



KESKKONNAAMET

# Joogivee radioaktiivsusega seonduvad probleemid

Alar Polt, kiirgusseire büroo peaspetsialist  
Keskkonnaministeeriumi kiirgusseminar,  
23.10.2014, Tallinn

# Mõisted

- Olmevesi –

a) kogu vesi, algkujul või pärast töötlemist, mis on mõeldud joomiseks, keetmiseks, toiduvalmistamiseks või muuks olmeotstarbeks, olenemata päritolust ning sellest, kas see toimetatakse kätte jaotusvõrgu kaudu, paagiga, pudelites või mahutites;

b) kogu vesi, mida mistahes toiduainetetööstuse ettevõtja kasutab inимtarbimiseks mõeldud toodete või ainete tootmiseks, töötlemiseks, säilitamiseks või turustamiseks, välja arvatud juhul, kui liikmesriikide pädevad asutused on veendunud, et vee kvaliteet ei saa mõjutada tarbimisvalmis toiduainete ohutust;

Kui tegelik tarbimine ei ole teada, võetakse inimese ööpäevaseks veetarbimiseks 200 liitrit.

(EÜ Nõukogu Direktiiv 2013/51/Euratom, millega määratakse kindlaks nõuded elanikkonna tervise kaitsmiseks olmevees sisalduvate radioaktiivsete ainete eest [1].)

# Mõisted

- Joogivesi –

vesi, mida inimene tarbib joogina või toidus sisalduva vedelikuna. Täiskasvanu arvestuslik ööpäevane joogiveetarbimine on 2 liitrit (730 liitrit aastas).

- Nukliid –

aatomituum; nukliidid võivad erineda üksteisest struktuuri (prootonite ja neutronite arvu) poolest.

- Radionukliid –

ebastabiilne nukliid; toimub spontaanne struktuuri muutus (tuumasiire), mille käigus vabaneb energia üht või mitut liiki ioniseeriva kiirguse näol.

- Isotoobid –

sama keemilise aine aatomid, mille tuumad erinevad neutronite arvu poolest. Näiteks Ra-226, Ra-228.

# Rahvusvaheliste organisatsioonide juhised

- Radionukliidide sisaldus joogiveses ei ole üldjuhul terav probleem. Maailma Terviseorganisatsiooni (WHO) juhend joogivee kvaliteedi tagamiseks [2] ütleb: „Joogivesi võib sisaldada radioaktiivseid aineid, mis võivad kujutada riski inimeste tervisele. Need riskid on tavaliselt väikesed võrreldes riskidega mikroorganismidest ja kemikaalidest, mis joogiveses võivad sisalduda. Välja arvatud äärmuslikes olukordades, on joogiveses sisalduvate radionukliidide sissevõttust saadav kiirgusdoos palju väiksem kui doos, mis saadakse muudest kiirgusallikatest.“ (lk. 203).
- Riskidest teavitamise paragrahvis on öeldud: „Tuleb selgelt välja tuua, et viitetasemeid ei tule tõlgendada kui kohustuslikke piirväärtusi ning et viitetasemete ületamist võib võtta kui edasiste uuringute käivitajat, kuid mis ei ole tingimata viide sellele, et joogivesi ei ole ohutu.“ (lk. 218).
- Sama käsitlus olmevee radioloogiliste parameetrite kohta on toodud välja ka Direktiivi [1] preambuli lõikes 7: „Parameetrite väärtuseid ei tohiks käsitleda piirväärtustena. Kui olmevee seire käigus ilmneb, et parameetri väärtus ei vasta nõuetele, peaks asjaomane liikmesriik kaaluma, kas see mittevastavus seab inimeste tervise sellisesse ohtu, mis nõuab tegutsemist, ja vajaduse korral võtma parandusmeetmeid, millega viiakse vee kvaliteet tasemele, et see vastab kiirguskaitse seisukohast inimeste tervise kaitsmise nõuetele.“ (Märkus: eestikeelne tõlge on rangem kui ingliskeelne algtekst.)

# Rahvusvaheliste organisatsioonide juhised

- Tähtis on siinkohal, et Direktiivis räägitakse läbivalt mitte lihtsalt terviseriski hinnangust, vaid hinnangust, kas risk on selline, mis nõuab tegutsemist („poses a risk to human health which requires action“).
- Tuginedes Rahvusvahelise Kiirguskaitsekomisjoni (ICRP) soovitudele [3] (lk. 88-90), ütleb WHO [2]: „Parandusmeetmete kavandamisel peaks iga kaalutletav strateegia olema eelkõige õigustatud (selles mõttes, et kokkuvõttes saadakse kasu). Iga otsus, mis muudab kiiritusolukorda, peaks tooma rohkem kasu kui kahju.“ (lk. 214).
- Õigustatust (põhjendatust) käsitledes ütleb ICRP [2] muuhulgas: „Tagajärjed, millega tuleks arvestada, ei piirdu kiirgusega seonduvaga – tegevustega kaasnevad muud riskid ja kulud ning kasud. Vahel on kiirguskahju väike osa tervikust. Üldiselt väljub põhjendamine kaugele kiirguskaitse raamidest. Sellest tulenevalt soovitab ICRP ainult, et kasu-kahju bilanss oleks positiivne. Parima alternatiivi otsimine on ülesanne, mis väljub kiirguskaitse pädeva asutuse vastutusalast.“ (lk. 89).

# Radionukliide sisaldava joogivee tarbimisest tulenev vähirisk

- Kiirgusdooside 0,2 ... 5 Sv puhul on epidemioloogiliste uuringutega tõestatud vähiriski enam-vähem võrdeline sõltuvus doosi suuruselt. ICRP hindab [3], et kuigi on teada erandeid, jääb ICRP poolt soovitatav praktilise kiirguskaitse ülesehitus endiselt baseeruma eeldusel, et ka doosidel alla 100 mSv jääb vähiriski juurdekasv võrdeliseks doosi juurdekasvuga. ICRP pakub inimeste soost ja vanusest sõltumatu (ehk kogu populatsioonile kohase) letaalse ja mitteletaalse, kuid elukvaliteeti halvendava vähi haigestumise riski nominaalse tõenäosuskoeffitsiendi väärtuseks  **$P=5,5 \cdot 10^{-2}/Sv$**  ([3], lk. 55).
- See doosi-koste mudel on üldiselt tuntud kui võrdeline lävidoosita mudel ehk LNT („linear-non-threshold“) mudel (lk. 51). ICRP viitab, et eksisteerib ka teisi lähenemisi nagu Prantsusmaa Teaduste Akadeemia 2005. aasta aruandes esitatu (French Academies Report, 2005 [4]), mis toetab väikeste dooside puhul kiirgusest tingitud vähiriski praktilise lävidoosi määratlemist.
- Väikeste dooside (alla 100 mSv) puhul ei ole olnud võimalik avastada statistiliselt olulist vähiriski juurdekasvu ka laiaulatuslike kohortuuringutega, mis viitab, et ka halvimal juhul on risk madal.

# Radionukliide sisaldava joogivee tarbimisest tulenev vähirisk

- Isegi sadadesse tuhandetesse ulatava uuringusobjektide arvu korral on äärmiselt ebausutav, et õnnestub usaldatavalt hinnata väikest vähiriski lisandumise suurust või isegi selle olemasolu, kuna muudest põhjustest tingitud vähijuhtumite arv mittekiiritatud populatsioonis on väga suur ja sõltuvalt elustiilist tugevasti kõikum. Aruanne väidab, et bioloogilised mehhanismid on erinevad dooside korral, mis on alla mõnekümne millisiiverti ja kõrgemate dooside korral. Aruanne hoiatab, et empiiriline seos, mis on kindlaks tehtud doosidel üle 200 mSv, võib viia sada korda madalamate doosidega assotsieeruva riski ülehindamiseni, mis võib kaasa tuua ebaobjektiivsuse kiirguskaitsemete rakendamisel madalate dooside puhul (alla 10 mSv) ([4], lk. 7).
- Kiirguskeskuse 2005. aasta koonduurimuses radionukliidide sisalduse kohta Eestis tarvitavas olmevees [5] jõuti järeldusele, et 0,1 mSv kõrgem oodatav efektiivdoos saadakse peamiselt kambrium-vendi veekihist pärineva joogivee tarvitamisest. Olulised radionukliidid on seejuures Ra-226 ja Ra-228. 0,1 mSv ületava oodatava efektiivdoosi saavad hinnanguliselt 184000 elanikku.
- Hiljutises Eesti-Itaalia ühisprojektis [6], [7], toodi välja suurusjärgult sama arv – 225000 elanikku.

# Radionukliide sisaldava joogivee tarbimisest tulenev vähirisk

- Kõiki seniseid mõõtmisi, mille puhul kasutatud meetodite kohta oli säilinud piisavalt infot, analüüsiti Tartu Ülikooli Füüsikainstituudi teadlaste töös [8], kus toodi välja ka mõõdetud radionukliidide aktiivsuskontsentratsioonide keskväärtused, s.h. kõrgeimad Ra-226 ja Ra-228 keskväärtused esinesid kambrium-vendi Gdovi alamveekihi vetes, vastavalt 0,46 ja 0,45 Bq/l. Sellise vee aastane tarbimine annab täiskasvanule hinnanguliselt 0,321 mSv suuruse oodatava efektiivdoosi. Oodatav efektiivdoos ~0,31 mSv katab Eesti-Itaalia projektis [6] toodud analüüsi alusel ~57 % mõõtmistulemustest.
- Järgnevas analüüsimise etteantud populatsioonis vähki haigestumise mitteesinemise matemaatilist ootust sõltuvalt populatsiooni suurusest, mis on arvutatav valemiga

$$T = \prod_{i=1}^6 [1 - P \cdot E(i)]^{n(i)} \quad (1),$$

kus  $P$  on ICRP antud vähki haigestumise riski nominaalne koefitsient  $5,5 \cdot 10^{-2}/\text{Sv}$ ,  $E(i)$  on vanusegruppi  $i$  kuuluva inimese oodatav efektiivdoos ja  $n(i)$  vanusegruppi  $i$  kuuluvate inimeste arv.



# Radionukliide sisaldava joogivee tarbimisest tulenev vähirisk

- Doos  $E$  arvutatakse vastavalt Direktiivi [1] Lisa III punktis 2 toodule mõõdetud radionukliidide kontsentratsioonide ja vastavate doosikoefitsientide kaudu vastavalt aastasele veetarbimisele (täiskasvanu puhul 730 liitrit). Antud vanusegrupi piires on doos kõigile sama. Eri vanusegruppidel on erinevad doosikoefitsiendid ja erinevad vee tarbimise määrad ning seega eri vanusegruppide esindajate doosid erinevad.
- Korrutis  $P \cdot E$  on doosi  $E$  saava indiviidi vähki haigestumise risk (tõenäosus) ning  $(1 - P \cdot E)$  selle vastandsündmuse, ehk vähki mittehaigestumise tõenäosus.
- Kuna vähk ei ole nakkushaigus, siis eri indiviidide vähki mittehaigestumised on üksteisest sõltumatud sündmused ja nende sündmuste korraga esinemise tõenäosus on üksikute tõenäosuste korrutis.
- Seega tõenäosus, et antud  $n$ -liikmelise vanusegrupi ükski esindaja ei haigestu vähki, on  $(1 - P \cdot E)^n$  ning tõenäosus, et antud inimeste hulgas keegi ei haigestu vähki, omakorda korrutis tõenäosustest, et üheski vanusegrupis (neid on kokku 6, vastavalt erinevate doosikoefitsientide arvule) vähki haigestumist ei esine.

# Radionukliide sisaldava joogivee tarbimisest tulenev vähirisk

- Vanusegruppi kuuluvate inimeste arvu saab hinnata Statistikaameti rahvastiku interaktiivse andmebaasi abil [9]. 2014. aasta kohta saame järgnevad proportsioonid:

vanusegrupp	protsent rahvaarvust
vanus<1	1,2635 %
1<vanus<2	1,2493 %
2<vanus<7	5,9228 %
7<vanus<12	5,1413 %
12<vanus<17	4,5870 %
vanus>17	81,8361 %

# Radionukliide sisaldava joogivee tarbimisest tulenev vähirisk

- Kasutades Ra-226 ja R-228 keskmisi väärtusi vastavalt 0,46 ja 0,45 Bq/l ja valemit (1), saame tõenäosuste jaoks, et antud vanusegrupis või kogu vaadeldavas inimeste hulgas keegi vähki ei haigestu järgmised tulemused (oodatav efektiivdoos täiskasvanule oli 0,321 mSv):

Joogivee- tarbijate arv	Tõenäosus (%), et antud vanusegrupis ei haigestu ükski inimene eluaja jooksul joogivee tõttu vähki						
	vanus<1	1<vanus<2	2<vanus<7	7<vanus<12	12<vanus<17	vanus>17	kokku
~27700	95	98	96	94	89	67	<b>50</b>
~48000	91	97	93	90	82	<b>50</b>	30
~163000	72	91	77	70	<b>50</b>	10	2
~ <b>225000</b>	64	88	69	61	38	4	0,4
~316000	53	84	60	<b>50</b>	26	1	0,04

# Radionukliide sisaldava joogivee tarbimisest tulenev vähirisk

- Mõned tähelepanekud:
- Sageli rõhutatakse, et lapsed on ohustatud grupp. Tõsi, oodatav efektiivdoos on imikul ja noorukitel vanuses 12-17 küll kordades suurem kui täiskasvanul, kuid nende osakaalu väiksus rahvastikus kaalub selle üles. Nähtavasti seepärast nii WHO kui Direktiiv [1] lähtuvadki doosihindamise metoodikas täiskasvanust.
- Tõenäosuste põhjal ei saa teha kindlaid otsustusi tegelikult realiseeruva olukorra kohta. Näiteks tabelis toodud kõige väiksema tarbijate arvu korral on igas vanusegrupis mittehaigestumise tõenäosus suurem kui haigestumise, ometi on tarbijate hulgas tervikuna vähemalt ühe inimese haigestumine tõenäosem kui mittehaigestumine. Vanusegrupikohased tõenäosused peegeldavad tegeliku sündmuse ühte või teise gruppi langemise suhtelist tõenäosust. Samuti, kui vaadelda Eestit tervikuna, võib haigestumine sattuda ka väikese tarbijate arvuga veevärgi piirkonda.
- Võrdluseks: kui Eestis seostatakse radooniga ~40-70 kopsuvähi juhtumit aastas sõltuvalt metoodikast, siis joogivee puhastamine radionukliididest võiks ära hoida hinnanguliselt 3-4 vähijuhtumit.

# Mis saab olmeveest eraldatud raadiumist edasi?

- Joogiveest radionukliidide eraldamise viise on käsitletud mitmes töös, näiteks nii [6], [7] kui ka varasemates [5] ja [10]. Viimases on jõutud järeldusele, et filtrite soosituim käitlusmeetod on käitlemine radioaktiivse jäätmena. Samas puudub meil teave, kui palju Eestis sellist materjali tekib ja palju selle käitlemine maksab.
- AS Viimsi Vesi pilootprojekti käigus on selgunud, et filtrite vahetus/puhastamine võib kujuneda tehnoloogiliselt keerukaks probleemiks ja ka kiirgusohutuse tagamiseks lisanduvad täiendavad kulud. Ei saa unustada, et arvestuslikult on olmevee tarbimine 200 liitrit ööpäevas tarbija kohta [1], mis tähendab, et 2 liitri joogivee saamiseks tuleb raadium eemaldada 200 liitrist veest. Täiendava uuringuta pole selge, milline on raadiumi eemaldamise lõplik kiirgusohutuslik efekt.
- Siinkohal on paslik pöörduda tagasi tsiteeritud ICRP soovitude juurde ühe või teise kiiritusolukorda muutva tegevuse põhjendatuse osas ja vaadelda joogivee radionukliididesisaldust kui terviseriski võrreldes muude terviseriskidega.

# Joogivee radionukliididesisaldusest tulenev terviserisk võrreldes muude terviseriskidega

- Tervise Arengu Instituudi interaktiivsesse andmebaasi [11] tehtav päring 2013.a. surma põhjuste kohta üle kõigi põhjuste, kõigi vanusegruppide ja nii meeste kui naiste arvestuses annab olukorrast järgneva pildi (kui noppida välja ilmekamad faktid):
- Kokku suri Eestis 2013. aastal 15372 inimest. Neist kasvajatesse 3747 (~24,4 %), sealhulgas hingamiselundite pahaloomulistesse kasvajatesse 721. Euroopa asumite koondanalüüs [12] toob välja mittesuitsetajate ja suitsetajate riskikoefitsiendid surra 75ndaks eluaastaks kopsuvähki. Oluliselt sõltumata radoonikontsentratsioonist, on selle uurimuse põhjal suitsetaja risk surra kopsuvähki mittesuitsetaja vastavast näitajast ~20 korda suurem. Tulemus võimaldab püstitada hüpoteesi, et Eestis põhjustab ~680 hingamiselundite vähijuhtumit suitsetamine, enamuse ülejäänutest radoon.
- Jätkame: alkoholi tarvitamisest tingitud psüühika- ja käitumishäired – 66, maksa alkoholitõbi – 173, maksa tsirroos – 70, alkoholimürgistus – 110;

# Joogivee radionukliididesisaldusest tulenev terviserisk võrreldes muude terviseriskidega

- enesetapp – 218, sõidukiõnnetused – 94, juhuslik kukumine – 109, ülemäärase loodusliku külma toime – 56, rünne – 52, suitsu, tule ja leekide toime – 44, juhuslik uppumine – 40.
- Viimase loetelu puhul ei ole välja toodud, kui paljudel juhtudel oli kaasaaitav tegur alkoholijoove, kuid on ilmne, et suurim reserv inimeste eluea pikendamisel ja elukvaliteedi parandamisel on inimeste suunamises riskikäitumise vähendamisele ja tervislikele eluviisidele.
- Kulu-tuluanalüüs inimese riskikäitumise muutmiseks eesmärgiga ühiskonna ja inimeste vahendite optimaalseks kasutamiseks rahva tervise parandamisel ületab kiirgusosakonna pädevust, kuid nähtavasti on palju valdkondi, kus vahendite kasutamine on oluliselt efektiivsem kui joogivee radionukliididesisalduse vähendamisel. Radionukliidide seire olmevees ja vee radionukliididest puhastamise maksab nii või teisiti kinni lõpptarbija, ehk meie kõik. Vähemkindlustatud elanikkonna osale võib see olla täiendavaks koormaks, mis vähendab nende inimeste võimalusi teha muuhulgas vajalikke kulutusi oma tervise parandamiseks.

# Viited:

[1] EÜ Nõukogu Direktiiv 2013/51/Euratom

[2] WHO, 2011. Guidelines for Drinking-water Quality, 4th Edition. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

([http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf)).

[3] ICRP, 2008. 2007 Recommendations of the International Commission of Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).

[4] French Academies Report, 2005. La relation dose-effet et l'estimation des effets cancérogènes des faibles doses de rayonnements ionisants.

(<http://www.academie-sciences.fr/activite/rapport/rapport070405.pdf>).

[5] Kiirguskeskus, 2005. Joogivee radioaktiivsusest põhjustatud terviseriski hinnang.

(<http://rahvatervis.ut.ee/bitstream/1/921/1/Kiirguskeskus2005.pdf>).

[6] Forte M., Rusconi R., Trotti F., Caldognetto E., Airoldi R., Realini F., Risica S., Bagnato L., 2009. Estimation of concentrations of radionuclides in Estonian ground waters and related health risks. Technical Report.

([http://www.terviseamet.ee/fileadmin/dok/Keskkonnatervis/vesi/TF\\_radionukliid/Technical\\_Report\\_2.pdf](http://www.terviseamet.ee/fileadmin/dok/Keskkonnatervis/vesi/TF_radionukliid/Technical_Report_2.pdf)).



# Viited:

- [7] Terviseamet, 2009. Projekti „Eesti põhjavees radionukliidide kontsentratsiooni ja sellest tingitud terviseriskide hindamine“ kokkuvõte.  
([http://www.terviseamet.ee/fileadmin/dok/Keskkonnatervis/vesi/TF\\_radionukliid/TF\\_projekt\\_kokku\\_eestik.pdf](http://www.terviseamet.ee/fileadmin/dok/Keskkonnatervis/vesi/TF_radionukliid/TF_projekt_kokku_eestik.pdf)).
- [8] Kiisk M., Suursoo S., Isakar K., Koch R., 2011. Relevant radionuclides in Estonian drinking and ground waters – measurement techniques and activity concentrations.
- [9] Statistikaamet. Rahvastiku interaktiivne andmebaas, RV09.  
(<http://pub.stat.ee/px-eb.2001/Database/Rahvastik/databasetree.asp>).
- [10] 2010. Looduslike radionukliidide sisaldavate ja looduslike radionukliididega saastunud materjalide käitlemise valikud. Ekspert hinnang.  
([http://www.envir.ee/sites/default/files/madalad\\_par.pdf](http://www.envir.ee/sites/default/files/madalad_par.pdf)).
- [11] Tervise Arengu Instituut. Tervisestatistika ja terviseuuringute andmebaas, SD21.  
(<http://pxweb.tai.ee/esf/pxweb2008/Database/Rahvastik/04Surmad/04Surmad.asp>).
- [12] Darby S. et al, 2005. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. BMJ, 330(7485):223-227.



KESKKONNAAMET

# Aitäh!