, O. B. Flores, A. H. Perez, O. D. Rizo, Studies on internal exposure doses received by Cuban population due to the intake of radionuclides from the environmental sources, Radiation Protection Dosimetry (2006), 1–7
- [22] M. J. Fulker, The role of fruit in the diet, Journal of Environmental Radioactivity 52 (2001), 147–157



- [23] E. Douville, B. Fievet, P. Germain, M. Fournier, Radiocarbon behaviour in seawater and the brown algae *Fucus serratus* in the vicinity of the COGEMA La Hague spent fuel reprocessing plant (Goury) – France, *Journal of Environmental Radioactivity* 77 (2004), 355–368
- [24] Statistične informacije, Statistični urad RS, št. 05, 30. julij 2002
- [25] Human Health Fact Sheet, ANL, October 2001
- [26] R. Jamnik, *Matematična statistika*, Državna založba Slovenije, 1980
- [27] NCRP 94, stran 12 (1987)
- [28] T. Yoneyama, H. Okada, P. Chongpradnun, S. Ando, P. Prasertsak, K. Hirai, 17th WCSS, 14–21 August 2002, Thailand
- [29] Report WP1 IDRANAP 20-02/2001
- [30] Bogdan Pucelj, osebno sporočilo, 2006
- [31] Study MRAD-002, Final Report, Proficiency Test Studies, ERA, Environmental Resource Associates, Report issued 17/06/05, Arvada, ZDA, June 2005
- [32] Study MRAD-003, Final Report, Proficiency Test Studies, ERA, Environmental Resource Associates, Report issued 14/12/05, Arvada, ZDA, December 2005
- [33] Study RAD-61, Final Report, Proficiency Test Studies, ERA, Environmental Resource Associates, Report issued 22/07/05, Arvada, ZDA, July 2005
- [34] Study RAD-63, Final Report, Proficiency Test Studies, ERA, Environmental Resource Associates, Report issued 19/01/06, Arvada, ZDA, January 2006
- [35] Results of Environmental Cross Check Program, Jožef Stefan Institute, Fourth Quarter 2005, Analytics, U.S.A., poročilo Analytica z dne 9. februar 2006, primerjava rezultatov za sevalce gama
- [36] Results of Radiochemistry Cross Check Program, Ruđer Bošković Institute, Second Quarter 2005, Analytics, U.S.A., poročilo Analytica, primerjava rezultatov za H-3, Fe-55, Sr-89 in Sr-90
- [37] Radiotoxicological Intercomparison Exercise, 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, June 2005
- [38] NPL, Environmental Radioactivity Comparison Exercise 2005, osebna komunikacija, 2006, NPL, UK
- [39] Bundesamt für Strahlenschutz, 27th interlaboratory intercomparison exercise "Abluft 2005", osebna komunikacija, 2006, Oberschleißheim, Nemčija
- [40] EC interlaboratory comparison Cs-137 in air filters, IRMM, Radionuclide Metrology Section, Geel, Belgium, elektronska pošta U. Wätjena z dne 12. 5. 2005, predstavitev primerjalnih meritev na konferenci 15th International Conference on Radionuclide Metrology and its applications (ICRM 2005), Oxford, september 2005
- [41] M. Thompson, S. L. R. Ellison, R. Woods, The international harmonized protocol for the proficiency testing of analytical chemistry laboratories (IUPAC Technical report), *Pure Appl. Chem.*, 78 (2006) 1, 145–196

MERSKI REZULTATI

PROGRAM REDNEGA NADZORA RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NE KRŠKO ZA LETO 2005

- (i) Program obsega: **A - imisijske meritve (meritve v okolju)**
B - emisijske meritve (primerjalne in dopolnilne meritve efluentov na izviru)
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 2005

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 protitočno 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 h Avtomatsko vzorčevanje v Krškem, Brežicah in v Jesenicah na Dolenjskem	1-krat na 92 dni	4 x 1 4 x 1
	2. Brežice – 7,8 km sotočno od NEK (levi breg), 7D	voda + susp. snov filterski ostanek #1		1-krat na 31 dni	12 x 1 12 x 1
	3. Jesenice na Dol., 17,5 km sotočno od NEK, 6E	voda + susp. snov filterski ostanek #1		1-krat na 31 dni	12 x 1 12 x 1
11.H H-3 Specifična analiza, scintilac. spektr.	1. Krško 2. Brežice 3. Jesenice na Dolenjskem	vodni destilat	sestavljen vzorec, zvezno zbiran 31 dni	1-krat 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-krat na 92 dni	4 x 1
	2. Brežice	voda + susp. snov filterski ostanek #1		1-krat na 92 dni	4 x 1
		voda + susp. snov filterski ostanek #1		1-krat na 31 dni	12 x 1
3. Jesenice na Dolenjskem	voda + susp. snov filterski ostanek #1	1-krat na 92 dni	4 x 1		

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

111. REKA SAVA - SEDIMENTI, VODNA BIOTA

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
111.G Izotopska analiza z gama spektrometrijo	1. Obala 0,5km protitočno od NEK, levi breg, 13B	enkratni sočasno vzeti vzorci (do 6 vzorcev na vsakem mestu)	1-krat na 92 dni	1-krat 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	enkratni sočasno vzeti vzorci (do 6 vzorcev na vsakem mestu)		36
111. H H-3 Specifična analiza (samo za vodo)	3. Obala pri Jesenicah na Dolenjskem, 17,5 km sotočno od NEK, desni breg, 6F	sedimenti, ribe			12x1

12. VODOVODI, VODNJAKI

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
12.G Izotopska analiza z gama spektrometrijo	1. Krško (vodovod)	enkratno vzeti vzorec vode	1-krat na 92 dni	1-krat 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-krat na 1 dan	1-krat na 31 dni	12 x 5
13.H H-3 Specifična analiza, scintilacijski spektrometer	2. Črpališče vod. Krško- Brege 3. Zajetje Dolenja vas		1-krat na 1 dan vzorec se zbira 31 dni	1-krat 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-krat na 1 dan vzorec se zbira 31 dni	1-krat 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. Krško ZR = 1,8 km, 16C 2. Brege ZR = 2,3 km, 10C 3. Dobova ZR = 12 km, 6F	padavine z usedi	zbirni vzorec, kontinuirano zbiranje 31 dni	1-krat 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 31 dni	1-krat 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 = 1,8 km, 4C1 2. Stara vas (Krško) Z = 1,8 km, 16C 3. Leskovec ZR = 3 km, 13D 4. Brege ZR = 2,3 km, 10C 5. Vihre ZR = 2 km, 8D 6. Gornji Lenart ZR = 5,9 km, 6E 7. Spodnja Libna ZR = 1,3 km, 2B	filtrski ostanek	1-krat na 15 dni kontinuirano črpanje skozi "stekleni mikrofiber+ogljje+TEDA"-filter 15 dni	1-krat na 15 dni	24 x 6
20.G Izotopska analiza aerosolov, VL spektrometrija gama	1. Sp. Stari Grad ZR = 1,8 km, 4C1 2. Stara vas (Krško) Z = 1,8 km, 16C 3. Leskovec ZR = 3 km, 13D 4. Brege ZR = 2,3 km, 10C 5. Vihre ZR = 2 km, 8D 6. Gornji Lenart ZR = 5,9 km, 6E 7. Spodnja Libna ZR = 1,3 km, 2B 8. Dobova ZR = 12,0 km, 6F	filtrski ostanek	1-krat na 31 dni kontinuirano črpanje skozi aerosolni filter 31 dni (menjava filtra glede na zamašitev)	1-krat na 31 dni	12 x 7
20. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza aerosolov	1. Dobova ZR = 12,0 km, 6F	filtrski ostanek	kontinuirano črpanje skozi aerosolni filter (menjava filtra glede na zamašitev)	1-krat 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-krat na 182 dni	1-krat na 182 dni	2 x 67
30. S Kontinuirana meritev hitrosti doze s sprotnim zapisovanjem	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 = 3,2 km, 5D poplavno področje, rjava naplavina	enkratni vzorec zemlje iz 4 globin (0-5cm, 5-10cm, 10-15cm, 15-30cm), odvzem glede na poplave	2-krat v 365 dneh	2-krat v 365 dneh	2 x (3 x 4)
40. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza	2. Trnje (Kusova Vrbina), ZR = 8,5 km, 6E, poplavno področje, borovina 3. Gmajnice (Vihre) ZR = 2,6 km, 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-krat 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-krat na 365 dni	1-krat 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-krat na 365 dni	1-krat 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-krat na 365 dni	1-krat 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-krat 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 druga nadzorna mesta po izbiri: bazen za gorivo, primarna voda, kaluža itd.	vzorec tekočine (0,5 L)	občasni vzorec	1-krat 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. H H-3 Specifična analiza, ekshalacija, detekcija s scintilacijskim spektrometrom beta	glavni izpuh iz dimnika izza RM-14	prečrpavanje izpuha iz dimnika skozi pasti s silikagelom	zvezno vzorčevanje, sestavljeni 14-dnevni vzorci HT in HTO	1-krat na 31 dni	12 x 2
201. H C-14 Radiokemična izolacija C-14, detekcija s scintilacijskim spektrometrom beta		prečrpavanje izpuha iz dimnika skozi poseben kemični lovilec (KOH) in katalizator	zvezno vzorčevanje, sestavljeni 14-dnevni vzorci CH _n in CO ₂		12 x 2
201. G Izotopska analiza sevalcev gama s spektrometrijo gama		prečrpavanje izpuha iz dimnika skozi aerosolni filter	zvezno vzorčevanje, sestavljeni mesečni vzorci		12 x 1
201. S Sr-90/Sr-89 Specifična analiza		prečrpavanje izpuha iz dimnika skozi aerosolni filter	zvezno vzorčevanje, sestavljeni mesečni vzorci	kvartalno	4 x 1

PROGRAM INTERKOMPARACIJSKIH MERITEV V LETU 2005

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 obdobjnih merjenj izvajata ME NEK (mobilna enota NEK) in ELME RS (državni ekološki laboratorij z mobilno enoto) na rednih obhodih po okolici NEK. Redni letni obhodi se izvajajo predvidoma v mesecih aprilu, juliju in oktobru, delno po stalnih merilnih mestih delno pa po drugih mestih, tako da se glede na pretekle meritve sistemsko zajame celotno področje (po vseh sektorjih od 1,5 do 10 km od elektrarne) potencialnih merilnih mest v primeru nezgode. Navedeno je najmanjše število meritev, ki sestavljajo obvezni del tega programa.

- | | | |
|-----|---|-----------|
| 1.1 | Rutinske nespecifične meritve sevanja v okolju (na 1 obhod): | |
| - | meritev hitrosti doze zunanjšega sevanja | 6 meritev |
| - | meritev kontaminacije površin s sevalci alfa in beta | 6 meritev |
| 1.2 | Posebne referenčne meritve radioaktivnosti na terenu: | |
| - | <i>in-situ</i> VL gama spektrometrija tal | 1 meritev |
| - | hitra VL gama analiza vzorca zemlje | 1 meritev |
| - | hitra VL gama analiza zračnega filtra | 1 meritev |
| - | hitra VL gama analiza vzorca iz prehranske verige | 1 meritev |
| 1.3 | Meritve vzorcev s povišano aktivnostjo (vzorci iz točke 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 zunanjšega 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
($1 \text{ Bq/m}^3 = 1\text{E-3 Bq/kg} = 1\text{E-3 Bq/L}$)

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 podatkom:

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

3 **HRANA**

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)
($1 \text{ mBq/m}^3 = 1\text{E-3 Bq/m}^3$).

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). Zveza med absorbirano dozo v zraku in efektivno dozo je:

$$E (\text{Gy (zrak)}) = 0,7 D (\text{Sv (mehko tkivo)})^*$$

* 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



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 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 [i]. Meritve so bile opravljene po postopku, opisanem v [ii]. 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 [iii] in postopkom [iv]. 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 LP-022 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 [v]. 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 13/2005. En izvod tega poročila smo poslali naročniku, en izvod pa arhivirali na IJS. Rezultati iz celovitega poročila 13/2005 se lahko v poročilu Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2005 (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:

- [i] Pravilnik o metroloških pogojih za polprevodniške števec – spektrometre za gama sevanje, Uradni list SFRJ 22 (1991), 418
- [ii] *Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju (LMR-DN-10)*, IJS, Ljubljana
- [iii] Guide on Expression of Uncertainty in Measurement, ISO 1995, Geneva
- [iv] *Ocena merilne negotovosti (LMR-RP-05)*, IJS, Ljubljana
- [v] *PRILOGA K AKREDITACIJSKI LISTINI, Annex to the Accreditation Certificate, št./no. LP-022, Slovenska akreditacija, 04. 07. 2005*

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	3,5 E-5			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	3,6 E-6			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	3,8 E-6			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	7,6 E-6			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	1,4 E-5			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, zaščiteno z 10 cm debelo 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 comptonskega praga intenzivnih črt v odvisnosti od vrste detektorja;
- ob privzeti predpostavki, da je čas zakasnitve t_n med časom vzorčevanja (postavljenim v sredo



vzorčevalnega intervala) in časom meritve pri zraku 0 dni, pri vodi 30 dni in pri 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 [vi]. Meritve in analize opravljamo po postopkih *RK-DN-10* in *RK-DN-11* [vii, viii, ix]. 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.

Metoda, ki se uporablja pri meritvah vsebnosti stroncijevih izotopov v vzorcih iz okolja ni selektivna, zato se navaja kombinacijo obeh izotopov Sr-90/Sr-89. Tako je poročana aktivnost vsota aktivnosti obeh izotopov. Ob predpostavki, da Sr-89 v vzorcih ni, se navedena vrednost nanaša na aktivnost Sr-90.

Reference:

- [vi] Radiokemična izločitev stroncija $^{90}\text{Sr}/^{89}\text{Sr}$ iz okoljskih vzorcev (*RK-DN-09*), IJS, Ljubljana
- [vii] Meritve aktivnosti v pretočno proporcionalnem števcu (*RK-DN-10*), IJS, Ljubljana
- [viii] Izračun specifičnih aktivnosti stroncija v okoljskih vzorcih (*RK-DN-11*), IJS, Ljubljana
- [ix] 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 izpustih in v vodnih vzorcih po postopkih, ki so natančno opisani v [x] in [xi]. Vse vzorce najprej destiliramo. V vzorcih vode tritij elektrolitsko obogatimo po proceduri IAEA [xii - xv]. 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:

- [x] Priprava vzorcev in merjenje aktivnosti tritija (^3H) (*RK-DN-01*), IJS, Ljubljana
- [xi] Izračun vsebnosti (aktivnosti) tritija iz merskih podatkov (*RK-DN-03*), IJS, Ljubljana



- [xii] B. Vokal, P. Dujmovič, T. Mohar, G. Uchrin, I. Kobal, Ten years ^3H survey at the Krško Nuclear Power Plant; *Radioan. Nucl. Chem.*, 241 (1999) 2, 257–263
- [xiii] T. Florkowski, Tritium electrolytic enrichment using metal cells, Low level tritium measurement, *Proc. Consultants Meeting, Vienna 1979, IAEA TECDOC-246*, 1981, p. 133
- [xiv] J. F. Cameron, B. R. Payne, *Proc. 6th Intern. Conf. On Radiocarbon and Tritium Dating, Washington, 1965, US AEC Conf.-650652*, 1965
- [xv] 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 [xvi]. Ogljik C-14 izločimo iz vzorca lužne raztopine CO_2 . Uprašeni oborini BaCO_3 dodamo reagent Cab-osil M-5, distilirano vodo in scintilacijski koktajl Insta-gel. Aktivnost mešanice merimo na instrumentu Tri Carb 3170 TR/SL, Super Low Level Liquid Scintillation Analyzer (Canberra Packard). Števec je umerjen s certificiranim standardom proizvajalca Perkin Elmer.

Reference:

[xvi] *Radiokemična analiza in merjenje ogljika C-14 v vzorcih iz okolja (RK-DN-00)*, IJS, 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, manjše od $20 \mu\text{Sv}$ 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 [xvii]: 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 [xviii].



Institut "Jožef Stefan", Laboratorij za termoluminiscenčno dozimetrijo je od julija 2005 akreditiran pri Slovenski akreditaciji pod zaporedno številko LP-022 za meritve doz $\text{Hp}(10)$, $\text{H}^*(10)$, air-Kerma in $\text{Hp}(0,07)$ s termoluminiscenčnimi dozimetri TLD-400 ($\text{CaF}_2:\text{Mn}$) za uporabo v osebni in okoljski dozimetriji v energijskem območju od 40 keV do 1,2 MeV [v].

Reference:

- [xvii] D. Jezeršek, diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, 2002
- [xviii] International standard CEI/IEC 1066; Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring; First Edition, IEC Central Office Geneva, Switzerland, 1991
- [xix] Čitanje (merjenje) termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD) (*TLD-DN-02*), Institut "Jožef Stefan", Ljubljana



INSTITUT "RUDER BOŠKOVIĆ"

Na Institutu "Ruder Bošković" je bil leta 1990 uveden sistem zagotovitve kakovosti, da se zagotovi ustrezno kvaliteto rezultatov dela. Opisan je v [xx] in ustreza zahtevam, navedenim v [xxi - xxiii].

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 Hrvatske.

Reference:

- [xx] Priručnik osiguranja kvalitete (Plan i postupci), Institut Ruder Bošković, 1990
- [xxi] Pravilnik o uvjetima za lokaciju, gradnju, pokusni rad, puštanje u rad i upotrebu nuklearnih objekata, Službeni list SFRJ, 52, 1998
- [xxii] Standard IAEA No. 50-C-QA Rev. 1, 1988
- [xxiii] Quality System Implementation for Nuclear Analytical Techniques, IAEA, 2004

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 koincidenčh 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) ter 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

Vzorec vode se predestilira z dodatkom KMnO₄. 250 mL destilirane vode se elektrolitsko obogati. 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). Ozadje je nižje od 1 impulza na minuto. Izkoristek določamo z uporabo "quench standarda" in certificiranih standardov H-3.

d) DOLOČITEV Fe-55 Z RENTGENSKO FLUORESCENČNO SPEKTROMETRIJO

Priprava standardnih raztopin Fe-55

Iz raztopine standarda Fe-55 z aktivnostjo 110 kBq/g, nabavljene pri DAMRI (Francija), pripravimo osnovno raztopino v 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 kristala 3 mm, berilijevega okna pa 25 μm . 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 žarjenja 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 akreditacijo za izvajanje visokoločljivostne spektrometrije gama v skladu s standardom SIST EN ISO/IEC 17025 pod zaporedno številko LP-032. 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 I-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 I-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.