



LETNO POROČILO O OPRAVLJENIH MERITVAH AKTIVNOSTI SEVALCEV GAMA IN BETA

YEARLY REPORT ON GAMMA- AND BETA-RAY EMITTERS ACTIVITY MEASUREMENTS



SLOVENSKA
AKREDITACIJA
SIST EN ISO/IEC 17025
LP-022

Rezultati označeni z # se nanašajo
na neakreditirano dejavnost

Številka:
Number:

44/2015

Stran:
Page:

1

od
of

16

Naročnik
Customer

Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji,
Ajdovščina 4, SI-1000 LJUBLJANA

Naslov in številka pogodbe
Customer contract title and number

Pogodba o izvedbi monitoringa radioaktivnosti pitne vode za
leto 2015 (Sklop 2), št. pogodbe C2717-15-232002

Program meritev
Programme of measurements

Določen je v 3. členu pogodbe št. C2717-15-232002

Končno poročilo za leto 2015

Merske metode
Methods of measurement

Visokoločljivostna spektrometrija gama (VLG) po postopku
LMR-DN-10, izdaja 12 (Odsek F-2)
Radiokemična analiza Sr-89/Sr-90 po postopku SDN-O2-STC (01),
7. izdaja (Odsek O-2)
Radiokemična analiza H-3 po postopku LSC-DN-07, izdaja 05
(Odsek F-2) in SDN-O2-STC (02), 6. izdaja (Odsek O-2)

Metode so opisane v poglavju *Merske metode* tega poročila.

Obseg akreditacije
Scope of accreditation

Meritve na visokoločljivostni spektrometriji gama (VLG) v
*Laboratoriju za radiološke merilne sisteme in meritve
radioaktivnosti* in radiokemijske meritve H-3 (7 vzorcev) v
Laboratoriju za tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo na Odseku
F-2 so opravljene v okviru obsega akreditacije pri Slovenski
akreditaciji (SA) pod št. LP-022, razen za radionuklide, ki so v
tabelah označeni z #.

Vse radiokemijske analize Sr-90 in meritve tritija H-3 v osmih
vzorcih vod so bile opravljene na *Odseku O-2* v skladu z njihovim
sistemom kakovosti. Ti rezultati so v tem poročilu označeni z #.
Originalna poročila *Odseka O-2* so shranjena v arhivu na *Odseku
F-2*. Rezultati na originalnem poročilu *Odseka O-2* so podani na
maso laboratorijskega vzorca, v tem poročilu pa so rezultati
preračunani na maso ali volumen dejanskega vzorca.

| | | |
|---|---|---|
| Poročilo pripravila Report prepared by mag. Denis Glavič-Cindro | Poročilo pregledal in odobril Report checked and authorized by dr. Benjamin Zorko | Datum izdaje Date of issue 24. september 2015 |
|---|---|---|

| | | |
|--|---|---|
| Vzorci <i>Samples</i> | Datumi in kraji vzorčevanja <i>Sampling dates and locations</i> | Kraji vzorčevanja so določeni na podlagi <i>Programa meritev</i> , izvedbo vzorčevanja pitne vode in dostavo vzorcev izvajalcu Institutu "Jožef Stefan" zagotovi naročnik. Datumi in kraji vzorčenja so zapisani v tabelah ob rezultatih posameznih meritev. Podrobni podatki o vzorčevalnih mestih so podani v poglavju Podatki o lokacijah merskih točk. |
| | Izvajalci del <i>Work performers</i> | Na Odseku F-2 so dela opravili sodelavci <i>Laboratorija za radiološke meritne sisteme in meritve radioaktivnosti</i> in <i>Laboratorija za tekočinsko scintilacijsko spektrometrijo</i> . Njihove zadolžitve in poimenska razporeditev del so določeni v postopkih <i>LMP-OP-04</i> , <i>LMR-OP-05</i> in <i>LSC-OP-01</i> . Sodelavci Odseka O-2 so opravili radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 v skladu z njihovim sistemom kakovosti. |
| | Oznake vzorcev (IJS) <i>Sample codes (JSI)</i> | Način označevanja vzorcev je določen v navodilu <i>LMR-DN-09</i> . Oznake vzorcev so zapisane v tabelah ob rezultatih posameznih meritev. |
| | Pogoji okolice v laboratoriju <i>Laboratory environmental conditions</i> | Med meritvami so bili pogoji okolja nadzorovani, pogoji dela in njihov nadzor na Odseku F-2 je opredeljen v organizacijskem postopku <i>F2-QA-07</i> , na Odseku O-2 pa v <i>OP-O2(10)</i> . |
| Opombe <i>Remarks</i> | Aktivnosti, navedene v poročilu, se nanašajo na odvzet material. Količina vzorcev je zapisana v tabelah ob rezultatih posameznih meritev. | Vzorce, na katerih je bila izvedena samo spektrometrija gama, arhiviramo za dobo 5 let. Radiokemijska analiza Sr-89/Sr-90 se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama. Po merjenju z visokoločljivostno spektrometrijo gama vzorce razkrojimo, naredimo separacijo Sr-89/Sr-90 in izmerimo aktivnost žarkov beta v $^{89/90}\text{SrCO}_3$. Ploščice s $^{89/90}\text{SrCO}_3$ arhiviramo za dobo 5 let. Ostanke vzorcev za določitev tritija (približno 0,5 L) hranimo na Odseku F-2 v temnih steklenicah za dobo 5 let, na Odseku O-2 pa za dobo 1 leta. |
| | Če želite dodatna pojasnila, nas prosim pokličite. | |
| Dovoljenje <i>Permission</i> | To poročilo o opravljenih meritvah aktivnosti je celovit dokument, zato reproducija posameznih delov brez pismene privolitve IJS ni dovoljena. Za potrebe ovrednotenj, ki jih zagotavlja URSJV in URSVS po določilih ZVISJV, se lahko posamezni deli tega celovitega poročila uporabijo na način, ki najbolj ustreza namenu uporabe. V tem primeru se ob rezultatih meritev ne sme uporabljati akreditacijskega znaka. To poročilo ne predstavlja omejitev glede reproducije posameznih delov poročil, ki jih zagotavlja URSVS in URSJV. | Za potrebe poročila <i>Radioaktivnost v živiljenjskem okolju Slovenije za leto 2015</i> , ki ga pripravlja Zavod za varstvo pri delu, d. d., se lahko rezultati iz tega celovitega poročila poročajo na način, ki je najbolj ustrezen svojemu namenu. To poročilo ne postavlja omejitev glede reproducije posameznih delov poročila <i>Radioaktivnost v živiljenjskem okolju Slovenije za leto 2015</i> . |

VSEBINA

| | |
|--|----|
| LETNO POROČILO O OPRAVLJENIH MERITVAH AKTIVNOSTI SEVALCEV GAMA IN BETA | 1 |
| Naročnik | 1 |
| Naslov in številka pogodbe..... | 1 |
| Program meritev | 1 |
| Merske metode..... | 1 |
| Obseg akreditacije | 1 |
| Vzorci | 2 |
| Opombe..... | 2 |
| Dovoljenje..... | 2 |
| PROGRAM MERITEV | 4 |
| ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN | 4 |
| TABELA RADIONUKLIDOV | 5 |
| MERSKE METODE | 6 |
| a) PRIPRAVA VZORCEV | 6 |
| b) VISOKOLOČLJIVOSTNA SPEKTROMETRIJA GAMA (Odsek F-2) | 6 |
| c) RADIOKEMIČNA ANALIZA Sr-89/Sr-90 (Odsek O-2) # | 7 |
| d) RADIOKEMIČNA ANALIZA H-3 (Odsek F-2)..... | 8 |
| e) RADIOKEMIČNA ANALIZA H-3 (Odsek O-2) # | 8 |
| TABELARIČNI ZAPISI MERITEV | 9 |
| SEZNAM TABEL MERITEV | 10 |
| DODATNI PODATKI O MERITVAH VLG | 15 |
| PODATKI O LOKACIJAH MERSKIH TOČK | 16 |

PROGRAM MERITEV

PITNA VODA

| VRSTA IN OPIS MERITVE | VZORČEVALNO MESTO | VRSTA VZORCA | POGOSTOST VZORČENJA | POGOSTOST MERITEV | LETNO ŠT. MERITEV | IZVAJALEC |
|---|--|----------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|---|
| Določitev specifične aktivnosti sevalcev gama, Sr-90 in H-3 | Bovec – Čezsoča Bohinjska Bistrica Oplotnica Šmartno Vuzenica Hrastje – Orehovica Mirna peč Kropa – Kamna Gorica Kostanjevica Kranjska Gora Šmartno ob Paki Sladki vrh Dobropolje Vrhniška – Borovnica Ljubljana - Šentvid | Vzorci pitne vode | Vzorči naročnik | 1-krat letno | 15 | IJS F-2 za določitev specifične aktivnosti sevalcev gama in H-3 v sedmih vzorcih IJS O-2 za določitev Sr-90 in H-3 v osmih vzorcih |

ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN

V tabelah so dosledno uporabljene naslednje enote in oznake:

1. VODE (vodovod, zajetja, vrtine)

- 1.1. - aktivnost se navaja v enotah: Bq/m^3
 $(1 \text{ Bq}/\text{m}^3 = 1\text{E}-3 \text{ Bq}/\text{L} = 1\text{E}-3 \text{ Bq}/\text{kg},$
 približek velja ob predpostavki, da je 1 dm^3 vode = 1 L vode = 1 kg vode)

1.2. H-3 (vodovod, zajetja, vrtine)

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

TABELA RADIONUKLIDOV

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

| Element | Simbol izotopa ali izomera | Razpolovni čas |
|-------------|----------------------------|------------------------|
| tritij | H-3 | 12,33 let |
| berilij | Be-7 | 53,29 dni |
| ogljik | C-14 | 5730 let |
| natrij | Na-24 | 14,66 ur |
| kalij | K-40 | $1,277 \cdot 10^9$ let |
| argon | Ar-41 | 1,827 ure |
| krom | Cr-51 | 27,70 dni |
| mangan | Mn-54 | 312,2 dni |
| železo | Fe-55 | 2,73 let |
| kobalt | Co-57 | 271,77 dni |
| kobalt | Co-58 | 70,916 dni |
| železo | Fe-59 | 44,47 dni |
| kobalt | Co-60 | 5,271 let |
| cink | Zn-65 | 244,1 dni |
| stroncij | Sr-89 | 50,55 dni |
| stroncij | Sr-90 | 28,5 let |
| itrij | Y-90 | 2,671 dni |
| cirkonij | Zr-95 | 64,02 dni |
| niobij | Nb-95 | 34,97 dni |
| niobij | Nb-97 | 1,202 ure |
| molibden | Mo-99 | 2,748 dni |
| rutenij | Ru-103 | 39,254 dni |
| rutenij | Ru-106 | 1,020 leto |
| srebro | Ag-110m | 249,76 dni |
| kositer | Sn-113 | 115,09 dni |
| kositer | Sn-117m | 13,61 dni |
| telur | Te-123m | 119,7 dni |
| antimon | Sb-124 | 60,20 dni |
| antimon | Sb-125 | 2,73 let |
| telur | Te-125m | 57,4 dni |
| jod | I-125 | 60,14 dni |
| telur | Te-127m | 109 dni |
| telur | Te-129m | 33,6 dni |
| jod | I-131 | 8,040 dni |
| ksenon | Xe-131 m | 11,9 dni |
| telur | Te-132 | 2,36 dni |
| ksenon | Xe-133 | 2,19 dni |
| jod | I-133 | 20,8 ur |
| cezij | Cs-134 | 2,062 let |
| ksenon | Xe-135 | 9,104 dni |
| cezij | Cs-137 | 30,0 let |
| barij | Ba-140 | 12,746 dni |
| lantan | La-140 | 1,678 dni |
| cer | Ce-141 | 32,50 dni |
| cer | Ce-144 | 284,9 dni |
| živo srebro | Hg-203 | 46,60 dni |
| svinec | Pb-210 | 22,3 let |
| radon | Rn-222 | 3,835 dni |
| radij | Ra-226 | 1600 let |
| radij | Ra-228 | 5,75 let |
| torij | Th-228 | 1,913 let |
| uran | U-238 | $4,468 \cdot 10^9$ let |

MERSKE METODE

Koncentracije radioaktivnih snovi v okolju se merijo s specifičnimi metodami, ki omogočajo določanje njihove izotopske sestave. Ker pravilnik o monitoringu radioaktivnosti (JV10) ne predpisuje detekcijskih mej za pitno vod, smo privzeli, da morajo biti detekcijske meje metod, s katerimi se merijo posamezne specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih vode za pitje brez omejitev, manjše od tridesetine izvedene koncentracije za posamezne radionuklide (UV2).

Seznam radionuklidov, katerih aktivnosti se merijo v okolju, mora vsebovati najbolj pogoste in najbolj radiotoksične izotope. Običajno se vzorci iz okolja merijo s spektrometrom gama, kjer se aktivnosti posameznih radionuklidov določi iz energije in intenzitete vrhov v spektru. Aktivnosti radionuklidov, ki ne sevajo žarkov gama, se merijo z metodami, ki vključujejo njihovo radiokemično separacijo in detekcijo sevalcev beta. V okviru meritve radioaktivnosti v pitnih vodah se po kemični separaciji merijo aktivnosti stroncijevega izotopa Sr-90 in tritija H-3.

V nadaljevanju poglavja je opisana priprava vzorcev ter merske metode, ki jih pri meritvah uporabljamo.

a) PRIPRAVA VZORCEV

Vzorci nefiltrirane vode se izparijo na temperaturi okoli 65° C. Postopek priprave sušine vzorcev vod je podrobno opisan v *Priprava sušine vzorcev vode (LMR-DN-06)*, priprava vzorcev pa v *Priprava vzorcev za visokoločljivostno spektrometrijo gama (LMR-DN-08)*.

b) VISOKOLOČLJIVOSTNA SPEKTROMETRIJA GAMA (Odsek F-2)

Aktivnosti sevalcev žarkov gama in rentgenskih žarkov (to so vsi izotopi, navedeni v tabelah razen Sr-89/Sr-90 in H-3), so bile izmerjene s spektrometrijo gama. Vsi spektrometri gama, ki so bili uporabljeni za meritve in pogoji okolja, v katerem delujejo, ustrezajo kriterijem, ki so navedeni v *Pravilniku o monitoringu radioaktivnosti*. Meritve so bile opravljene po postopku *LMR-DN-10*. Rezultati meritve so sledljivi k aktivnostim primarnih standardov v francoskem laboratoriju LNHB. 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 GUM in postopkom *LMR-RP-05*. Poleg statistične negotovosti prispevajo k negotovosti rezultatov še negotovosti predpostavk pri računu ploščin vrhov, kalibracije detektorjev, lastnosti vzorca, razpadnih konstant, merjenja količine vzorca in trajanja meritve. Najmanjša negotovost aktivnosti, ki je dosegljiva pri rutinskih meritvah in v ugodnih merskih pogojih, je 5 %.

Laboratorij za radioološke meritne 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 do 3000 keV v cilindričnih vzorcih z največjim premerom 12 cm in največjo debelino 6 cm. 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 10 krat manjša od dimenzijske vzorca. Obseg emisij iz vzorca je med 0,005 in 50000 s⁻¹.

Vzorci vodovodnih vod se merijo na spektrometrih z občutljivim področjem nad 5 keV. Pri meritvah s temi spektrometri je spodnja meja energijskega intervala občutljivosti določena z absorpcijo žarkov v materialu vzorca in v steni posodice. Vzorci se merijo neposredno na detektorjih, da je števni izkoristek čim večji.

Analiza spektra poteka v dveh korakih:

- analiza vrhov
- identifikacija sevalcev in račun aktivnosti

Namen analize vrhov je redukcija količine podatkov iz vsebin kanalov na ploščine vrhov, iz katerih se računajo aktivnosti. Pri sevalcih, ki imajo enostavno razpadno shemo, uporabimo pri računanju aktivnosti števni izkoristek, ki ga izračunamo iz lastnosti detektorja in vzorca. Aktivnosti sevalcev s kaskadnimi razpadi pa računamo z matričnimi elementi, ki opisujejo dinamiko kaskadnih razpadov. V tem primeru kot rezultat računa dobimo več vrednosti za aktivnosti, ki ustrezajo raznim vrhovom v spektru. Končno aktivnost sevalca dobimo s povprečenjem aktivnosti po vrhovih, pri katerem upoštevamo korelacije med posameznimi aktivnostmi.

Aktivnosti nekaterih dolgoživih izotopov določamo iz aktivnosti njihovih kratkoživih potomcev. Aktivnost U-238 določamo iz aktivnosti Th-234 in Pa-234m, aktivnost Ra-228 iz aktivnosti Ac-228 in aktivnost Ra-226 iz aktivnosti Pb-214 ter Bi-214 pri upoštevanju radiacijskega ravnovsja, ki smo ga izračunali iz uhajanja Rn-222 iz vzorca.

V rezultatih meritev poročamo koncentracije vseh sevalcev, ki so nad mejo kvantifikacije. Le-ta je postavljena nizko (približno na dvojno mejo detekcije), da se izognemo izgubljanju informacij.

Reference:

- *Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti*, Uradni list RS 20 (2007) 2509
- *Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju (LMR-DN-10)*, izdaja 12, feb. 2012, IJS, Ljubljana
- Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), JCGM 100:2008
- *Ocena meritne negotovosti (LMR-RP-05)*, izdaja 03, marec 2013, IJS, Ljubljana

c) **RADIOKEMIČNA ANALIZA Sr-89/Sr-90 (Odsek O-2) #**

Princip določanja stroncija v okoljskih vzorcih (voda, hrana in krma, tla in sedimenti) temelji na raztopljanju vzorca v ustreznih raztopinah. Radiokemična separacija temelji na ločitvi stroncija od kalcija s kadečo dušikovo kislino. Izkoristek separacije določimo gravimetrično s tehtanjem oborine SrCO_3 . Aktivnosti beta se izmeri na proporcionalnem števcu beta s pretokom plina (90 % Ar in 10 % CH_4). Izkoristek števca EBERLINE Multi-Low-Level Counter FHT 770 T za izbrane radionuklide je določen s certificiranimi standardi francoskega laboratorija LEA, division de CERCA.

V primerih, ko je potrebna določitev Sr-89, se izvrši separacija stroncija Sr-89/Sr-90, ter po izpostavljenem ravnotežju Sr-90/Y-90 pa izolacija itrija. Iz prve meritve SrCO_3 izmerimo skupno aktivnost obeh, Sr-89/Sr-90; iz meritve Y-90 izračunamo aktivnost Sr-90 ter nato izračunamo aktivnost Sr-89.

Natančni postopek določanja Sr-89/Sr-90 s štetjem beta je opisan v standardnem delovnem navodilu *SDN-O2-STC(01)* in v delovnem navodilu *DP-O2-STC(01)*.

Reference:

- 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
- *Določanje stroncija z beta štetjem (SDN-O2-STC(01))*, 7. izdaja, apr. 2014, IJS, Ljubljana
- *Navodilo za uporabo proporcionalnega števca, DP-O2-STC(01)*, 3. izdaja, apr. 2014, IJS, Ljubljana
- *Poročilo o validaciji metode za določanje stroncija z beta štetjem*, IJS-DP-9893, maj 2008
- *Poročilo o validaciji metod STC v letu 2009*, IJS-DP-10349, dec. 2009
- V. Stibilj, B. Svetek, Z. Trkov, P. Vreča, *Poročilo o validaciji STC metod in izračunu meritne negotovosti v letu 2010*, IJS-DP-10659, 2011
- V. Stibilj, B. Svetek, Z. Trkov, P. Vreča, *Poročilo o validaciji STC metod in izračunu meritne negotovosti v letu 2011*, IJS-DP-11075, 2012
- IAEA-TECDOC-1401, *Quantifying uncertainty in nuclear analytical measurements*, 2004

Merska metoda za določitev stroncija na Odseku O-2 ni akreditirana pri SA pod zaporedno št. LP-022.

d) RADIOKEMIČNA ANALIZA H-3 (Odsek F-2)

Na Odseku F-2 poteka določitev tritija v vzorcih vod z elektrolitsko obogatitvijo in tekočinskoscintilacijskim štetjem.

Vzorce najprej destiliramo, preverimo pH destilata in mu dodamo natrijev peroksid. Pol litra vzorca elektrolitsko obogatimo, preostanku dodamo svinčev klorid in opravimo drugo destilacijo. V tekočinskoscintilacijskem števcu Quantulus 1220 (Wallac, PerkinElmer) merimo merjence, pripravljene iz destilata vzorca in scintilacijskega koktajla po postopkih LSC-DN-06 in LSC-DN-07. Za kalibracijo števca in pripravo krivulje dušenja uporabljamo certificiran NIST-ov standard, za dodatno kontrolo pa certificirane pripravke Perkin Elmerja.

Reference:

- Umeritvene krivulje za tekočinskoscintilacijski spektrometer (LSC-DN-05), izdaja 02, jul. 2014, IJS, Ljubljana
- Vzorčenje in priprava vzorcev za določitev tritija (LSC-DN-06), izdaja 05, avg. 2014, IJS, Ljubljana
- Meritev, analiza in izračun vsebnosti tritija (LSC-DN-07), izdaja 05, jul. 2014, IJS, Ljubljana

e) RADIOKEMIČNA ANALIZA H-3 (Odsek O-2) [#]

Tritij določamo v desorbirani vodi z adsorbenta in v vodnih vzorcih po postopkih, ki so natančno opisani v SDN-O2-STC(02) in DP-O2-STC(02) ter v referencah IAEA-TECDOC-1401, HASL-300, IJS-DP-10659 IJS-DP-11075. Vzorce vode najprej destiliramo in nato izvedemo elektrolizo. Po končani elektrolizi s tritijem obogateni preostanek destiliramo, odvzamemo alikvot in dodamo koktajl ULTIMA GOLD LLT. Aktivnost tritija merimo z instrumentom Tri Carb 3170 TR/SL, Super Low Level Liquid Scintillation Analyzer (Canberra Packard). Izkoristek števca za H-3 določamo s kalibracijskim certificiranim standardom proizvajalca Perkin Elmer.

Reference:

- Določanje tritija s tekočinskim scintilacijskim štetjem (SDN-O2-STC(02)), 6. izdaja, apr. 2014, IJS, Ljubljana
- Navodilo za uporabo tekočinsko scintilacijskega števca TRICARB 3170 TR/SL (DP-O2-STC(02)), 3. izdaja, apr. 2014, IJS, Ljubljana
- IAEA-TECDOC-1401, Quantifying uncertainty in nuclear analytical measurements; K. Rozanski, M. Gröning, Tritium Assay in water samples using electrolytic enrichment and liquid scintillation spectrometry, 2004
- Validacija metode za določitev tritija s tekočinskim scintilacijskim štetjem v letu 2007 IJS-DP-9890, 2008
- Poročilo o validaciji metod STC v letu 2009, IJS-DP-10349, dec. 2009
- V. Stibilj, B. Svetek, Z. Trkov, P. Vreča, Poročilo o validaciji STC metod in izračunu merilne negotovosti v letu 2010, IJS-DP-10659, 2011
- V. Stibilj, B. Svetek, Z. Trkov, P. Vreča, Poročilo o validaciji STC metod in izračunu merilne negotovosti v letu 2011, IJS-DP-11075, 2012
- HASL-300, Procedure Manual, November 1990
- Isotope Hydrology lab.; Tehnical Procedure Note 19, Procedure and Technique Critique for Tritium Enrichment by Electrolysis at the IAEA Laboratory, IAEA 1976

Merska metoda za določitev tritija na Odseku O-2 ni akreditirana pri SA pod zaporednošč. LP-022.

TABELARIČNI ZAPISI MERITEV

Izmerki v tabelah so zapisani po naslednjih pravilih:

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

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

- Poročane negotovosti so izračunane v skladu z vodili GUM (2008).
- Če je pri detektirani prisotnosti radionuklida negotovost aktivnosti večja od 80 % vrednosti izmerka, se poroča meja kvantifikacije - vrednost izmerka se prišteje k razširjeni negotovosti ($k = 2$), rezultat pa označi kot manjši ($<$) od dobljene številčne vrednosti.

Število za znakom $<$ je številska vrednost spodnje meje aktivnosti, določljive za dan izotop, in se nanaša na interval zaupanja s 95 % zanesljivostjo.

- Spodnjo mejo aktivnosti se zaradi visoke detekcijske meje poroča le za Pb-210, ki je zaradi visokega doznega faktorja pomemben pri oceni doz.

Pri Pb-210 je število za znakom $<$ ali številska vrednost spodnje meje aktivnosti pri danih pogojih meritve in se nanaša na interval zaupanja s 95 % zanesljivostjo ali meja kvantifikacije.

Pri ostalih nedektiranih radionuklidih zaradi preglednosti njihove spodnje meje aktivnosti v tabele ne pišemo. Pri izračunih letnih povprečij se prazna polja upoštevajo kot ničle.

- V tabele ne pišemo spodnjih detekcijskih mej, ki so ocenjene iz velikosti ozadja, verjetnosti za detekcijo in količine vzorca.
- Aktivnost Ra-226 je določena iz aktivnosti kratkoživih radonovih potomcev (Pb-214 in Bi-214). Faktor, ki opisuje ravnovesje med radijem in radonovimi potomci smo izračunali iz ekshalacije in časovnega intervala med pripravo in meritvijo vzorca.
- Aktivnost urana je določena pri predpostavki, da je U-238 v ravnovesju s potomci Th-234 in Pa-234M, ter da sta koncentraciji izotopov U-235 in U-238 v naravnem razmerju.
- Označba Sr-90/Sr-89 pomeni, da ni bila narejena analiza na Y-90. Ločitev za Y-90 se izvede samo v primerih, ko iz ponovitev meritev Sr-90/Sr-89 ugotovimo, da je izmerjena hitrost štetja res manjša od predhodno določene in je ta razlika hitrosti štetja posledica radioaktivnega razpada Sr-89.
- Radiokemična analiza stroncija Sr-89/Sr-90 je bila narejena na *Odsek O-2*, na *Odsek F-2* so bile specifične aktivnosti poročane v enotah Bq/kg suhe snovi. V tem poročilu je podan izračun specifične aktivnosti na dejanski vzorec (Bq/kg sveže snovi ali Bq/m³ za vodne vzorce), ki je bil izведен na *Odsek F-2*.

SEZNAM TABEL MERITEV

Stran

1. VODOVODI – enkratni vzorci nefiltrirane vode

- izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-89/Sr-90 in H-3

| | |
|---------------------|----|
| LJUBLJANA - ŠENTVID | 11 |
| DOBREPOLJE | 11 |
| VRHNIKA – BOROVNICA | 11 |
| SLADKI VRH | 11 |

2. VODOVODI – enkratni vzorci nefiltrirane vode

- izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-89/Sr-90 in H-3

| | |
|------------------|----|
| OPLITNICA | 12 |
| VUZENICA | 12 |
| ŠMARITNO | 12 |
| ŠMARITNO OB PAKI | 12 |

3. VODOVODI – enkratni vzorci nefiltrirane vode

- izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-89/Sr-90 in H-3

| | |
|----------------------|----|
| KROPA – KAMNA GORICA | 13 |
| BOHINJSKA BISTRICA | 13 |
| KRANJSKA GORA | 13 |
| BOVEC – ČEZSOČA | 13 |

4. VODOVODI – enkratni vzorci nefiltrirane vode

- izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-89/Sr-90 in H-3

| | |
|-------------------|----|
| MIRNA PEČ | 14 |
| HRASTJE OREHOVICA | 14 |
| KOSTANJEVICA | 14 |

1. VODOVODI – enkratni vzorci

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90 in H-3 (*)

| Vzorč. mesto | Ljubljana - Šentvid | Dobrepolje | Vrhnika - Borovnica | Sladki vrh |
|-----------------|--|---------------------|---------------------|-------------------|
| Datum vzor. | 25.5.2015 | 28.5.2015 | 25.5.2015 | 27.3.2015 |
| Kol. vzorca (L) | 51,82 | 50,95 | 50,67 | 52,31 |
| Koda vzorca | RP15VD100051 | RP15VD131251 | RP15VD136051 | RP15VD221431 |
| IZOTOP | KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³) | | | |
| U-238 | 3,7E+00 ± 1E+00 | 5,4E-01 ± 4E-01 # | 3,2E+00 ± 2E+00 | 7,9E+00 ± 3E+00 |
| Ra-226 | 9,2E-02 ± 8E-01 ‡ | 8,7E+00 ± 1E+00 | 1,8E+00 ± 5E-01 | 1,9E+00 ± 4E-01 |
| Pb-210 | | 1,8E+00 ± 4E-01 # | | 2,6E+00 ± 9E-01 # |
| Ra-228 | 5,5E-01 ± 4E-01 | 1,0E+01 ± 5E-01 | 1,8E+00 ± 4E-01 | 1,8E+00 ± 3E-01 |
| Th-228 | 3,9E-01 ± 2E-01 | 7,2E-01 ± 9E-02 | 2,4E-01 ± 2E-01 ‡ | 3,5E-01 ± 2E-01 |
| Th-230 | | | | |
| K-40 | 3,7E+01 ± 4E+00 | 1,2E+01 ± 2E+00 | 1,8E+01 ± 2E+00 | 6,3E+01 ± 6E+00 |
| Be-7 | 4,2E-01 ± 2E+00 ‡ | 3,5E-01 ± 4E-01 ‡ | | 2,8E+00 ± 1E+00 |
| I-131 | | | | |
| Cs-134 | | | | |
| Cs-137 | 5,2E-03 ± 5E-02 ‡ | | | |
| Co-58 | | | | |
| Co-60 | | | | |
| Cr-51 | | | | |
| Mn-54 | | | | |
| Zn-65 | | | | |
| Nb-95 | | | | |
| Ru-106 | | | | |
| Sb-125 | | | | |
| Sr-89/Sr-90 | < 3E-01 # | 2,8E+00 ± 2E-01 # < | 3E-01 # | 2,0E+00 ± 3E-01 # |
| H-3 | 8,7E+02 ± 8E+01 | 7,3E+02 ± 7E+01 | 4,4E+02 ± 5E+01 | 6,7E+02 ± 2E+02 # |

(*) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 na vzorcih RP15VD100051, RP15VD131251 in RP15VD136051 so bile opravljene na Odseku F-2, radiokemijska analiza H-3 na vzorcu RP15VD221431 in vse analize Sr-90 pa na Odseku O-2.

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

Specifične aktivnosti radionuklidov razen H-3 in Sr-90, označene z #, so določene z VLG, vendar so vrednosti izven obsega akreditacije pri SA pod št. LP-022.

Rezultati radiokemijskih analiz stroncija Sr-90 in H-3, ki so bile narejene na Odseku O-2, so bili poročani na Odsek F-2 v enotah Bq/kg sušine. V tem poročilu je podan izračun specifične aktivnosti na dejanski vzorec (Bq/m³ vode), ki je bil izveden na Odseku F-2. Ti rezultati so izven obsega akreditacije LP-022.

2. VODOVODI – enkratni vzorci

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90 in H-3 (*)

| Vzorč. mesto | Oplotnica | Vuzenica | Šmartno | Šmartno ob Paki |
|-----------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Datum vzor. | 27.3.2015 | 30.3.2015 | 6.5.2015 | 27.3.2015 |
| Kol. vzorca (L) | 52,36 | 52,15 | 52,03 | 52,82 |
| Koda vzorca | RP15VD231731 | RP15VD236731 | RP15VD238351 | RP15VD332731 |
| IZOTOP | KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³) | | | |
| U-238 | 2,9E+00 ± 8E-01 | 6,4E+00 ± 1E+00 | 4,3E+00 ± 2E+00 | 2,8E+00 ± 1E+00 |
| Ra-226 | 6,9E-01 ± 2E-01 | 6,8E+00 ± 9E-01 | 2,4E+01 ± 3E+00 | 1,0E+00 ± 3E-01 |
| Pb-210 | 2,8E+00 ± 1E+00 | 3,3E+00 ± 6E-01 | 8,7E+00 ± 5E+00 | |
| Ra-228 | 2,9E-01 ± 2E-01 # | 4,1E+00 ± 3E-01 | 1,4E+00 ± 4E-01 | 1,7E-01 ± 2E-01 ‡ |
| Th-228 | 2,3E-01 ± 6E-02 | 1,3E+00 ± 1E-01 | 2,1E+00 ± 2E-01 | 4,8E-01 ± 3E-01 |
| Th-230 | | | | |
| K-40 | 4,5E+01 ± 5E+00 | 4,2E+01 ± 5E+00 | 1,2E+01 ± 2E+00 | 8,3E+00 ± 2E+00 |
| Be-7 | 2,6E+00 ± 5E-01 | 1,2E+00 ± 6E-01 | 7,7E-01 ± 1E+00 ‡ | |
| I-131 | | | | |
| Cs-134 | | | | |
| Cs-137 | | | | |
| Co-58 | | | | |
| Co-60 | | | | |
| Cr-51 | | | | |
| Mn-54 | | | | |
| Zn-65 | | | | |
| Nb-95 | | | | |
| Ru-106 | | | | |
| Sb-125 | | | | |
| Sr-89/Sr-90 | 6,3E-01 ± 1E-01 # < | 6E-01 # < | 4E-01 # | 1,6E+00 ± 3E-01 # |
| H-3 | 7,0E+02 ± 2E+02 # | 8,3E+02 ± 1E+02 # | 6,0E+02 ± 7E+01 | 6,2E+02 ± 2E+02 # |

(*) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijska analiza H-3 na vzorcu RP15VD238351 so bile opravljene na Odseku F-2, radiokemijske analize H-3 na vzorcih RP15VD231731, RP14VD236731 in RP14VD332731 ter vse analize Sr-90 pa na Odseku O-2.

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

Specifične aktivnosti radionuklidov razen H-3 in Sr-90, označene z #, so določene z VLG, vendar so vrednosti izven obsega akreditacije pri SA pod št. LP-022.

Rezultati radiokemijskih analiz strončija Sr-90 in H-3, ki so bile narejene na Odseku O-2, so bili poročani na Odsek F-2 v enotah Bq/kg sušine. V tem poročilu je podan izračun specifične aktivnosti na dejanski vzorec (Bq/m³ vode), ki je bil izveden na Odseku F-2. Ti rezultati so izven obsega akreditacije LP-022.

3. VODOVODI – enkratni vzorci

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90 in H-3 (*)

| Vzorč. mesto | Kropa - Kamna Gorica | Bohinjska Bistrica | Kranjska gora | Bovec - Čezsoča |
|-----------------|---|---------------------|-------------------|-------------------|
| Datum vzor. | 20.5.2015 | 20.5.2015 | 20.5.2015 | 19.5.2015 |
| Kol. vzorca (L) | 50,5 | 51,61 | 50,38 | 50,92 |
| Koda vzorca | RP15VD424551 | RP15VD426451 | RP15VD428051 | RP15VD523051 |
| IZOTOP | KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³) | | | |
| U-238 | 1,6E+00 ± 2E+00 ‡ | 9,4E-01 ± 1E+00 ‡ | 3,7E+00 ± 1E+00 | 2,0E+00 ± 2E+00 # |
| Ra-226 | 6,1E-01 ± 3E-01 | | 7,0E+00 ± 1E+00 | 1,4E-01 ± 8E-01 ‡ |
| Pb-210 | 5,1E+00 ± 4E+00 | 1,7E+00 ± 1E+00 | | 2,7E+00 ± 3E+00 ‡ |
| Ra-228 | 6,6E-01 ± 4E-01 | | 9,4E-01 ± 5E-01 | 6,4E-01 ± 5E-01 |
| Th-228 | 2,8E-01 ± 1E-01 | 1,8E-01 ± 2E-01 | 5,1E-01 ± 2E-01 | 6,1E-01 ± 2E-01 |
| Th-230 | | | | |
| K-40 | 4,7E+00 ± 4E+00 ‡ | 5,5E-01 ± 3E+00 ‡ | 8,2E+00 ± 3E+00 | 5,1E+00 ± 2E+00 |
| Be-7 | | | 1,2E-01 ± 6E-01 ‡ | |
| I-131 | | | | |
| Cs-134 | | | | |
| Cs-137 | 1,0E-01 ± 7E-02 # | 2,8E-02 ± 1E-01 ‡ | 5,0E-03 ± 6E-02 ‡ | |
| Co-58 | | | | |
| Co-60 | | | | |
| Cr-51 | | | | |
| Mn-54 | | | | |
| Zn-65 | | | | |
| Nb-95 | | | | |
| Ru-106 | | | | |
| Sb-125 | | | | |
| Sr-89/Sr-90 | 1,3E+00 ± 9E-02 # | 4,5E+00 ± 2E-01 # < | 4E-01 # | 2,2E+00 ± 2E-01 # |
| H-3 | 6,5E+02 ± 7E+01 | 6,4E+02 ± 6E+01 | 7,8E+02 ± 8E+01 | 5,7E+02 ± 1E+02 # |

(*) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 na vzorcih RP15VD424551, RP15VD426451 in RP15VD428051 so bile opravljene na Odseku F-2, radiokemijska analiza H-3 na vzorcu RP15VD523051 in vse analize Sr-90 pa na Odseku O-2.

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

Specifične aktivnosti radionuklidov razen H-3 in Sr-90, označene z #, so določene z VLG, vendar so vrednosti izven obsega akreditacije pri SA pod št. LP-022.

Rezultati radiokemijskih analiz stroncija Sr-90 in H-3, ki so bile narejene na Odseku O-2, so bili poročani na Odsek F-2 v enotah Bq/kg sušine. V tem poročilu je podan izračun specifične aktivnosti na dejanski vzorec (Bq/m³ vode), ki je bil izveden na Odseku F-2. Ti rezultati so izven obsega akreditacije LP-022.

4. VODOVODI – enkratni vzorci

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90 in H-3 (*)

| Vzorč. mesto | Mirna peč | Hrastje Orehovica | Kostanjevica |
|-----------------|---|----------------------|---------------------|
| Datum vzor. | 14.5.2015 | 14.5.2015 | 14.5.2015 |
| Kol. vzorca (L) | 47,71 | 50,98 | 48,62 |
| Koda vzorca | RP15VD821651 | RP15VD831051 | RP15VD831151 |
| IZOTOP | KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³) | | |
| U-238 | 1,3E+00 ± 7E-01 # | 2,7E+00 ± 2E+00 # | 2,0E+00 ± 2E+00 ‡ |
| Ra-226 | 2,9E+00 ± 7E-01 | 1,1E+00 ± 7E-01 | 7,2E+00 ± 1E+00 |
| Pb-210 | 2,5E+00 ± 5E-01 # | 7,1E-01 ± 1E+00 ‡ | |
| Ra-228 | 2,3E-01 ± 3E-01 ‡ | 1,0E+00 ± 4E-01 | 2,5E+00 ± 3E-01 |
| Th-228 | 9,1E-01 ± 9E-02 | 9,3E-01 ± 3E-01 | 1,9E+00 ± 2E-01 |
| Th-230 | 6,3E+00 ± 6E+00 ‡ | | |
| K-40 | 8,3E+00 ± 1E+00 | 9,4E+00 ± 2E+00 | 1,2E+01 ± 2E+00 |
| Be-7 | 1,2E+00 ± 5E-01 | 2,2E+00 ± 2E+00 ‡ | |
| I-131 | | | |
| Cs-134 | | | |
| Cs-137 | | | |
| Co-58 | | | |
| Co-60 | | | |
| Cr-51 | | | |
| Mn-54 | | | |
| Zn-65 | | | |
| Nb-95 | | | |
| Ru-106 | | | |
| Sb-125 | | | |
| Sr-89/Sr-90 | < 9,5E+02 ± 2E+02 # | < 8,4E+02 ± 2E+02 # | < 6,9E+02 ± 1E+02 # |
| H-3 | 4E-01 # | 4E-01 # | 5E-01 # |

(*) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize H-3 in Sr-90 pa na Odseku O-2.

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

Specifične aktivnosti radionuklidov razen H-3 in Sr-90, označene z #, so določene z VLG, vendar so vrednosti izven obsega akreditacije pri SA pod št. LP-022.

Rezultati radiokemijskih analiz stroncija Sr-90 in H-3, ki so bile narejene na Odseku O-2, so bili poročani na Odsek F-2 v enotah Bq/kg sušine. V tem poročilu je podan izračun specifične aktivnosti na dejanski vzorec (Bq/m³ vode), ki je bil izveden na Odseku F-2. Ti rezultati so izven obsega akreditacije LP-022.

DODATNI PODATKI O MERITVAH VLG

| OZNAKA VZORCA | DATUM IN URA PRIČETKA MERITVE | ČAS TRAJANJA MERITVE [s] |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------|
| PITNA VODA | | |
| RP15-VD5230-51 | 25.5.2015 16:25:07 | 147436 |
| RP15-VD4264-51 | 5.6.2015 16:34:16 | 209987 |
| RP15-VD2317-31 | 11.4.2015 11:29:48 | 165101 |
| RP15-VD2383-51 | 12.5.2015 14:15:55 | 153860 |
| RP15-VD2367-31 | 8.4.2015 12:42:40 | 169465 |
| RP15-VD8310-51 | 21.5.2015 15:09:54 | 176066 |
| RP15-VD8310-51 | 23.5.2015 16:55:01 | 148326 |
| RP15-VD8216-51 | 20.5.2015 14:15:29 | 158976 |
| RP15-VD4245-51 | 5.6.2015 16:44:25 | 225602 |
| RP15-VD8311-51 | 20.5.2015 14:18:51 | 266463 |
| RP15-VD4280-51 | 29.5.2015 18:24:08 | 227754 |
| RP15-VD3327-31 | 7.4.2015 14:55:25 | 158729 |
| RP15-VD3327-31 | 11.4.2015 11:21:59 | 160752 |
| RP15-VD2214-31 | 3.4.2015 15:26:02 | 330375 |
| RP15-VD2214-31 | 7.4.2015 14:56:13 | 159193 |
| RP15-VD1312-51 | 5.6.2015 16:41:08 | 231768 |
| RP15-VD1360-51 | 3.6.2015 09:42:54 | 187546 |
| RP15-VD1360-51 | 5.6.2015 16:23:58 | 233297 |
| RP15-VD1000-51 | 8.6.2015 12:15:22 | 156530 |
| RP15-VD1000-51 | 5.6.2015 16:28:43 | 232216 |

PODATKI O LOKACIJAH MERSKIH TOČK

| KRAJ | NASLOV | KODA VZORCA |
|----------------------|--|----------------|
| PITNA VODA | | |
| Bovec – Čezsoča | OŠ Bovec Trg Golobarskih žrtev 17 5230 Bovec | RP15-VD5230-51 |
| Bohinjska Bistrica | OŠ Bohinjska Bistrica Savska ulica 10 4264 Bohinjska Bistrica | RP15-VD4264-51 |
| Oplotnica | Vrtec Otona Župančiča Ulica Pohorskega bataljona 23 2317 Oplotnica | RP15-VD2317-31 |
| Šmartno | Vrtec Šmartno Šmartno pri Slovenj Gradcu 60A 2383 Šmartno pri Slovenj Gradcu | RP15-VD2383-51 |
| Vuzenica | Vrtec Vuzenica Mladinska ulica 3, 2367 Vuzenica | RP15-VD2367-31 |
| Hrastje | OŠ Orehošica Orehošica 14, 8310 Šentjernej | RP15-VD8310-51 |
| Mirna Peč | OŠ Mirna Peč Trg 8, 8216 Mirna Peč | RP15-VD8216-51 |
| Kropa – Kamna Gorica | Otroški vrtec kropa Kropa 98a, 4245 Kropa | RP15-VD4245-51 |
| Kostanjevica | Gostilna Žolnir Krška cesta 4 8311 Kostanjevica na Krki | RP15-VD8311-51 |
| Kranjska Gora | OŠ Kranjska Gora Koroška ulica 9 4280 Kranjska Gora | RP15-VD4280-51 |
| Šmartno ob Paki | Vrtec Sonček Šmartno ob Paki 14 3327 Šmartno ob Paki | RP15-VD3327-31 |
| Sladki vrh | Vrtec Sladki vrh Sladki vrh 8/a, 2214 Sladki vrh | RP15-VD2214-31 |
| Dobropolje | OŠ Dobropolje Kompolje 78 1312 Videm - Dobropolje | RP15-VD1312-51 |
| Vrhnika – Borovnica | VVO Borovnica Paplerjeva ulica 5, Borovnica 1360 Vrhnika | RP15-VD1360-51 |
| Šentvid | Vrtec Šentvid, enota Mravljinček Martinova pot 16 1000 Ljubljana | RP15-VD1000-51 |

¶