

EESTI MEREAKADEEMIA
Merendusteaduskond
Hüdrometeoroloogia õppetool

Kertu Vait
RADOONIUURING EESTI ERINEVATES TÖÖKOHTADES
Lõputöö

Juhendaja: Lia Pahapill

Tallinn 2010

Deklareerin, et olen koostanud käesoleva
Lõputöö iseseisvalt ning selle alusel ei ole
varem taotletud akadeemilist kraadi ega diplomit.
Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd,
põhimõttelised seisukohad, kirjandusallikatest
ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"...." 201.... a.

Autor.....
/allkiri ja kuupäev/

Õpperühm:

Töö vastab kehtivatele nõuetele.

"...." 201.... a.

Juhendaja.....
/allkiri ja kuupäev/

Kaitsmisele lubatud:

"...." 201.... a.

.....

Kaitstud hindede:

.....

"...." 201.... a.

.....

SISUKORD

Summary.....	5
LÜHENDITE LOETELU.....	7
SISSEJUHATUS.....	8
1. RADOON.....	10
1.1 Ioniseeriv kiirgus.....	10
1.1.1Radooni teke ja füüsikalised omadused.....	11
1.2Radooni avastamise ajalugu.....	12
1.3Radooni ohtlikkus.....	13
1.4 Radoonitasemete normeerimisest.....	15
2. RADOONIUURINGUD EESTIS.....	18
2.1 Radooniuuringud hoonetes	18
2.2 Geoloogilised uuringud.....	19
2.3 Radooniuuringud töökohtades.....	21
3.MATERJAL JA METOODIKA.....	25
3.1 Radooni mõõtmised hoonete siseõhus.....	25
3.2Radoonihelikud alad.....	26
3.3Radooni mõõtmismeetodid.....	29
3.3.1 Uuringus kasutatud mõõtmismeetod.....	29
3.4Uuritavate objektide valik.....	30
3.4.1Kiirguskeskuse uuringuankeedid.....	31
4.RADOONIUURING ERINEVATES TÖÖKOHTADES EESTIS.....	32
4.1 Mõõtmisandmete analüüs.....	32
4.2 Töökoha radoonist põhjustatud kiirgusdoosid.....	33
4.2.1 Radoonist põhjustatud efektiivdoosid.....	33
KOKKUVÕTE.....	36
KASUTATUD MATERJALID.....	38
Jonised	
Joonis 1 Radoonist tingitud kopsuvähi risk suitsetajatele ja mitte-suitsetajatele (Mjõnes., 2002).....	15

Tabelid

Tabel 1 Radooni hoonesse sattumise vältimise meetmed olenevalt pinnase radoonisisaldusest (EVS 840:2009).....	16
Tabel 2 Radoonitasemed maapealsetes töökohtades riikide järgi (IAEA, 2003).....	22
Tabel 3 Keskmised radoonitasemed Eesti erinevates töökohtades.....	32
Tabel 4 Radoonist põhjustatud efektiivdoosid töökohades.....	34
Tabel 5 Radoonist põhjustatud efektiivdoosid lastekodudes.....	35

LISAD

Lisa 1.....	41
Lisa 2 Aktiivmeetodi puhul radoonisisalduse tulemuste kohta väljastatav graafik (Pesur, 2006)	42
Lisa 3 Objektide nimekiri.....	43
Lisa 4 Uuring “Radoonitasemed Eesti erinevates töökohtades.”.....	45
Lisa 5 Radooni mõõtedetektori kasutamine (Kiirgusosakond).....	47
Lisa 6 Ankeet (Kiirgusosakond).....	48
Lisa 7.....	49
Lisa 8.....	51
Lisa 9.....	54
Lisa 10.....	56

RESÜMEE

Radon measurments in different workplaces of Estonia

Kertu Vait

Summary

Keywords: radon, indoor radon in workplaces, spa-s, minings, water treatment plants, orphanages, radon risk areas.

The present study is written in Estonian.

Radon is an invisible, odourless and tasteless natural radioactive gas, which is produced by decay of the naturally occurring radionuclide Ra^{226} , which in turn is a decay product of U^{238} .

Radon gas is by far the most important source of ionizing radiation among those that are of natural origin. Radon is a major contributor to the ionizing radiation dose received by the general population and it is the second cause of lung cancer in the general population after smoking.

The results of radon measurements in Estonia show Estonia to be below the world's average in most cases. But in our climate, where houses are built wind and temperature proof, indoor radon concentrations are dozens and even hundred-fold higher than those outdoors. Nowadays people spend 80% of the time indoors.

The International Commission on Radiological Protection recommends that the annual radon concentration for the buildings is 200 Bq/m³. The Estonian standard EVS 840:2009 also follows the international accepted radon level limit in the interior of buildings – 200 Bq/m³ (Becquerel per cubic meter).

The main objective of this work is to focus on the radon problems in different workplaces in Estonia and to estimate effective dose of ionizing radiation caused by radon.

In the winter of 2010 instantaneous radon concentrations in air were measured in 32 different institutions, including 7 water treatment plants, 14 orphanages, 11 spas and 2 mines. Plastic

detectors were used as a passive method, measurements were made in rooms where workers spent most of their time. Detectors were exposed for 2 months.

The radon concentrations in mines were generally low, because of a good ventilation.

In spas the indoor radon concentrations were also generally low, ranging from 45 Bq/m³ to 127 Bq/m³ of indoor air, with an overall average of about 85 Bq/m³.

The radon concentrations were higher in water treatment plants that use groundwater, stations that use surface water were not exceeding safety standards. Concentrations stayed in the range of 80 Bq/m³ to 1551 Bq/m³.

Most concentrations in orphanages were generally low. However, in single rooms of 6 orphanages radon concentrations were over 200 Bq/m³. Average was about 140 Bq/m³. The highest result, 432 Bq/m³, was from Maarjamäe orphanage.

Further studies should also be directed to workplaces because of the lack of respective data. In this study only 14 orphanages were measured- therefore there are hundreds of orphanages in Estonia which also need to be measured.

The calculated annual effective doses for employees ranged from 0,5 to 7,7 mSv and in orphanages from 1,4 to 4,2 mSv. In orphanages the same transition factors were used as in the dwellings.

LÜHENDITE LOETELU

UNCEAR – Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni Aatomikiirguse Mõjude Teaduskomitee

ICRP- Rahvusvaheline Kiirguskaitse Komisjon

IAEA – Rahvusvaheline Aatomienergiaagentuur

WHO – Maailma Tervishoiuorganisatsioon

Bq/m³ – bekerelli kuupmeetri kohta

mSv – millisiivert

mSv/a – millisiivert aastas

Rn – radoon ja tema tütarproduktid

SISSEJUHATUS

Radoon on üks meid ümbritsevas keskkonnas eksisteerivatest ioniseeriva kiirguse allikatest. Normaaltingimustes annab ta üle poole saadavast kiirgudoosist.

Radoonist põhjustatud kiirgusdoosist rääkides peetakse silmas peamiselt siseõhu radooni. Maakoorest väljapääsenud radoon hajub välisõhus, keskmiseks maailma välisõhu radooni tasemeks on hinnatud 10 Bq/m^3 (UNCEAR, 1993). Eestis tehtud mõõtmiste põhjal väidetakse, et meie välisõhus on enamikul juhtudest radooni alla maailma keskmist. Kuid meie kliimas, kus maja tuleb ehitada tuult ja soojapidav, on radooni sisaldused siseruumides kümneid ja isegi sadu kordi suuremad kui väljas (Pahapill, 1999). Ning lisaks tõsiasi, et inimene veedab tänapäeval 80% oma elust siseruumides.

Tänu aluspõhja kivimites sisalduvale uraanirikkale diktüoneemakildale kuulub Eesti kõrge siseõhu radoonitasemega riikide hulka. Juba enam kui 20 aastat toimunud süstemaatiliste radooniuuringute tulemusena on välja selgitatud radooniohtlikumad piirkonnad ja koostatud esialgne radooni riskialade kaart (Petersell jt, 2005), alates 2000. aastast eksisteerib meie riigis ka ehitusstandard ehitavate hoonete radoonitasemele – 200 Bq/m^3 (EVS 840:2000). Uurimustöö toimub peamiselt kahes valdkonnas: ühelt poolt geoloogilised uuringud pinnaseõhu radoonisisalduse selgitamiseks ja teisalt radooni aktiivsuskontsentratsioonide mõõtmised hoonetes. Tänapäevaks enam kui 2000 majas tehtud mõõtmised hõlmavad peamiselt elamuid, töökohtadele on pööratud vähem tähelepanu. Eraldi töökohtadele pühendatud uuringutena saab käsitleda 2005. aastal Tallinna Ülikoolis kaitstud magistritööd radooniohtlike alade lasteasutuste kohta (Pesur, 2005) ning Eesti Mereakadeemias valminud lõputööd radoonist töökohtadel (Virak, 2008) ja Tallinna lasteaedades (Preiman, 2009). Nimetatud töödes oli peatähelepanu pööratud radooniohtlike piirkondade tööpaikadele. Kuid samas on olemas ka töökohti, kus võib eeldada kõrgemat radoonitaset tulenevalt töö või töökoha iseloomust – sellised tööpaigad on allmaakaevandused ja- ehitised, veekeskused ning pumbajaamad. Viimastes on võimalikud kõrgendatud radoonisisaldused põhjustatud suurema radioaktiivsusega põhjaveest, meil on selliseks vesi kambrium-vendi horisondist (Joogivee..., 2005).

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on pöörata tähelepanu radooniprobleemile meie erinevates töökohtades ja hinnata neis radoonist põhjustatud efektiivdoose.

Lähtuvalt töö eesmärgist püstitati järgnevad tööhüpoteesid:

1. Milline on siseõhu radoonisisaldus kaevandustes (seni puuduvad mõõtmistulemused radoonisisalduse kohta meie allmaakaevanduste õhus)?

Tööhüpotees: meie allmaakaevandustes võib esineda kõrgeid radoonitasemeid.

2. Milline on siseõhu radoonisisaldus veekeskustes?

Tööhüpotees: veekeskustes on kõrgeid radoonitasemeid.

3. Kas põhjavett või pinnavett kasutavates pumbajaamades võivad radoonitasemed olla erinevad?

Tööhüpotees: veepuhastusjaamades, mis kasutavad põhjavett, on tasemed kõrgemad, kui neis, mis kasutavad pinnavett.

4. Millised on radoonisisaldused meie lastekodudes (lastekodude kohta pole seni mõõtmistulemusi)?

Tööhüpotees: enamikus mõõdetud lastekodudes vastab radoonisisaldus standardile.

1. RADOON

1.1 Ioniseeriv kiirgus

Nii inimene kui teda ümbritsev aine koosneb aatomitest. Kõik aatomid on sarnase ehitusega: nad koosnevad tuumast ja selle ümber tiirlevatest elektronidest. Aatomituumad koosnevad prootonitest ja neutronitest ning on tavaliselt väga püsivad. Kuid mõnedele aatomituumadele on omane iseeneslikult laguneda. Selle lagunemise käigus tekivad uued tuumad ning vabanevad suure energiaga osakesed ja elektromagnetiline kiirgus (gammakvandid). Aatomituumade võimet iseeneslikult laguneda nimetatakse radioaktiivsuseks ja selliseid aatomituumi radionukliidideks.

Vabanenud osakesed ja gammakvandid on võimelised ioniseerima ümbritsevat ainet. Seepärast nimetatakse vabanenud osakeste ja gammakvantide voogu ioniseerivaks kiirguseks. Radioaktiivsel lagunemisel tekib põhiliselt kolme liiki ioniseerivat kiirgust alfa-, beeta- ja gammakiirgus.

Alfakiirgus on kahest prootonist ja kahest neutronist koosnevate nn alfaosakeste voog. Alfaosakesed omavad suurt energiat, on suhteliselt rasked ning neelduvad aines kiiresti. Näiteks paberileht on nende jaoks läbimatu.

Beetakiirgus on suure energiaga elektronide voog. Beetakiirgus on palju suurema läbimisvõimega. Elektronide neelamiseks on vaja mitme millimeetri paksust plastmassilehte.

Gammakiirgus on gammakvantide voog. Gammakvandid on väga suure läbimisvõimega ja neid suudab peatada alles 5 sentimeetri paksune seatinakiht või poolemeetrine betoonikiht

Erinevate kiirguste bioloogiline toime on erinev: suurima bioloogilise toimega on alfaosakesed. Igal radionukliidil on oma keskmine eluiga, mida väljendatakse poolestusaja kaudu. Poolestusaeg on ajavahemik, mille kestel jõuab laguneda pool esialgsest radionukliidide arvust. Radionukliidide poolestusajad on väga erinevad, alates sekundi tuhandikest kuni miljardite aastateni.

Radionukliidid võivad esineda puhtal kujul või mõne aine koostises. Kui aines on radionukliide suurel hulgal, nimetatakse seda ainet radioaktiivseks aineks. Olenevalt aines sisalduvate radionukliidide hulgast ja nende poolestusaja kestusest toimub aines iga ajaühiku jooksul kindel arv tuumalagunemisi. Ainele omast tuumade lagunemiskiirust nimetatakse selle aine aktiivsuseks ja aktiivsuse mõõtühik on bekerell (Bq), mis vastab ühele tuumalagunemisele sekundis.

Aines neeldumisel annab ioniseeriv kiirgus ära teatud koguse energiat. Kiirguse toimet ainele mõõdetakse kiiritusdoosiga ehk lühidalt väljendudes doosiga. Inimese kogu keha kiiritust väljendava doosi ehk efektiivdoosi mõõtühik on siivert (Sv). Praktikas kasutatakse tihti siiverti tuhandikku (mSv) (Kiirguskeskuse teabematerjal).

1.1.1 Radooni teke ja füüsikalised omadused

Looduslik radioaktiivne gaas radoon on värvitu, lõhnatu ja maitsetu gaas, mis pärineb maakoorest ning tekib uraani lagunemisel stabiilseks pliiks. Radoon on kõrgradioaktiivne, õhust ligi 7,7 korda raskem (1 m³ kaalub 9,96 kg) ja väga mürgine väärisgaas.

Ta on looduslikus olekus leiduv element, mis levib õhu koostises või gaasina vees ja tahkestub alles temperatuuril –71 °C. Looduses tekib ta uraan-238 (²³⁸U), uraan-235 (²³⁵U) ning toorium-232 (²³²Th) radioaktiivsel lagunemisel (Lisa 1) ning koosneb vastavalt kolmest isotoobist: ²²²Rn ehk radoonist, ²¹⁹Rn ehk aktinoonist ja ²²⁰Rn ehk toroonist. Nende poolestusaeg on väga erinev, radoonil 3,82 ööpäeva, aktinoonil 3,92 sekundit ja toroonil 55,6 sekundit. Kuna aktinooni ja torooni poolestusaeg on väga lühike, hõlmab ²²²Rn põhjustatud radioaktiivne kiirgus kogu radooni päritoluga kiirgusdoosist üle 93% (UNCEAR, 1993).

Radoon on peamine looduskiirguse allikas. Inimese elukeskkonnas võib sellele lisanduda ehitusmaterjalidest ja sügavamate veekihtide majandus- ja joogiveest eralduv radoon. Pinnases ja ehitusmaterjalides tekib radoon nendes leiduva ²³⁸U tütarelemendi raadiumi (²²⁶Ra) radioaktiivsel lagunemisel. Tekkivast radoonist eraldub pinnast või ehitusmaterjali moodustavate tahkete osakeste vahelisse õhku üldjuhul 15–40%. Kui palju radooni eraldub, oleneb kivimi (või ehitusmaterjali) poorsusest ja lõhelisusest: mida poorem ja lõhelisem,

seda rohkem eraldub. Ülejäänud radoon jääb pinnase tahketesse osakestesse või kivimisse, kus temast edasisel radioaktiivsel lagunemisel tekib stabiilne plii-isotoop ^{206}Pb .

Vees kujuneb radoon nii otse vees lahustunud kui ka veekihti moodustavates kivimites leiduva raadiumi radioaktiivsel lagunemisel (Petersell, 2008).

1.2 Radooni avastamise ajalugu

Rohkem kui sada aastat tagasi, täpsemalt 1895.a. avastas Würtzburgi Ülikooli professor Wilhelm Conrad Röntgen kiired, mida ta hakkas nimetama x-kiirteks (hiljem tema nime järgi tuntud ka kui röntgenkiired). Juba järgmisel aastal avastas prantsuse füüsik Henry Becquerel uraanisoola uurides loodusliku radioaktiivsuse. Edasisel kiirguste uurimisel olid olulise tähtsusega Marie ja Pierre Curie tööd ning Ernst Rutherfordi avastus, mis näitas, et magnetväli lahutab raadiumist lähtuva kiirguse kolmeks komponendiks: α -, β - ja γ -kiirguseks, millest viimane on oma olemuselt lähedane x-kiirtele; α ja β aga kujutavad endast laetud osakeste voolu, hiljem avastati veel neutronite vool.

Esimest korda kasutati röntgenkiirgust meditsiinilises diagnostikas vähem, kui kuus kuud pärast selle avastamist 1895.aastal. Niisiis mõisteti kiirguse kasulikkust väga vara, sellega koos selgus aga ka kiirguse võimalik ohtlikkus arstide ja kirurgide jaoks, kes 1900. aastate alguses said teadmusest kiirguse üledoose (Kiirgus..., 2007).

Saksa arst ja loodusuurija Paracelsus juhtis juba 16. sajandil tähelepanu hõbedakaevurite kopsuhaigustele Schneebergis Saksamaal. Selle haiguse, mida hiljem hakati kutsuma „Schneebergi haiguseks“, sagedus tõusis 17. ja 18. sajandil nii kõrgele, et hakati eelistama lahtiste hõbeda-, vase- ja koobaltikaevanduste kasutamist. 1879. sajandil tunti haigus ära kopsuvähina.

Schneebergis korraldatud uurimised, 1902. aastal näitasid radooni esinemist suurtes kogustes. Siitpeale on pärit ka väide, et radooni kontsentratsioon ja kopsuvähki haigestumine on omavahel seotud. See väide leidis kinnitust 1920-ndail aastail korraldatud täpsemates uurimustes Schneebergis ja teistes kaevandustes, näiteks Böömimaal, kust pärinesid ka mineraalid, mida kasutas oma uurimustes Marie Curie. Need uurimistulemused ei olnud siiski

piisavad üldise heakskiidu saamiseks, sest osa teadlasi kirjutasid kopsuvähi tekke teiste tegurite arvele.

Uraani kaevandamisne hoogustus alates 1940-ndatest. Uraanikaevandustest hakati radooni taset üldiselt mõõtma alles 1950. aastal.

1951. aasta katsed loomadega näitasid, et radooni mõju neile oli kantserogeene. Epidemioloogilised uurimused kaevurite seas 1960-ndatel aastatel kinnitasid sama ka inimeste puhul.

1907. aastal toonitas Nobeli preemia laureaat E. Rutheford, et me kõik hingame iga päev radooni sisse. Alles 1956. aastal (Rootsis) tehti esimesed majade siseõhus sisalduva radooni mõõtmised aga nende käigus mõnedes hoonetes saadud suured mõõtmistulemused ei leidnud peaaegu üldse rahvusvahelist kajastust. Paljudes riikides korraldatud süstemaatilised uurimused elamutes ja ühiskondlikes hoonetes näitasid alles kaksikümmend aastat hiljem, et radooni leidub kõikjal ning, et saadava kiirguse hulk võib olla väga suur - võrreldes kaevandustes mõõdetuga (WHO Regionaalbüroo, 1997).

Kuni 1970-ndateni vaadeldi radooni ja tema tütar nukleiidide, kui radioaktiivsusohtu tervisele, mis esineb üksnes kaevandamisel ja uraanimaagi töötlemisel. Nüüdseks on see arusaam märgatavalt muutunud. Seoses energiakriisiga 1970-ndatel aastatel, energia säästmiseks mõõduka ja külma kliimaga riikides kasutusele võetud meetmed õhuvahetuse vähendamiseks hoonetes tõid kaasa järsu siseõhu radoonitaseme tõusu. Radoon ei saanud mureks mitte ainult maa-alustes kaevandustes, vaid ka hoonetes, mis asusid kõrgendatud radoonisisaldustega pinnaste (geoloogilise radooniriski) piirkondades või majades, mille ehitusmaterjalid sisaldasid märkimisväärselt raadiumirikkeid komponente (IAEA, 2003).

1.3 Radooni ohtlikkus

Radiobioloogia eksperdid on enam-vähem ühisel arvamusel, et kiirguse mõju inimese tervisele on võrdeline doosi suurusega - seda nii suurte kui ka väikeste dooside puhul. Tinglikult võib inimese poolt saadava kiirgusdoosi jagada kaheks: looduslikest ja tehislisest kiirgusallikatest põhjustatuks.

UNSCEAR väidab, et kuni ¼ inimkonnast võib suure tõenäosusega surra vähkkasvajate kätte, kuid ainult 4% nendest surmadest võib panna ioniseeriva kiirguse arvele (WHO, 2005). Enamus neist on põhjustatud looduslikust kiirgusest, mille üle inimesel pole mitte mingit kontrolli. Kuigi looduskiirguse allikate üle puudub kontroll, on erinevate tehniliste meetmetega võimalik vähendada kiirguse mõju.

Üks levinumaid looduskiirgusest tulenevaid terviseriske on radoonist tingitud. Peamine radoonistenev terviserisk inimesele on seotud hingamisteede- ja kopsuvähiga. Radoon satub organismi sissehingatava õhu kaudu. Organismis jätkub radooni ning selle tütarproduktide edasine lagunemine, mille tulemusena vabaneb alfa-kiirgus. Alfa-kiirguse läbitungimisvõime on küll väike, kuid selle suhteline tervisekahjulikkus ehk kiirgusfaktor on 20 korda suurem kui gamma-kiirgusel. Väliskeskkonnast pärinev kiirgus jääb pidama peamiselt surnud rakkudest koosnevas naha välispinnas. Elusrakkusid võib alfa-kiirgus kahjustada siis, kui kiirgav nukliid satub kaitseta epiteeli rakkudele bronhides ja kopsu alveoolides.

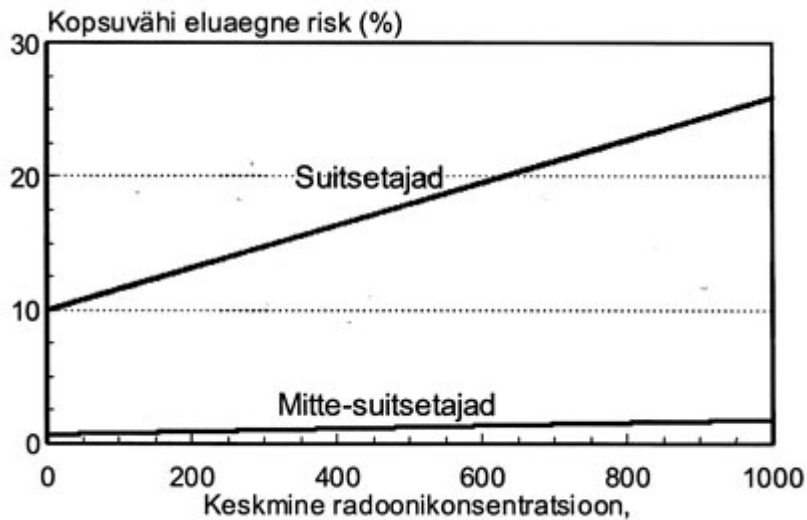
Radooni peetakse teiseks kopsuvähi tekitajaks suitsetamise järel. Tuleb rõhutada suitsetamise ja radooni kumulatiivset mõju. Lisaks suitsu enda mõjule, lisandub suitsu osakestele kinnitunud radooni tütarproduktide poolt eraldatav kiirgus ning radoonist pärinev kiirgus.

Euroopas ja Põhja-Ameerikas viimastel aastakümnetel elanikkonna hulgas läbi viidud meditsiinilised uuringud tõestavad kopsuvähi ja kõrge radoonikonsentratsiooni vahelist seost. Selgunud on nüüdseks ka suitsetamise ja radooni sünergism kopsuvähi tekkel.

Seetõttu, et varasemate epidemioloogiliste uuringute käigus ei eristatud suitsetajaid ja mitte-suitsetajaid, oli keeruline vastata küsimusele, milline on ainult radoonist põhjustatud kopsuvähi risk. Rootsis avaldati 2003. aastal sealse Karolinska Instituudi epidemioloogilise uuringu tulemused, mis haarasid enda alla 436 kopsuvähi juhtu patsientidel, kes polnud kunagi suitsetanud (kontrollgrupp 1650 inimest).

Rootsi teadlased väidavad nimetatud uuringu põhjal, et siseõhu radoon põhjustab aastas keskmiselt 18% kõigist kopsuvähijuhtudest nende riigis, millest omakorda 90% on seotud suitsetamisega ja 10% juhtudest on tegemist üksnes radoonist põhjustatud kopsuvähiga (Mjones., 2002).

Joonis 1 Radoonist tingitud kopsuvähi risk suitsetajatele ja mitte-suitsetajatele (Mjõnes., 2002).



Kopsuvähk on Eestis sagedaseimaks vähisurma põhjuseks moodustades neist 21%. Eesti Vähiregistri andmeil registreeritakse meil keskmiselt 700 uut kopsuvähijuhtu aastas. Mitu uut haigusjuhtu neist võiks olla põhjustatud radoonist elamutes? Sellele küsimusele on püütud vastata tuginedes riikliku uuringu käigus saadud näitajatele erinevate radoonikonsentratsioonide statistilisest jaotusest meie elamutes ja Karolinska Instituudi epidemioloogilisele uuringule radoonist tuleneva kopsuvähi riski kohta. Selgub, et radoon meie kodudes põhjustab 12% ehk ligikaudu 90-100 uut kopsuvähijuhtu aastas, millest omakorda 87% moodustab see osa (32%) elanikkonnast, kes suitsetab ja kõigest 13% langeb mitteduitsetajate arvele (Pahapill. 2004)

Võib tõdeda, et lihtsaim viis radoonist tuleneva terviseriski vähendamiseks on suitsetamisest loobumine. Inimese enda otsustada on, millisesse radooniriski kategooriasse ta ennast ja oma lähikondseid asetab.

1.4 Radoonitasemete normeerimisest

Enamikes Euroopa riikides on kehtestanud radooni piirväärtused elamutele ja töökohtadele. Erinevatel riikidel on need isesugused, jäädes vahemikku 150 Bq/m³ – 1000 Bq/m³ sõltuvalt sellest, kas tegemist on olemasolevate või planeeritavate hoonetega, elu- või tööruumidega.

Põhjamaades (Taani, Soome, Island, Norra ja Rootsi) soovitatakse tegutsemistasemeks nii olemasolevates elamutes kui ka maapealsetes töökohtades 400 Bq/m³, 200 Bq/m³ aga uurimistasemena olemasolevatele ja soovitatava ülemise piiritasemena uutele hoonetele (Naturally..., 2000).

Vastavalt Eesti standardile EVS 840:2009 “Radooniohutu hoone projekteerimine” peab hoonete elu-, puhke- ja tööruumides aasta keskmine radoonisisaldus olema väiksem kui 200 Bq/m³ ning gammakiirguse intensiivsus alla 0,5 µSv/h. Vastavalt standardile tuleb rakendada radoonitõkestusmeetodeid kui pinnase õhu radoonisisaldus on kõrge või ülikõrge.

Tabel 1 Radooni hoonesse sattumise vältimise meetmed olenevalt pinnase radoonisisaldusest (EVS 840:2009)

Pinnase radoonisisalduse tase	Pinnase radoonisisaldus (Bq/m³)	Meetmed radooni hoonesse sattumise vältimiseks
Madal	Alla 10 000	Tavaline hea ehituskvaliteet
Normaalne	10 000 – 50 000	Tavaline hea ehituskvaliteet, maapinnale rajatud betoonplaadi ja vundamendi liitekohtade, pragude ja läbiviikude tihendamine, maapinnast kõrgemal asuva põrandaaluse tuulutus
Kõrge	50 000 – 250 000	Tarindite radoonikindlad lahendused (õhutihedad esimese korruse tarindid ja/või alt ventileeritav betoonpõrand või maapinnast kõrgemal asuva põrandaaluse sundventilatsioon)
Ülikõrge	Üle 250 000	Eriti hoolikas ehituse teostus, kompleksed radoonikaitse meetmed

Rahvusvaheline Kiirguskaitse Komisjon (ICRP) soovib võtta tarvitusele meetmed siseõhu radooni vastu nii elu- kui ka tööruumides. ICRP väljaanne nr 103 soovib kõrgeimaks piirväärtuseks elumajadele 600 Bq/m³ ning töökohtadele 1500 Bq/m³. (Tänavsuu, 2008).

Eestis puudub standard, mis reguleeriks radoonisisaldust kaevanduste õhus. ICRP 1985.a. aruandes soovitatakse kaevandutööde puhul lähtuda aasta keskmisest väärtusest 1800 Bq/m³

2000 töötunni puhul. (ICRP 47, 1985). Käesolevas töös on võetudki kaevanduste puhul aluseks see kriteerium.

Euroopa Liidu direktiivis 96/29 EURATOM on väljatoodud, et ioniseeriva kiirguse kiiritus võib viia tervist kahjustavate efektideni inimestel. Direktiiv toob esile nõuded, töötajate ja üldsuse kaitseks ioniseeriva kiirguse eest. Komisjon märgib, et kõik kiirguskaitsega seotud probleemide juhul tuleb lähtuda erinevat liiki riskide suhtelisest osakaalust.

Kiirgusega kokkupuutuvate töötajate efektiivdoosi piirmäär on 100 millisiivertit (mSv) viie järjestikuse aasta jooksul, kusjuures ühe aasta efektiivdoos ei tohi ületada 50 mSv. Liikmesriigid võivad määrata aastadoosi suuruse. (Nõukogu direktiiv, 96/29/EURATOM).

2. RADOONIURINGUD EESTIS

2.1 Radooniuringud hoonetes

Radooniprobleemid Eestimaa hoonetes tõusid avalikkuse huviorbiiti 1988. aastal seoses nn Sillamäe juhtumiga, kus lastel esinenud juuste väljalangemise ühe võimaliku põhjusena oli kõne all väidetav kõrge radoonitase Sillamäel.

Eestis alustati radooniuringutega aastatel 1989-1991, mil viidi Ehituse Teadusliku Uurimise Instituudi poolt läbi mõõtmised enam kui 400 majas. Maksimaalseks radooni kontsentratsiooniks saadi 6700 Bq/m^3 ning 4 % tulemustest ületas 800 Bq/m^3 .

Tulemustest järeldati, et peamine radooniallikas on pinnas hoone all. Aastatel 1994-1998 läbiviidud radooniuring 700 erinevas hoones (peamiselt elamud) andis keskmiseks radooni kontsentratsiooniks 102 Bq/m^3 . Kõrgeim mõõtetulemus saadi Kundast – $12\,000 \text{ Bq/m}^3$ (Pahapill, 2004).

1998-2001 viidi läbi radooniuring 515 juhuslikult valitud majas üle Eesti. Selle uuringu käigus saadi keskmiseks radoonisisalduseks ruumides 103 Bq/m^3 ning neid tulemusi kasutati Eesti valdade radoonikaardi koostamisel (Pahapill, 2001).

Aastatel 2002-2004 kogus Kiirguskeskus koostöös Rootsi Kiirguskaitse Instituudiga, Rootsi ja Eesti Geoloogiakeskusega projekti “Radoon majades” raames radooniriski kaardi algmaterjale ning teavitas ka elanikkonda radooniga seotud probleemidest. Selle projekti tulemusena valmis “Eesti radooniriski kaart”. (Peteresell jt, 2004).

Radooniriski kaardist lähtutakse uute majade ehitamisel, aga kindlasti ka vanade renoveerimisel.

2006. aasta suvel valmis Kiirguskeskuse poolt projekt „Radoonisisaldus radooniohtlike alade lasteasutuste siseruumides”. Projekti eesmärgiks oli otseste mõõtmiste abil välja selgitada ja kaardistada siseõhu radooni kontsentratsioon lasteasutustes 30 radooniohtlikumas vallas ja linnas üle Eesti. Radoonisisaldust uuriti kokku 208 hoones. Mõõtmisi tehti selleks, et välja töötada meetmeid töötajate ning eelkõige laste kaitsmiseks radoonist põhjustatud ülemäärase kiirituse eest. Keskmise radoonisisaldus oli üle lubatava piirväärtuse 200 Bq/m^3 kokku 66 uuritud hoones. 36 hoones, kus keskmine radoonisisaldus oli alla piirväärtuse, ei vastanud

nõuetele üks või mitu ruumi. Radoonisisaldus oli madalam kõikides ruumides kokku 106 mõõdetud hoones. Seega probleeme radoonisisaldusega eksisteeris 49% mõõdetud hoonetest. Selline tulemus oli eeldatav, kuna samadest piirkondadest oli kõrgeid tulemusi saadud ka elumajadest. Projekti tulemused on üheks aluseks soovitusliku aktsioonitaseme väljatöötamisele töökohtade jaoks, mille ületamisel tuleks tarvitusele võtta abinõud radoonist tuleneva terviseriski vähendamiseks. (Pesur, 2006).

Projekti “Radooni kaardi lõpetamine – radoon hoonete siseõhus piirkondades, kus andmed radoonitasemete kohta puuduvad” eesmärk oli määrata radooni sisaldus piirkondades, kus seni läbi viidud uuringute käigus pole mõõtmisi teostatud ning millede kohta radoonitasemete andmed puuduvad (hinnanguliselt 48 valda ja linna). Projekti raames mõõdeti igas uurimata vallas ja linnas radoonisisaldust umbes 10 elumajas ning 1-2 lasteasutuses. Projekti käigus töötati välja olemasolevate hoonete radoonisisalduse Kiirguskeskuse poolset soovitusi. Lisaks loodi elektrooniline andmebaas, kuhu kanti antud uuringu ning sellele eelnevate radooniuuringutega kogutud andmed. (Tänavsuu, 2008).

2005 aastal valminud uurimustöö “Joogivee radioaktiivsusest põhjustatud terviseriski hinnang”, üldiseks eesmärgiks oli anda hinnang elanike terviseriskile, mis on põhjustatud radioaktiivse joogivee tarbimisest ning analüüsida olukorda ja teha ettepanekuid edasiste tegevuste kavandamiseks. Joogivee tarbimisest põhjustatud elanikudoosi komponendi hindamisel leiti, et EL direktiivi 98/83/EC käsitluse järgi saab kambrium-vendi vett tarvitav täiskasvanud inimene 730 l joogivee aastasest tarbimisest oodatava efektiivdoosi 0,02-0,95 mSv, mis moodustab keskmisest elaniku kogudoosist kuni 34%.

Analüüsi tulemusel leiti, et elaniku kogudoos jääb vahemikku 1,5-6,7 mSv/a. Siia on arvestatud keskmine radoonist põhjustatud efektiivdoos. Piirkonniti võib ühe või teise kiirgusallika osakaal kogudoosis olla erinev (Joogivee...,2005).

2.2 Geoloogilised uuringud

Pinnaseõhus määrati radoonisisaldust esimest korda 1993 aastal (Naumov..., 1993).

Süsteematisel radooni sisalduse uuringud Eesti pinnaseõhus algasid 2000. a koostöös Rootsi ja Eesti Kiirguskeskuse ning Rootsi Geoloogiateenistusega.

Ajavahemikus 2001 kuni 2004 koostati ja avaldati trükis Eesti Rn-riskikaart mõõtkavas 1:500000 (Petersell jt. 2004), 566 uuringupunkti alusel, mis sisaldab seletuskirja, graafilisi

lisasid kus on toodud Eesti pinnaste radoonisisaldused ja looduskiirgus. Seletuskirjast selgub, et kõrge ja eriti kõrge Rn sisaldusega alad esinevad Põhja-Eesti klindivööndis: vahetult diktüoneemakilda ja fosforiidi avamuste piires, astangute vahelistel ja nende all esinevatel nõrgalt mere suunas kaldu tasastel aladel, kuid samuti reas kohtades klindipealsetel tasastel aladel kuni 5-15 km laiuses lubajkiiviplatoo vööndis.

Põhja-Eesti klindivööndis paiknevad nii linnad (Tallinn, Maardu, Kunda, Sillamäe, Narva) ja asulad (Ülgase, Püssi, Varja, Toila jt.) kui ka külad ja üksikud talumajad. Selles vööndis ületab Rn sisaldus pinnaseõhus 1 m sügavusel maapinnast enam kui 50%-s vaatluspunktides soovitusliku piirväärtuse kuni 8-kordselt, üksikjuhtudel kuni 42-kordselt.

Kõrge Rn sisaldusega alasid esineb samuti Ida- ja Lõuna-Eestis, kuid sagedamini Lõuna-Eestis Devoni kivimite levilal – Luunja, Põlva, Tsooru, Taagepera, Viljandi jt piirkondades. Viimastele on iseloomulik, et intensiivne täiendav radooni migratsioon pinnase ülemisse kihti toimub kohati sügavamatest (>1.2-1.5 m). kihtidest.

Normaalse Rn sisaldusega alad valdavad Lääne-Eestis ja Lääne-Eesti saartel. Nendes piirkondades ületab Rn sisaldus pinnaseõhus lubatu ainult üksikutes punktides (Kärdla ringstruktuur, Rapla piirkond jt) tavaliselt kohalike jääjärvede aleuriitide ja savide levilatel. (Petersell jt, 2004).

Alates 2004.a toimuvad radooniriski uuringud juhuslike tellimustöödena. Tellijateks on : omavalitsused, kinnisvaraarendavad firmad, ettevõtted ja kruntide valdajad ning alates 2007. a samuti Keskkonnaministeerium.

Lisaks eelpoolmainitud kaardile on koostatud:

2005.–2006. a Ida-Virumaa Rn-riski kaart mõõtkavas 1:200 000,

2004.–2005. a Viimsi valla Rn-riski kaart mõõtkavas 1:50 000.

2008. a. Harjumaa Rn-riski kaart mõõtkavas 1:200 000.

Alates 2004. aastast on Rn-riski uuringud täiendavalt tehtud enam kui 50 kinnistul, millede pindala jääb tavaliselt <0,5 km² (ligi 700 uuringupunkti).

2.3 Radooniuringud töökohtades

Ohtlik radoon võib laialt levida paljudes töökohtades. Enamasti hõlmab see töökohti maa-all, nagu metrood, tunnelid, kaevandused, suletud kaevandused (turismiobjektina), ja veekeskused. Suurem osa töökohtadest asub siiski maa peal. Kuid ka poed, tehased, koolid ja kontorid on mõjutatud radoonist.

Ehitistes, kus on kõrge radooni tase, pääseb radoon majadesse maapinnast tugeva gaasina imbudes ning tungides ehitistesse läbi põranda pragude. Selline gaasi tulv tekib, sest majad on kergelt alarõhulised võrreldes ümbrusega. Selline alarõhk tekib, sest õhk maja sees on soojem kui väljas, eriti mõõduka temperatuuriga ja külmades piirkondades. Enamus ehitusmaterjale sisaldab ise natuke radooni, kuid teatud tüüpi ehitusmaterjalid võivad olla olulised siseõhuradooni allikateks.

Radooni tase võib olla kõrge põhjavees, eriti aladel, kus esineb graniiti. Kõrge radoonitase võib olla ka pesumajades ja restoranide köökides, selletõttu, et kasutatakse põhjavett. Enamik munitsipaalveevärgist võtab oma vee pinnaveekogudest ning kuna need toituvad peamiselt vihmaveest, siis sel puhul ei teki probleeme kõrgete radoonitasemetega. Üldiselt on kokkupuude radooniga eespooltoodud töökohtades väike, kuid see võib suur olla veevõtujaamades, mis peaksid olema pideva monitooringu all. Kõrge radoonitaseme oht on kõikides maa-alustes töökohtades.

Suure radooni sisaldusega töökohti on leitud erinevates maades. Kokkuvõtte on esitatud tabelis 2. Sealt on näha, et radooni tasemed varieeruvad. Tabelis on toodud maapealsed töökohad, erinevad riigid ja töökohad ning radoonitasemed nendes töökohtades (IAEA, 2003).

Tabel 2 Radoonitasemed maapealsetes töökohtades riikide järgi (IAEA, 2003)

Töökoha tüüp	Asukoht	Vaatluste arv	Radooni kontsentratsioonid Bq/m³
Avalikud asutused	Belgia	36	10%>200
			3%>400
	Soome	155	Kesk.505
			37%>300
		400	Kesk.284
			17%>300
	USA	3901	12%>200
		2%>400	
Koolid	Belgia	421	12%>200
			2%>400
	Iraan	16	Kesk.256
			55%<100
			100<30%<400
			400<15%<1400
	Iirimaa	1762	23%>200
			max.2688
	Itaalia	486	17%>400
	USA	927	3%>150
		0,1%>1000	
		max.2500	
Lasteaiad	Itaalia	1687	15%>400
			Vahemik 6-1400
	Norra	3600	Kesk. 88
			Geom. Kesk. 44
			Vahemik 5-2800
	Sloveenia	730	Kesk. 88
		Geom. Kesk. 58	
		Vahemik 7-5750	
Erinevad töökohad	Soome	3050	Kesk. 255
			37%>300
		993	Kesk. 171
			12%>300
	Saksamaa	36	10%>1000
			20%>800
			Vahemik 25-7000
	Rootsi	150	10%>400
	Inglismaa	8000	Kesk. 100
		Max. 7500	

Eestis 2005-2006 aastal läbiviidud uuringu käigus mõõdeti radoonitaset 208 lasteasutuses (Pesur, 2006). Uuringuks valiti sellised piirkonnad, kus elamutes oli varasemalt tuvastatud kõrget radoonisisaldust. Peamiselt on radooniohtlikud Põhja-Eesti, kohati ka Lääne-Virumaa ning Tartumaa. Kokku uuriti 30 valla ja linna 208 lasteasutuse hoonet. Antud uuring viidi läbi kütteperioodil, kuid jäi mõnes piirkonnas osaliselt ka koolivaheajale, mil ruume reaalselt ei kasutatud. Uuringu eesmärgiks oli: määrata radoonikontsentratsioon lasteasutuste siseõhus. Mõõtmistulemused:

- uuringu käigus tuvastati, et peaaegu pooltes lasteasutustes ületab radoonisisaldus standardis sätestatud piirväärtust;
- keskmine radoonisisaldus oli lubatud piirväärtusest kõrgem 66 hoones;
- 36 hoones oli probleeme ühes või mitmes mõõdetud ruumis;
- radoonisisaldus vastas nõuetele 106 hoones;
- suurimad ületamised tuvastati Ida-Virumaal, kuid ka Harjumaal ning Lääne-Virumaal oli kõrgeid sisaldusi. Tartumaal olid tulemused üldjuhul madalamad. (Pesur, 2006).

2008 aastal valmis lõputöö „Radoon maapealsetes töökohtades Eestis“. Uuringusse kaasati 47 töökohta. Töö eesmärgiks oli juhtida tähelepanu radooniprobleemile Eesti maapealsetes töökohtades, tutvustada antud probleemi olemust ning Kiirguskeskuse mõõtmistulemuste alusel arvutada radoonist saadavad efektiivdoosid vaatlusalustel töökohtadel. Mõõtmistulemuste käigus tehti kindlaks, et üle pooltes antud töö käigus uuritavates töökohtades on keskmine radoonitase kõrgem kui rahvusvaheliseks normiks määratud 200Bq/m^3 . Eriti kõrged olid radooni kontsentratsioonid Vihula, Vaivara ja Tapa vallas, kus näidud küündivad isegi üle 1000Bq/m^3 .

Ilmnes ka seaduspärasus majade vanuste, milledes asuvad töökohad, ja radoonisisalduste vahel. Aastatel 1950-1980 ehitatud majades on kõrgemad radoonis sisaldused kui neile eelnevatel ja järgnevatel aastatel ehitatud majadel. See viitab ehitus kultuuri iseärasustele. (Virak, 2008).

2009 aasta uurimuses „Siseõhu radoonisisaldused Tallinna lasteasutustes“ (Preiman, 2009). uuringus oli vaatluse all 34 Tallinna lasteaeda, millest 28 kohta saadi ja analüüsiti tulemused. Keskmine radoonisisaldus oli 77Bq/m^3 . Kõige madalam mõõdetud tulemus oli 13Bq/m^3 Kadrioru lasteaias. Üksikutes ruumides kahes lasteaias saadud tulemused ületavad 200Bq/m^3 . Üks neist tulemustest saadi Mustamäe lasteaiast, kus radoonisisaldus ühes ruumis oli 264

Bq/m³, teine lasteaiast Lasnamäel, mille ühes ruumis radooni kontsentratsioon oli 251 Bq/m³. Ülejäänud lasteasutuste radoonisisaldused vastavad kehtestatud normile. (Preiman, 2009).

3. MATERJAL JA METOODIKA

3.1 Radooni mõõtmised hoonete siseõhus

Radooni taset on soovitav mõõta kütteperioodil, kuna siis on soodustatud radooni majja imbumine ning saadav tulemus peegeldab olukorda kõige usaldusväärsemalt. Mõõtmise ajal ei ole vajadust oma tavapärast eluviisi muuta - inimesed võivad elada oma igapäevast elu ning kasutada ruume harjumuskohaselt. Otstarbekas on mõõta radooni taset hoone esimesel korrusel (teatud juhtudel ka teisel korrusel) või keldrikorrusel, kui sealseid ruume kasutatakse elu- või tööruumidena. Kõrgematele korrustele radoon üldjuhul ei jõua ning seal probleemi enamasti ei esine.

Radooni ei ole võimalik tajuda, küll on teda võimalik mõõta vastavate mõõteriistadega. Iga maja õhus on mingi kogus radooni. Kuid iga maja radoonitase on individuaalne sõltuvalt geoloogilistest tingimustest, maja konstruktsioonist ja ehituse kvaliteedist ning ka elanike elustiilist (ruumide asustustihedus, ventilatsiooni aste jne.). Seepärast saab konkreetse maja radoonikontsentratsiooni määrata üksnes mõõtmistega. Tuleb silmas pidada, et radoonitase ruumides muutub ka ajas, sõltudes lisaks elanike eluviisile ka muutuvatest ilmastikuoludest, nende ööpäevastest ja sesoonsetest kõikumistest.

Radooniriski hindamiseks saab kõige õigemal mõõtmistulemusel siis kui mõõtmisperiood on küllalt pikk, hea oleks kui vähemalt 2-3 kuud. Sõltuvalt uuringu eesmärkidest võib radoonitasemed määrata mitmel erineval moel ja mitmete mõõteriistadega. Euroopas populaarne nn. alfa-tundliku filmi meetod (kus alfa-tundlikust plastikust mõõdikut eksponeeritakse mõõdetaval objektil 2-3 kuu jooksul) on kasutusel ka Keskkonnaameti kiirgusosakonnas. Korterrisse või majja pannakse 2 mõõdikut: tavaliselt üks elu-, teine magamistuppa.

Pärast eksponeerimist saadetakse mõõdikud kiirgusosakonda tagasi, kus toimub nende keemiline töötlemine. Seejärel loetakse plastikule jäänud alfaosakeste jäljed mikroskoobiga ühendatud mõõtekompleksil ja arvutatakse vastavad radoonikontsentratsioonid.

Kui 1980.ndatel aastatel oli alfa-jälg detektoritel halb maine, kuna mõned detektorid andsid lugemina kas liiga kõrge või liiga madala kontsentratsiooni, siis tänaseks on detektorite materjal selline, et filtriga detektorid annavad kõrge täpsusastmega lugemid, isegi kui radooni kontsentratsioon on kõigest 10 Bq/m³ (Clavensjö, Akerblom, 1994).

Radooni kontsentratsiooni mõõtmiseks siseruumides võib kasutada nii lühiajalist kui ka pikaajalist meetodit. Kiirguskeskus kasutab (vastavalt vajadusele) mõlemat meetodit. Lühiajalise meetodi korral paigaldatakse majja paariks päevaks elektrooniline radoonimonitor. Kuna mõõteaeg on lühike, ei saa tulemusi kasutada enamaks kui radooniprobleemi indikatsiooniks. Tegemist on aktiivmeetodiga, mille korral paigaldatakse hoonesse 2-4 päevaks radoonimonitor AlphaGuard, mis jälgib radooni kontsentratsiooni muutusi ajas. Aparaat registreerib kümne minuti keskmisi tulemusi ning hiljem on võimalik mõõteandmete põhjal saada arvutiprogrammiga graafik radooni sisalduse kõikumistest hoone siseõhus mõõteperioodi jooksul. Kuigi aparaat mõõdab pidevalt, iseloomustavad saadud tulemused siiski vaid hetkeolukorda ning annavad infot radooniprobleemi esinemise või puudumise kohta hoone siseõhus. Radoonimonitori paigaldab hoonesse Kiirgusosakonna spetsialist ning pärast mõõtmisperioodi lõppu tuleb tellijal aparaat ise Kiirgusosakonda ära tuua (kui ei ole kokku lepitud teisiti). Mõõtmistulemuste kohta väljastatakse protokoll mõõteperioodi keskmise tulemuse ning radooni sisalduse kõikumist iseloomustava graafikuga. (Kiirguskeskus). Graafikut vaata, Lisa 2.

Pikaajalise meetodi eeliseks on pikk mõõteperiood, mis tagab usaldusväärsema tulemuse. Lisaks radooni kontsentratsiooni mõõtmise vahenditele omab Kiirguskeskus seadet, mis võimaldab teha kindlaks radooni hoonesse sisseimbumise kohad. Lekkekohtade kindlaks määramine aitab efektiivsemalt rakendada kaitsemeetmeid radooni majja sisseimbumise tõkestamiseks (Kiirguskeskuse teabematerjal).

3.2 Radooniohlikud alad

Kõrge radooni tase pinnases on seotud uraanirikka diktüoneemakilda ja uraani sisaldava glaukoniitliivakivi esinemisega Põhja-Eestis ja graniidirikka moreeni levialadega Lõuna-Eestis. Mõõduka ohuga alasid esineb ka Kesk-Eestis. Radooniohtlikud alad Eestis on ära

määratud EV Standardis 840:2009 „Radooniohutu hoone projekteerimine“ (EVS 840:2009) ning on välja toodud ka trükises Radooniohutu elamu (Jõgioja, 2004).

Eesti Geoloogiakeskuse andmeil võib radoonioht elamutes esineda järgmistes Eesti piirkondades:

Tallinnast lääne pool

- 1) Pakri poolsare kirdekaldal kuni Kersaluni;
- 2) Klooga ümbruses;
- 3) Lohusalu poolsaarel kuni Põhja-Eesti paekaldani;
- 4) Laulasmaa ja Türisalu vahelisel alal paeastangust mere poole;
- 5) Vääna jõe orus paeastangute vahel;
- 6) Paeastangualusel alal Tiskrest kuni peastangu ristumiseni Paldiski maanteega, kuni kilomeetri laiusel ribal;

Tallinnas

- 7) Alal, mis ulatub Harku järvest lõunas ja kagus kuni peastanguni;
- 8) Mustamäe nõlvaalusel kuni Rahumäeni, kuni kilomeetri laiusel ribal;
- 9) Põhja pool Rahumäe ja Liiva raudteejaamade vahelist joont kuni kahe kilomeetri laiusel ribal, mis ulatub Balti jaamani, Toompea kungas välja arvatud;
- 10) Ida pool Lilleküla ja Järve raudteejaamade vahelist joont kuni endise tsellulooditehaseni;
- 11) Paekalda-alusel alates endisest tselluloositehasest kuni peastangu ristumiseni Vana-Narva maanteega, kuni poole kilomeetri laiusel ribal;
- 12) Marrjamäelt ida pool paikneval paeastangualusel kuni kilomeetri laiusel ribal;
- 13) Pirita jõe orus alates Nehatust kuni botaanikaaiani;
- 14) Pirita jõe orust ida pool paikneval paeastangualusel, kuni kahe kilomeetri laiusel ribal;

Tallinnast ida pool

- 15) Viimsi poolsaare keskosas (tuumikus) Mähest põhja pool;
- 16) Maardu linnas ja Kallaveres koos ümbruskonnaga;
- 17) Põhja pool Vana-Narva maanteed, alates Jõelähtmest kuni Jagala jõeni kuni nelja kilomeetri laiusel ribal;
- 18) Paeastangualusel ida pool Jagala jõge, kuni kilomeetri laiusel ribal, mis ulatub kuni

punktini

- 19) Mõlemal pool Vana-Narva maanteed (kuni poole kilomeetri laiusel ribal lõuna ja kuni kilomeetri laiusel ribal põhja pool), alates paekalda mahasõidust ida pool Jägala jõge kahe kilomeetri pikkusel lõigul kuni mereni;
- 20) Punktist 19 kuni Kolgano paeastangu all ja sealt edasi kuni Võsuni mattunud paeastangu all kuni poole kilomeetri laiusel ribal;
- 21) Võsu joonest kuni Selja jõeni, liivaalade piirist lõunas kuni paeastangu või järsakuni (mattunud paeastanguni), kuni kilomeetri laiusel ribal;
- 22) Selja jõe mattunud orus kuni 100 meetri laiusel ribal;
- 23) Selja jõest kuni Kunda jõeni liivaalade piirist lõuna pool kuni paeastangu või järsakuni, kuni kilomeetri laiusel ribal;
- 24) Kunda jõe mattunud orus kuni 500 meetri laiusel ribal;
- 25) Kunda jõest kuni Pada jõeni kitsal ribal paeastangu all;
- 26) Pada jõest ida pool merepoolse paeastangu all kuni Kalvini, kuni 200 meetri laiusel ribal;
- 27) Pada jõest ida pool maapoolse paeastangu all piki Tallinn-Narva maanteed kuni Purtse jõeni, kuni 300 meetri laiusel ribal;
- 28) Purtse asulast kuni Aa rannani looklev, kuni poole kilomeetri laiusel ribal;
- 29) Toilas, Pühajõe suudmealast lääne pool umbes 1 km² suurusel alal;
- 30) Pühajõe mattunud orus lõuna pool raudteed, umbes 1 km² suurusel alal;
- 31) Voka piirkonnas kuni 2 km² pindalaga merega rööbiti asuval alal;
- 32) Sillamäe linna all (paiguti);
- 33) Paeastangualusel kuni poole kilomeetri laiusel ribal Peeterristilt kuni Narva jõeni.

Lisaks neile ülalmainitud paikadele võib radooniohtlike alade olemasolu oletada nii põhjapool Paldiski-Tallinn-Narva raudteed ning puistangute aladel Maardu-Sillamäe lähikonnas ja kõigis mattunud orgudes kui tektooniliste rikete piirkondades Tallinnas, mille koosseisus võib olla oobolusliivakivi ja/või diktüoneemakilta või nende töötlemise jääke (Jõgioja, 2004).

3.3 Radooni mõõtmismeetodid

3.3.1 Uuringus kasutatud mõõtmismeetod

Lõputöös kasutati uuringu läbiviimiseks pikaajalist meetodit. Tegemist on rahvusvaheliselt tunnustatud passiivse meetodiga, mille korral paigaldatakse mõõdetavale objektile kaheks kuuks kaks detektorit (1 komplekt). CR-39 tüüpi plastikmaterjalist detektorid asuvad spetsiaalse piluga varustatud kaitsekarbis ($d=6$ cm). Radooni lagunemisel tekkiv alfakiirgus tekitab plastiktükile jäljed. Detektorid ise ei kiirga ning on seega täiesti ohutud. Pärast mõõteperioodi lõppu töödeldakse plastikdetektorid keemiliselt ning analüüsitakse elektroonilise mikroskoobi ja spetsiaalse arvutiprogrammi abil. Väljundparameetrina leitakse mõõteperioodi keskmine radoonisisaldus. Meetod on usaldusväärne, kuna näitab pika mõõtmisperioodi keskmist tulemust. Lähtudes eeldusest, et radooni peamine allikas on maapind, paigaldatakse detektorid esimeste korruste elu- ja tööruumidesse või ka keldrikorruste elu-, magamis- ja tööruumidesse, kui sellised ruumid on olemas. Siseruumide radoonisisalduse mõõtmiseks komplekteeritud detektorid pakitakse transportimise ajaks õhutihedasse alumiiniumkotti ning saadetakse tellijale posti teel (kui ei ole kokku lepitud teisiti) koos detektorite paigaldamise kirjaliku juhiseiga. Detektoreid on väga lihtne paigaldada ning need ei sega igapäevaelu. Pärast mõõteperioodi lõppu saadab tellija detektorid Kiirgusosakonda tagasi posti teel või toob ise kohale. Pärast analüüsimist väljastatakse saadud tulemuste kohta protokoll.

Peale detektorite eksponeerimist hoones valmistatakse detektorid ette söövitamisprotsessiks. Selleks võetakse detektori plastiktükid konteinerist välja ja asetatakse spetsiaalsesse tarvikusse. Tarvik on plastikust hoidja, kus on 12 pesa 12 detektori jaoks ning mis on varustatud perfektse sobivuse ja kinnitusega. Ettevalmistus söövitamisprotsessiks lõppeb sellega, et slaidid asetatakse söövitamistruumliisse.

Enne söövitamist valmistatakse ette söövitamisvann. Söövitamisvanni lisatakse läbi täiteaugu destilleeritud vesi ja tahke naatriumhüdrosiid. (4 liitrisse destilleeritud vette lahustati 1 kg NaOH-d). Niipea, kui ettevalmistus protsess on lõppenud pannakse söövituskarussell koos slaididega söövituskambrisse. Söövitamisprotsess kestab 4,5 tundi. Seejärel lastakse söövitamislahus välja ja neutraliseerimis lahus lisatakse söövituskambrisse. Neutraliseerimislahusesse lisatakse 200 ml 15 % äädikat ja 4 liitrit destilleeritud vett. Peale

neutraliseerimist loputatakse veel 4 liitri destilleeritud veega. Peale loputus protsessi võetakse söövituskarussell söövituskambrist välja ja jäetakse ööpäevaks kuivama.

Analüüsimiseks eemaldatakse slaidid koos detektoritega söövituskarussellist ja sisestatakse automaat mikroskoopi. Mikroskoop loendab jäljed kokku ja arvutab radoonikontsentratsiooni väärtused ning salvestab need andmebaasi. Mikroskoopi juhib arvutiprogramm.

Mõõtmise täpsuse kindlustamiseks tehakse kalibreerimiskontrolle. Mõõtemääramatuseks loetakse $\pm 15\%$.

Kasutatud mõõtmistehnika võimaldab võrrelda andmeid teiste Euroopa riikidega.

3.4 Uuritavate objektide valik

Mõõtmiskohtade valikul lähtuti asjaolust, et rahvusvaheliselt soovitatakse pöörata radooniuuringute puhul suuremat tähelepanu töökohtadele, eelkõige veekeskustele, mis kasutavad põhjavett, pumbamajadele ja töökohtadele, mis asuvad radooniohtikel aladel ning kaevandustes.

Uuringusse kaasati maapealsed töökohad, lastekodud, veekeskused, veepumbajaamad ja kaevandused. (Lisa 3). Kuigi kõige radooniohtlikumad alad on üldiselt Põhja-Eestis, võeti uurimusse objekte, mis asuvad pea kõikjal Eestis.

Uuring viidi läbi 2 kaevanduses, 14 lastekodus, 11 vee/taastusravikeskuses ja 7 veepumbajaamas.

Valikusse võeti need töökohad, kus töötajad viibivad vähemalt 8 tundi päevas kohapeal, seetõttu langesid mitmed veepuhastusjaamad välja, sest enamus kohtades on automaatsüsteemid ja töötajad käivad seal ainult ülevaatlikke kontrolle tegemas. Valituks osutunud asutustele saadeti mõõtmisi tutvustav e-mail (Lisa 4).

Detektorid paigaldati hoonetesse ruumide sobivuse alusel ja töötajate viibimise aja järgi hoones. Detektorite arv varieerus vastavalt töökoha iseärasustele ja hoone ehitusele.

Üldlevinud metoodika radoonisisalduse määramisel näeb ette, et detektorid paigaldatakse võimalikult maapinna lähedal olevatesse ruumidesse. Tavaliselt on radoonisisaldus neis ruumides suurem, kui kõrgemal asuvates ruumides. Töötajatele anti kaasa juhend, kuidas detektorid paigaldada (Lisa 5). Materjal oli eesti- ja venekeelne.

Kokkuvõtvalt võeti uuringusse 32 asutust, neist 2 kaevandust, 7 veepuhastusjaama, 9 veekeskust ja 14 lastekodu ning paigaldati 127 detektorit, neist 7 detektorit läks kaevandustesse, 63 lastekodudesse, 45 vee/taastusravikeskustesse ja 20 veepuhastusjaamadesse. Tagastati 58 detektorit lastekodudest, 35 vee/taastusravikeskustest ja 19 veepuhastusjaamadest. Kaevandustest tagastati kõik väljastatud detektorid.

3.4.1 Kiirguskeskuse uuringuankeetid

Hoone ehituslike parameetrite väljaselgimiseks anti koos detektoritega asutustesse kaasa ka uuriv ankeet (Lisa 6). Mainitud ankeet aitab leida seoseid radoonisisalduse ja hoone ehituse tüüpide ja eripärade vahel. Ankeedil on objekti asukoht, korrus millel uuritav tööruum asus, ehitise valmimisaasta, ehitise veevarustus, materjal millest on tehtud seinad, küttesüsteem, vundamendi materjal, keldri olemasolu. Selliseid ankeete on kasutatud ka eelnevates uuringutes, nii Eestis kui ka mujal maailmas. (WHO, 2009).

4. RADOONIUURING ERINEVATES TÖÖKOHTADES EESTIS

4.1 Mõõtmisandmete analüüs

Eesti radoonisisalduse standard EVS 840:2009 näeb ette, et radoonisisaldus ruumides peab olema väiksem, kui 200 Bq/m³. Antud töös lähtutakse hinnangu andmisel nimetatud piirväärtusest.

Eesti erinevate töökohtade keskmised radoonisisaldused 2010 aasta kütteperioodil on toodud tabelis 3. Kõik mõõdetud tasemed on toodud Lisas 7.

Tabel 3 Keskmised radoonitasemed Eesti erinevates töökohtades

Nr	Asutuse nimi	Keskmine radoonisisaldus Bq/m ³
1	Tallinna Lastekodu Imikute ja puuetega lastekeskus	111,0
2	Tallinna Lastekodu Kopli keskus	91,6
3	Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus	186,4
4	Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	149,7
5	Tallinna Lastekodu Nõmme keskus	128,9
6	Tartu Väikelastekodu "Käopesa"	187,0
7	Viljandi Lasteabi- ja sotsiaalkeskus	67,5
8	Asenduskodu Maidla Lastekodu	190,1
9	Tapa Laste- ja Noortekodu	199,8
10	Siimusti lastekodu "Metsatareke"	79
11	Tilsi Lastekodu	126,1
12	Narva-Jõesuu Lastekodu	126,1
13	Valga Lastekodu Kurepesa	91,9
14	Haapsalu Lastekodu	115,8
15	AS Keila Vesi	1222,6
16	AS Pärnu Vesi	80,2
17	AS Matsalu Veevärk	830,9
18	AS Sillamäe Veevärk	416,1
19	AS Tallinna Vesi	123,6
20	AS Tapa Vesi	123,6
21	AS Viljandi Veevärk	123,6
22	AS Haapsalu Kuurort	95,6
23	AS Heal	77,9
24	AS Narva-Jõesuu Sanatoorium	90,5
25	AS Sanatoorium Tervis	98,0
26	AS Taastusravikeskus Estonia	73,9
27	As Taastusravikeskus Sõprus	88,3
28	AS Pühajärve Puhkekodu	88,8
29	Kalevi Veekeskus OÜ	82,6
30	Meresuu Spa & Hotel	70,1
31	Estonia kaevandus	147,6
32	Viru kaevandus	223,8

Antud tabelist on näha, et keskmised radoonitasemed ületavad kehtestatud normi 5 asutuses.

Maksimaalne mõõdetud tulemus saadi Keila veetöötlusjaamast, kus radoonitase ulatus 1551 Bq/m³-ni ning ka tööliste puhkeruumis ületas radoonitase mitu korda lubatud, vastavalt 894 Bq/m³ kohta. Matsalu veetöötlusjaamas näitasid mõlemad paigaldatud detektorid üle lubatud taseme, vastavalt 968 Bq/m³ ja 693 Bq/m³. Sillamäe veetöötlusjaamas oli maksimumtasemeks 602 Bq/m³ ja väikseimaks 240 Bq/m³. Kaevanduses Ida-Virumaal oli kõige kõrgem radoonikontsentratsioon 290 Bq/m³ ja väikseim 165 Bq/m³, mis ei tähenda normi ületamist, kuna allmaakaevandustele ei kehti maapealsetele töökohtadele kehtestatud piirmäärad.

Maarjamäe lastekodust mõõdeti kahetsusväärset kõrge tase - 432 Bq/m³ kohta, kus on ilmselt eiratud aastast 2000 kehtinud soovitusi EPN 12.3 „Radooniohutu hoone projekteerimine”. Hooned valmisid aastal 2002.

4.2 Töökohta radoonist põhjustatud kiirgusdoosid

Radoonisisalduste ümberarvutamiseks potentsiaalseks aastaseks efektiivdoosideks kasutati antud töös ICRP üleminekuseoseid. Efektiivdoosid arvutati välja töökohtade keskmiste radoonisisalduste järgi (tabel 3.). Kasutusele võeti töötundide arv aastas antud töökohal.

ICRP tööaja arvestuse kohaselt veedab inimene oma töökohas aastas 2000 tundi. 2000 tundi põhjustab 1 Bq/m³ radoonisisalduse puhul 0,0063 mSv efektiivdoosi aastas. Arvutuse aluseks käesolevas töös on võetud 2000 tundi veekeskustele, pumbajaamadele ja kaevandustele.

Lastekodude efektiivdoosi arvutamiseks kasutati elamute üleminekukoefitsienti 0,021 mSv (8760 tundi/aastas).

4.2.1 Radoonist põhjustatud efektiivdoosid

Looduskiirgusest põhjustatud efektiivdoos jääb üldjuhul vahemikku 2,4-4 mSv/a (milliSiivertit aastas). Looduslik kiirgus koosneb peamiselt kahest komponendist, gammakiirgusest ning radoonist. Eestis elumajades tehtud uuringute alusel võib Eesti keskmiseks radoonist tingitud efektiivdoosiks pidada 1 mSv aastas.

Tabel 4 Radoonist põhjustatud efektiivdoosid töökohades

Nr	Asutuse nimi	Efektiivdoos (mSv) 2000 tunni kohta aastas
1	AS Keila Vesi	7,7
2	AS Pärnu Vesi	0,5
3	AS Matsalu Veevärk	5,2
4	AS Sillamäe Veevärk	2,6
5	AS Tallinna Vesi	0,8
6	AS Tapa Vesi	0,8
7	AS Viljandi Veevärk	0,8
8	AS Haapsalu Kuurort	0,6
9	AS Heal	0,5
10	AS Narva-Jõesuu Sanatoorium	0,6
11	AS Sanatoorium Tervis	0,6
12	AS Taastusravikeskus Estonia	0,5
13	As Taastusravikeskus Sõprus	0,6
14	AS Pühajärve Puhkekodu	0,5
15	Kalevi Veekeskus OÜ	0,5
16	Meresuu Spa & Hotel	0,4
17	Estonia kaevandus	0,9
18	Viru kaevandus	1,4

Tabelist 4 on näha, et antud töö valimis ületavad keskmist radoonist saadavat efektiivdoosi 3 veepuhastusjaama. Veekeskuste väärtused vastavad kehtestatud normile. Et saada kogu aastane efektiivdoos inimesele tuleks liita antud väärtustele ka kodus saadav efektiivdoos. Kõikide mõõdetud tasemete arvatud efektiivdoosid on toodud Lisas 8 ja 9. Keskmiste ja maksimum tasemete arvutused on toodud Lisas 10.

Tabel 5 Radoonist põhjustatud efektiivdoosid lastekodudes

Nr	Asutuse nimi	Efektiivdoos (mSv) 8760 tunni kohta aastas
1	Tallinna Lastekodu Imikute ja puuetega lastekeskus	2,3
2	Tallinna Lastekodu Kopli keskus	1,9
3	Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus	3,9
4	Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	3,1
5	Tallinna Lastekodu Nõmme keskus	2,7
6	Tartu Väikelastekodu "Käopesa"	3,9
7	Viljandi Lasteabi- ja sotsiaalkeskus	1,4
8	Asenduskodu Maidla Lastekodu	4,0
9	Tapa Laste- ja Noortekodu	4,2
10	Siimusti lastekodu "Metsatareke"	1,7
11	Tilsi Lastekodu	2,6
12	Narva-Jõesuu Lastekodu	2,6
13	Valga Lastekodu Kurepesa	1,9
14	Haapsalu Lastekodu	2,4

Lastekodude efektiivdoose arvutades kasutati samu üleminekukoefitsente, kui elamute puhul: 0,021 mSv/a 1 Bq/m³ kohta (8760 tundi/aastas).

KOKKUVÕTE

Antud lõputöös on uuritud radoonisisaldusi Eesti erinevates töökohtades. Uuringus oli vaatluse all 32 asutust üle Eesti, neist 2 kaevandust, 7 veepuhastusjaama, 9 veekeskust ja 14 lastekodu.

Kaevandustest saadud tulemused on madalad. Maksimaalseks tulemuseks oli 290 Bq/m³, kuid kaevandustele ei kehti hoonete siseõhu radooninorm ja seda võib lugeda heaks tulemuseks. Seega esimene tööhüpotees, et meie allmaakaevandustes võib esineda kõrgeid radoonitasemeid, ei leidnud kinnitust.

Veeskeskuste keskmine radoonisisaldus oli 85 Bq/m³. Kõige madalam mõõdetud tulemus 45 Bq/m³ saadi Pärnu veekeskusest Estonia ja kõige kõrgem tulemus 127 Bq/m³ Pärnu veekeskusest Sõprus. Seega teine tööhüpotees, et veekeskustes võib karta kõrgeid radoonitasemeid, ei saanud kinnitust. Uuringu käigus ei leitud ühtegi veekeskust, mille tase oleks ületanud 200 Bq/m³.

Pumbajaamade radoonisisaldused erinesid eelkõige selle poolest, kas jaam kasutab põhja- või pinnavett. Põhjavett kasutavates jaamades ületasid väärtuse 200 Bq/m³ enamused jaamad, väljaarvatud Pärnu ja Viljandi pumbajaamad. Kõige kõrgem tulemus 1551 Bq/m³ saadi Keilast ja madalaim 80 Bq/m³ Pärnust. Pinnavett kasutavas Tallinna veepuhastusjaamas ei ületatud kehtestatud piirväärtust 200 Bq/m³. Seega saab kinnitust kolmas tööhüpotees, et põhjavett kasutavates pumbajaamades on radoonitasemed kõrgemad, kui pinnavett kasutavates jaamades.

Lastekodudes mõõdetud tasemed jäid enamuses normi piiridesse, kuid esines üksikuid ületamisi Tapa, Tilsa, Tartu, Narva-Jõesuu, Nõmme ja Maarjamäe lastekodudes. Keskmine radoonisisaldus oli 140 Bq/m³. Madalaim tulemus oli 57 Bq/m³ Viljandi lastekodus. Kõrgeim tulemus - 432 Bq/m³, saadi Maarjamäe lastekodust, kus on ilmselt eiratud aastast 2000 kehtinud soovitusi EPN 12.3 „Radooniohutu hoone projekteerimine”. Majad on ehitatud aastal 2002. Ülejäänud lastekodude radoonisisaldused vastavad kehtestatud normile, mis kinnitab neljandat tööhüpoteesi: enamustes lastekodudes vastavad radoonitasemed kehtestatud normile

Järeldused ja soovitused

Käesoleva töö vaatlemisel jäi kindlasti puudu vaatlusandmetest, edaspidi tuleks veelgi enam tähelepanu pöörata töökohtade uurimisele, et oleks rohkem andmeid ülevaate andmiseks olukorra kohta tööpaikades.

Selle lõputöö raames uuriti 14 lastekodu, mis on väga väike osa Eestis olevatest lastekodudest. Kindlasti tuleks uurida ka teisi Eesti lastekodusid, kuna osades lastekodudes ületas radoonitase lubatud normi. Edaspidi tuleks lähemalt uurida taseme tõusu põhjuseid ja võtta kasutusele leevendamismeetmed.

Antud uuringu alusel võib väita, et veekeskustes valitseb tervislik elukeskkond, sest radoonitasemed jäid lubatud piiridesse. Samuti on ka kaevandustes olukord hea ilmselt piisava ventilatsiooni tõttu.

Kuna pumbajaamad on seoses radooni võimaliku eraldumisega veest, potentsiaalselt suurema radooniriskiga töökohad, tuleks seal rakendada radooni alandamise meetmeid just seetõttu, et uuringu käigus ilmnemise ületavad tulemused põhjaveest kasutatavates jaamades.

KASUTATUD MATERJALID

1. Clavensjö B, Akerblom G. "The Radon Book Measures against radon". The Swedish Council for Building Research. Sweden. 1994
2. EURATOM. 1996. EC European Commission. Basic Safety Standards Directive.
3. EURATOM. Communication from the Commission concerning the implementation of Council Directive 96/29/
4. Eesti Standard EVS 840:2009 "Radooniohutu hoone projekteerimine". 2009. Eesti Standardikeskus.
5. IAEA. 2003. „Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines. No. 33“.
6. ICRP 47, Radiation Protection on Workers in Mines. A report of the Committee 4 of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 47. Pergamon Press. 1985.
7. Joogivee Radioaktiivsusest Põhjustatud Terviseriski Hinnang. Tallinn 2005
8. Jõgioja E. „Radooniohutu elamu“ . Tallinn. AS Aktaprint. 2004
9. Kiirguskeskuse teabematerjal. Radoon – looduslik risk sinu tervisele. Kiirguskeskus
10. Mjõnes L., Falk R. Cancer Risks from Radon in indoor Air and Drinking Water in Sweden. Seventh International Symposium on Natural Radiation Environment. Rhodes, Crece. 2002.
11. Naturally occurring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations. The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Norway and Sweden, 2000.
12. Naumov B., Puura V., Karise V. i dr., Radonovyi faktor radiatsionnogo fona v naseleennyh punktah Severnoj Estonii (Ekologiceskij aspekt). – Eesti TA Toim., Geoloogia. 1993.

13. Nõukogu direktiiv 96/29/EURATOM, 13. mai 1996, millega sätestatakse põhilised ohutusnormid töötajate ja muu elanikkonna tervise kaitsmiseks ioniseerivast kiirgusest tulenevate ohtude eest.
14. Pahapill L. Siseõhu radoonist Eestis - Keskkonnatehnika. Nr.3. Lk 2-7. Tallinn. 2000
15. Pahapill L. „Radoon hoonetes“ . Tallinn. Tõravere Trükikoda. 1999
16. Pahapill L, Rulkov A. „Radoon majades“ Tallinn. 2004
17. Pallo T. Kiirgusohutuse riikliku arengukava 2007-2017 keskkonnamõju strateegilise hindamise aruanne. Tallinn. 2007.
18. Petersell V. 12.02.2008. Radoonist Eestimaa pinnases. Tallinn. Eesti Geoloogiakeskus.
19. Pesur E. “Radoon radooniohtlike alade lasteasutustes”. Tallinn. 2006. Magistritöö.
20. Petersell V., Akerblom G., Ek B.-M., Enel M., Mõttus V., Täht K.. „Eesti Radooniriski Kaart“. Tallinn 2004
21. Preiman O. “Siseõhu radoonisisaldused Tallinna lasteasutustes”. Tallinn. 2009. Eesti Mereakadeemia. Lõputöö.
22. Tänavsuu K, Lust M.. „Radooni kaardi lõpetamine – radoon hoonete siseõhus piirkondades, kus andmed radoonitasemete kohta puuduvad“. Tallinn. 2008
23. Virak S. „Radoon maapealsetes töökohtades Eestis“. Tallinn. 2008. Eesti Mereakadeemia. Lõputöö.
24. WHO. Maaailma Tervishoiuorganisatsiooni Euroopa Regionaalbüroo. 1997 Radoon.
25. World Health Organization. WHO Handook on Indoor Radon. 2009

LISAD

Lisa 1

Uraan-238 radioaktiivse lagunemise rida

Isotoop	Poolestusaeg	Radiatsiooni tüüp	Märkused
Uraan-238 (U)	4.5×10^9 aastat	α	Metall
Toorium-234 (Th)	24.1 päeva	β	Metall
Proktaanium-234 (Pa)	1.17 minutit	β	Metall
Uraan-234 (U)	2.24×10^5 aastat	α	Metall
Toorium-230 (Th)	8.0×10^4 aastat	α	Metall
Raadium-226 (Ra)	1620 aastat	α	Metall
Radoon-222 (Rn)	3.82 päeva	α	Gaas
Poloonium-218 (Po)	3.05 minutit	α	Metall
Plii-214 (Pb)	26.8 minutit	β, γ	Metall
Vismut-214 (Bi)	19.7 minutit	β, γ	Metall
Poloonium-214 (Po)	1.6×10^{-4} sekundit	α	Metall
Plii-210 (Pb)	21.3 aastat	β	Metall
Vismut-210 (Bi)	5.01 päeva	β	Metall
Poloonium-210 (Po)	138.4 päeva	α	Metall
Plii-206 (Pb)			Metall

Toorium-232 radioaktiivse lagunemise rida

Isotoop	Poolestusaeg	Radiatsiooni tüüp	Märkused
Toorium-232 (Th)	1.41×10^{10} aastat	α	Metall
Raadium-228 (Ra)	5.76 aastat	β	Metall
Aktinoon-228 (Ac)	6.13 tundi	β, γ	Metall
Toorium-228 (Th)	1.91 aastat	α, γ	Metall
Raadium-224 (Ra)	3.66 päeva	α, γ	Metall
Radoon-220 (Rn)	55.6 sekundit	α	Gaas, tuntud toroonina
Poloonium-216 (Po)	0.15 sekundit	α	Metall
Plii-212 (Pb)	10.64 tundi	α, β, γ	Metall
Vismut-212 (Bi)	60.6 minutit	β, γ	Metall
Poloonium-212 (Po)	3.4×10^{-7} sekundit	α	Metall
Tallium-208 (Tl)	3.05 minutit	β, γ	Metall
Plii-208 (Pb)			Metall

Lisa 2 Aktiivmeetodi puhul radoonisisalduse tulemuste kohta väljastatav graafik (Pesur, 2006)



Lisa 3 Objektide nimekiri

Estonia Kaevandus

Viru Kaevandus

Haapsalu Väikelastekodu

Maidla Lastekodu

Narva-Jõesuu Lastekodu

Siimusti Lastekodu “Metsatareke”

Tallinna Lastekodu Imikute ja puuetega laste keskus

Tallinna Lastekodu Kopli keskus

Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus

Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus

Tallinna Lastekodu Nõmme keskus

Tapa Laste- ja noortekodu

Tartu Väikelastekodu “Käopesa”

Tilsi Lastekodu

Valga Lastekodu “Kurepesa”

Viljandi Lasteabi- ja sotsiaalkeskus

Fra Mare Thalasso Spa

Kalev Spa

Meresuu Spa & Hotell

Narva-Jõesuu Sanatoorium

Pühajärve Spa Hotell

Sanatoorium Tervis

Spa Hotell Laine

Taastusravikeskus Estonia

Taastusravikeskus Sõprus

Toila Spa Hotell

Värska Sanatoorium

AS Keila Vesi

AS Matsalu Veevärk

AS Pärnu Vesi

AS Sillamäe Veevärk

AS Tallinna Vesi

AS Tapa Vesi

AS Viljandi Veevärk

Lisa 4 Uuring “Radoonitasemed Eesti erinevates töökohtades.”

Lugupeetud asutuse juhataja,

Teie asutus on kaasatud Keskkonnaameti kiirgusosakonna poolt läbi viidavasse uuringusse „Radoonitasemed Eesti erinevates töökohtades”.

Radoon on maapõuest pärit looduslik radioaktiivne gaas, mis suurendab kopsuvähi riski.

Vastavalt EL direktiivile on iga liikmesriik kohustatud välja selgitama töökohad, kus radoonist põhjustatakse töötajatele kiirguskaitse seisukohalt oluline kiiritusdoos ning rakendama meetmeid selle vähendamiseks. Käesoleva uuringu eesmärgiks ongi väljaselgitada, millistes töökohtades ja kas üldse radoon probleemiks on.

Töökohad on erilise tähelepanu all just seetõttu, et seal töötavad inimesed veedavad väga suure osa oma päevast antud asutuses ning kokkupuude radooniga võib olla suur, kuigi töötajaskond ei pruugi sellest üldse teadlik olla. Töötervishoiu ja tööohutuse seaduse § 3 lõikes 2 on toodud nõuded, et töökeskkonnas toimivad füüsilised, keemilised, bioloogilised, füsioloogilised ja psühholoogilised tegurid ei või ohustada töötaja ega muu töökeskkonnas viibiva isiku elu ega tervist

Käimasoleva uuringuga on hõlmatud kaevandused, SPAd/sanatooriumid/taastusravikeskused, lastekodud ja veepuhastusjaamad üle Eesti, uurimus vältab 2 kuud (veebruar – aprill).

Uuringu läbiviimiseks palume Teie heatahtlikku kaasabi. Selleks palume Teil paigaldada postipakiga saabuvad radoonidetektorid vastavalt koos detektoritega saabuvale juhendile ning pärast mõõteperioodi lõppu detektorid postiga Keskkonnaameti kiirgusosakonda tagasi saata. Detektorid võib ka isiklikult kohale tuua Kiirgusosakonda Kopli 76.

Lähipäevil tuleb Teile väike postisaadetus, mis sisaldab fooliumpakikeses kuni 4 radoonidetektorit, ankeeti mõõdetava töökoha ehituslike andmete kohta ja juhendit detektorite paigaldamiseks ning infovoldikut radooni kohta.

Kui Teil tekib seoses uuringuga küsimusi, oleme meeleldi nõus neile vastama meilitsi või telefonil:

Kertu Vait 664 4908, 56630252, kertu23@hotmail.ee

Lia Pahapill 5121090, lia.pahapill@gmail.com

Meeldivale koostööle lootma jäädes

Kertu Vait

Praktikant

Keskkonnaamet

Kiirgusosakond

Lisa 5 Radooni mõõtedetektori kasutamine (Kiirgusosakond)

1. Detektor kujutab endast plasttopsi paigutatud spetsiaalset kiletükikest, millele õhus leiduva radooni radioaktiivsel lagunemisel tekkivad osakesed jätavad oma jäljed. Detektor ise mingeid radioaktiivseid või keemiliselt aktiivseid aineid ei sisalda.
2. Palun täitke detektoritega kaasasolev **ankeet**. **Mõõtmise alguskuupäevaks** märkige detektorite **pakendist väljavõtmise kuupäev**. Detektorid võtke kotikesest välja mõõdetavas ruumis. Hoidke originaalpakend alles. **Detektori numbrit leiate pakendilt**.
3. Detektori paigaldamiseks tuleb valida koht, kus inimesed viibivad pikka aega. Pole otstarbekas paigaldada detektoreid koridori, WC-sse, jne. **Märkige ankeedil milline detektor millisesse ruumi paigutati**.
4. Detektori asukoht ruumis peaks olema selline, kus seda ei liigutata ega kaeta esemetega ja mis ei asu otse akna või ukse juures. Pole hea paigaldada detektorit ventilatsiooniava, radiaatori või muu soojusallika lähedusse. Jälgige, et detektorit ei "paigutaks ringi" koristaja.
5. Sobiv koht on näiteks kapipealne kõrgusega 1-2 m, kuhu midagi muud tavaliselt ei asetata. Soovitav oleks panna detektor kapi esiservale, et vältida juhuslikku kukkumist kapi taha.
6. Aeg-ajalt kontrollige, et detektorid oleks alles oma esialgses asukohas ja poleks kaetud mõne esemega.
7. Peale detektorite paigaldamist elage tavapärasel tööelul. Ärge tuulutage ruume rohkem või vähem kui tavaliselt, sundventilatsiooni olemasolul kasutage seda tavapäraselt.
8. Mõõtmisperioodi (2 kuud) lõppemisel asetage detektorid Teile väljastatud alumiiniumiga kaetud plastkotikesse või äärmisel juhul kahekordsesse kilekotti. Üritage kotike **õhukindlalt** sulgeda, näiteks kleplindiga.
9. **Märkige ankeedile mõõtmise lõppkuupäev** ja saatke või tooge detektorid koos ankeediga ning täidetud radoonikontsentratsiooni määramise avaldusega tagasi Keskkonnaameti kiirgusosakonda aadressil Kopli 76, 10416 Tallinn.

kertu23@hot.ee

6644908, 56630252

Kertu Vait

ANKEET

Asutuse nimetus:

Mõõdetava objekti aadress:
(maakond, vald, linn/alev/küla, aadress, indeks)

Kontaktisik:
(nimi, telefon, e-mail)

Valikvastuste korral palun tõmmake õigetele variantidele joon alla.

Hoone valmimisaasta:

Maja tüüp: ühepereelamu, ridamaja, korrusmaja, paneelmaja, muu:

Objekti olukord: renoveeritud, kapremont, muu:

Asukoht: tasasel maal, kallakul, künka peal, orus

Aluspõhi: paas, liiv või kruus, savi

Veevarustus: tsentraalne veevarustus, oma kaev, veevärk põhjaveega, veevärk pinnaveega

Seinamaterjal: puu, tellis, betoon, laudtäidis, väikeplokk, paneel, muu:

Küttesüsteem: tsentraalne keskküte, elektriküte, oma keskküte, ahjuküte, muu:

Õhuvahetus: loomulik, väljatõmbeventiil, üldventilatsioon, muu:

Ventilatsioon töötab keskmiselt: tundi ööpäevas

Õhuvahetuse efektiivsus valdaja hinnangul: hea, keskmine, halb

Akende tüüp: puit, plastik, muu:

Aknad vahetati viimati:

Vundamendi materjal:

Vundamendi tüüp:

Kelder: jah, ei, osaline

Keldri põranda materjal:

Keldri seinte materjal:

Keldri lae materjal:

Esimese korruse põranda materjal:

Esimese korruse seina materjal:

Kas keldri ja esimese korruse vahel on otseühendus (nt avaused, torud)? Jah, ei

Selgitus:

Esimese korruse põranda pindala: m²

Detektori nr	Mõõtmise algskuupäev	Mõõtmise lõppkuupäev	Mõõtmise koht (kontoriruum, elutuba, õppeklass vm)
--------------	-------------------------	-------------------------	---

Lisa 7

Asutus	Radoonisisaldus, Bq/m ³	Keskmine radoonisisaldus, Bq/m ³	Maksimum tase Bq/m ³	Hoone valmimisaasta
Tallinna Lastekodu Imikute ja puuetega lastekeskus	106,7			
Tallinna Lastekodu Imikute ja puuetega lastekeskus	115,2	111	115,2	Andm. puuduvad
Tallinna Lastekodu Kopli keskus	86,9			
Tallinna Lastekodu Kopli keskus	93,4			
Tallinna Lastekodu Kopli keskus	94,4	91,6	94,4	Andm. puuduvad
Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus	105,8			
Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus	182,1			
Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus	169,1			
Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus	133,8			
Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus	95,6	186,4	182,1	Andm. puuduvad
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	432,1			2002
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	99,7			2002
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	231,1			2002
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	254,1			2002
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	214,9			2002
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	106,3			2002
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	140,1			2002
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	79,5			2002
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	122			2002
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	182,2			2002
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	136			2002
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	133,8			2002
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	137,6			2002
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	109,2	149,7	432,1	2002
Tallinna Lastekodu Nõmme keskus	84,5			
Tallinna Lastekodu Nõmme keskus	200,9			
Tallinna Lastekodu Nõmme keskus	101,3	128,9	200,9	Andm. puuduvad
Tartu Väikelastekodu "Käopesa"	242,3			
Tartu Väikelastekodu "Käopesa"	204,7			
Tartu Väikelastekodu "Käopesa"	136,1			

Tartu Väikelastekodu "Käopesa"	165	187	242,3	Andm. puuduvad
Viljandi Lasteabi- ja sotsiaalkeskus	82,4			1994
Viljandi Lasteabi- ja sotsiaalkeskus	56,5			1994
Viljandi Lasteabi- ja sotsiaalkeskus	59,4			2008
Viljandi Lasteabi- ja sotsiaalkeskus	71,8	67,5	82,4	1902
Asenduskodu Maidla Lastekodu	190,1	190,1	190,1	Andm. puuduvad
Tapa Laste- ja Noortekodu	91,1			1961
Tapa Laste- ja Noortekodu	308,5	199,8	308,5	1961
Siimusti lastekodu "Metsatareke"	64,9			2007
Siimusti lastekodu "Metsatareke"	93,1	79	93,1	2007
Tilsi Lastekodu	89,8			1977
Tilsi Lastekodu	59,9			1977
Tilsi Lastekodu	103,6			1977
Tilsi Lastekodu	251,2	126,1	251,2	1986
Narva-Jõesuu Lastekodu	96,2			
Narva-Jõesuu Lastekodu	175,8			
Narva-Jõesuu Lastekodu	226,9			
Narva-Jõesuu Lastekodu	144,2	126,1	226,9	1980-ndad
Valga Lastekodu Kurepesa	104,9			1963, renov 2000
Valga Lastekodu Kurepesa	78,8	91,9	104,9	1963, renov 2000
Haapsalu Lastekodu	118,9			1997
Haapsalu Lastekodu	112,6	115,8	118,9	1997
AS Keila Vesi	894,4			1980
AS Keila Vesi	1550,8	1222,6	1550,8	1980
AS Matsalu Veevärk	968,4			1974, renov.2008
AS Matsalu Veevärk	693,4	830,9	968,4	1974, renov.2008
AS Pärnu Vesi	80,2	80,2	80,2	1998 renoveeritud
AS Sillamäe Veevärk	602,1			u. 1949
AS Sillamäe Veevärk	492,1			u. 1949
AS Sillamäe Veevärk	240,3			u. 1949
AS Sillamäe Veevärk	329,9	426,1	602,1	u. 1949
AS Tallinna Vesi	174,4			1978
AS Tallinna Vesi	163,3			1979
AS Tallinna Vesi	70,8			1979
AS Tallinna Vesi	148,1			1971
AS Tallinna Vesi	88,8			1927
AS Tallinna Vesi	95,9	123,6	174,4	1997
AS Tapa Vesi	82,4			1996
AS Tapa Vesi	383,5	123,6	383,5	1986
AS Viljandi Veevärk	131,9			2005
AS Viljandi Veevärk	144,4	123,6	144,4	2003

AS Haapsalu Kuurort	95,6			1986
AS Haapsalu Kuurort	112,1			1986
AS Haapsalu Kuurort	88			1986
AS Haapsalu Kuurort	86,7	95,6	112,1	1986
AS Heal	79,7			1997
AS Heal	73,2			1997
AS Heal	82,9			1997
AS Heal	75,9	77,9	82,9	1997
AS Narva-Jõesuu Sanatoorium	83,6			1961
AS Narva-Jõesuu Sanatoorium	87,7			1961
AS Narva-Jõesuu Sanatoorium	79,6			1961
AS Narva-Jõesuu Sanatoorium	111	90,5	111	1961
AS Sanatoorium Tervis	97,5			1992
AS Sanatoorium Tervis	100,2			1985
AS Sanatoorium Tervis	96,2	98	100,2	1971
AS Taastusravikeskus Estonia	66,9			1977
AS Taastusravikeskus Estonia	44,6			2008
AS Taastusravikeskus Estonia	75,1			2002
AS Taastusravikeskus Estonia	108,8	73,9	108,8	2002
As Taastusravikeskus Sõprus	109,2			1938
As Taastusravikeskus Sõprus	65,5			1938
As Taastusravikeskus Sõprus	126,9			1938
As Taastusravikeskus Sõprus	51,6	88,3	126,9	1963
AS Pühajärve Puhkekodu	85,2			renov 2009
AS Pühajärve Puhkekodu	82,7			renov 2009
AS Pühajärve Puhkekodu	98,5	88,8	98,5	renov 2009
Kalevi Veekeskus OÜ	61,2			1965 renov 2005
Kalevi Veekeskus OÜ	49,1			1965 renov 2005
Kalevi Veekeskus OÜ	103,2			1965 renov 2005
Kalevi Veekeskus OÜ	116,9	82,6	116,9	1965 renov 2005
Meresuu Spa & Hotel	53,6			2008
Meresuu Spa & Hotel	59,8			2008
Meresuu Spa & Hotel	78,3			2008
Meresuu Spa & Hotel	88,8	70,1	88,8	2008
Viru kaevandus	216,2			
Viru kaevandus	290,1			
Viru kaevandus	165,2	223,8	290,1	
Estonia kaevandus	137,9			
Estonia kaevandus	135,7			
Estonia kaevandus	169,2	147,6	169,2	

Lisa 8

Asutus	Radoonisisaldus, Bq/m ³	Efektiivdoos (mSv) 8760 tunni kohta aastas
Tallinna Lastekodu Imikute ja puuetega lastekeskus	106,7	2,2
Tallinna Lastekodu Imikute ja puuetega lastekeskus	115,2	2,4
Tallinna Lastekodu Kopli keskus	86,9	1,8
Tallinna Lastekodu Kopli keskus	93,4	2,0
Tallinna Lastekodu Kopli keskus	94,4	2,0
Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus	105,8	2,2
Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus	182,1	3,8
Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus	169,1	3,6
Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus	133,8	2,8
Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus	95,6	2,0
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	432,1	9,1
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	99,7	2,1
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	231,1	4,9
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	254,1	5,3
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	214,9	4,5
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	106,3	2,2
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	140,1	2,9
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	79,5	1,7
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	122	2,6
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	182,2	3,8
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	136	2,9
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	133,8	2,8
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	137,6	2,9
Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	109,2	2,3
Tallinna Lastekodu Nõmme keskus	84,5	1,8
Tallinna Lastekodu Nõmme keskus	200,9	4,2
Tallinna Lastekodu Nõmme keskus	101,3	2,1
Tartu Väikelastekodu "Käopesa"	242,3	5,1
Tartu Väikelastekodu "Käopesa"	204,7	4,3
Tartu Väikelastekodu "Käopesa"	136,1	2,9
Tartu Väikelastekodu "Käopesa"	165	3,5
Viljandi Lasteabi- ja sotsiaalkeskus	82,4	1,7
Viljandi Lasteabi- ja sotsiaalkeskus	56,5	1,2

Viljandi Lasteabi- ja sotsiaalkeskus	59,4	1,2
Viljandi Lasteabi- ja sotsiaalkeskus	71,8	1,5
Asenduskodu Maidla Lastekodu	190,1	4,0
Tapa Laste- ja Noortekodu	91,1	1,9
Tapa Laste- ja Noortekodu	308,5	6,5
Siimusti lastekodu "Metsatareke"	64,9	1,4
Siimusti lastekodu "Metsatareke"	93,1	2,0
Tilsi Lastekodu	89,8	1,9
Tilsi Lastekodu	59,9	1,3
Tilsi Lastekodu	103,6	2,2
Tilsi Lastekodu	251,2	5,3
Narva-Jõesuu Lastekodu	96,2	2,0
Narva-Jõesuu Lastekodu	175,8	3,7
Narva-Jõesuu Lastekodu	226,9	4,8
Narva-Jõesuu Lastekodu	144,2	3,0
Valga Lastekodu Kurepesa	104,9	2,2
Valga Lastekodu Kurepesa	78,8	1,7
Haapsalu Lastekodu	118,9	2,5
Haapsalu Lastekodu	112,6	2,4

Lisa 9

Asutus	Radoonisisaldus, Bq/m ³	Efektiivdoos (mSv) 2000 tunni kohta aastas
AS Keila Vesi	894,4	5,6
AS Keila Vesi	1550,8	9,8
AS Matsalu Veevärk	968,4	6,1
AS Matsalu Veevärk	693,4	4,4
AS Pärnu Vesi	80,2	0,5
AS Sillamäe Veevärk	602,1	3,8
AS Sillamäe Veevärk	492,1	3,1
AS Sillamäe Veevärk	240,3	1,5
AS Sillamäe Veevärk	329,9	2,1
AS Tallinna Vesi	174,4	1,1
AS Tallinna Vesi	163,3	1,0
AS Tallinna Vesi	70,8	0,4
AS Tallinna Vesi	148,1	0,9
AS Tallinna Vesi	88,8	0,6
AS Tallinna Vesi	95,9	0,6
AS Tapa Vesi	82,4	0,5
AS Tapa Vesi	383,5	2,4
AS Viljandi Veevärk	131,9	0,8
AS Viljandi Veevärk	144,4	0,9
AS Haapsalu Kuurort	95,6	0,6
AS Haapsalu Kuurort	112,1	0,7
AS Haapsalu Kuurort	88	0,6
AS Haapsalu Kuurort	86,7	0,5
AS Heal	79,7	0,5
AS Heal	73,2	0,5
AS Heal	82,9	0,5
AS Heal	75,9	0,5
AS Narva-Jõesuu Sanatoorium	83,6	0,5
AS Narva-Jõesuu Sanatoorium	87,7	0,6
AS Narva-Jõesuu Sanatoorium	79,6	0,5
AS Narva-Jõesuu Sanatoorium	111	0,7
AS Sanatoorium Tervis	97,5	0,6
AS Sanatoorium Tervis	100,2	0,6
AS Sanatoorium Tervis	96,2	0,6
AS Taastusravikeskus Estonia	66,9	0,4

AS Taastusravikeskus Estonia	44,6	0,3
AS Taastusravikeskus Estonia	75,1	0,5
AS Taastusravikeskus Estonia	108,8	0,7
As Taastusravikeskus Sõprus	109,2	0,7
As Taastusravikeskus Sõprus	65,5	0,4
As Taastusravikeskus Sõprus	126,9	0,8
As Taastusravikeskus Sõprus	51,6	0,3
AS Pühajärve Puhkekodu	85,2	0,5
AS Pühajärve Puhkekodu	82,7	0,5
AS Pühajärve Puhkekodu	98,5	0,6
Kalevi Veekeskus OÜ	61,2	0,4
Kalevi Veekeskus OÜ	49,1	0,3
Kalevi Veekeskus OÜ	103,2	0,7
Kalevi Veekeskus OÜ	116,9	0,7
Meresuu Spa & Hotel	53,6	0,3
Meresuu Spa & Hotel	59,8	0,4
Meresuu Spa & Hotel	78,3	0,5
Meresuu Spa & Hotel	88,8	0,6
Viru kaevandus	216,2	1,4
Viru kaevandus	290,1	1,8
Viru kaevandus	165,2	1,0
Estonia kaevandus	137,9	0,9
Estonia kaevandus	135,7	0,9
Estonia kaevandus	169,2	1,1

Lisa 10

Nr	Asutuse nimi	Keskmine radoonisisaldus Bq/m ³	Efektiivdoos (mSv) 8760 tunni kohta aastas	Maksimum tase Bq/m ³	Maksimum taseme efektiivdoos (mSv) 8760 tunni kohta aastas
1	Tallinna Lastekodu Imikute ja puuetega lastekeskus	111	2,3	115,2	2,4
2	Tallinna Lastekodu Kopli keskus	91,6	1,9	94,4	2,0
3	Tallinna Lastekodu Lasnamäe keskus	186,4	3,9	182,1	3,8
4	Tallinna Lastekodu Maarjamäe keskus	149,7	3,1	432,1	9,1
5	Tallinna Lastekodu Nõmme keskus	128,9	2,7	200,9	4,2
6	Tartu Väikelastekodu "Käopesa"	187	3,9	242,3	5,1
7	Viljandi Lasteabi- ja sotsiaalkeskus	67,5	1,4	82,4	1,7
8	Asenduskodu Maidla Lastekodu	190,1	4,0	190,1	4,0
9	Tapa Laste- ja Noortekodu	199,8	4,2	308,5	6,5
10	Siimusti lastekodu "Metsatareke"	79	1,7	93,1	2,0
11	Tilsi Lastekodu	126,1	2,6	251,2	5,3
12	Narva-Jõesuu Lastekodu	126,1	2,6	226,9	4,8
13	Valga Lastekodu Kurepesa	91,9	1,9	104,9	2,2
14	Haapsalu Lastekodu	115,8	2,4	118,9	2,5

Nr	Asutuse nimi	Keskmine radoonisisaldus Bq/m ³	Efektiivdoos (mSv) 2000 tunni kohta aastas	Maksimum tase Bq/m ³	Maksimum taseme efektiivdoos (mSv) 2000 tunni kohta aastas
1	AS Keila Vesi	1222,6	7,7	1550,8	9,8
2	AS Pärnu Vesi	80,2	0,5	80,2	0,5
3	AS Matsalu Veevärk	830,9	5,2	968,4	6,1
4	AS Sillamäe Veevärk	416,1	2,6	602,1	3,8
5	AS Tallinna Vesi	123,6	0,8	174,4	1,1
6	AS Tapa Vesi	123,6	0,8	383,5	2,4
7	AS Viljandi Veevärk	123,6	0,8	144,4	0,9
8	AS Haapsalu Kuurort	95,6	0,6	112,1	0,7
9	AS Heal	77,9	0,5	82,9	0,5
10	AS Narva-Jõesuu Sanatoorium	90,5	0,6	111	0,7
11	AS Sanatoorium Tervis	98	0,6	100,2	0,6
12	AS Taastusravikeskus Estonia	73,9	0,5	108,8	0,7
13	As Taastusravikeskus Sõprus	88,3	0,6	126,9	0,8
14	AS Pühajärve Puhkekodu	85,2	0,5	85,2	0,5
15	Kalevi Veekeskus OÜ	82,6	0,5	116,9	0,7
16	Meresuu Spa & Hotel	70,1	0,4	88,8	0,6
17	Estonia kaevandus	147,6	0,9	169,2	1,1
18	Viru kaevandus	223,8	1,4	290,1	1,8