

Projekti „Eesti põhjavees radionukliidide kontsentratsiooni ja sellest tingitud terviseriskide hindamine“ kokkuvõte.

Projekti ülevaade

2009. aastal viis Tervisekaitseinspeksioon koostöös Itaalia ekspertidega läbi Twinning Light projekti „EE06-IB-TWP-ESC-03 Eesti põhjavees radionukliidide kontsentratsiooni ja sellest tingitud terviseriskide hindamine“.

Projektis osalesid Eesti poolelt Tervisekaitseinspeksioon, Sotsiaalministeerium, Keskkonnaministeerium, veekäitlejad, omavalitsused, Keskkonnaamet, Eesti Geoloogiakeskus, Tartu Ülikool, Tallinna Tehnikülikool.

Itaalia poolelt osalesid eksperdid Lombardia Keskkonnagentuurist, Veneetsia Keskkonnagentuurist ja Itaalia Tervisekaitseinspeksioonist (Istituto Superiore di Sanità).

Projekti eesmärgiks oli radionukliidide kontsentratsiooni täpsustamine Eesti põhjavees, sobiva radionukliidideemaldustehnoloogia leidmine ja juhendmaterjalide koostamine radionukliidide seireks, analüüsiks ja piirnormide kehtestamiseks.

Projekti tulemused on esitatud projekti lõpparuandes [1], allpool on esitatud nende lühikokkuvõte.

Olemasolevate andmete ülevaade

Eesti kambrium-vendi kihi (Cm-V) põhjavesi on looduslikult radioaktiivne, eelkõige raadiumi isotoopide Ra-226 ja Ra-228 esinemise tõttu.

Eestis on järelevalve all (>50 tarbijaga või tootlikkusega >10 m³/ööpäevas) 912 veevärki. Neist 140 kasutab kambrium-vendi kihi põhjavett, tarbijaks on ligikaudu 250 tuhat inimest Harjumaal, Läänemaal, Lääne-Virumaal ja Ida-Virumaal (Tabel 1)

Tabel 1. Kambrium-vendi kihi põhjavee kasutamine

| Maakond | Cm-V vett kasutavaid veevärke | Teiste põhjaveekihtide vett kasutavaid veevärke | Cm-V põhjavett kasutavate veevärkide osakaal (%) | Cm-V põhjavett kasutavaid inimesi |
|---------------|-------------------------------|---|--|-----------------------------------|
| Harjumaa | 84 | 88 | 48,8 | 134 771 |
| Ida-Virumaa | 44 | 41 | 51,8 | 76 013 |
| Lääne-Virumaa | 9 | 80 | 10,1 | 23 451 |
| Läänemaa | 3 | 32 | 8,6 | 13 365 |
| KOKKU | 140 | 241 | 36,7 | 247 600 |

152 tuhat tarbijat ehk üle poole saab vee 12-lt suurelt veekäitlejalt (Tabel 2). Väga väikesed veekäitlejad (71 veevärki toodanguga kuni 50 m3 päevas) varustavad 12 400 inimest ehk alla 5% problemaatilise vee tarbijatest.

Tabel 2. Suuremad Cm-V põhjavee kasutajad

| Veekäitleja ja teeninduspiirkond | Päevane toodang (m3) | Teenindatavaid inimesi |
|--|-----------------------------|-------------------------------|
| AS Tallinna Vesi, Nõmme linnaosa puurkaevud | 4 800 | 33 300 |
| Järve Biopuhastus OÜ, Kohtla-Järve Järve linnaosa, Täkumetsa ja Peeri küla | 2 364 | 19 689 |
| AS Rakvere Vesi, Rakvere linn | 1 500 | 16 000 |
| Sillamäe Veevärk AS, Sillamäe linn | 2 053 | 15 680 |
| Haapsalu Veevärk AS; Haapsalu linn | 1 600 | 13 000 |
| Jõhvi Veemajandus OÜ, Jõhvi linn | 2 590 | 12 400 |
| AS Maardu Vesi, Kallavere lõunapiirkond (vana) | 1 500 | 9 700 |
| AS Keila Vesi, Keila linn | 1 100 | 9 258 |
| Kiviõli Vesi OÜ, Kiviõli linn | 653 | 6 734 |
| AS Maardu Vesi, Kallavere põhjapiirkond | 650 | 5 700 |
| AS Tallinna Vesi, Saue linna puurkaevud | 1 800 | 5 200 |
| AS Viimsi Vesi, Viimsi Lääneranniku puurkaevud | 1 400 | 5 012 |

Radioloogilise seirega on kaetud 62% Eesti ühisveevärgide vett kasutavast elanikkonnast. Kaetus on parem Põhja-Eestis, ulatudes 47%-st 100 %-ni Harjumaal. Lõuna-Eestis on uuritud vaid 4% ühisveevärgide vett kasutava elanikkonna veest, kuna seni on eeldatud selles madalat radioaktiivsust. Väikese proovide arvu ja ebasobivate meetodite kasutamise tõttu puudub Lõuna-Eesti osas adekvaatne ülevaade, kuid 0,1 mSV aastadoosi ületamist esineb üksikjuhtudel sealgi.

Tabel 3. Täiskasvanud põhjaveetarbijate aastase efektiivdoosi jaotus

| Efektiivdoos (mSv/a) | Cm-V põhjavee tarbijad (% , 172 mõõtmistulemuse põhjal) | Teiste kihtide põhjavee tarbijad (% , 87 mõõtmistulemuse põhjal) |
|-----------------------------|--|---|
| Kuni 0,1 | 9 | 79 |
| 0,1..0,15 | 15 | 7 |
| 0,15..0,25 | 17 | 0 |
| 0,25..0,30 | 16 | 14 |
| 0,3..0,4 | 21 | 0 |
| 0,4..0,5 | 6 | 0 |
| 0,5..0,6 | 2 | 0 |
| 0,6..0,7 | <1 | 0 |
| 0,8..0,87 | 0 | 0 |
| Üle 0,87 | <1 | 0 |

Hinnanguliselt on täiskasvanute poolt keskkonnast saadav keskmine efektiivdoos 2..3 mSv/a [2]. See tähendab, et 78% Cm-V põhjavee täiskasvanud tarbijaid saab sellest allikast suhteliselt tagasihoidliku 13%..20% kogudoosist.

Laste ja noorukite osas muutub pilt kardinaalselt, kuna nad on raadiumi suhtes täiskasvanutest märksa tundlikumad: raadium käitub keemiliselt väga sarnaselt kaltsiumiga ja ladestub kasvavas organismis seetõttu luudesse. Seetõttu on raadiumisisaldusega joogivee puhul laste ja noorukite jaoks arvatud efektiivdoos mitmekordselt suurem kui täiskasvanutel.

60% Cm-V vett tarvitavate rinnalaste jaoks ületab ainuüksi joogiveest saadav efektiivdoos täiskasvanute keskmise kogudoosi, sihtväärtuse 0,1 mSv aastas isegi kuni sajakordselt (Tabel 4). Sihtväärtus 0,1 mSv/a ületatakse ka kõigi teiste radioloogiliselt uuritud põhjaveekihtide puhul.

Tabel 4. Rinnalaste aastase efektiivdoosi jaotus

| Efektiivdoos (mSv/a) | Cm-V põhjavee tarbijad (% 172 mõõtmistulemuse põhjal) | Teiste kihtide põhjavee tarbijad (% 87 mõõtmistulemuse põhjal) |
|-----------------------------|--|---|
| Kuni 0,1 | 0 | 0 |
| 0,1..1 | 3 | 50 |
| 1..2 | 16 | 36 |
| 2..3 | 21 | 0 |
| 3..4 | 19 | 14 |
| 4..5 | 24 | 0 |
| 5..6 | 6 | 0 |
| 6..7 | 5 | 0 |
| 7..8 | 3 | 0 |
| 8..12 | 3 | 0 |

On oluline, et riskihindamisel ning meetmete rakendamisel oleksid lapsed ja noorukid käsitletud omaette riskigrupina.

Täpsema ülevaate saamiseks tuleks täiustada seireskeemi, kehtivaid õigusakte arvestades oleks otstarbekam vee radionukliidisisaldust mõõta tarbija kraanist, mitte otse puurkaevude põhjaveest. Seirega tuleks hõlmata ka praegu ohutuks peetav Lõuna-Eesti põhjavesi. Määrata tuleks ka Po ja Pb-210 sisaldust, mis võivad efektiivdoosi oluliselt muuta.

Analüütilised meetodid ja mõõdetavate parameetrite valik

Maailma Terviseorganisatsioon (WHO) soovib vees leiduvate radionukliidide seirel kasutada esmase parameetrina üldist alfa- ja beetaaktiivsust, mille reageerimistasemeks on vastavalt 0,5 Bq/l ja 1 Bq/l. Raadiumiisotoopide puhul pole selline lähenemine kahjuks rakendatav: alfaemitteri Ra-226 puhul vastab 0,5 Bq/l juba aastasele efektiivdoosile 0,1 mSv, 1 Bq/l Ra-228 puhul tähendab veelgi kõrgemat efektiivdoosi. Kuna Eesti põhjaveel leidub ka suhteliselt palju K-40, siis ületab K-40 põhjustatud beetaaktiivsus 76%-l juhtudest 200 mBq/l, mis Ra-228 puhul vastab 0,1 mSv/a.

Seega võib väita, et üldise alfa- ja beetaaktiivsuse määramisest Cm-V põhjavees raadiumi isotoopide sisalduse üle otsustamiseks tuleks loobuda.

Keemiliste analüüside ja radionukliidide sisalduse võrdlemisel õnnestus leida statistiline seos Cm-V põhjavee Ra-228 sisalduse ja mineraalainete kogusisalduse vahel ($R=0,82$). Ra-226 sisalduse ja mineraalainete sisalduse seos on nõrgem ($R=0,67$). Seega saaks mineraalainete sisaldust Cm-V põhjavee puhul kasutada Ra sisalduse prognoosimiseks.

On olemas seos ka Ra-226 ja Ra-228 sisalduse vahel:

$$C_{Ra226} = 0,65322 * C_{Ra228} + 0,07399 \quad (1)$$

Kus C_{Ra226} ja C_{Ra228} on vastavalt Ra-226 ja Ra-228 aktiivsuskontsentratsioon väljendatuna Bq/l.

Ehkki mõlema raadiumi isotoobi sisaldused on samas suurusjärgus, on efektiivdoosi arvutamisel Ra-228 panus tunduvalt suurem (Tabel 5).

Tabel 5. Ra-226 ja Ra-228 doosikoeffitsiendid suukaudsel manustamisel

| Vanuserühm | Ra-226 (Sv/Bq) | Ra-228 (Sv/Bq) | Ra-228 / Ra-226 |
|------------------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Väikelapsed (nooremad kui 1 a.) | $4,70 * 10^{-6}$ | $3,05 * 10^{-5}$ | 6,49 |
| Täiskasvanud | $2,80 * 10^{-7}$ | $6,90 * 10^{-7}$ | 2,46 |

Seetõttu saaks mõlema isotoobi efektiivdoosi määramiseks kasutada doosikoeffitsiente arvestades ka ainult Ra-228 määramistulemust, lähtudes võrrandist

$$D_{\text{täiskasvanu}} = 0,6372 * C_{Ra228} + 0,0151 \quad (2),$$

Kus $D_{\text{täiskasvanu}}$ on täiskasvanu saadav suukaudne efektiivdoos mSv/a.

Seega võiks kaaluda skriiningparameetrina ka ainult Ra-228 määramist: eelkontsentreeritud proovide puhul on selle isotoobi gammaspektromeetiline määramine kiirem kui Ra-226 määramiseks kasutatav meetod.

Vee kvaliteedi parandamine

Selleks, et saavutada Cm-V põhjavees täiskasvanute jaoks efektiivdoosi tase 0,1 mSv/a, peab radionukliidide ärastusefektiivsus olema 64% selleks, et 70% puurkaevuveest vastaks nõuetele, ja 92% nõuetelevastavuse saavutamiseks peab efektiivsus olema 80%. Laste jaoks sama efektiivdoosi saavutamine tähendab seda, et ärastusefektiivsus peab olema üle 95%.

Olemasolevad raua- ja mangaaniärastusseadmete efektiivsuse määramiseks Ra-226 ja Ra-228 eemaldamisel Tallinna, Keila, Rakvere ja Viimsi veevõrgis viidi läbi radionukliidide sisalduse analüüsid vees enne ja pärast töötlemist. Uuritud seadmete ärastusefektiivsus jäi vahemikku

0..30% (keskmine 12%). Seega võib väita, et need seadmete abil pole radionukliidide sisalduse oluline vähendamine võimalik.

Viimsis on kasutusele võetud eksperimentaalne puhastusseade tootlikkusega 3 m³ tunnis, mis on kavandatud ka raadiumi eemaldamiseks. Analüüsil selgus, et seadme efektiivsus on 73%. Kuna seade on alles katsejärgus, siis pole hetkel võimalik öelda midagi täpsemat efektiivsuse ja maksumuse kohta tööstusliku tootmismahu tingimustes.

Radionukliidide ärastusmeetodite rakendamisel tuleb silmas pidada järgmisi aspekte:

- Joogivee hind tarbijale.
- Seadmete hooldusvajadus. Eesti puhul on see asjaolu eriti kriitiline, arvestades, et rõhuv osa veevõrkidest on väga väikesed ja paiknevad hajutatult.
- Radionukliidide kontsentreerumine ja radioaktiivsete jäätmete teke ärastusprotsessis.
- Joogivee kvaliteet pärast töötlemist: pöördosmoosi võiioonvahetusega töödeldud vesi vajab soolasisalduse taastamist, kannatada võivad vee organoleptilised omadused.

Tabel 6. Radionukliidide ärastamisel enamkasutatavad meetodid

| Meetod | Piirangud | Käitleja oskustase | Efektiivsus % |
|------------------------------------|-----------|---------------------|-----------------------------------|
| Ioonvahetus | a) | Keskmine | 95..99 |
| Ioonvahetus tarbija juures | b) | Madal | - |
| Pöördosmoos | c) | Kõrge | 90..99 |
| Pöördosmoos tarbija juures | b) | Madal | - |
| Lubjapehmendus | d) | Kõrge | 40..80, kuni 90 |
| „Rohelise liiva“ filtrid | e) | Madal | 60..97 |
| Baariumsulfaadiga kaasasadestamine | f) | Keskmine kuni kõrge | 40..90, kuni 98 |
| Elektrodialüüs/pöördelektrodialüüs | - | Madal kuni keskmine | Kuni 95 |
| Filtreerimine mangaandioksiidiga | g) | Keskmine | 21..90, sõltuvalt veekvaliteedist |

- vaja on põhjalikult läbi mõelda jäätmekäitlus;
- korralikuks toimimiseks on vaja pikaajalist käitamis-, hooldus- ja seirekava;
- vaja on põhjalikult läbi mõelda jääkvee käitlemine;
- liiga keeruline väikestes veevõrkides kasutamiseks;
- ärastusefektiivsus võib sõltuda vee kvaliteedist;
- vajalik on kõrget vee sulfaadisaldust ja toimivat filtrimissüsteemi;
- rakendatav filtrimissüsteemidega väikestes veevõrkides, kõrge efektiivsuse saavutamiseks on vajalik optimaalne häälestus.

USA-s tehtud uuringus [3] on hinnatud radionukliidide ärastusmeetodite aastase maksumuse sõltuvust tarbijate arvust, tulemused on esitatud Tabelis 7.

Tabel 7. Radionukliidiärastusmeetodite aastane maksumus sõltuvalt tarbijate arvust

| Veevärgi tootlikkus (m³ ööpäevas) ja Tarbijate arv | Aastane käitamisaksumus (eurot) |
|--|--|
| 26,5 500 in. | 56 000..84 000.- 450..670.- / in. |
| 132 2 500 in. | 101 400..153 800.- 160..246.- / in. |
| 264 5 000 in. | 171 300..255 000.- 137..204.- / in. |
| Üle 264 10 000 in. | Üle 245 000.- 17..25.- / in. |

Tabelist on näha, et väga väikeste veevärkide puhul (mida on problemaatiliste veevärkide hulgas üle poole), kasvab vee hind tarbija jaoks ebamõistlikult suureks.

Jäätmekäitlus

Uuriti projektis osalenud veevärkide jäätmekäitlust.

Kõigi nelja veevärgi puhul (Tallinn, Keila, Viimsi, Rakvere) suunatakse filtripesuvesi täiendava töötluseta otse kanalisatsiooni, seega filtrite puhastamisel setet ei moodustu. Võeti ka arvesse, et filtrimaterjal vajab perioodilist vahetamist.

Tahkete jäätmete tekkekohalt eemaldamise efektiivsuse hindamiseks kasutatakse vabastamistasemeid. Kõigi stsenaariumide hindamisel vastavalt dokumendile „Radiation Protection 122 Part II“ [4] selgus, et veepuhastuse käigus tekkinud tahked jäätmed (filtrimaterjal) ületab üldist vabastamistaset. Seetõttu on vajalik spetsiifiliste vabastamistasemete hindamine. Praeguste andmetega pole täpsem analüüs võimalik. Tuleb ka arvestada, et tahkete jäätmete radioaktiivsus tõuseb efektiivsete radionukliidieemaldusmeetodite rakendamisel.

Veepuhastusel tekkiv filtripesuvesi sisaldab teatud hulga Ra-226 ja Ra-228, seetõttu tuleks tagada, et nende sisaldus heitmetes oleks ettenähtud tasemel. Radionukliidide sisaldust hinnati vastavalt IAEA [5], NRPB [6] ja Euroopa Liidu [7] riskihindamismetoodiketele. Stsenaariumide hindamisel selgus, et kõigi veevärkide puhul ei ületata norme, kui reoveeset ei kasutata põllumajanduses. Arvestades viimase asjaoluga, ületab radionukliidide sisaldus Rakvere veevärgi heitvees ettenähtu.

Seadusandlus

Praegu on Eestis kehtestatud kohustuslik aastase efektiivdoosi ülempiir 0,1 mSv [8]. Samas on nii Euroopa Liit [9] kui ka Maailma Terviseorganisatsioon [10] selle piiri kehtestanud

mittekohustusliku sihtväärtusena (indikaatorparameetrina), mille ületamisel tuleb kaaluda mõju tervisele, majandus- ja sotsiaaltegureid ning radionukliidide kõrvaldamisest tingitud negatiivseid kaasnähtusi. Rakendatakse nn. ALARA printsiipi -(As Low As Reasonably Achievable), püüdes saavutada nii madalat sisaldust kui see on mõistlikkuse piires võimalik. Kohustuslikke piirnorme ei soovitata kasutada juhul, kui on tegemist laialdase loodusliku ekspositsiooniga või esmastoorainega.

Ehkki rahvusvahelised eeskirjad lähtuvad täiskasvanutest, tuleks kaaluda normide kehtestamist sõltuvalt vanuserühmast ja eriti imikute varustamist spetsiaalselt nendele mõeldud radionukliidivaba pudeliveega, mida turustatakse laiatarbekaubana. Ka tuleks jälgida, et toiduainetetööstuses, eriti karastusjookide valmistamisel, kasutatav vesi ei ületaks 0,1 mSv/a taset.

Parendusmeetmete kokkuvõte

- Mitte lubada kambrium-vendi põhjavett kasutavate uute puurkaevude rajamist. Tuleb parandada Keskkonnaministeeriumi ja Tervisekaitseinspeksiooni vahelist infovahetust, et viimasel oleks võimalik vee terviseohutust hinnata enne vee erikasutusloa väljastamist.
- Laste (eriti imikute) varustamine radionukliidivaba joogiveega, ka tuleks jälgida, et jookide valmistamiseks kasutatav vesi oleks radionukliidivaba (Direktiiv 98/83/EÜ).
- Rahvusvaheliselt on esmajärjekorras rakendatavaks meetmeks radioaktiivse põhjavee asendamine või segamine puhta põhja- või pinnaveega. Kindlasti tuleks uute puurkaevude rajamisel vältida kambrium-vendi põhjavee kasutamist ja seda juba erikasutuslubade väljastamisel.
- Kaaluda kohustusliku normi muutmist sihttasemeks ning diferentseerimist vastavalt kasutajarühmale ja geograafilisele asukohale.
- Meetmete rakendamisel tuleks keskenduda vähestele suurtele veekäitlejatele, mis võimaldab hõlmata suurema osa problemaatilistest tarbijatest.
- Seireskeemide täiendamine: proovivõtt tarbija kraanist ning seni uurimata põhjaveekihtide ja radioaktiivsete isotoopide (Po-210, Pb-210) kaasamine.

Kirjanduse loetelu

1. European Commission. Twinning Light Project EE06-IB-TWP-ESC-03. Final Report. 2009
2. Muzõtšin M. Assessment of the health risks from non-compliance with drinking water parametric values. Radioactivity in drinking water – is it a problem for the country?. 2008 <http://www.environmental-expert.com/resultteacharticle.aspx?cid=6471&codi=44299>
3. New Jersey Drinking Water Quality Institute, Maximum Contaminant Level Recommendations for radium in Drinking Water, prepared by Gloria Post, Division of

- Science, Research and Technology, New Jersey Department of Environmental Protection, May 20, 2002
4. Radiation Protection 122 Part II, Practical use of the concepts of clearance and exemption, European Commission, 2001
 5. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment, Safety Reports Series n. 19, IAEA Vienna 2001
 6. Generalised Derived Constraints for Radioisotopes of Polonium, Lead, Radium and Uranium, NRPB – UK, 2002
 7. Effluent and dose control from European Union NORM industries: assessment of current situation and proposal for a harmonised Community approach, Radiation Protection 135, EU, 2003
 8. Sotsiaalministri 31. juuli 2001.a. määrus nr. 82 „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid“. RTL 2001, 100, 1369. WWW: <https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=13194374>
 9. Nõukogu direktiiv 98/83/EÜ, 3. november 1998, olmevee kvaliteedi kohta. WWW: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31998L0083:ET:HTML>
 10. World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality. Third edition, Volume 1 Recommendations, World Health Organisation Geneva, 2004.