

TALLINNA ÜLIKOOL

Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut

Loodusteaduste osakond

**Kertu Vait**

# **SISEÕHU RADOONIUURING TALLINNA KOOEIEELSETES LASTEASUTUSTES**

Magistritöö

Juhendaja: Lia Pahapill

Autor: ..... ”....” .....2012. a

Juhendaja:..... “....” .....2012. a

Lubatud kaitsmisele ”....” .....2012. a

Õppekava juht prof T. Pöder.....

Tallinn 2012

# Sisu lühiannotatsioon

SISEÕHU RADOONIUURING TALLINNA KOOLIEELSETES LASTEASUTUSTES  
Kertu Vait

Antud uuring annab ülevaate radoonitasemetest Tallinna koolieelsetes lasteasutustes, mis saadi keskkonnaameti kiirgusosakonnas läbiviidud uuringu käigus. Töös tutvustatakse radoonimõõtmistel kasutatavaid mõõtmismeetodeid. Samuti pööratakse tähelepanu radoonisisaldusnormide õiguslikule reguleerimisele.

Käesolevalt esitatakse uuringu käigus saadud radoonimõõtmiste pikaajalised ja lühiajalised tulemused kütteperioodil 2011/2012. a. Pikaajalised mõõtmistulemused saadi 101 lasteasutuse kohta, millest 16-s viidi läbi lühiajalised pidevmõõtmised radoonimonitoriga. Pikaajaliste keskmiste radoonisisalduste alusel on arvatud ka radoonist saadavad efektiivdoosid vaadeldavates lasteasutustes.

Määruses antud piirnorm  $200 \text{ Bq/m}^3$  on kehtestatud aasta keskmise väärtusena ja selleks tuleb kasutada pikaajalisi mõõtmisi, mõõteperiood peaks olema vähemalt 2 (soovitavalt 3) kuud kütteperioodil.

Mõõtmistulemustest selgus, et

- 95 lasteasutuses vastas radoonitase normile - keskmine radoonitase kogu lasteasutuses (arvatud 4-6 ruumi mõõtmistulemuse alusel) jäi alla  $200 \text{ Bq/m}^3$ .
- 7 lasteasutuses esines normi ületamist üksikutes ruumides
- 6 lasteasutuses oli keskmine radoonitase (arvatud 4-6 ruumi mõõtmistulemuse alusel) üle  $200 \text{ Bq/m}^3$ .

Lühiajalised pidevmõõtmised näitasid, et esineb selgelt jälgitav ööpäevane radoonitaseme käik.

Märksõnad:

Ioniseeriv kiirgus

Siseõhu radoon

Radoonitase

Radooni mõõtmine

Radooni ööpäevane käik

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	5
1. RADOON .....	8
1.1 Ioniseeriv kiirgus .....	8
1.1.1 Radooni teke ja füüsilised omadused .....	9
1.2 Radooni avastamise ajalugu.....	10
1.3 Radooni ohtlikkus .....	11
1.4 Radoon välisõhus, sesoonsed ja ööpäevased kõikumised .....	14
1.5 Radooni sattumine hoonesse.....	14
1.5.1 Radoon pinnasest.....	15
1.5.2 Radoon veest .....	16
1.5.3 Radoon ehitusmaterjalidest .....	17
2. RADOONIUURINGUD EESTIS .....	19
2.1 Geoloogilised uuringud.....	19
2.2 Radooniuuringud hoonetes .....	21
3. RADOONITASEMETE NORMEERIMINE.....	25
4. MÕÕTMISMEETODID SISEÕHU RADOONISISALDUSE MÄÄRAMISEKS .....	28
4.1 Radoonisisalduse mõõtmine stsintillatsioonkambriga.....	30
4.2 Radoonisisalduse mõõtmine alfajälg detektoritega .....	30
4.3 Radoonisisalduse mõõtmine aktiveeritud söe detektoritega .....	32
4.4 Radoonisisalduse mõõtmine elektreet-ionkambritega .....	33
4.5 Radoonisisalduse määramine pooljuht-alfadetektoritega .....	34
4.6 Pidevmõõtmiste radoonimonitorid .....	35
5. MATERJAL JA METOODIKA.....	37
5.1 Radooniohtlikud alad Tallinnas .....	37
5.2 Uuritavate objektide valik.....	38
5.3 Radooni mõõtmised hoonete siseõhus .....	38
6. RADOONIUURINGU TULEMUSED TALLINNA KOOLIEELSETE LASTEASUTUSTE KOHTA .....	41
6.1 Pikaajaliste mõõtmiste tulemused.....	41
6.2 Radoonist põhjustatud efektiivdoosid koolieelsetes lasteasutustes .....	45
6.2.1 Radoonist põhjustatud efektiivdoosid .....	45
6.3 Lühiajaliste pidevmõõtmiste tulemused .....	48

KOKKUVÕTE .....	52
SUMMARY .....	54
KASUTATUD MATERJALID.....	55
LISAD .....	58

# SISSEJUHATUS

Siseõhuradoon, kui üks peamisi elanikkonna ioniseeriva kiirguse allikaid kuulub Eestis enamlevinud terviseohtlike keskkonnategurite hulka. Senised radooniuringud (Pahapill, 2003; Petersell, 2004; Pesur, 2006; Tänavsuu, 2008) on näidanud, et radoonitasemetelt meie majades kuulub Eesti kindlalt Euroopa esimeste hulka ja seda suuresti tänu aluskorras olevale uraanirikkale diktüoneemakildale.

Radooni puhul on tegemist lõhnatu ja värvitu radioaktiivse inertgaasiga, mis on õhust ligi 7,7 korda raskem ja tahkestub alles temperatuuril  $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Radoon tekib looduslikult uraani- või tooriumirea radioaktiivsel lagunemisel.

Inimorganismi satub radoon peamiselt sissehingatava õhuga. Radoon võib oluliselt mõjutada inimese tervist, olles teiseks kopsivähki haigestumise riskifaktoriks suitsetamise järel. Hinnanguliselt põhjustab radoon meie majades Eestis igal aastal 80-90 uut kopsuvähi juhtu (Pahapill, 2003).

Terviseriski arvestades on radooni kontsentratsioonid kõige olulisemad hoonete siseõhus, välisõhus ta hajub atmosfääris ning kontsentratsioonid on tavaliselt vaid  $10\text{-}30\text{ Bq/m}^3$  (ICRP,1993). Siseõhu radoonisisaldused ületavad sageli kümneid ja isegi sadu kordi välisõhu sisaldusi (Pahapill, 1999).

Siseõhu kvaliteedil on inimese tervise seisukohalt oluline roll, sest me viibime siseruumides olenevalt aastaajast isegi kuni 90% ööpäevast. Tähtsaimateks siseõhu kvaliteeti ja radooni kontsentratsiooni mõjutavateks teguriteks on ventilatsioon, elamisharjumused, materjalide emissioonid ning maapind, millele on hoone ehitatud.

Radooniuringuid on Eestis tehtud enam kui 20 aastat (Pahapill, 1993; Jüriado, 2012) Süstemaatiliste radooniuringute tulemusena on Eestis välja selgitatud radooniohtlikumad piirkonnad ja koostatud esialgne radooni riskialade kaart (Petersell et al 2005). Uurimistööd on toimunud 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, vähem töökohti ja lasteasutusi. Samas peaksid lasteasutused olema erilise tähelepanu all, sest laste organism on tavaliselt tundlikum kahjulike keskkonnatingimuste suhtes.

Alates 2000. aastast on meil olemas ehitusstandard ehitatavate hoonete radoonitasemele – 200 Bq/m<sup>3</sup> (EVS 840:2000). 2011. a. sügisest kehtib Vabariigi Valitsuse määrus „Tervisekaitsenõuded koolieelse lasteasutuse maa-alale, hoonetele, ruumidele, sisustusele, sisekliimale ja korrashoiule“, kus öeldakse, et koolieelsete lasteasutuste ruumide siseõhu aasta keskmine radoonisisaldus peab olema väiksem kui 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Selle määruse põhjal alustati samal aastal keskkonnaameti kiirgusosakonnas radooniuuringut Tallinna koolieelsetes lasteasutustes, milles käesoleva töö autoril oli võimalus osaleda. Uuringu tulemused kajastuvad töö mõõtmistulemusi käsitlevas osas.

Magistritöö eesmärgiks on anda ülevaade: varasematest radooniuuringutest Eestis, radoonisisalduse normväärtuste reguleeritusest meie õigusaktides, enamlevinud siseõhu radoonimõõtmise meetoditest ja viia läbi radooniuuring Tallinna koolieelsetes lasteasutustes.

Lähtuvalt töö üldisest eesmärgist püstitati täpsustavad küsimused ja tööhüpoteesid:

1. Kas radoonisisaldus Tallinna eelkoolieelsetes lasteasutustes vastab Vabariigi Valitsuse määruses kehtestatud normile?

Tööhüpotees: enamuses mõõdetud lasteasutustes vastab radoonitase määruses kehtestatud normile.

2. Kas radoonisisalduse normväärtused hoonete siseõhus ning maapinnas on Eestis õigusaktidega piisavalt reguleeritud?

Tööhüpotees: radoonisisalduse normväärtused pole Eestis praegu piisavalt õigusaktidega reguleeritud.

3. Millised on enamlevinud mõõtmisviisid ja mõõtmismeetodid siseõhu radoonisisalduse määramiseks?

Tööhüpotees: mõõtmisviisi ja mõõtmismeetodi valik sõltub radoonimõõtmiste eesmärgist, vastavalt sellele kasutatakse erinevaid mõõtevahendeid.

4. Milliseid järeltulemusi ruumide radoonisisalduse kohta võimaldavad lühiajalised pidevmõõtmised?

Tööhüpotees: lühiajaliste pidevmõõtmiste tulemused on võrreldavad pikaajaliste mõõtmiste tulemusega ja kajastavad hästi ööpäevaseid radoonisisalduse muutumisi.

Töö teostumisele aitasid oluliselt kaasa järgmiste autorite kirjatööd: Bertil Clavensjö ja Gustav Åkerblom, Lia Pahapill, Valter Petersell, Endel Jõgioja, Evelyn Pesur.

## Tänuavaldused

Suur tänu minu magistritöö juhendajale Lia Pahapillile. Meeldiva koostöö eest tänan keskkonnaameti kiirgusosakonda, kes võimaldas teostada radoonimõõtmisi ja lubas kasutada uuringuks vajaminevat aparatuuri. Eraldi tänan kiirgusseire peaspetsialisti Alar Polt'i, tänu kellele oli võimalik teostada radooniuuring Tallinna koolieelsetes lasteasutustes ja hilisemat detektorite keemilist töötlemist. Hea koostöö ja meeldiva suhtumise eest tänan kõiki Tallinna koolieelseid lasteasutusi, kes olid nõus uuringus osalema. Tänan oma perekonda, kursusekaaslasi ja kõiki, kes aitasid ning nõustasid magistritöö kirjutamisel.

# 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 pliiiks. Radoon on kõrgradioaktiivne, õhust ligi 7,7 korda raskem (1 m<sup>3</sup> 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 (<sup>238</sup>U), uraan-235 (<sup>235</sup>U) ning toorium-232 (<sup>232</sup>Th) radioaktiivsel lagunemisel (Lisa 1) ning koosneb vastavalt kolmest isotoobist: <sup>222</sup>Rn ehk radoonist, <sup>219</sup>Rn ehk aktinoonist ja <sup>220</sup>Rn 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 <sup>222</sup>Rn põhjustatud radioaktiivne kiirgus kogu radooni päritoluga kiirgusdoosist üle 93% (UNCEAR, 1993).

Radoon pinnasest on enamikus riikides peamine looduskiirguse allikas. Inimese elukeskkonnas võib sellele lisanduda ehitusmaterjalidest ja sügavamate veekihtide majandus- ja joogiveest eralduv radoon. Pinnases ja ehitusmaterjalides tekib radoon nendes leiduva <sup>238</sup>U tütarelemendi raadiumi (<sup>226</sup>Ra) radioaktiivsel lagunemisel. Tekkivast radoonist eraldub (ekshaleerub) 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  $^{206}\text{Pb}$ .

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:  $\alpha$ -,  $\beta$ - ja  $\gamma$ -kiirguseks, millest viimane on oma olemuselt lähedane x-kiirtele;  $\alpha$  ja  $\beta$  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 teadmatuses 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. 19. sajandil tunti haigus ära kopsuvähina.

Schneebergis 1902. aastal korraldatud uurimised näitasid sealsetes kaevandustes radooni esinemist suurtes kogustes. Sellest ajast on pärit ka väide, et radooni kontsentratsioon ja kopsuvähki haigestumine on omavahel seotud. See väide leidis kinnitust 1920-ndail aastail korraldatud täpsemates uuringutes Schneebergis ja kaevandustes Böömimaal, kust pärinesid ka mineraalid, mida kasutas oma radioaktiivsuse uuringutes Marie Curie. Kuid need

uurimistulemused ei olnud siiski piisavad üldise heakskiidu saamiseks, sest osa teadlasi kirjutasid kopsuvähi tekke teiste tegurite arvele.

Uraani kaevandamine 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 uuringud kaevurite seas 1960-ndatel aastatel kinnitasid sama ka inimeste puhul.

Juba 1907. aastal toonitas Nobeli preemia laureaat E. Rutheford, et me kõik hingame iga päev radooni sisse. 1956. aastal (Rootsis) tehti esimesed majade siseõhus sisalduva radooni mõõtmised, kuid nende käigus mõnedes hoonetes saadud suured mõõtmistulemused ei leidnud peaaegu üldse rahvusvahelist kajastust. Alles kaksikümmend aastat hiljem paljudes riikides korraldatud süstemaatilised uuringud elamutes ja ühiskondlikes hoonetes näitasid, et radooni leidub kõikjal ning, et saadav kiirguse summa võib olla võrreldav kaevandustes mõõdetuga (WHO, 1997).

Kuni 1970-ndateni vaadeldi radooni ja tema tütarprodukte, kui radioaktiivsusohu 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 kõrgema radoonisisaldustega pinnastega (geoloogilise radooniriski) piirkondades või majades, mille ehitusmaterjalid sisaldasid märkimisväärselt raadiumirikkeid komponente (IAEA, 2003).

### **1.3 Radooni ohtlikkus**

Radiobioloogia eksperdid on enam-vähem ühisel arvamisel, 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 tehislikest 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 ioniseeriva kiirguse kogust elukeskkonnas.

Kuna radoon annab suurima osa looduslikust kiirgusest, siis on üks levinumaid looduskiirgusest tulenevaid terviseriske tingitud radoonist. Peamine radoonist tulenev 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 tütarproduktid võivad põhjustada otsest mõju DNA struktuurile. (Kolarz et al., 2009). Fieldi (2000) poolt tehtud uuring näitab, et kumulatiivne eksponeeritus radoonile elukeskkonnas on oluliselt seotud kopsuvähi riskiga. (Field, 2000). Väidetavalt moodustab radoon 50% taustakiirgusest, millega elanikkond kokku puutub. ( Groves-Kirkby et al., 2008)

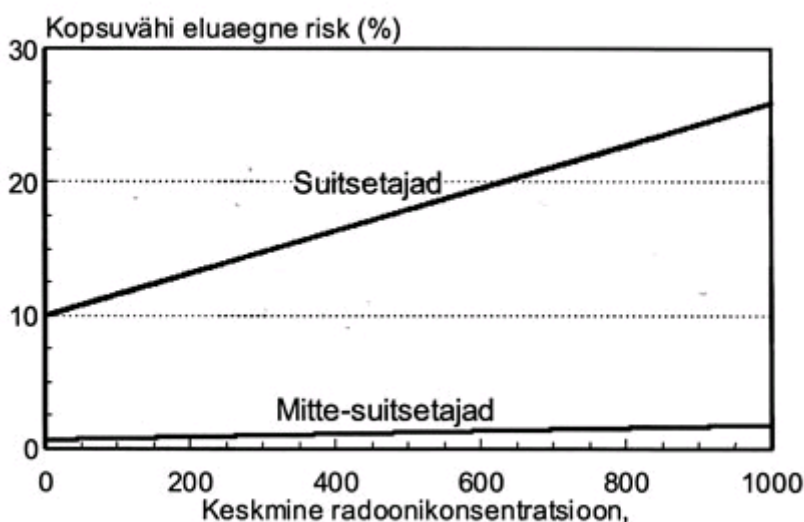
Radooni peetakse teiseks kopsuvähi tekitajaks suitsetamise järel. Tuleb rõhutada suitsetamise ja radooni kumulatiivset mõju. Lisaks suitsu enda mõjule, lisandub suitsu osakestele kinnitunud radooni tütarproduktide poolt eraldatav kiirgus ning radoonist pärinev kiirgus.

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

Kuna varasemate epidemioloogiliste uuringute käigus ei eristatud suitsetajaid ja mitte-suitsetajaid, oli keeruline vastata küsimusele, milline on ainult radoonist põhjustatud kopsuvähi risk. Rootsisis avaldati 2003. aastal sealse Karolinska Instituudi epidemioloogilise uuringu tulemused, mis kajastasid 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 (Mjõnes et al., 2002).

**Joonis 1.** Radoonist tingitud kopsuvähi risk suitsetajale ja mitte-suitsetajale (Mjõnes et al., 2002).



Kopsuvähk on Eestis üheks sagedasemaks vähisurma põhjuseks moodustades neist 21%. Mitu kopsuvähijuhtu võiks olla põhjustatud radoonist meie elamutes? Sellele küsimusele püüti vastata tuginedes aastail 1998-2001 toimunud riikliku radooniuuringu käigus saadud näitajatele erinevate radoonikonsentratsioonide statistilisest jaotusest meie elamutes, Eesti Vähiregistri andmetele (700 uut kopsuvähi juhtu aastas) ja Karolinska Instituudi epidemioloogilisele uuringule radoonist tuleneva kopsuvähi riski kohta. Selgus, 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 mitesuitsetajate 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 Radoon välisõhus, sesoonsed ja ööpäevased kõikumised**

Välisõhu radoonikontsentratsioonid on lisaks geoloogilistele eeldustele mõjutatud nii vaadeldava piirkonna suurusest, kui ka atmosfääri erinevatest ilmingutest. Päikesesoojus soodustab päeva jooksul konvektsiooni ja turbulentsi intensiivistumist atmosfääris, mille tõttu transporditakse radooni pinnasest märksa vabamalt ülespoole ning eemale. Öösel on atmosfäär suhteliselt rahulikum, vähesema soojusliikuvusega. Pinnasest imunud radoon akumulatsioonid maapinna lähedal viies järk-järgulisele radoonikontsentratsiooni tõusule. (Nagaraja et al., 2006)

Poolas (Podstawczyńska et al., 2009) läbiviidud uuring näitab seost välisõhu radoonitaseme ja meteoroloogiliste tingimuste vahel. Meteoroloogiliste parameetrite (temperatuur, temperatuuri vertikaalne gradient, tuule kiirus) muutuse alusel määrati radoonitaseme muutumist maapinnalähedases õhukihis. Uuring näitas, et radoonitase tõusis öösi stabiilsetes ilmastikutingimustes kevadest sügiseni, saavutades maksimumi linnatingimustes tekkiva nn „soojasaare“ ajal. Radoonitaseme tõusud olid harvad talvel, tulenevalt tsükloonaalse tegevuse intensiivistumisest tingitud atmosfääri ebastabiilsusest, millega kaasnevad tugevad tuuled ja sademed. Selgelt eristunud 24-tunni radoonikontsentratsiooni muutused ilmnesid suvel kõrgrõhkajal, kui esines pilvitu taevast, nõrk tuul ja suured ööpäevased õhutemperatuuri kõikumised. Antud analüüs näitas positiivset korrelatsiooni radoonitaseme ja mulla soojusvoo vahel ning negatiivset korrelatsiooni tuule kiiruse, õhutemperatuuri ja pinnase niiskusesisalduse vahel. (Podstawczyńska et al., 2009)

Meteoroloogilised tingimused võivad järsult muutuda mõjutades seeläbi kontsentratsioone võib-olla isegi minutite jooksul, aga samuti ka sesoonselt. (Ernbo, 2006)

## **1.5 Radooni sattumine hoonesse**

Radooni levik pinnasest on peamiseks põhjuseks radooni olemasoluks ehitistes (Clavensjö, Åkerblom, 1994).

Hoonesse imbub radoon pinnasest hoone alt ja ümbrusest, ehitusmaterjalidest, erinevatest kommunikatsioonide ja äravoolutorude avadest ning kraaniveest.

Kütteperiood on Eestis pikk. Sel ajal on ukSED ja aknad hoonetes hästi suletud ja ruumide ventileerimisel (ka ahjude kütmisel) tõmmatakse ruumidesse rohkem majaalust õhku, mis on kontaktis pinnasega. Talvel, kui maa külmub ja pinnaseõhu väljapääs välisõhku on takistatud, loob hoonealune külmumata pinnas head võimalused pinnaseõhu liikumiseks majja. Kaasa aitab asjaolu, et tavaliselt valitseb majades alarõhk.

Soojal aastaajal hoitakse majades ukSI ja aknaid rohkem lahti, mille tulemusena õhutatakse rohkem ja radoonitase ruumides väheneb.

### **1.5.1 Radoon pinnasest**

Eestis on hoonete siseõhu radoon pärit peamiselt pinnasest. Kõrge radoonitase pinnases on seotud diktüoneemakilda avamusega (Põhja-Eestis) ja graniidirikka moreeni levialadega (Lõuna-Eestis) (Petersell, et al., 2004).

Maakoor sisaldab oma tekkimisest peale radioaktiivseid elemente, mis tekitavad looduslikku kiirgusfooni. Kivimites, atmosfääris, pinnases, taimedes ja elusorganismide kudedes leidub radioaktiivseid isotoope nagu kaalium-40, rubiidium-87, uraan-235 ja toorium-232. Mõned nukliidid on ligi 4,5 miljardit aastat vanad. Nad on säilinud vaid seetõttu, et radioaktiivsete perekondade emade poolestusajad on suured, näiteks uraan-238 puhul  $4,5 \cdot 10^9$  aastat, uraan-235 puhul  $0,7 \cdot 10^9$  aastat.

Radoon võib tungida pinnasest hoonesse difusiooni või konvektsiooni teel. Radooni levik difusiooni teel on küllalt piiratud, sest radooni radioaktiivne poolestusaeg on lühike – 3,8 ööpäeva. Märkimisväärselt suurem on radooni levik konvektsiooni teel. Liikudes koos õhuga erinevatesse pinnasekihtidesse, võib radoon enne lagunemist kanduda 20-40 m kaugusele. Veelgi kaugemale aga kivimites olevaid lõhesid pidi, kaevanduskäikudes ja kommunikatsioonitorustikes. See sõltub aga eelkõige pinnase omadustest, nagu poorsus, sõmerus, vee läbilaskevõime, lõhede olemasolu jne. (Clavensjö, Åkerblom, 1994).

Radooni sisaldus pinnaseõhus ei ole püsiv, vaid varieerub suurtes piirides. Mida parem on pinnase aeratsioon, seda kiiremini migreerub radoon õhku ja seda väiksemaks jääb mõõdetav sisaldus (Petersell et al., 2004).

Radooni sisaldus pinnaseõhus on maksimaalne maapinnast ligikaudu 2 m sügavusel ja sügavamal. Mida lähemale maapinnale, seda intensiivemalt toimub pinnaseõhu aereerumine ja radooni migreerumine õhku (Petersell et al., 2004).

Lisaks looduslikule pinnasele võib radooni eralduda ka hoonete alla pandavast täitepinnasest, mis sageli koosneb mitmesugustest tootmis- või kaevandamisjääkidest.

### **1.5.2 Radoon veest**

Radioaktiivsete ainete sisaldus vees sõltub piirkonna geoloogilisest ehitusest ja põhjavee kaitstusest. (Kiirgusohutuse..., 2007). Normaalne radoonisisaldus joogivees on 10-100 Bq/l (EVS 840:2009).

Radooni sisaldus põhjavees sõltub suuresti sellest, millisest kihist pärinevat vett kasutatakse. Kõrgenenud radoonitaset võib leiduda:

- Kambrium-Vendi veelademes;
- veelademes, mis ei ole vettpidava kihiga eraldatud oobulusliivakivi või diktüoneemakilda kihid;
- kvaternaari pealmises veekihis, millest ülesvoolu paikneb oobulusliivakivi, diktüoneemakilda või nende töötlemisjääkide puistang. (Kiirgusohutuse..., 2007)

Radooni sisaldus põhjavees määratakse ära raadiumi sisaldusega pinnases, aluspõhjas ja vees. (Clavensjö, Åkerblom, 1994).

Olmeveest ruumi siseõhku eralduva radooni koguseid iseloomustab järgnev tabel (tabel 1) (EVS 840:2009).



**Tabel 1.** Olmeveest ruumi eralduva radooni ligikaudne protsentuaalne osa (EVS 840:2009).

<b>Vee kasutusviis</b>	<b>Olmeveest ruumi eralduv radoon, %</b>
Dušš	60-70
Vann	30-50
WC	30
Käsipesu	90
Pesumasin	90-95
Puhastusvesi	90
Lauavesi	95
Joogivesi	10-45

Efektivdoos veest on joogiveena kasutatava põhjavee radionukliidide sisaldusest tulenev inimese organites või kudedes neeldunud kiirgusenergia summa vee joomisest 2 liitrit ööpäevas ühe aasta jooksul, lubatud piirsalduseks on Eestis kehtestatud 0,1 mSv/aastas (Veepuhastuse OÜ).

Kõrgema radoonisisaldusega olmevee tarbimise korral tuleb kasutada eriseadmeid veest õhu eemaldamiseks. Parimate veest õhu eemaldamise seadmetega on võimalik vähendada vee radoonisisaldust 75-95%. (Jõgioja, 2004)

### **1.5.3 Radoon ehitusmaterjalidest**

Teatud kogus radooni eraldub hoonetes ka ehitusmaterjalidest (betoonist, tellistest, tuhaplokkidest jne). (EVS 840:2009). Üheks suurimaks radoonisisaldusega ehitusmaterjaliks peetakse Rootsis sealse diktüoneemakilda analoogi baasil valmistatud kergbetooni (Clavensjö, Åkerblom, 1994). Teisest küljest on betoon väga heaks radoonitõkkeks kõrgenenud radoonisisalduse vähendamiseks siseruumides ja hoonetes (EVS 840:2009). Järgnevalt on toodud mõningate ehitusmaterjalide raadiumisisaldus ning radooni ekshalatsioon (tabel 2).

**Tabel 2.** Ehitusmaterjalide raadiumisisaldus ning radooni ekshalatsioon (Åkerblom, 1999)

<b>Materjal</b>	<b>Raadiumisisaldus (Bq/kg)</b>	<b>Radooni ekshalatsioon (Bq/m<sup>2</sup>)</b>
Betoon	20 – 200	2-20
Telliskivi	40 - 150	1-10
Liivapõhine betoon või kergplokk	10 – 130	1-3
Kaevanduse jääkidest ning tuhast või raadiumirikkast savist valmistatud kergplokid või betoon	600 – 2600	50-200

Kui ehitusmaterjal (näiteks kergkruusast plokk) valmistatakse savist, milles on kõrge radionukliidide sisaldus, võib see põhjustada kõrgemat radoonitaset hoones. Üldiselt ei peeta Eesti ehitusmaterjale radooniohtlikeks. Radooniohtlikud võivad olla teistest riikidest eksporditud ehitusmaterjalid. (Pesur, 2006).

Viimastel aastatel on ehitusmaterjalina väga populaarsed poorsetest materjalidest (nt väikeplokkid) vundamendid ja seinad tuleks ehitada selliselt, et radoon ei satuks majaanalusest pinnasest pooride ja plokkidevaheliste vuukide kaudu seintesse, kust see võib edasi siseruumidesse tungida. Selle ohutusnõude eiramine on ilmselt üle 1000 Bq/m<sup>3</sup> ulatuva radoonikontsentratsiooni peapõhjus mitmetes Tallinna ümbruses ehitatud uutes majades (Pahapill, 2003).

Norras tehtud radooniuuringute põhjal väidetakse, et seal on majade keskmise radoonitaseme tõus viimastel aastakümnetel põhjustatud just poorsest materjalist ehitusplokkide laialdane kasutamine nii vundamentideks kui ka seinteks ning hoonete tihendamine energia kokkuhoiuks ( Jensen et al., 2004).

## 2. RADOONIURINGUD EESTIS

Selles peatükis antakse ülevaade eelnevalt Eestis läbiviidud radooniuringutest.

Eestis tõusis radooniteema avalikkuse huviorbiiti seoses nn „Sillamäe juhtumiga“ aastal 1988. Ilmnes juuste väljalangemine Sillamäe lasteaialastel, mille põhjusena kahtlustati uraanirikkast pinnasest pärinevat radooni. Selleks ajaks oli radooniprobleemi uuritud juba laialdaselt Soomes, Rootsis, USA-s ja paljudes teistes riikides. 1990. aastal kehtestati tolleaegses Nõukogude Liidus, kuhu kuulus ka Eesti NSV, ajutised piirnormid radoonikontsentratsioonidele majades (uutes 100 Bq/m<sup>3</sup> ja olemasolevates majades 200 Bq/m<sup>3</sup>) (Pahapill, 2004).

Järgnevalt käsitletakse Eestis toimunud radooniuringuid kahe mõnevõrra eristuva uuringuvaldkonna põhiselt: geoloogilised uuringud, mida tehakse peamiselt Eesti Geoloogiakeskuses ja radoonimõõtmised majades, mida enamuses viib läbi praegune keskkonnaameti kiirguskaitse osakond (eelnevalt Kiirguskeskus).

### 2.1 Geoloogilised uuringud

Radoonisisalduse laialdasem, kuid kaudne uuring Eesti pinnases ja aluspõhja kivimites algas 1958. aastal riikliku geoloogilise kaardistamise ( mõõtkavas 1 : 200 000) käigus seoses uraaniotsingutega. Uuringu tulemisena selgitati pinnases ja puuraukudes aluspõhja kivimite loodusliku gammakiirguse tase ning Rn , Th ja K sisaldus pinnastes (Petersell et al., 2004).

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

Süsteematilised pinnaseõhu radoonisisalduse uuringud algasid Eesti Geoloogiakeskuses 2000. a koostöös Rootsi ja Eesti Kiirguskeskuse ning Rootsi Geoloogiateenistusega.

Ajavahemikus 2001 kuni 2004 koostati ja avaldati trükis Eesti Rn-riskikaart mõõtkavas 1:500000, mis sisaldab seletuskirja, graafilisi lisasid, kus on toodud 566 uuringupunkti alusel Eesti pinnaste radoonisisaldused ja looduskiirgus (Petersell et al., 2004). 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 lubjakiviplateo 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 et al., 2004).

Alates 2004.a toimusid geoloogilised radooniriski uuringud juhuslike tellimustöödena, tellijateks omavalitsused, kinnisvaraarendavad firmad, ettevõtted ja kruntide valdajad ning 2007. aastast ka keskkonnaministeerium.

Lisaks eelpoolmainitud kogu Eestit hõlmavale kaardile on Eesti Geoloogiakeskuse poolt 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.

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

Viimastel aastatel on geoloogiakeskuses tegeldud ka Eesti oludesse sobiva pinnaseõhu radooni mõõtmismetoodika väljatöötamisega (Jüriado et al., 2010).

## 2.2 Radooniuringud hoonetes

Aastail 1989-1990 tegeldi majade siseõhu radooniprobleemiga tollase Eesti Teadusliku Uurimise Instituudi ehitusfüüsika osakonnas. Selles ajavahemikus tehti mõõtmisi enam kui 400 majas, millest 90% olid elamud ja 10% lasteasutused (Pahapill, 2004). Uuringu tulemustest järeldati, et peamine radooniallikas on pinnas hoone all.

Iseseisva Eesti esimestest aastates algas Eesti-Rootsi koostöö ioniseeriva kiirguse valdkonnas, kus ühe projektina käivitus ka Eesti-Rootsi radooniuringute programm. Programm võimaldas tänu Rootsi-poolsele abiprogrammile Eestil osta siseõhu radoonikontsentratsioonide määramiseks mõõtekompleksi, mis kasutas Euroopas tunnustatud ja laialdaselt kasutatavat uuringumetoodika (Pahapill, 2004).

Aastatel 1994 - 1998 läbi viidud radoonimonitooringus (Riikliku Keskkonnaseire Programmi alamprogramm) tehti Kiirguskeskuse poolt siseõhu radoonimõõtmisi 700 majas, peamiselt elamutes. Mõõtmistulemuste aritmeetiline keskmine oli 102 Bq/m<sup>3</sup>. 65% majadest jäi radoonitase alla 100 Bq/m<sup>3</sup> ja 3 % ületas 800 Bq/m<sup>3</sup>. Kõrgeim mõõtetulemus saadi Kundas – 12 000 Bq/m<sup>3</sup> (Pahapill, 2001).

Aastatel 1998-2001 viidi läbi riiklik radooniuring 515 juhuslikult valitud majas üle Eesti. Selle uuringu käigus saadud mõõtmistulemustele ja 2001.a. rahva- ja eluruumide loenduse materjalidele toetudes arvutati keskmine siseõhu radoonisisaldus Eestimaa elamutes - 103 Bq/m<sup>3</sup>. Uuringu tulemusena valmis Eestimaa valdade radooniriski kaart. Neile uuringutulemustele toetudes arvutati ka radoonist põhjustatud kopsuvähi risk Eestis (Pahapill, 2004).

Aastatel 2002-2004 kogus Kiirguskeskus koostöös Rootsi Kiirguskaitse Instituudiga, Rootsi ja Eesti Geoloogiakeskusega projekti “Radoon majades” raames algmaterjale koostatavale Eesti radooniriski kaardile, mõõtmised toimusid elamutes ja peamiselt geoloogiliselt radooniriski piirkondades (Pahapill, 2004).

2005. aastal valmis kiirguskeskuses uurimustöö “Joogivee radioaktiivsusest põhjustatud terviseriski hinnang”, mille 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 käsitlese järgi saab

kambrium-vendi vett tarbiv 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 ka keskmine radoonist põhjustatud efektiivdoos. Piirkonniti võib ühe või teise kiirgusallika osakaal kogudoosis olla erinev (Joogivee., 2005).

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 polnud mõõtmisi teostatud ning millede kohta radoonitasemete andmed puudusid (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 Kiirguskeskuse poolsed soovitused radoonitasemetele olemasolevate hoonetes. Lisaks loodi elektrooniline andmebaas, kuhu kanti antud uuringu ning sellele eelnevate radooniuuringutega kogutud andmed. (Tänavsuu, Lust, 2008).

Kui kuni 2006. aastani puudutasid hoonete siseruumide radooniuuringud peamiselt elamuid, siis edasised siseõhu radoonimõõtmised Eestis keskendusid enam töökohtadele, sealhulgas eriti lasteasutustele.

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.

Radooni tase võib olla kõrge ka põhjavees, seda eriti piirkondades, kus põhjavesi tuleb raadiumirikastest kivimitest. Radoon põhjaveest võib põhjustada sellisel juhul kõrgeid siseõhu radoonisisaldusi pesumajades ja restoranide köökides. Enamik munitsipaalveevärgist võtab oma vee pinnaveekogudest ning kuna need toituvad peamiselt vihmaveest, siis sel puhul ei teki probleeme kõrgete radoonitasemetega. Omaette grupi moodustavad siin veevõtujaamad ja veekeskused, mis kasutavad põhjavett. Sealsed töökohad peaksid olema eraldi monitooringu all kui kõrge radooniriskiga tööpaigad. Samuti varitseb radoonirisk ka kõikides maa-alustes töökohtades (IAEA, 2003).

2006. aastal valmis Kiirguskeskuses 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. Keskmine radoonisisaldus oli üle 200 Bq/m<sup>3</sup> kokku 66 uuritud hoones. 36 hoones, kus keskmine radoonisisaldus oli alla selle piirväärtuse, ei vastanud nõuetele üks või mitu ruumi. Probleme radoonisisaldusega eksisteeris 49% mõõdetud hoonetest. Selline tulemus oli eeldatav, kuna samadest piirkondadest oli kõrgeid tulemusi saadud ka elumajadest. (Pesur, 2006).

2008 aastal valmis Kiirguskeskuse mõõtmistulemuste põhjal Eesti Mereakadeemia 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 200 Bq/m<sup>3</sup>. Eriti kõrged olid radoonikontsentratsioonid Vihula, Vaivara ja Tapa vallas, kus mõõtmistulemused olid isegi üle 1000 Bq/m<sup>3</sup>.

Ilmnes ka seaduspärasus majade vanuse ja radoonisisalduste vahel. Aastatel 1950-1980 ehitatud majades olid kõrgemad radoonisisaldused, kui neile eelnevatel ja järgnevatel aastatel ehitatud majadel, mis viitab ehituskultuuri iseärasustele. (Virak, 2008).

Eraldi tuleks ära märkida 2008. aastal Tallinna Ülikoolis valminud Krista Jüriado magistritööd „Radioaktiivne kiirgus Eesti Kunstimuuseumi peahoones ja selle ümbruses“, milles käsitleti radooni nii hoones kui ka pinnaseõhus (Jüriado, 2008).

2009. aastal keskkonnaameti kiirgusosakonnas läbiviidud uuringus „Siseõhu radoonisisaldused Tallinna lasteasutustes“ oli vaatluse all 34 Tallinna lasteaeda, millest 28 kohta saadi ja analüüsiti tulemused (Preiman, 2009). Keskmine mõõtmistulemus oli 77 Bq/m<sup>3</sup>. Kõige madalam mõõdetud tulemus 13 Bq/m<sup>3</sup> saadi Kadrioru lasteaiast. Üksikutes ruumides kahes lasteaias saadud tulemused ületavad 200 Bq/m<sup>3</sup>. Üks neist tulemustest saadi Mustamäe lasteaiast, kus radoonisisaldus ühes ruumis oli 264 Bq/m<sup>3</sup>, teine lasteaiast Lasnamäel, mille ühes ruumis radooni kontsentratsioon oli 251 Bq/m<sup>3</sup>. Ülejäänud lasteasutuste radoonisisaldused jäid alla 200 Bq/m<sup>3</sup> (Preiman, 2009).

2010. aastal valmis „Radooniuring Eesti erinevates töökohtades“ (Vait, 2010), kuhu kaasati maapealsed töökohad, lastekodud, veekeskused, veepumbajaamad ja kaevandused. Vaatluse all olid tööpaigad pea kõikjal üle Eesti. Uuring viidi läbi 2 kaevanduses, 14 lastekodus, 11 vee/taastusravikeskuses ja 7 veepumbajaamas. Maksimaalne mõõdetud tulemus saadi Keila veetöötlusjaamast, kus radoonitase ulatus 1551 Bq/m<sup>3</sup>-ni. Kaevandustest saadud tulemused olid suhteliselt madalad - maksimaalseks tulemuseks oli 290 Bq/m<sup>3</sup>, kuid kuna kaevandustele ei kehti hoonete siseõhu radooninorm, võis seda lugeda heaks tulemuseks. Veekeskuste keskmine radoonitase oli 85 Bq/m<sup>3</sup>. Pumbajaamade õhu radoonisisaldused eristusid eelkõige selle poolest, kas jaam kasutab põhja- või pinnavett. Põhjavett kasutavates jaamadest ületasid enamuse väärtuse 200 Bq/m<sup>3</sup>. Lastekodudes mõõdetud tasemed jäid suuremas osas normi piiridesse, kuid esines üksikuid ületamisi Tapa, Tilsis, Tartus, Narva-Jõesuus, Nõmmes ja Maarjamäe lastekodudes. Keskmine radoonisisaldus lastekodudes oli 140 Bq/m<sup>3</sup>, kusjuures madalaim tulemus oli 57 Bq/m<sup>3</sup> Viljandi lastekodus, kõrgeim tulemus - 432 Bq/m<sup>3</sup> saadi Maarjamäe lastekodust, kus on ilmselt eiratud aastast 2000 kehtinud soovitusi EPN 12.3 „Radooniohutu hoone projekteerimine”. Majad on ehitatud aastal 2002. (Vait, 2010).



### 3. RADOONITASEMETE NORMEERIMINE

Selles peatükis tutvustatakse õigusakte ja standardeid, mis on seotud radooniga, eelkõige selle normväärtustega.

Enamikes Euroopa riikides on kehtestatud radooni piirväärtused elamutele ja töökohtadele. Erinevatel riikidel on need isesugused, jäädes vahemikku  $150 \text{ Bq/m}^3$  –  $1000 \text{ Bq/m}^3$  sõltuvalt sellest, kas tegemist on olemasolevate või planeeritavate hoonetega, elu- või tööruumidega. Põhjamaades (Taani, Soome, Island, Norra ja Rootsi) soovitatakse aktsioonitasemeks nii olemasolevates elamutes kui ka maapealsetes töökohtades  $400 \text{ Bq/m}^3$ ,  $200 \text{ Bq/m}^3$  aga soovitatava piiritasemena uutele hoonetele (Naturally..., 2000).

Olemasolevatele hoonetele on normväärtuseks  $400 \text{ Bq/m}^3$  määranud Austria, Saksamaa, Kreeka, Rootsi, Valgevene, Eesti, Leedu, Norra, Poola, Venemaa, Slovakkia ja Jugoslaavia. Iirimaa ja Inglismaal on soovituslikuks tasemeks  $200 \text{ Bq/m}^3$  ning Luksemburgil on soovituslikuks tasemeks  $150 \text{ Bq/m}^3$ . (Åkerblom, 1999)

Radoonisisalduse normväärtused hoonete siseõhus ning maapinnas ei ole praegu Eestis õigusaktidega piisavalt reguleeritud, samuti ei ole riiklikult kokku lepitud radoonisisalduse mõõtmise meetodikas. Ainus dokument, mis sätestab üldised radoonisisalduse normväärtused hoonete siseõhu ja pinnaseõhu jaoks ning annab soovitusi radoonisisalduse mõõtmise läbiviimiseks on Eesti Vabariigi standard „Radooniohutu hoone projekteerimine“. (Radoonisisalduse..., 2011)

Paraku ei ole standardid Eestis kohustuslikud. Samas ei ole Eestis tehtavad radoonimõõtmised alati usaldusväärsed, sest ühtegi akrediteeritud radoonisisalduse mõõtjat Eestis ei ole. (Radoonisisalduse..., 2011)

Vastavalt Eesti standardile EVS 840:2009 “Radooniohutu hoone projekteerimine” peab hoonete elu-, puhke- ja tööruumides aasta keskmine radoonisisaldus olema väiksem kui  $200 \text{ Bq/m}^3$  ning gammakiirguse intensiivsus alla  $0,5 \mu\text{Sv/h}$ . Vastavalt standardile tuleb rakendada radoonitõkestusmeetodeid kui pinnase õhu radoonisisaldus on kõrge või ülikõrge. Radooni hoonesse sattumise vältimise meetmed olenevalt pinnase õhu radoonisisaldusest on esitatud tabelis 3.

**Tabel 3.** Radooni hoonesse sattumise vältimise meetmed olenevalt pinnase radoonisisaldusest (EVS 840:2009)

<b>Pinnase radoonisisalduse tase</b>	<b>Pinnase radoonisisaldus (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Meetmed radooni hoonesse sattumise vältimiseks</b>
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

2011. aasta sügisest kehtib meil Eesti Vabariigi Valitsuse määrus „Tervisekaitsenõuded koolieelse lasteasutuse maa-alale, hoonetele, ruumidele, sisustusele, sisekliimale ja korrashoiule“. Määruse paragrahviga 9 kehtestatakse nõuded lasteasutuste sisekliimale ning lõikega 4 sätestatakse, et ruumide siseõhu aasta keskmine radoonisisaldus peab olema väiksem kui 200 bekerelli kuupmeetris (Bq/m<sup>3</sup>) ja gammakiirguse doosikiirus alla 0,5 mikrosiiverti tunnis (µSv/h) (Vabariigi...).

Kuid määrus ei sätesta, millise meetodikaga radoonisisaldust mõõta tuleks, et oleks tegemist aasta keskmise mõõtmistulemusega. Samuti jääb lahtiseks, kas see normväärtus kehtib hoonete keskmisena või eraldi kõigile ruumidele lasteasutuses. Lähtuvalt mõõteseadusest peavad riikliku järelvalve puhul selle määruse täitmise üle või ka kohtuspeöördumisel mõõtmised olema usaldusväärsed ja jälgitavad, see eeldab aga õiguslikult kehtestatud mõõtmismetoodikat. (Radoonisisalduse..., 2011).

Keskkonnaseadustiku eriosa seaduse eelnõu § 665 sätestab kiirguse peatüki reguleerimisala, milleks on põhiliste ohutusnõuete tagamine inimese ja keskkonna kaitsmiseks ioniseeriva

kiirguse kahjustava mõju eest, isikute õiguste, kohustuste ja vastutuse määramine ioniseeriva kiirguse kasutamisel ja nõuded kiirgustegevustele. Lõikega 2 täpsustatakse, et peatükk ei reguleeri kosmilisest kiirgusest tekitatud kiiritust maapinnal ja inimtegevusest puutumatus maakoos sisalduvatest radionukliididest tekitatud kiiritust maapinna kohal, välja arvatud radoonisisaldust siseruumi õhus. (Keskkonnaseadustiku...).

Rahvusvaheline Kiirguskaitse Komisjon (ICRP) soovib võtta tarvitusele meetmed siseõhu radooni vastu nii elu- kui ka tööruumides. ICRP väljaanne nr 103 soovib kõrgeimaks piirväärtuseks elumajadele  $600 \text{ Bq/m}^3$  ning töökohtadele  $1500 \text{ Bq/m}^3$ . (Tänavsuu, Lust 2008).

Euroopa Liidu direktiivis 96/29 EURATOM on väljatoodud, et ioniseeriv kiirgus võib tekitada inimestel tervise kahjustusi. Direktiiv toob esile nõuded töötajate ja elanikkonna kaitseks ioniseeriva kiirguse eest. Komisjon märgib, et kõigi kiirguskaitsega seotud probleemide puhul tuleb lähtuda erinevate riskide suhtelisest osakaalust.

2011. aastal Keskkonnaministeriumi poolt läbi viidud uuringus (Radoonisisalduse..., 2011) jõuti järeldusele, et radoonisisalduse normväärtust tuleb õiguslikult reguleerida lisaks koolieelsetele lasteasutusele ka teistes hoonetes, eelkõige kõikides lasteasutustes ja töökohtades. Olemasolevate eramute jaoks piisab indikatiivse väärtuse seadmisest, et oleks võimalik teha otsuseid edasiste tegevuste osas. Uute eramute jaoks väärtuse seadmine oleks aga vajalik seetõttu, et kui ehitamise järel on radoonisisaldus hoones liiga suur, siis saab nõuda garantiitööde teostamist või pöörduda kohtusse.

Õigusaktide muudatuste ajakava kohaselt jätkatakse 2012. aastal lasteasutuste radoonisisaldusenormide kehtestamisega, 2013. aastal peaks jõustuma keskkonnaseadustiku eriosa seadus, mis võiks sätestada üldised normid kõikidele hoonetele ja mõõtmistele. Põhjalikke täiendusi nii õigusaktidesse kui strateegilistesse dokumente on oodata alates 2016. aastast, mil tuleb üle võtta uue Euroopa Liidu radooni käsitlev direktiiv. (Radoonisisalduse..., 2011).

## 4. MÕÕTMISMEETODID SISEÕHU RADOONISISALDUSE MÄÄRAMISEKS

Selles peatükis peatutakse erinevatel siseõhu radoonisisalduse mõõtmisviisidel ja mõõtmiseks kasutatavatel seadmetel.

2009. aastal Maailma Tervishoiuorganisatsiooni poolt valminud radoonialases käsiraamatus (WHO, 2009) on radooni mõõtmiste puhul rõhutatud, et:

- radoonimõõtmised hoonetes on kergesti teostatavad, kuid nende usaldusväärsuse ja võrreldavuse tagamiseks, tuleb mõõtmised läbi viia riiklikult kooskõlastatud meetodil;
- aasta keskmise radoonitaseme määramisel tuleb eelistada pikaajalisi mõõtmisi;
- siseõhu radoonikontsentratsioonide suur ajaline kõikumine muudab lühiajalised mõõtmised enamikul juhtudel väheinformatiivseiks;
- tagamaks mõõtmistulemuste usaldatavust, on eriti oluline pöörata tähelepanu mõõtmiste kvaliteedi kontrollile ja jälgitavusele.

Soomes ja Rootsis on maja aasta keskmise radoonisisalduse määramisel aluseks vähemalt 2-kuulised mõõtmised kütteperioodil eeldusel, et siis on radoonitase hoones kõrgeim. Iirimaal ja Suurbritannias kasutatakse kindlaksmääratud sesoonseid korrektsioonitegureid, mille alusel 3-kuuliste mõõtmiste põhjal arvutatakse ehitise aasta keskmine radoonisisaldus. Itaalias tehakse terve aasta kestvaid mõõtmisi vältimaks sesoonsetest kõikumistest tulenevat mõõtemääramatust. (WHO, 2009)

Radooni ja tema tütarprodukte hoonete siseõhus mõõdetakse mitme erineva meetodiga, mida, sõltuvalt lähtekohast saab käsitleda mitmel erineval moel. Nii võib rääkida passiiv- ja aktiivmõõtmistest:

- passiivmõõtmistel kasutatakse mõõdikuid (detektoreid), mida eksponeeritakse lühema või pikema aja jooksul mõõdetaval objektil. Selle meetodi puhul läbib ruumiõhk detektori kambri vaba difusiooni teel. Pärast eksponeerimisaja lõppu toimub mõõdikutelt mõõtmistulemuse saamine spetsiaalsete mõõteseadmete abil. Passiivmõõtmistel kasutatakse kõige sagedamini alfajalg ja aktiveeritud söe

detektoreid ning elektreet-ionkambreid. Passiivmõõtmistel pole vajalik elektrivarustuse olemasolu.

- aktiivmõõtmiste korral on tegemist elektroonilise mõõteseadmega, mille puhul suure tundlikkusega radoonidetektorisse uuritavat õhku pumbatakse. Sellisel viisil võib võtta näiteks õhuproovi mõõdetavalt objektilt (stsintillatsioonkambri meetod). Mõõtmistulemuse saab kiiresti kohapeal. Aktiivmeetodi kasutamisel on võimalik koostada radoonitaseme muutumise ajalisi graafikuid, selgitada välja radooni sisseimbumiskohti hoones. Siin kasutatakse erinevat tüüpi radoonimonitore. Erinevalt passiivmõõtmistest on aktiivmõõtmistel vajalik elektrivarustuse olemasolu.

Sõltuvalt mõõtmisperioodi pikkusest võib radoonimõõtmisi jagada:

- proovivõtuks (sniffing, grab sampling), mõõteproov võetakse sekundite või minutite jooksul (stsintillatsioonkambrid)
- lühiajalisteks, mõõteperiood päevades (aktiveeritud söe detektorid, elektreet-ionkambrid, pooljuht-alfadetektorid)
- pikaajalisteks, mõõteperiood pikkusega kuud, aastad (alfajälg detektorid, elektreet-ionkambrid, pooljuht-alfadetektorid, radoonimonitorid)
- pidevmõõtmisteks, kus saadakse integreeritud mõõtmistulemused soovitud ajavahemiku (minutid, tunnid jne) kohta (radoonimonitorid).

Erinevate mõõtmismeetodite all peetakse sageli silmas mõõtmist erinevate mõõteseadmetega. Järgnevalt on toodud ülevaade peamistest hoonetes siseõhu radooni mõõtmisel kasutatavatest mõõteseadmetest.

**Tabel 4.** Radooni mõõteseadmed ja nende karakteristikud (WHO, 2009).

Detektori tüüp	Mõõtmisviis	Tüüpiline mõõtemääramatus *, %	Tüüpiline mõõteperiood
Alfajälg detektor	passiivne	10 – 25	2 - 12 kuud
Aktiveeritud söe detektor	passiivne	10 – 30	2 - 7 ööpäeva

<b>Elektreet-ioonkamber</b>	passiivne	8 – 15	5 ööpäeva – 1 aasta
<b>Pooljuht-alfadetektor</b>	aktiivne	~ 25	5 ööpäeva – aastad
<b>Pidevmõõtmiste radoonimonitor</b>	aktiivne	~10	1 ööpäev – aastad

\*Mõõtemääramatus on antud optimaalsele eksponeerimisajale ja aktiivsuskontsentratsioonile ~200 Bq/m<sup>3</sup>

## 4.1 Radoonisisalduse mõõtmine stsintillatsioonkambriga

Selle meetodi puhul pumbatakse uuritav õhk hermeetiliselt suletud metallsilindrisse, mille seinad on seestpoolt kaetud stsintillaatoriga, tavaliselt kasutatakse selleks ZnS(Ag). Õhk silindrisse imetakse läbi filtri, et elimineerida radoonitütarproduktid. Silindri õhus oleva radooni lagunemisel vabanevad alfaosakesed tekitavad stsintillaatoriga kokkupuutes valgussähvatusi. Metallsilindri ühes otsas on läbipaistvast materjalist aken, mille kaudu on stsintillatsioonkamber ühenduses fotoelektronkordistiga, mis muudab valgussähvatused mõõdetavateks elektriimpulssideks. Need registreeritakse elektroonilises loenduris. Sageli nimetatakse seda meetodit tema väljatöötaja järgi „Lucas-kambri“ meetodiks. Eraldi proovivõtumeetodina on stsintillatsioonkambrid tänapäeval vähe kasutusel, sest radoonikontsentratsioonide suure ajalise muutlikkuse tõttu ei anna nad täit pilti sellest, milline on radoonitase hoones pikema aja jooksul. Kuid neid kasutatakse detektorina pidevmõõtmistel radoonimonitorides.

## 4.2 Radoonisisalduse mõõtmine alfajälg detektoritega

Alfajälg detektor kujutab endast alfatundlikust plastikust valmistatud tükikest, mis asetseb väikeses karbis või konteinerikeses (joonis 2). Plastikuna kasutatakse peamiselt polüallüüldiglükool-karbonaati (PADC või CR-39), tselluloosnitraati (Kodak LR-115) või polükarbonaati (Makrofol).



**Joonis 2.** Erinevad alfajälg detektorid

Õhk pääseb karbikesse läbi filtri või spetsiaalse avause - nii eemaldatakse mõõdetavast õhust radooni tütarproduktid. Gaasilise radooni radioaktiivsel lagunemisel emiteeritavad alfaosakesed jätavad mikroskoopilised jäljed detektori tundlikule osale. Pärast eksponeerimisaja lõppu töödeldakse plastikedektorit vastavalt, kas elektrokeemiliselt või keemiliselt NaOH või KOH lahuses muutes sellel alfa osakeste jäljed mikroskoobi valguses nähtavaks. Alfaosakeste tekitatud jälgede loendamine toimub vastava programmi abil arvutil. Jälgede arv detektori pinnaühikule on võrdeline radooni kontsentratsiooniga ( $\text{Bq/m}^3$ ) mõõdetavas ruumis. Vastavad konversioonikordajad, mis võimaldavad alfajälgede tiheduse järgi detektoril määrata radooni aktiivsuskontsentratsiooni eksponeerimisajal, saadakse plastikmaterjali kalibreerimisel spetsiaalsetes litsentseeritud laboratooriumites või antakse kaasa plastikut tootva firma poolt.

Alfajälg detektorite eksponeerimisaeg võib olla 1 kuust kuni aastani. Tavaliselt on mõõtmisaeg 2-3 kuud kütteperioodil. Minimaalne mõõdetav tulemus 1 kuulise eksponeerimisaja kohta on  $30 \text{ Bq/m}^3$ ; mõõtemääramatus, sõltudes mõõtmistulemusest ja mõõteseadmetest jääb 10-25% piiresse.

Alfajälg detektorid ei ole tundlikud õhutemperatuuri ja niiskuse muutumisele ning gamma- ja beeta taustkiirgusele.

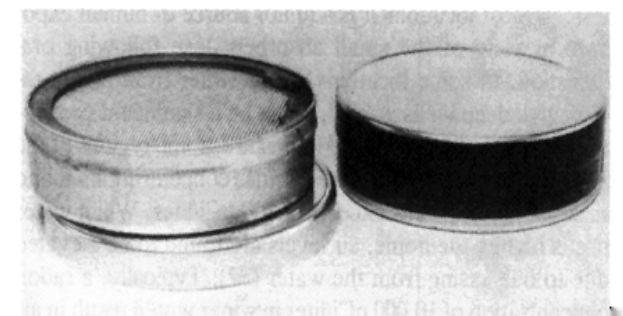
Kui 1980.ndatel aastatel oli alfajälg detektoritel halb maine, kuna mõned detektorid andsid lugemina kas liiga kõrge või liiga madala kontsentratsiooni, siis tänaseks on detektorite

materjal selline, et filtriga detektorid annavad kõrge täpsusastmega lugemid, isegi kui radooni kontsentratsioon on kõigest  $10 \text{ Bq/m}^3$  (Clavensjö, Akerblom, 1994).

Radoonisisalduse määramine alfajalg detektoritega on maailmas väga laialt levinud ja on olnud juba paarkümmend aastat kasutusel Eestis kiirguskeskuses (keskkonnaameti kiirgusosakonnas).

### 4.3 Radoonisisalduse mõõtmine aktiveeritud söe detektoritega

Mõõtmine aktiveeritud söe detektoritega põhineb aktiveeritud söe omadusel adsorbeerida erinevaid gaase, sealhulgas ka radooni. Söedetektor kujutab endast väikest aktiveeritud söega täidetud metallkarbikest, mis on suletud õhutihedalt metallkaanega (joon.3).



**Joonis 3.** Aktiveeritud söe detektorid.

Mõõteobjektil võetakse metallkaas söekarbikeselt. Õhk, koos seal sisalduva radooniga difundeerub läbi filtri karbikesse ja radoon kinnitub (adsorbeerub) aktiveeritud söe graanulitele. Söele adsorbeerunud radooni tase on võrdeline mõõdetavas ruumis oleva radooni kontsentratsiooniga. Söel adsorbeeritud radooni lagunemisel emiteeritakse alfaosakesi ning tekkinud radooni tütarproduktide lagunemisel eraldub gammakiirgus. Eksponeerimisaja lõppedes söekarbikesed suletakse õhutihedalt metallkaanega ja saadetakse mõõtelaborisse tulemuste saamiseks. Selleks mõõdetakse neid gammaspektromeetrial määrates ära Pb-214 ja Bi-214 poolt emiteeritava gammakiirguse. Alternatiiviks gammaspektromeetria on



mõõtmine vedeliktsintillatsioon-loenduriga, siis mõõdetakse radooni ja tema tütarde alfa- ja beetakiirgust. Kuna aktiveeritud söel toimub nii radooni adsorptsioon kui ka desorptsioon, siis ei ole söedektorid kasutatavad pikematel mõõtmistel kui 7 päeva, tavaliselt on nende eksponeerimisajaks 2 – 7 ööpäeva. Radooni poolestusaeg 3,8 ööpäeva seab omakorda piirid ajavahemikule eksponeerimisaja lõpust kuni mõõtetulemuse saamiseni mõõtelaboris. Mõõtmine seal peab toimuma pärast söedektori sulgemist mõõtekohal nii kiiresti kui võimalik, kuid mitte hiljem kui 5 päeva jooksul.

Minimaalne mõõdetav tulemus 2 -7 päevasel eksponeerimisajal on 20 Bq/m<sup>3</sup>; mõõtemääramatus sõltuvalt mõõtmistulemusest 10 – 30 %.

Söedektorid on väga tundlikud õhu niiskusele ja õhutemperatuuri muutustele, samuti ei anna nad head mõõtmistulemust tingimustes, kus radooni kontsentratsioon kõigub mõõtmisperioodil väga suurtes piirides.

See mõõtmismeetod oli varem väga laialdaselt kasutusel USA-s.

#### **4.4 Radoonisisalduse mõõtmine elektreet-ionkambritega**

Elektreet kujutab endast dielektrikut, mis jääb polariseerituks pärast elektrivälja lakkamist säilitades ühel küljel positiivse ja teisel negatiivse laengu. Radooni sisaldav õhk pääseb läbi filtri difusiooni teel ionkambrisse, filter eraldab õhust radooni tütarproduktid. Radooni radioaktiivsel lagunemisel tekkiv kiirgus ioniseerib kambris olevat õhku. Selle protsessi käigus vabanenud negatiivsed ioonid kogunevad positiivselt laetud elektreedile kambri põhjas ja positiivsed ioonid kogutakse negatiivselt laetud kambri seintele. Negatiivsete ionide kogumine elektreetile vähendab elektrostaatilist laengut selle pinnal. Mingis ajavahemikus selles ionisatsioonikambris toimunud radooni lagunemisest tekkiv ionisatsioon on mõõdetav sellel perioodil toimunud pingelangusega elektreedil. Elektreedi laengut mõõdetakse enne ja pärast eksponeerimist spetsiaalse patareidel töötava voltmeetri abil (joon.4). Kasutades vastavaid kalibratsioonikordajaid saab arvutada radoonikontsentratsiooni ruumis, kus elektreet-ionkambrist kasutati.

Kuna tausta gammakiirgus ioniseerib samuti õhku mõõdiku sees, tuleb teha mõõtmistulemusse vastav korrektsioon. Selleks määratakse mõõdetaval objektil ka gammakiirgus.



**Joonis 4.** Mõõtmistel elektreet-ioonkambriga kasutatavad mõõteseadmed

Elektreet detektoreid saab vastavalt disainile kasutada nii lühiajalistel (2-15 ööpäeva) kui ka pikaajalistel (3-12 kuud) mõõtmistel. Tänu täpsusele ja lihtsusele on mõõtmisviis elektreet detektoritega maailmas laialt kasutusel. Mõõtemääramatus - sõltuvalt mõõtmistulemusest 8-15%. Mõõdikud on tundlikud tolmu- ja põrutustele.

## **4.5 Radoonisisalduse määramine pooljuht-alfadetektoritega**

(Solid state alpha detectors, solid-state silicon detector)

Pooljuht-alfadetektor kujutab endast difusioonkambrist, mille sees on pooljuhtmaterjalist (tavaliselt silikoonist) detektor radooni lagunemisel tekkivate alfaosakeste loendamiseks. Detektor mõõdab alfaosakeste energiat muutes selle elektriliseks signaaliks. Õhk difundeerub mõõtekambrisse läbi filtri, nii eemaldatakse analüüsitava õhust radooni tütarproduktid. Kuna radooni lagunemisele elektrostaatiliselt kogumisel laetud detektorile on mõõtetulemus sõltuv õhu niiskusest, tuleb kasutada desikante (kuivatavaid ühendeid) veeauru eemaldamiseks mõõtekambrist.

Pooljuht-alfadetektoreid kasutatakse nii lühiajalistel (5-10 ööpäeva) kui ka pikaajaliste

mõõtmistel, kuid nende laialdast kasutamist piirab seda tüüpi detektorite kalibreerimist teostavate laborite vähesus.

Minimaalne mõõtmistulemus 7-päevasele mõõteperioodile on 20 Bq/m<sup>3</sup>. (Analüüs..., 2011)

## 4.6 Pidevmõõtmiste radoonimonitorid

Radoonimonitore kasutatakse radoonitaseme jälgimiseks soovitud ajaperioodil. Mõõtmistulemusi võib saada erinevate ajavahemike kohta alustades hetkeväärtusest proovivõtu meetodil kuni 3-5 ööpäevaste, 2-3 kuuliste ja aastapikkuste perioodideni välja. Sensoriks on peamiselt:

- stsintillatsioonkamber,
- ionisatsioonkamber
- pooljuht-alfadetektor

Analüüsitav õhk imetakse väikese pumbaga või difundeerub sensorisse tavaliselt läbi filtri, mis eemaldab radooni tütarproduktid, vajadusel ka liigse niiskuse. Monitorid on lisaks mõõteseadmele varustatud mikroprotsessoriga mõõtmistulemuste arvutamiseks, salvestamiseks ja trükkimiseks. Jooksvad mõõtmistulemused kuvatakse digitaalselt mõõteseadme ekraanile (joon.5). Kasutades vastavat arvutiprogrammi on võimalik viia andmed personaalarvutisse edasiseks mõõtmistulemuste analüüsiks ja graafikute esitamiseks. Õhu pumpamiseks, andmete salvestamiseks ja trükkimiseks vajalik elekter saadakse otse vooluvõrgust või seadmetes kasutatavatelt akudelt.



**Joonis 5.** Erinevad radoonimonitorid

Erinevat tüüpi sensoreid kasutavad monitorid võimaldavad lisaks radoonikontsentratsioonide mõõtmistele veel mitmesuguseid lisauuringuid. Nii saab näiteks pooljuht-alfadetektoreid kasutatavate monitoridega teha alfa-spektromeetrilisi mõõtmisi ja esitada vastavaid graafikuid. Monitor võib olla varustatud spetsiaalse sondiga sisseimetava õhu tarvis, mille abil saab avastada näiteks piiretes radooni lekkekohti.

Minimaalne mõõtmistulemus radoonimonitoridel on enamasti  $5 \text{ Bq/m}^3$ , mõõtemääramatus 10 % piires. Tagamaks mõõtmistulemuste täpsust ja kvaliteeti tuleb neid mõõteseadmeid regulaarselt kalibreerida. (Analüüs..., 2011).

Erinevat tüüpi sensoritega radoonimonitore kasutatakse tänapäeval üha laialdasemalt. Ka Eestis kasutavad radoonimõõtmistega tegelevad asutused erinevaid radoonimonitore, millega saab teostada erinevatel eesmärkidel tehtavaid uuringuid (radooni lekkekohtade avastamine hoones, keskmise radoonitaseme määramine jne).

## 5. MATERJAL JA METOODIKA

Radoonisisaldus hoonetes kõigub aja jooksul tugevasti sõltudes radoonieraldusest pinnasest, meteoroloogilistest tingimustest ja elanike eluviisist, alludes nii ööpäevastele kui ka sesoonsetele muutustele. Seda tuleb arvestada erinevatel eesmärkidel tehtavatel radoonimõõtmistel õige mõõtmisviisi valimisel. (Analüüs..., 2011).

### 5.1 Radooniohtlikud alad Tallinnas

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 Tallinna piirkondades:

- 1) Alal, mis ulatub Harku järvest lõunas ja kagus kuni paeastanguni;
- 2) Mustamäe nõlvaalusel kuni Rahumäeni, kuni kilomeetri laiusel ribal;
- 3) Põhja pool Rahumäe ja Liiva raudteejaamade vahelist joont kuni kahe kilomeetri laiusel ribal, mis ulatub Balti jaamani, Toompea küngas välja arvatud;
- 4) Ida pool Lilleküla ja Järve raudteejaamade vahelist joont kuni endise tselluloositehaseni;
- 5) Paekalda-alusel alates endisest tselluloositehasest kuni peaastangu ristumiseni Vana-Narva maanteega, kuni poole kilomeetri laiusel ribal;
- 6) Maarjamäelt ida pool paikneval paeastangualusel kuni kilomeetri laiusel ribal;
- 7) Pirita jõe orus alates Nehatust kuni botaanikaaiani;
- 8) Pirita jõe orust ida pool paikneval paeastangualusel, kuni kahe kilomeetri laiusel ribal;

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).

## 5.2 Uuritavate objektide valik

Uuringu läbiviimise peamiseks põhjuseks oli 2011. aastal jõustunud Vabariigi Valitsuse määrus, kus kehtestatakse „Tervisekaitsenõuded koolieelse lasteasutuse maa-alale, hoonetele, ruumidele, sisustusele, sisekliimale ja korrashoiule“, mille kohaselt peab ruumide siseõhu aasta keskmine radoonitase olema väiksem kui 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Et välja selgitada, milline on radoonitase praegu, viis keskkonnaameti kiirgusosakond läbi käesoleva uuringu.

Uuringusse kaastati Tallinna haldusalas olevad lasteasutused. Välja saadeti detektorid 129 lasteasutusse ja mõõtmistulemused saadi 101 kohta. Mõõtmised teostati lasteasutuses pikaajalise mõõtmismeetodiga (detektoreid eksponeeriti vähemalt 2 kuud) ja lisaks 16-s neist tehti pidevmõõtmised radoonimonitoriga (radoonimõõtja paigaldati lasteaeda 2-3 päevaks). Uuringusse kaasatud asutustele saadeti tutvustav e-kiri (Lisa 2).

Detektorid saadeti lasteaedadesse posti teel koos detektorite paigaldamise kirjaliku juhisega (Lisa 3) ja ehituslikke parameetreid uuriva ankeediga (Lisa 4). Detektorite arv varieerus vastavalt lasteaia iseärasustele ja hoone ehitusele, kuid valdavalt paigaldati lasteaedadesse 4 detektorit. Lasteasutustes pandi detektorid esimesele korrusele või keldrikorrusele - ruumidesse, mida kasutatakse mängu- või magamisruumina; või kohta, kus lapsed veedavad palju aega (näiteks logopeediruum).

Üldlevinud meetoodika radoonisisalduse määramisel ja ka antud uuringus kasutatud meetoodika näeb ette, et detektorid paigaldatakse võimalikult maapinna lähedal olevatesse ruumidesse. Tavaliselt on radoonisisaldus neis ruumides suurem, kui kõrgemal asuvates ruumides.

## 5.3 Radooni mõõtmised hoonete siseõhus

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.

Uuringu läbiviimiseks kasutati nii pikaajalist kui ka lühiajalist pidevmõõtmise meetodit. Nimetatud meetodite kirjeldused on toodud alljärgnevalt.

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 tavapärasest eluviisi muuta - inimesed võivad elada oma igapäevast elu ning kasutada ruume harjumuskohaselt. Lähtudes eeldusest, et radooni peamine allikas on maapind, on otstarbekas 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.

Pärast eksponeerimist saadetakse mõõdikud kiirgusosakonda tagasi, kus toimub nende keemiline töötlemine. Seejärel loetakse plastikule jäänud alfaosakeste jäljed mikroskoobiga ühendatud mõõtekompleksil ja arvutatakse vastavad radoonikontsentratsioonid. Selleks võetakse detektori plastiktükid konteinerist välja ja asetatakse spetsiaalsesse tarvikusse. Tarvik on plastikust hoidja, kus on 12 pesa 12 detektori jaoks. Ettevalmistus söövitusprotsessiks lõpeb sellega, et slaidid asetatakse söövitamistruumlisse.

Enne söövitamist valmistatakse ette söövitamisvann. Söövitamisvanni lisatakse läbi täiteaugu destilleeritud vesi ja tahke naatriumhüdroksiid. (4 liitrisse destilleeritud vette lahustati 1 kg NaOH-d). Niipea, kui ettevalmistus protsess on lõppenud pannakse söövituskarussell koos slaididega söövituskambrisse. Söövitusprotsess kestab 4,5 tundi. Seejärel lastakse söövitamislahus välja ja söövituskambrisse lisatakse neutraliseerimislahus. Neutraliseerimislahuses on 200 ml 15 % äädikat ja 4 liitrit destilleeritud vett. Peale neutraliseerimist loputatakse söövitatavaid detektoreid veel 4 liitri destilleeritud veega. Peale loputusprotsessi võetakse söövituskarussell söövituskambrist välja ja jäetakse ööpäevaks kuivama.

Analüüsimiseks eemaldatakse slaidid koos detektoritega söövituskarussellist ja sisestatakse automaatmikroskoopi. Mikroskoop loendab jäljed kokku ja arvutab radoonikontsentratsiooni väärtused ning salvestab need andmebaasi. Mikroskoopi juhib arvutiprogramm (joonis 6).



**Joonis 6.** Arvutisüsteem ja mikroskoop (Radosys Ltd, 2011)

Kiirgusosakonnas kasutatava analüüsisüsteemi Ungari firmast RADOSYS Ltd mõõtemääramatuseks loetakse  $\pm 15\%$ . Mõõtmise täpsuse kindlustamiseks tehakse regulaarselt kalibreerimiskontrolle.

Kasutatud mõõtmistehnika võimaldab võrrelda andmeid teiste Euroopa riikidega.

Pidevmõõtmise meetodi korral paigaldati majja paariks päevaks elektrooniline radoonimonitor Alphaguard. Kuna mõõteaeg on lühike, ei saa tulemusi kasutada enamaks kui radooniprobleemi indikatsiooniks. Tegemist on aktiivmeetodiga, radoonimonitor 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. Kõik antud töös esitatud pidevmõõtmised viidi läbi käesoleva töö autori poolt. Mõõtmistulemuste kohta väljastati protokoll mõõteperioodi keskmise tulemuse ning radooni sisalduse kõikumist iseloomustava graafikuga. Graafikud on esitatud lisades 5, 6, 7, 8.



## 6. RADOONIURINGU TULEMUSED TALLINNA KOOLIEELSETE LASTEASUTUSTE KOHTA

### 6.1 Pikaajaliste mõõtmiste tulemused

Tallinna koolieelsete lasteasutuste keskmised radoonitasemed 2011/2012. aasta kütteperioodil on toodud tabelis 5 ning vaadeldavad Tallinna kaardil (lisa 9). Töös on võetud aluseks koolieelsetele lasteasutustele kehtestatud radoonitaseme piirväärtus 200 Bq/m<sup>2</sup>. Kõik mõõtmistulemused on esitatud lisa 10.

**Tabel 5.** Keskmised radoonisisaldused lasteasutustes

Nr	Asutuse nimi	Keskmine radoonisisaldus (Bq/m <sup>3</sup> )
1	Tallinna 22. Lasteaed	13
2	Tallinna 26. Lasteaed	108
3	Tallinna Lasteaed Õunake	324
4	Tallinna Allika Lasteaed	110
5	Tallinna Arbu Lasteaed	126
6	Tallinna Endla Lasteaed	35
7	Tallinna Haraka Lasteaed	74
8	Tallinna Järveotsa Lasteaed	42
9	Tallinna Kadaka Lasteaed	75
10	Kadrioru Lasteaed	20
11	Lasteaed Kajakas	38
12	Kalamaja Lasteaed	27
13	Tallinna Kannikese Lasteaed	59
14	Tallinna Lasteaed Karikakar	46
15	Tallinna Lasteaed Kaseke	46
16	Lasteaed Kelluke	18
17	Tallinna Lasteaed Kiikhobu	44
18	Tallinna Lasteaed Kikas	97
19	Tallinna Kivimurru Lasteaed	118
20	Kolde Lasteaed	30
21	Tallinna Lasteaed Kraavikrõll	18
22	Tallinna Kristiine Lasteaed	177
23	Tallinna Kullatera Lasteaed	15

24	Tallinna Kullerkupu Lasteaed	37
25	Tallinna Kuristiku Lasteaed	328
26	Tallinna Lasteaed Laagna-Rukkilill	26
27	Tallinna Läänemere Lasteaed	51
28	Tallinna Lauliku Lasteaed	94
29	Tallinna Lepatriinu Lasteaed	13
30	Tallinna Liikuri Lasteaed	64
31	Tallinna Liivaku Lasteaed	75
32	Tallinna Liivalossi Lasteaed	26
33	Tallinna Lille Lasteaed	27
34	Tallinna Lindakivi Lasteaed	94
35	Tallinna Linnamäe Lasteaed	79
36	Tallinna Luha Lasteaed	58
37	Lasteaed Maasikas	16
38	Tallinna Magdaleena Lasteaed	55
39	Tallinna Mahtra Lasteaed	81
40	Tallinna Männi Lasteaed	59
41	Tallinna Männikäbi Lasteaed	45
42	Tallinna Männiku Lasteaed	81
43	Tallinna Lasteaed Männimudila	60
44	Tallinna Mardi Lasteaed	49
45	Tallinna Meelespea Lasteaed	88
46	Merivälja Lasteaed	62
47	Lasteaed Mesipuu	10
48	Tallinna Lasteaed Mooniõied	48
49	Tallinna Muhu Lasteaed	99
50	Tallinna Muinasjutu Lasteaed	112
51	Tallinna Mustakivi Lasteaed	268
52	Tallinna Mutionu Lasteaed	150
53	Tallinna Mürakaru Lasteaed	45
54	Tallinna Lasteaed Nõmmekannike	28
55	Lasteaed Naeratus	16
56	Tallinna Nurmenuku Lasteaed	71
57	Lasteaed Ojake	15
58	Lasteaed Pääsupesa	12
59	Tallinna Lasteaed Pääsusilm	131
60	Tallinna Padriku Lasteaed	50
61	Tallinna Pae Lasteaed	62
62	Tallinna Paekaare Lasteaed	129
63	Lasteaed Päikene	10
64	Tallinna Päikesejänku Lasteaed	52
65	Tallinna Lasteaed Pallipõnn	206
66	Pelguranna Lasteaed	45

67	Tallinna Piiri Lasteaed	56
68	Pirita Lasteaed	39
69	Tallinna Jaan Poska Lasteaed	38
70	Tallinna Priisle Lasteaed	124
71	Rõõmutarekese Lasteaed	57
72	Tallinna Raadiku Lasteaed	75
73	Tallinna Lasteaed Rabarüblük	53
74	Tallinna Rännaku Lasteaed	94
75	Lasteaed Rukkirääk	47
76	Siisikese Lasteaed	65
77	Tallinna Sikupilli Lasteaed	266
78	Tallinna Lasteaed Sinilill	44
79	Tallinna Lasteaed Sinilind	21
80	Tallinna Lasteaed Sipsik	242
81	Sitsi Lasteaed	33
82	Tallinna Suitsupääsupesa Lasteaed	146
83	Tallinna Suur-Pae Lasteaed	72
84	Tallinna Lasteaed Südameke	48
85	Tallinna Tähekese Lasteaed	143
86	Tallinna Terakese Lasteaed	56
87	Tallinna Tihase Lasteaed	64
88	Tallinna Tuule Lasteaed	55
89	Tallinna Unistuse Lasteaed	118
90	Tallinna Lasteaed Vesiroos	21
91	Tallinna Vindi Lasteaed	94
92	Tallinna Virmalise Lasteaed	40
93	Tallinna Vormsi Lasteaed	77
94	Tallinna Laagna Lasteaed-Põhikool	28
95	Tallinna Lepistiku Lasteaed-Algkool	54
96	Tallinna Mustamäe 1. Lasteaed- Algkool	65
97	Tallinna Lastesõim Hellig	92
98	Tallinna Lastesõim Mõmmik	21
99	Muumipere Lastesõim	99
100	Lastesõim Päkapikk	55
101	Lastesõim Planeedi Mudila	159

Tabelist on näha, et 101 mõõdetud hoonest ületavad keskmised radoonitasemed lubatud 6 lasteasutuses. Kõrgeimad keskmised tasemed saadi Tallinna Kuristiku, Tallinna Õunakese ja Tallinna Mustakivi lasteaiast, vastavalt  $328 \text{ Bq/m}^3$ ,  $324 \text{ Bq/m}^3$  ja  $268 \text{ Bq/m}^3$ . Kõrgeim mõõtmistulemus üksikus ruumis –  $840 \text{ Bq/m}^3$  saadi Mustakivi lasteaiarühmaruumist, samas

kui teiste rühmruumide tulemused jäid normi piiridesse (33 Bq/m<sup>3</sup>, 85 Bq/m<sup>3</sup> ja 114 Bq/m<sup>3</sup>). See kõrge üksiktulemus kergitas ka kogu lasteasutuse keskmise radoonitaseme üle normväärtuse. Seletuse nii suurele erinevusele samas hoones võiks anda põhjalik hoone ehituslik ülevaatus ja võimalusel ka geoloogiline uuring. Siin võib ehitusliku põhjusena tulla kõne alla ehitusviga või hoone alusesse aja jooksul tekkinud pragu. Geoloogilise põhjusena võib olla tegemist konkreetse ruumi alla jäävas osas lõhega lubjakivis, mida mööda pääseb välja gaasiline radoon alumistest diktüaneemakilta sisaldavatel kihtidest.

7 lasteasutuses esines üksikuid ületamisi, kuid keskmine tase jäi alla 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Kuna ka eelnevatel aastatel on läbiviidud radooniuuringuid Tallinna lasteaedades, oli huvitav vaadata, mil määral 2009. ja 2012. aastatel mõõdetud tulemused erinevad. Mõõtmistulemusi iseloomustab alljärgnev tabel (tabel 6).

**Tabel 6.** Radoonisisaldused Tallinna lasteaedades 2009. ja 2012. aastal

<b>Nr</b>	<b>Lasteasutus</b>	<b>Keskmine radoonisisaldus (Bq/m<sup>3</sup>) 2009. a.</b>	<b>Keskmine radoonisisaldus (Bq/m<sup>3</sup>) 2012. a.</b>
1	Lasteaed Pallipõnn	133	206
2	Lindakivi lasteaed	131	94
3	Liikuri lasteaed	127	64
4	Mustakivi lasteaed	123	268
5	Vormsi lasteaed	122	77
6	Lasteaed Kajakas	114	38
7	Sikupilli lasteaed	112	266
8	Unistuse lasteaed	101	118
9	Siisikese lasteaed	66	65
10	Lasteaed Sipsik	82	242
11	Kivimurru lasteaed	82	118
12	Priisle lasteaed	78	124
13	Padriku lasteaed	73	50
14	Pae lasteaed	55	62
15	Mahtra lasteaed	53	81
16	Merivälja lasteaed	53	62
17	Laagna lasteaed Rukkilill	52	26
18	Pirita lasteaed	48	39
19	Lauliku lasteaed	47	94
20	Paekaare lasteaed	42	129

21	Lasteaed Ojake	38	15
22	Tihase lasteaed	31	64
23	Lasteaed Lepatriinu	29	13
24	Lasteaed Kaseke	26	46
25	Tallinna 22. Lasteaed	16	13

Selgub, et kuigi kasutati sama mõõtmisviisi ja metoodikat on mõõtmistulemused aastati erinevad. Tabelist on näha, et mitmes lasteaias ületavad 2012. a. mõõdetud tulemused oluliselt 2009. a. mõõdetud tulemusi. See võib tuleneda 2012. aasta suhteliselt karmist talvest, mil maja ümbritsev külmunud maapind soodustas radooni tungimist majaalusest külmumata pinnasest hoonesse ning ka mõõtmiseks valitud ruumide erinevusest.

## 6.2 Radoonist põhjustatud efektiivdoosid koolieelsetes lasteasutustes

Radoonisisalduste ümberarvutamiseks potentsiaalseks aastaseks efektiivdoosideks kasutati antud töös ICRP üleminekuseoseid. Efektiivdoosid arvutati välja töökohtade keskmiste radoonisisalduste järgi (tabel 3.).

ICRP tööaja arvestuse kohaselt veedab inimene oma töökohas aastas 2000 tundi. Enamikus uuringutes on võetud ka lasteaedades eksponeerimisajaks 2000 tundi (IAEA, 2003). Kuigi näiteks uuringus Poola lasteaedade radoonitasemete kohta väidetakse, et lapsed veedavad neis asutustes keskmiselt 2400 aastas (Kozak et al., 2006). Käesolevas töös on arvutuse aluseks võetud 2000 tundi, mis põhjustab 1 Bq/m<sup>3</sup> radoonisisalduse puhul 0,0063 mSv efektiivdoosi aastas.

### 6.2.1 Radoonist põhjustatud efektiivdoosid

Looduskiirgusest põhjustatud efektiivdoos jääb üldjuhul vahemikku 2,4-4 mSv/a. Looduslik kiirgus koosneb peamiselt kahest komponendist, gammakiirgusest ning radoonist. Eestis elumajades tehtud uuringute alusel on meie keskmine elamus siseõhuradoonist saadav efektiivdoos 1 mSv aastas. Et saada kogu aastane efektiivdoos lastele tuleks liita järgnevas tabelis (tabel 7) toodud väärtustele ka kodus saadav efektiivdoos.

**Tabel 7.** Radoonist põhjustatud efektiivdoosid lasteasutustes

Nr	Asutuse nimi	Keskmine radoonisisaldus Bq/m <sup>3</sup>	Efektiivdoos (mSv) 2000 tunni kohta aastas
1	Tallinna 22. Lasteaed	13	0,08
2	Tallinna 26. Lasteaed	108	0,68
3	Tallinna Lasteaed Õunake	324	2,04
4	Tallinna Allika Lasteaed	110	0,69
5	Tallinna Arbu Lasteaed	126	0,79
6	Tallinna Endla Lasteaed	35	0,22
7	Tallinna Haraka Lasteaed	74	0,47
8	Tallinna Järveotsa Lasteaed	42	0,26
9	Tallinna Kadaka Lasteaed	75	0,47
10	Kadrionu Lasteaed	20	0,13
11	Lasteaed Kajakas	38	0,24
12	Kalamaja Lasteaed	27	0,17
13	Tallinna Kannikese Lasteaed	59	0,37
14	Tallinna Lasteaed Karikakar	46	0,29
15	Tallinna Lasteaed Kaseke	46	0,29
16	Lasteaed Kelluke	18	0,11
17	Tallinna Lasteaed Kiikhobu	44	0,28
18	Tallinna Lasteaed Kikas	97	0,61
19	Tallinna Kivimurru Lasteaed	118	0,74
20	Kolde Lasteaed	30	0,19
21	Tallinna Lasteaed Kraavikrõll	18	0,11
22	Tallinna Kristiine Lasteaed	177	1,12
23	Tallinna Kullatera Lasteaed	15	0,09
24	Tallinna Kullerkupu Lasteaed	37	0,23
25	Tallinna Kuristiku Lasteaed	328	2,07
26	Tallinna Lasteaed Laagna-Rukkilill	26	0,16
27	Tallinna Läänemere Lasteaed	51	0,32
28	Tallinna Lauliku Lasteaed	94	0,59
29	Tallinna Lepatriinu Lasteaed	13	0,08
30	Tallinna Liikuri Lasteaed	64	0,40
31	Tallinna Liivaku Lasteaed	75	0,47
32	Tallinna Liivalossi Lasteaed	26	0,16
33	Tallinna Lille Lasteaed	27	0,17
34	Tallinna Lindakivi Lasteaed	94	0,59
35	Tallinna Linnamäe Lasteaed	79	0,50
36	Tallinna Luha Lasteaed	58	0,37
37	Lasteaed Maasikas	16	0,10
38	Tallinna Magdaleena Lasteaed	55	0,35

39	Tallinna Mahtra Lasteaed	81	0,51
40	Tallinna Männi Lasteaed	59	0,37
41	Tallinna Männikäbi Lasteaed	45	0,28
42	Tallinna Männiku Lasteaed	81	0,51
43	Tallinna Lasteaed Männimudila	60	0,38
44	Tallinna Mardi Lasteaed	49	0,31
45	Tallinna Meelespea Lasteaed	88	0,55
46	Merivälja Lasteaed	62	0,39
47	Lasteaed Mesipuu	10	0,06
48	Tallinna Lasteaed Mooniõied	48	0,30
49	Tallinna Muhu Lasteaed	99	0,62
50	Tallinna Muinasjutu Lasteaed	112	0,71
51	Tallinna Mustakivi Lasteaed	268	1,69
52	Tallinna Mutionu Lasteaed	150	0,95
53	Tallinna Mürakaru Lasteaed	45	0,28
54	Tallinna Lasteaed Nõmmekannike	28	0,18
55	Lasteaed Naeratus	16	0,10
56	Tallinna Nurmenuku Lasteaed	71	0,45
57	Lasteaed Ojake	15	0,09
58	Lasteaed Pääsupesa	12	0,08
59	Tallinna Lasteaed Pääsusilm	131	0,83
60	Tallinna Padriku Lasteaed	50	0,32
61	Tallinna Pae Lasteaed	62	0,39
62	Tallinna Paekaare Lasteaed	129	0,81
63	Lasteaed Päikene	10	0,06
64	Tallinna Päikesejänku Lasteaed	52	0,33
65	Tallinna Lasteaed Pallipõnn	206	1,30
66	Pelguranna Lasteaed	45	0,28
67	Tallinna Piiri Lasteaed	56	0,35
68	Pirita Lasteaed	39	0,25
69	Tallinna Jaan Poska Lasteaed	38	0,24
70	Tallinna Priisle Lasteaed	124	0,78
71	Rõõmutarekese Lasteaed	57	0,36
72	Tallinna Raadiku Lasteaed	75	0,47
73	Tallinna Lasteaed Rabarüblük	53	0,33
74	Tallinna Rännaku Lasteaed	94	0,59
75	Lasteaed Rukkirääk	47	0,30
76	Siisikese Lasteaed	65	0,41
77	Tallinna Sikupilli Lasteaed	266	1,68
78	Tallinna Lasteaed Sinilill	44	0,28
79	Tallinna Lasteaed Sinilind	21	0,13
80	Tallinna Lasteaed Sipsik	242	1,52
81	Sitsi Lasteaed	33	0,21

82	Tallinna Suitsupääsupesa Lasteaed	146	0,92
83	Tallinna Suur-Pae Lasteaed	72	0,45
84	Tallinna Lasteaed Südameke	48	0,30
85	Tallinna Tähekese Lasteaed	143	0,90
86	Tallinna Terakese Lasteaed	56	0,35
87	Tallinna Tihase Lasteaed	64	0,40
88	Tallinna Tuule Lasteaed	55	0,35
89	Tallinna Unistuse Lasteaed	118	0,74
90	Tallinna Lasteaed Vesiroos	21	0,13
91	Tallinna Vindi Lasteaed	94	0,59
92	Tallinna Virmalise Lasteaed	40	0,25
93	Tallinna Vormsi Lasteaed	77	0,49
94	Tallinna Laagna Lasteaed-Põhikool	28	0,18
95	Tallinna Lepistiku Lasteaed-Algkool	54	0,34
96	Tallinna Mustamäe 1. Lasteaed- Algkool	65	0,41
97	Tallinna Lastesõim Hellik	92	0,58
98	Tallinna Lastesõim Mõmmik	21	0,13
99	Muumipere Lastesõim	99	0,62
100	Lastesõim Päkapiikk	55	0,35
101	Lastesõim Planeedi Mudila	159	1,00

Tabelist 7 on näha, et keskmist elamust saadavat radoonist põhjustatud efektiivdoosi (1 mSv/a) ületavad 8 lasteasutust. Tallinna Õunakese ja Kuristiku lasteaias ületas efektiivdoos isegi 2 mSv/a. Kõikides ruumides mõõdetud radoonitasemete alusel arvatud efektiivdoosid on toodud lisas 9.

### 6.3 Lühiajaliste pidevmõõtmiste tulemused

Selles peatükis antakse ülevaade lühiajaliste pidevmõõtmiste tulemustest, nende alusel radoonisisalduse ööpäevasest käigust mõõdetud ruumides ja võrreldakse lühiajaliste mõõtmiste tulemusi pikaajaliste mõõtmistulemustega.

Nagu eespool mainitud ei võimalda lühiajalised radoonimõõtmised teha järeldusi hoone radoonisisalduse kohta normväärtuse kontekstis, kuid kütteperioodil tehtavad lühiajalised mõõtmised on hea indikatiivse väärtusega radooniprobleemi olemasolu määratlemisel ja nagu näitab käesolev uuring on tulemused võrreldavad.



Uuringusse kaasatud lasteaiad on vaadeldavad kaardil (lisa 11). Järgnev tabel (tabel 8) annab ülevaate kahel erineval meetodil saadud mõõtmistulemustest.

**Tabel 8.** Pikaajalise- ja pidevmõõtmise tulemused

					Lühiajalise mõõtmise tulemused		
Nr	Lasteasutus	Mõõtmiskoht	Õhuvahetus	Pikaajalise mõõtmise keskmine tulemus	Min	Keskmine	Max
1	Kannikese Lasteaed	Kullakeste rühm	üldventilatsioon	60	9	54	127
2	Lasteaed Kajakas	Mänguruum	loomulik	70	1	42	121
3	Lasteaed Maasikas	Tibukesed sõim	loomulik	<10	10	40	103
4	Lasteaed Pallipõnn	Pillerkaare-Piilude rühm	loomulik	197	24	156	300
5	Lasteaed Sipsik	I. rühm	üldventilatsioon (24h)	63	-2	47	131
6	Lastesõim Hellik	Mummude rühm	loomulik	85	-2	18	52
7	Liikuri Lasteaed	IV rühm	loomulik	77	12	143	320
8	Lindakivi Lasteaed	Sõimerühm	loomulik, väljatõmbeventiil	83	21	110	252
9	Meelespea Lasteaed	Pesamunade rühm	loomulik	82	17	61	135
10	Mustakivi Lasteaed	Kellukese rühm 2A	üldventilatsioon	840	26	665	1144
11	Padriku Lasteaed	Õppeklass	üldventilatsioon (12h)	-	5	40	126
12	Siisikese Lasteaed	Söögituba	üldventilatsioon	36	3	24	65
13	Sikupilli Lasteaed	Sipsiku rühm	üldventilatsioon	321	61	198	434
14	Terakese Lasteaed	Rühm Mõmmik	loomulik	78	3	19	60
15	Unistuse Lasteaed	2. rühm	loomulik	123	1	125	366
16	Vormsi Lasteaed	5. rühm	üldventilatsioon	78	0	51	135

Tabelist on näha, et enamuses lasteaedades olid keskmised pikaajalised ja pidevmõõtmiste tulemused võrreldavad. Maasika, Liikuri, Lindakivi ja Unistuse lasteaias oli pikaajalise mõõtmise tulemus pidevmõõtmise tulemusest väiksem. Mustakivi ja Sikupilli lasteaias ületas keskmine tulemus 200 Bq/m<sup>3</sup> ning Pallipõnni lasteaias tulemus oli sellele väga lähedal – 197 Bq/m<sup>3</sup>

Lühiajalise mõõtmise üheks eesmärgiks oli selgitada välja kui suur on erinevus öise- ja päevase keskmise radoonitaseme vahel. Reeglina on öösel, mil lapsed ei viibi lasteaias, radoonitase kõrgem (vaata lisasid 5, 6, 7, 8). Pikaajalised mõõtmised ühtlustavad selle erinevuse. Päevaseks ajaks on loetud aeg, mil lapsed viibivad lasteasutuses (7:30 – 18:00). Tulemusi analüüsiti Microsoft Exceli programmi abil ning arvatati öiste ja päevaste mõõtmistulemuste osatähtsus. Enamikel juhtudel on öine keskmine suurem kui päevane keskmine.

Lühiajalise mõõtmise tulemuste keskmine, päevane ja öine keskmine tulemus ning nende protsentuaalne erinevus keskmisest on esitatud tabelis 9.

**Tabel 9.** Päevaste ja öiste keskmiste osatähtsus

Lasteaed	Keskmine	Päevane keskmine	Öine keskmine	Päevase keskmise erinevus koguanndmete keskmisest %	Öise keskmise erinevus koguanndmete keskmisest %
Kannikese Lasteaed	54	50	59	8	9
Lasteaed Kajakas	42	31	54	28	29
Lasteaed Maasikas	40	46	34	14	14
Lasteaed Pallipõnn	156	132	178	16	14
Lasteaed Sipsik	47	21	72	56	53
Lastesõim Hellik	18	18	19	0	6
Liikuri Lasteaed	143	127	161	11	13
Lindakivi Lasteaed	110	89	131	19	19
Meelespea Lasteaed	61	59	63	3	3
Mustakivi Lasteaed	665	500	719	25	8
Padriku Lasteaed	40	30	50	25	23
Siisikese Lasteaed	24	20	29	16	21
Sikupilli Lasteaed	198	192	203	3	2
Terakese Lasteaed	19	20	18	6	5

Unistuse Lasteaed	125	32	214	74	71
Vormsi Lasteaed	51	35	75	31	48

Nagu tabelis näha on reeglina õised väärtused suuremad. See tulemus oli oodatav. Samas ei võimalda andmete vähesus teha kaugeleulatuvaid järeldusi selle kohta, millist koefitsienti võiks pikaajaliste mõõtmistulemuste andmete interpreteerimisel kasutada, et seda erinevust arvestada. Suuremas osas jäävad erinevused mõõtemääramatuse piiridesse.

# KOKKUVÕTE

Magistritöös anti lühiülevaade Eestis tehtud radooniuuringutest ja vaadeldi radoonisisalduse normväärtuste reguleeritust meie õigusaktides, peatuti enamlevinud siseõhu radoonimõõtmise meetoditel ja esitati kahel erineval meetodil Tallinna koolieelsetes lasteasutustes teostatud radooniuuringu tulemused.

Uuringus oli vaatluse all 129 asutust, millest 101 tulemused esitati käesolevas töös, lisaks uuriti 16 lasteaias radoonisisalduse ööpäevaseid muutusi.

Keskmine radoonisisaldus oli üle lubatud piirnormi 6-s mõõdetud lasteasutuses ning 7-s hoones esines ületamisi üksikutes ruumides. Ülejäänud hoonetes vastasid tulemused kehtestatud piirnormile. Kõrgeim tulemus –  $840 \text{ Bq/m}^3$  saadi Mustakivi lasteaia ühest rühmaruumist, ülejäänud ruumides jäid tasemed normi piiridesse. Seega saab kinnitust esimene tööhüpotees, et enamuses lasteasutustes vastab radoonitase määruuses kehtestatud normile.

Mõõtmistulemuste alusel arvutati radoonist saadavad efektiivdoosid. Selgus, et aastas radooni poolt põhjustatud keskmise efektiivdoosi väärtuse  $1 \text{ mSv/a}$  ületas 8 asutust. Ülejäänud lasteasutustes vastasid tulemused kehtestatud normile.

Kinnitust leidis ka teine tööhüpotees - käesoleval ajal pole radoonitasemete normväärtused hoonetes ja pinnaseõhus Eesti õigusaktides piisavalt reguleeritud, samuti puudub riiklikult kokkulepitud metoodika radoonimõõtmiste tegemiseks.

Töös anti ülevaade erinevatest siseõhu radoonimõõtmise viisidest ja meetoditest ning käsitleti üksikasjalikult käesolevas uuringus kasutatud mõõtmismeetodeid. Mõõtmisperioodi alusel jaotatakse mõõtmised proovivõtuks, pikaajaliseks-, lühiajaliseks- ja pidevmõõtmiseks. Kinnitust leidis ka kolmas tööhüpotees - sõltuvalt radoonimõõtmise eesmärgist saab kasutada erinevaid mõõteseadmeid ja mõõtmismeetodeid.

Lühiajalised radoonimõõtmised radoonimonitoriga 16-s lasteasutuses näitasid, et reeglina on ruumides öösel, mil lasteasutuses kedagi pole, radoonitasemed kõrgemad kui päevasel ajal. Pikaajaliste mõõtmistega tehtud mõõtmistulemuses sisaldub ka see õine osa, mis laste tervist ei mõjuta, sest lapsed on sel ajal oma kodus. Samas ei võimalda andmete vähesus teha kauguleulatuvaid järeldusi selle kohta, millist koefitsienti võiks andmete interpreteerimisel kasutada, et seda erinevust arvestada. Pikaajaliste ja lühiajaliste mõõtmistulemuste

võrdlemisel ilmnes, et kütteperioodil tehtud lühiajalised mõõtmised on võrreldavad pikaajaliste mõõtmistulemustega ja edukalt kasutatavad radooniprobleemi tuvastamiseks hoones. Lühiajaliste pidevmõõtmiste põhjal saab hästi jälgida radoonitaseme ööpäevast käiku.

Erinevatel aastatel samades lasteasutustes toimunud pikaajaliste mõõtmistulemuste võrdlemisel ilmnes, et 2012. aasta tulemused ületavad oluliselt 2009. aasta omi, see võis tuleneda 2011/2012. aasta suhteliselt karmist talvest ning mõõtmiseks valitud ruumide erinevusest.

## Järeldused ja soovitused

- Kuna radoonisisalduse normväärtus on käesoleval hetkel seadusega reguleeritud ainult koolieelsetes lasteasutustes, tuleks seda teha ka teistes hoonetes, eelkõige lasteasutustes ja töökohtades. Samuti tuleks kokkuleppida ühtses mõõtmismetoodikas, et oleksid garanteeritud usaldusväärsed tulemused.
- Antud uuringus oli vaatluse all 101 lasteasutust, kuid ainuüksi Tallinnas on neid üle 200. Edaspidi tuleks leida võimalused kõigi Eesti koolieelsete lasteasutuste uurimiseks, sest kõigi eelduste kohaselt tuleb 2016. aastast üle võtta Euroopa Liidu radooni käsitlev direktiiv, mille kohaselt peab radoonisisaldus vastama kehtestatud piirväärtusele.
- Kindlasti tuleks edaspidi välja selgitada piirnormi ületanud lasteasutuses radoonitaseme tõusu põhjused ja võtta kasutusele leevendusmeetmed ruumides radoonisisalduse vähendamiseks. Esimeses järjekorras vajab põhjalikumat uuringut, mis põhjustas kõrge radoonitaseme Mustakivi lasteaias ja leida meetmed seal radoonikontsentratsiooni alandamiseks.
- Käesoleva uuringu põhjal võib järeldada, et Tallinna koolieelsetes lasteasutustes valitseb üldiselt tervislik elukeskkond, kuna enamikus neist keskmised radoonisisaldused vastasid kehtestatud piirnormile.

# **SUMMARY**

## **INDOOR RADON STUDY IN TALLINN PRESCHOOLS**

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

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.

Present study provides an overview of radon levels in preschools of Tallinn, which was carried out by the Radiation Safety Department. Work provides an overview of radon measurement methods.

At present study the radon measurement results are obtained during long-term and short-term methods on the heating period of 2011/2012. Long-term measurements were obtained for 101 child care institutions, from which in 16 was conducted short-term measurements with radon monitor. From the long-term average results were calculated the annual effective doses in child care institutions.

In regulation the maximum level  $200 \text{ Bq/m}^3$  is the year annual average value and it should be measured with long-term measurement method, measurements should be at least two (preferably three) months long during the heating period.

Measurements showed that:

- 95 child care institutions answered the norm - the average radon level all over the building (calculated on the basis of 4-6 measured rooms ) was less than  $200 \text{ Bq/m}^3$ .
- 7 child care institutions exceeded the norm in single rooms
- in 6 child care institutions were the average radon levels (calculated on the basis of 4-6 measured rooms) over  $200 \text{ Bq/m}^3$ .

Short-term continuous measurements show that there is clearly observable diurnal radon level variation.

## KASUTATUD MATERJALID

Åkerblom G. 1999. Radon Legislation and National Guidelines. Department of Environmental Monitoring and Dosimetry/Avdelningen för Miljöövervakning och mätning.

Analüüs riikliku radoonisisalduse mõõtmismetoodika kehtestamise vajalikkuse kohta. 2011. Keskkonnaministeerium. Tallinn

Clavensjö B, Åkerblom G. 1994. "The Radon Book Measures against radon". The Swedish Council for Building Research. Sweden.

EVS 840:2009. Eesti Standard. 2009. "Radooniohutu hoone projekteerimine". Eesti Standardikeskus.

Ernbo H. 2006. Minimum Detectable Amount of Radon Progeny in Outdoor Air. Master of Science Thesis. Stockholm, Sweden

Field, R.W., Steck, D.J., Smith, B.J., et al., 2000. Residential radon gas exposure and lung cancer: the Iowa radon lung cancer study. *Am. J. Epidemiol.* 151, 1091–1102

Groves-Kirkby, C.J., Denman, A.R., Phillips, P.S., Tornberg, R., Woolridge, A.C., Crockett, R.G.M., 2008. Domestic radon remediation of UK dwellings by sub-slab depressurisation: evidence for a baseline contribution from constructional materials. *Environ. Int.* 34, 428–436.

IAEA. 2003. „Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines. No. 33“.

Jensen, C.L., Strand, T., Ramberg, G., Ruden, L., Ånestad, K. 2004. The Norwegian Radon Mapping and Remediation Program. *Proc. of the IRPA Congress held in Madrid.*

Joogivee Radioaktiivsusest Põhjustatud Terviseriski Hinnang. 2005. Tallinn

Jõgioja E. 2004. Radooniohutu elamu. AS Aktaprint. Tallinn

Jüriado K, 2008. „Radioaktiivne kiirgus Eesti Kunstimuuseumi peahoones ja selle ümbruses“. Tallinn. Magistritöö.

Jüriado K, Petersell V. 2010. Relationship between the concentration of radon directly measured in soil air and calculated arter radium. 10<sup>th</sup> International Workshop on the Geological aspects of Radon Risk mapping 21-22 sept.

Jüriado K, Raukas A, Petersell V, 2012. Alum Shales Causing Radon Risks on the Example of Maardu Area, North-Estonia. Oil Shale. Vol. 29, No 1, pp. 76-84

Kiirgusohutuse riikliku arengukava 2007-2017 keskkonnamõju strateegiline hindamine. 2007. Aruanne. Estonian, Latvian & Lithuanian Environment OÜ. Tallinn

Kiirguskeskuse teabematerjal. Radoon – looduslik risk sinu tervisele. Kiirguskeskus

Keskkonnaseadustiku eriosa seaduse eelnõu [WWW]

<http://www.just.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=53099/Keskkonnaseadustiku+eriosa+seaduse+eeln%F5u.pdf> (05.04.2012)

Kozak K., Mazur J., Janik M, Olko P., Horwacik T., Kaminski J. And Wroblewski J. 2006.

Mjönes L., Falk R. Cancer Risks from Radon in indoor Air and Drinking Water in Sweden. Seventh International Symposium on Natural Radiation Environment. Rhodes, Greece. 2002.

Mõõteseadus [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/131122010026> (05.04.2012)

Nagaraja K., Prasad B.S.N., Chandrashekara M.S., Paramesh L., Madhava M.S., 2006.

Inhalation dose due to radon and its progeny at Pune. Department of Studies in Physics of Mysore. Indian Journal of Pure & Applied Physics. Vol. 44, May 2006, pp.353-359

Naumov B., Puura V., Karise V. i dr., Radonovyi faktor radiatsionnogo fona v naseleennyh punktah Severnoj Estonii (Ekologiceskij aspekt). – Eesti TA Toim., Geoloogia. 1993.

Pahapill L. 2000. Siseõhu radoonist Eestis - Keskkonnatehnika. Nr.3. Lk 2-7. Tallinn.

Pahapill L. 1999. „Radoon hoonetes“. Tallinn. Tõravere Trükikoda.

Pahapill L, Rulkov A, Rajamäe R, et al 2003. „Radon in Estonian Dwellings. Results from a National Radon Survey. SSI report 2003:16. Stockholm.

Pahapill L, Rohumäe T, Jõgioja E. 1993. Indoor Radon in Estonia. Proceedings the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Indoor Air '93, Vol. 4

Petersell V. 2008. Radoonist Eestimaa pinnases. Tallinn. Eesti Geoloogiakeskus.

Pesur E. 2006. “Radoon radooniohtlike alade lasteasutsustes”. Tallinn. Magistritöö.



- Petersell V., Akerblom G., Ek B.-M., Enel M., Möttus V., Täht K. 2004. „Eesti Radooniriski Kaart“. Tallinn
- Preiman O. 2009. “Siseõhu radoonisisaldused Tallinna lasteasutustes”. Tallinn. Eesti Mereakadeemia. Lõputöö.
- Podstawczyńska A., Kozak K., Pawlak W., Mazur J. 2009. Seasonal and diurnal variation of outdoor radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) concentrations in urban and rural area with reference to meteorological conditions. Department of Meteorology and Climatology. University of Łódź. Poland
- Radoonisisalduse ja selle mõõtmise õigusliku reguleerimise vajadus ja võimalused. 2011. Analüüs. Keskkonnaministeerium
- Radooniohu arvestamine ehitusplaneeringutes ning olemasolevates hoonetes. Kiirguskeskus
- Radosys Ltd. [WWW] <http://www.radosys.com/contact.html> (14.05.2012)
- Tänavsuu K, Lust M. 2008. „Radooni kaardi lõpetamine – radoon hoonete siseõhus piirkondades, kus andmed radoonitasemete kohta puuduvad“. Tallinn.
- Vabariigi Valitsuse määrus „Tervisekaitseõuded koolieelse lasteasutuse maa-alale, hoonetele, ruumidele, sisustusele, sisekliimale ja korrashoiule“ [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/111102011003> (05.04.2012)
- Vait K, 2010. „Radooniuuring Eesti erinevates töökohtades“. Eesti Mereakadeemia. Lõputöö. Tallinn
- Veepuhastuse OÜ. Radoon vees. [WWW] <http://www.biopuhastus.ee/index.php?page=146> (24.04.2012)
- WHO. 1997. Maailma Tervishoiuorganisatsiooni Euroopa Regionaalbüroo. Radoon.
- WHO. 2005. World Health Organisation. Geneva Congress. [WWW] [www.who.org/geneva/](http://www.who.org/geneva/). (14.05.2012)
- WHO. 2009. WHO Handook on Indoor Radon.

## **LISAD**

**Lisa 1**

Uraan-238 radioaktiivse lagunemise rida

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

Toorium-232 radioaktiivse lagunemise rida

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

## Lisa 2

Uuring „Siseõhu radooniuring Tallinna koolieelsetes lasteasutustes“

Lugupeetud lasteaia/lastesõime juhataja,

Loodetavasti jõudis umbes kuu aega tagasi Teieni Tallinna Haridusameti kaudu info radooniuringu kohta. Uuringu algus viibis pisut, kuna õige talv ei ole veel alanud, aga nüüd on aeg alustada. Lähipäevil peaksid radoonidetektorid Teile postiga saabuma. **Palun alustage mõõtmisega kohe kui olete detektorid kätte saanud.** Paigutusjuhise saabub koos detektoritega. Kui Teie lasteaed/lastesõim juba osales paari aasta eest radooniuringus, siis see on ainult hea – same teada, kas olukord on stabiilne või kui Teil on vahepeal tehtud remonttöid, siis kuidas need on mõjunud. Igal juhul palume osaleda.

Kordan allpool Teile juba saadetud infot:

**Mis on radoon:** Radoon on gaas, mis pääseb hoonetesse hoonealusest maapinnast. Suletud ruumides võib radoonikontsentratsioon puuduliku õhuvahetuse korral kujuneda lubatust suuremaks. Oma loodusliku radioaktiivsuse tõttu on radoon pikaajalise sissehingamise korral oluline kopsuvähi tekkimise riskifaktor (loetakse suitsetamise järel olulisuselt teiseks riskifaktoriks, jäädes suitsetamisest küll rohkem kui kümme korda maha).

**Uuringu eesmärk:** Vabariigi Valitsuse määruse nr 131, vastu võetud 06.10.2011, „Tervisekaitseõuded koolieelse lasteasutuse maa-alale, hoonetele, ruumidele, sisustusele, sisekliimale ja korrashoiule“ § 9 lõige 4 kehtestab radoonisisaldusele ruumide siseõhus ülempiiri. <https://www.riigiteataja.ee/akt/111102011003>

Et välja selgitada, milline on olukord radooniga praegu, viibki Keskkonnaameti kiirgusosakond läbi käesoleva uuringu.

### **Kuidas radooni mõõtmine toimub?**

Keskkonnaameti kiirgusoskaonna poolt saadetakse posti teel 2-6 õhukindlatesse kotikestesse pakitud radooni mõõtedetektorit koos nende ruumi paigutamise juhiseiga. Juhist tuleb hoolikalt lugeda ja kõike seal märgitud arvesse võtta! Kott lõigatakse servast lahti vahetult

enne mõõtekohta panemist. Iga detektor paigutatakse erinevasse ruumi esimesel korrusel ja/või keldrikorrusel (kui sealseid ruume kasutatakse igapäevaselt). Detektorid on väikesed plastikust karbikesed, mis mahuvad peopesale ja ei ole lastele mitte mingit moodi ohtlikud. Need asetatakse näiteks riulile või lauale ja jäetakse sinna umbes 2 kuuks (eelistatavalt sellisesse kohta, kuhu lapsed ligi ei pääse). Kui mõni laps saab detektori kätte ja see peaks maha kukkuma, siis ei ole midagi hullu- asetada see uuesti tagasi. Kui detektor peaks mõõtmise jooksul kaduma minema, siis see on loomulik kadu. Umbes kahe kuu pärast tuletatakse meelde, et aeg on detektorid kokku korjata. Siis tuleb nad koheselt nendesse samadesse õhukindlatesse kottidesse pakkida ja esimesel võimalusel posti teel Keskkonnaameti kiirgusosakonda saata või ise kohale tuua. Tulemused selguvad peale detektorite laboratoorset analüüsi. Edastatakse ka ankeet, mis uurib hoone ehituslike parameetrite kohta.

Keskkonnaamet postitab detektorid 12. detsembril selle inimese nimele, kes neid realselt ruumidesse paigutama hakkab. Edastatakse ka Keskkonnaameti poolsed kontaktid, kelle poole saab kõigis küsimustes pöörduda.

**Lisaks:**

Osades asutustes plaanitakse läbi viia mõõtmine lisaks detektoritele ka radoonimonitoriga. Nende asutustega võtab kiirgusosakond hiljem isiklikult ühendust ja lepib mõõtmise aja kokku. Radoonimonitoriga kestab mõõtmine kuni mõne päeva ja tulemuseks on graafik, millelt on näha, kuidas radoonisisaldus ruumis ajas kõikus.

**Lisaks:**

Osades asutustes plaanitakse läbi viia ventilatsioonisüsteemi kirjeldamine ja õhuhulkade mõõdistamine. Vajalik on see selleks, et leida seoseid radoonikontsentratsiooni ja ventilatsioonisüsteemi vahel. Ka nende asutustega võetakse hiljem ühendust.

Info radooni kohta:

<http://www.keskkonnaamet.ee/keskkonnakaitse/kiirgus-3/radoon/>

ja

<http://www.keskkonnaamet.ee/teenused/kiirgus-2/radooni-mootmine/>

<http://www.envir.ee/1171566>

Lugupidamisega,

Alar Polt

kiirgusseire büroo peaspetsialist

kiirgusosakond

Keskkonnaamet

6644 912

5073619

## Lisa 3

### Radooni mõõtedetektori kasutamine

- 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.
- Palun täitke detektoritega kaasasolev **ankeet**. **Mõõtmise alguskuupäevaks** märkige detektorite **pakendist väljavõtmise kuupäev**. Detektorid võtke kotikesest välja mõõdetavas ruumis. Hoidke originaalpakend alles. **Detektori numbril leiate pakendilt**.
- Detektori paigaldamiseks tuleb valida koht, kus inimesed viibivad pikka aega. Pole otstarbekas paigaldada detektoreid koridori, WC-sse, vannituppa jne. Elumajas pange detektorid elutuppa ja magamistuppa. **Märkige ankeedil milline detektor millisesse ruumi paigutati**.
- Detektori asukoht toas 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, väikelapsed ja lemmikloomad.
- 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.
- Aeg-ajalt kontrollige, et detektorid oleks alles oma esialgses asukohas ja poleks kaetud mõne esemega.
- Peale detektorite paigaldamist elage tavapärasel tööelul. Ärge tuulutage tube rohkem või vähem kui tavaliselt, sundventilatsiooni olemasolul kasutage seda tavapäraselt.
- Mõõtmisperioodi (2 kuud) lõppemisel asetage detektorid Teile väljastatud alumiiniumiga kaetud plastkotikesse või äärmisel juhul kahekordsesse kilekotti. Üritage kotike **õhukindlalt** sulgeda, näiteks kleplindiga.
- **Märkige ankeedile mõõtmise lõppkuupäev** ja saatke või tooge detektorid koos ankeediga ning täidetud radoonikontsentratsiooni määramise avaldusega tagasi Keskkonnaameti kiirgusosakonda aadressil Kopli 76, 10416 Tallinn

Alar Polt  
kiirgusseire büroo peaspetsialist  
kiirgusosakond  
Keskkonnaamet  
tel 6644912

**Lisa 4** Ehituslikke parameetreid uuriv ankeet

**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

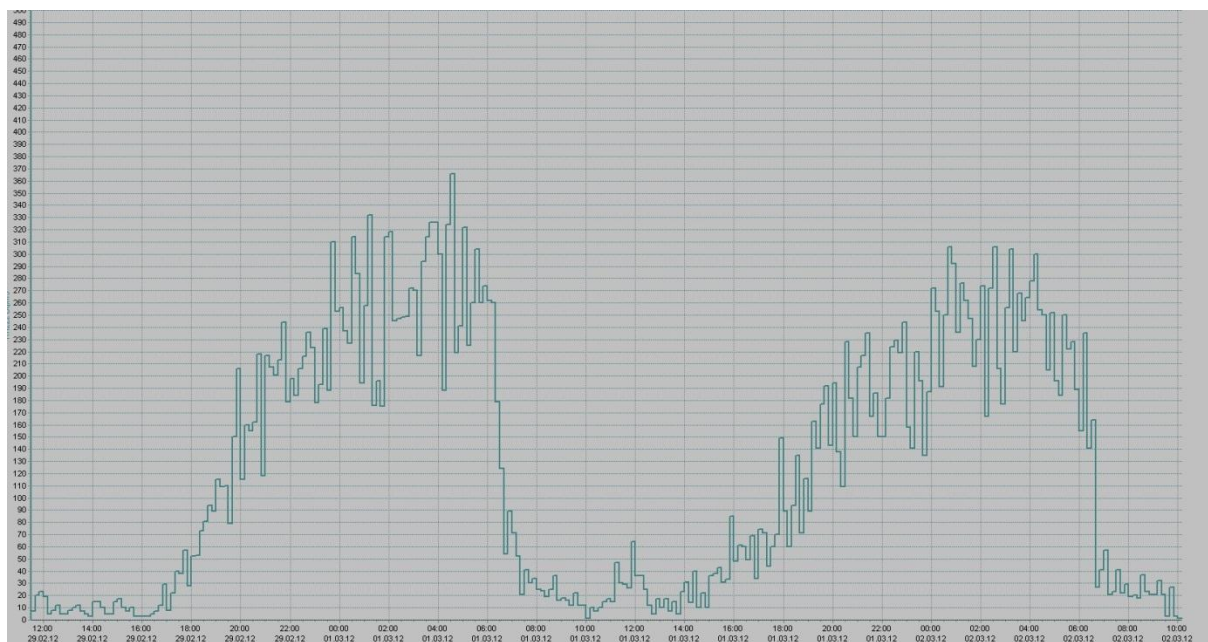
**Selgitus:** .....

**Esimese korruse põranda pindala:** ..... m<sup>2</sup>

<b>Detektori nr</b>	<b>Mõõtmise alguskuupäev</b>	<b>Mõõtmise lõppkuupäev</b>	<b>Mõõtmise koht (kontoriruum, elutuba, õppeklass vm)</b>

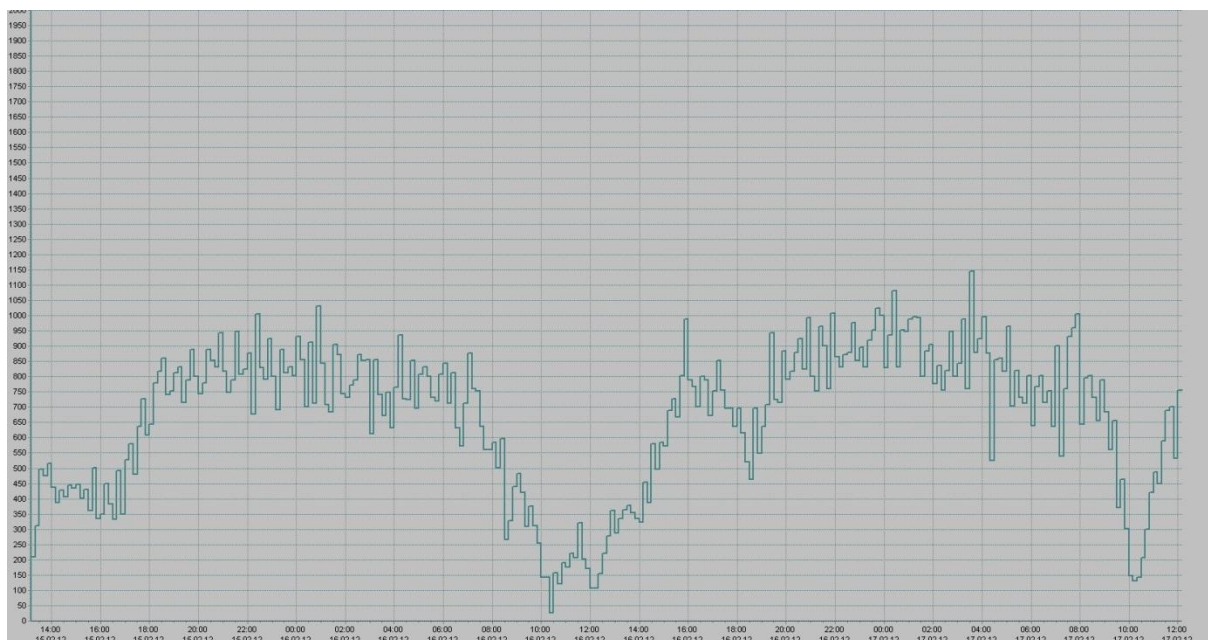
Keskkonnaameti kiirgusosakonna kiirgusseire büroo peaspetsialist Alar Polt, 6644912

## Lisa 5



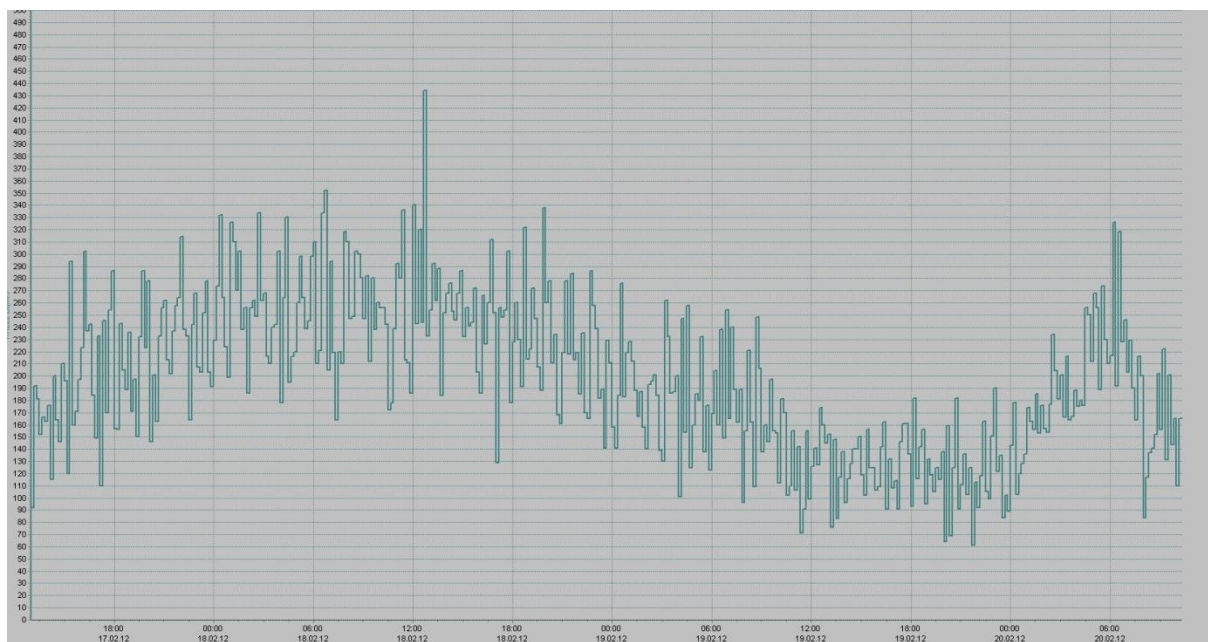
**Joonis.** Unistuse lasteaia lühiajalise pidevmõõtmise radoonisisalduse graafik

## Lisa 6



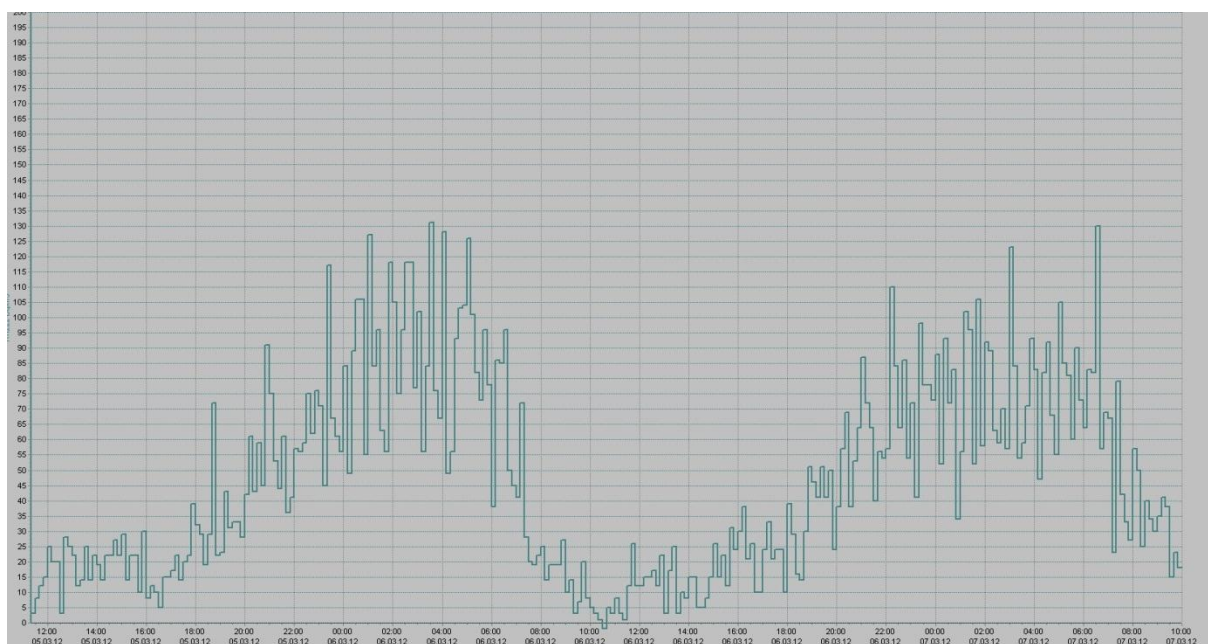
**Joonis.** Mustakivi lasteaia lühiajalise pidevmõõtmise radoonisisalduse graafik

## Lisa 7



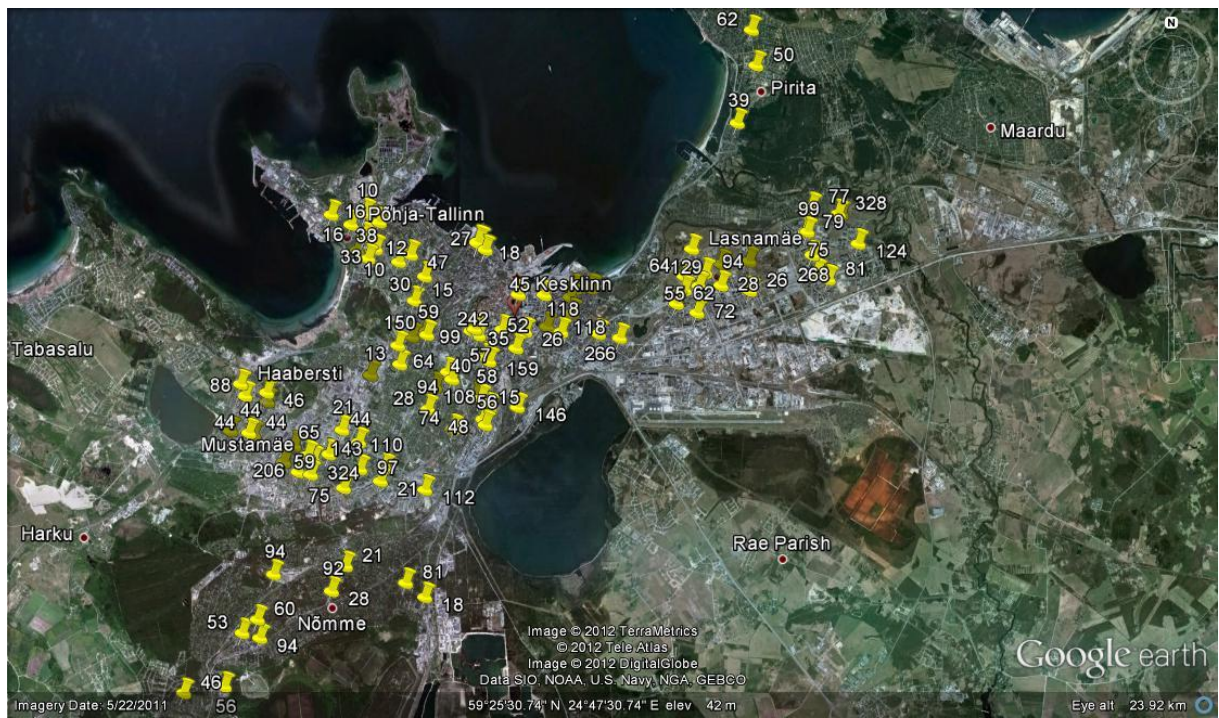
**Joonis.** Siku pilli lasteaia lühiajalise pidevmõõtmise radoonisisalduse graafik

## Lisa 8



**Joonis.** Sipsiku lasteaia lühiajalise pidevmõõtmise radoonisisalduse graafik

## Lisa 9 Keskmised radoonisisaldused Tallinna koolieelsetes lasteasutustes



**Lisa 10** Tallinna lasteasutustes mõõdetud radoonitasemed, radoonist põhjustatud efektiivdoosid ja keskmised radoonitasemed

Nr	Asutuse nimi	Radoonisisaldus Bq/m <sup>3</sup>	Efektiivdoos (mSv) 2000 tunni kohta aastas	Keskmine radoonisisaldus Bq/m <sup>3</sup>
1	Tallinna 22. Lasteaed	<10	0,06	13
		15	0,10	
		<10	0,06	
		11	0,07	
2	Tallinna 26. Lasteaed	60	0,38	108
		86	0,54	
		179	1,13	
3	Tallinna Lasteaed Õunake	347	2,19	324
		333	2,10	
		399	2,51	
		218	1,37	
4	Tallinna Allika Lasteaed	156	0,98	110
		87	0,55	
		209 *	1,32	
		88	0,55	
5	Tallinna Arbu Lasteaed	84	0,53	126
		294	1,85	
		91	0,58	
		34	0,21	
6	Tallinna Endla Lasteaed	29	0,18	35
		37	0,23	
		148 *	0,93	
		38	0,24	
7	Tallinna Haraka Lasteaed	148	0,93	74
		33	0,21	
		36	0,23	
		79	0,50	
8	Tallinna Järveotsa Lasteaed	20	0,13	42
		48	0,30	
		57	0,36	
9	Tallinna Kadaka Lasteaed	148	0,93	75
		82	0,51	
		40	0,25	
		29	0,18	
10	Kadrioru Lasteaed	<10	0,06	20

		<10	0,06	
		22	0,14	
		17	0,11	
11	Lasteaed Kajakas	70	0,44	38
		29	0,18	
		17	0,11	
12	Kalamaja Lasteaed	15	0,09	27
		<10	0,06	
		40	0,25	
		<10	0,06	
13	Tallinna Kannikese Lasteaed	72	0,46	59
		60	0,38	
		40	0,25	
		61	0,39	
14	Tallinna Lasteaed Karikakar	43	0,27	46
		78	0,49	
		28	0,18	
		35	0,22	
15	Tallinna Lasteaed Kaseke	32	0,20	46
		47	0,29	
		57	0,36	
		49	0,31	
16	Lasteaed Kelluke	20	0,12	18
		22	0,14	
		11	0,07	
		<10	0,06	
17	Tallinna Lasteaed Kiikhobu	49	0,31	44
		41	0,26	
		45	0,28	
		40	0,25	
18	Tallinna Lasteaed Kikas	179	1,13	97
		63	0,40	
		66	0,42	
		80	0,51	
19	Tallinna Kivimurru Lasteaed	138	0,87	118
		205	1,29	
		21	0,13	
		108	0,68	
20	Kolde Lasteaed	47	0,29	30
		14	0,09	
		<10	0,06	
		<10	0,06	
21	Tallinna Lasteaed Kraavikrõll	17	0,11	211

		597	3,76	
		20	0,12	
		<10	0,06	
22	Tallinna Kristiine Lasteaed	126	0,79	177
		341	2,15	
		63	0,40	
23	Tallinna Kullatera Lasteaed	<10	0,06	15
		12	0,07	
		13	0,08	
		20	0,12	
24	Tallinna Kullerkupu Lasteaed	115 *	0,72	37
		30	0,19	
		58	0,36	
		24	0,15	
25	Tallinna Kuristiku Lasteaed	384	2,42	328
		431	2,72	
		320	2,01	
		177	1,11	
26	Tallinna Lasteaed Laagna-Rukkilill	40	0,25	26
		15	0,09	
		23	0,15	
		27	0,17	
27	Tallinna Läänemere Lasteaed	24	0,15	51
		15	0,10	
		35	0,22	
		130	0,82	
28	Tallinna Lauliku Lasteaed	134	0,84	94
		121	0,76	
		85	0,53	
		34	0,22	
29	Tallinna Lepatriinu Lasteaed	<10	0,06	13
		13	0,08	
		<10	0,06	
		13	0,08	
30	Tallinna Liikuri Lasteaed	56	0,35	64
		65	0,41	
		57	0,36	
		77	0,49	
31	Tallinna Liivaku Lasteaed	92	0,58	75
		<10	0,06	
		22	0,14	
		110	0,69	
32	Tallinna Liivalossi Lasteaed	12	0,08	26

		39	0,24	
		<10	0,06	
		<10	0,06	
33	Tallinna Lille Lasteaed	40	0,25	27
		13	0,08	
		26	0,16	
		<10	0,06	
34	Tallinna Lindakivi Lasteaed	77	0,48	94
		106	0,67	
		109	0,69	
		83	0,52	
35	Tallinna Linnamäe Lasteaed	94	0,59	79
		54	0,34	
		67	0,42	
		101	0,64	
36	Tallinna Luha Lasteaed	65	0,41	58
		10	0,06	
		71	0,44	
		88	0,56	
37	Lasteaed Maasikas	16	0,10	16
		<10	0,06	
		<10	0,06	
		<10	0,06	
38	Tallinna Magdaleena Lasteaed	35	0,22	55
		95	0,60	
		46	0,29	
		45	0,29	
39	Tallinna Mahtra Lasteaed	73	0,46	81
		104	0,66	
		42	0,26	
		105	0,66	
40	Tallinna Männi Lasteaed	16	0,10	59
		38	0,24	
		92	0,58	
		89	0,56	
41	Tallinna Männikäbi Lasteaed	153 *	0,97	45
		56	0,35	
		64	0,40	
		16	0,10	
42	Tallinna Männiku Lasteaed	118 *	0,75	81
		136	0,86	
		70	0,44	
		36	0,22	



43	Tallinna Lasteaed Männimudila	93	0,58	59
		25	0,16	
		53	0,33	
		66	0,42	
44	Tallinna Mardi Lasteaed	96	0,61	49
		12	0,07	
		88	0,56	
		34	0,21	
		15	0,09	
		<10	0,06	
45	Tallinna Meelespea Lasteaed	107	0,68	88
		74	0,47	
		90	0,57	
		82	0,52	
46	Merivälja Lasteaed	88	0,55	62
		13	0,08	
		72	0,46	
		148	0,93	
		25	0,16	
		26	0,17	
47	Lasteaed Mesipuu	<10	0,06	10
		<10	0,06	
		<10	0,06	
		<10	0,06	
48	Tallinna Lasteaed Mooniõied	42	0,26	48
		65	0,41	
		25	0,16	
		59	0,37	
49	Tallinna Muhu Lasteaed	153	0,96	99
		68	0,43	
		83	0,52	
		92	0,58	
50	Tallinna Muinasjutu Lasteaed	78	0,49	112
		88	0,56	
		150	0,94	
		131	0,83	
51	Tallinna Mustakivi Lasteaed	33	0,21	268
		85	0,54	
		840	5,29	
		114	0,72	
52	Tallinna Mutionu Lasteaed	59	0,37	150
		87	0,55	
		158	1,00	

		294	1,85	
53	Tallinna Mürakaru Lasteaed	43	0,27	45
		36	0,23	
		66	0,42	
		33	0,21	
54	Tallinna Lasteaed Nõmmekannike	33	0,21	28
		13	0,08	
		28	0,18	
		39	0,25	
55	Lasteaed Naeratus	<10	0,06	16
		10	0,06	
		<10	0,06	
		22	0,14	
56	Tallinna Nurmenuku Lasteaed	55	0,34	71
		69	0,44	
		53	0,33	
		106	0,66	
57	Lasteaed Ojake	<10	0,06	15
		<10	0,06	
		<10	0,06	
		15	0,09	
58	Lasteaed Pääsupesa	<10	0,06	12
		<10	0,06	
		<10	0,06	
		12	0,08	
59	Tallinna Lasteaed Pääsusilm	111	0,70	131
		109	0,69	
		136	0,85	
		167	1,05	
60	Tallinna Padriku Lasteaed	55	0,34	50
		30	0,19	
		60	0,38	
		55	0,35	
61	Tallinna Pae Lasteaed	77	0,49	62
		47	0,30	
		56	0,36	
		68	0,43	
62	Tallinna Paekaare Lasteaed	84	0,53	129
		179	1,13	
		137	0,86	
		114	0,72	
63	Lasteaed Päikene	<10	0,06	10
		<10	0,06	

		<10	0,06	
		<10	0,06	
64	Tallinna Päikesejänku Lasteaed	85	0,53	52
		22	0,14	
		21	0,13	
		81	0,51	
65	Tallinna Lasteaed Pallipõnn	154	0,97	206
		197	1,24	
		100	0,63	
		374	2,36	
66	Pelguranna Lasteaed	60	0,38	45
		42	0,26	
		34	0,22	
		<10	0,06	
67	Tallinna Piiri Lasteaed	50	0,32	56
		116	0,73	
		34	0,21	
		22	0,14	
68	Pirita Lasteaed	33	0,21	39
		<10	0,06	
		45	0,28	
		365 *	2,30	
69	Tallinna Jaan Poska Lasteaed	15	0,09	38
		59	0,37	
		14	0,09	
		63	0,39	
70	Tallinna Priisle Lasteaed	152	0,96	124
		129	0,81	
		115	0,73	
		99	0,62	
71	Rõõmutarekese Lasteaed	88	0,55	57
		35	0,22	
		27	0,17	
		77	0,49	
72	Tallinna Raadiku Lasteaed	64	0,40	75
		46	0,29	
		131	0,83	
		61	0,38	
73	Tallinna Lasteaed Rabarüblük	45	0,28	53
		30	0,19	
		20	0,12	
		117	0,74	
74	Tallinna Rännaku Lasteaed	34	0,22	94

		12	0,07	
		109	0,69	
		219	1,38	
75	Lasteaed Rukkirääk	27	0,17	47
		21	0,13	
		32	0,20	
		107	0,67	
76	Siisikese Lasteaed	193	1,21	65
		27	0,17	
		38	0,24	
		44	0,28	
		36	0,23	
		52	0,32	
77	Tallinna Sikupilli Lasteaed	248	1,56	266
		259	1,63	
		235	1,48	
		321	2,03	
78	Tallinna Lasteaed Sinilill	17	0,11	44
		34	0,22	
		79	0,50	
79	Tallinna Lasteaed Sinilind	102 *	0,64	21
		25	0,15	
		22	0,14	
		17	0,11	
80	Tallinna Lasteaed Sipsik	63	0,40	242
		83	0,52	
		120	0,76	
		703	4,43	
81	Sitsi Lasteaed	17	0,10	33
		26	0,17	
		15	0,10	
		74	0,47	
82	Tallinna Suitsupääsupesa Lasteaed	165	1,04	146
		75	0,47	
		319	2,01	
		24	0,15	
83	Tallinna Suur-Pae Lasteaed	74	0,47	72
		111	0,70	
		56	0,36	
		46	0,29	
84	Tallinna Lasteaed Südameke	48	0,30	48
		43	0,27	
		72	0,45	

		31	0,20	
85	Tallinna Tähekese Lasteaed	239	1,51	143
		97	0,61	
		32	0,20	
		204	1,28	
86	Tallinna Terakese Lasteaed	78	0,49	56
		38	0,24	
		66	0,42	
		42	0,27	
87	Tallinna Tihase Lasteaed	70	0,44	64
		60	0,38	
		50	0,31	
		74	0,47	
88	Tallinna Tuule Lasteaed	61	0,38	55
		22	0,14	
		55	0,34	
		84	0,53	
89	Tallinna Unistuse Lasteaed	74	0,47	118
		123	0,77	
		72	0,45	
		202	1,27	
90	Tallinna Lasteaed Vesiroos	17	0,11	21
		26	0,16	
		11	0,07	
		28	0,18	
91	Tallinna Vindi Lasteaed	106	0,67	94
		20	0,12	
		122	0,77	
		128	0,81	
92	Tallinna Virmalise Lasteaed	39	0,24	40
		24	0,15	
		15	0,09	
		<10	0,06	
		87	0,55	
		35	0,22	
93	Tallinna Vormsi Lasteaed	79	0,50	77
		81	0,51	
		72	0,45	
		78	0,49	
94	Tallinna Laagna Lasteaed- Põhikool	18	0,12	28
		37	0,23	
		32	0,20	
		23	0,14	

95	Tallinna Lepistiku Lasteaed- Algkool	38	0,24	54
		60	0,38	
		68	0,43	
		50	0,31	
96	Tallinna Mustamäe 1. Lasteaed- Algkool	47	0,29	65
		39	0,25	
		66	0,42	
		109	0,69	
97	Tallinna Lastesõim Hellik	78	0,49	92
		114	0,72	
		85	0,54	
		649	4,09	
98	Tallinna Lastesõim Mõmmik	15	0,09	21
		15	0,09	
		34	0,21	
		20	0,13	
99	Muumipere Lastesõim	32	0,20	99
		197	1,24	
		80	0,50	
		87	0,55	
100	Lastesõim Päkapikk	49	0,31	55
		102	0,64	
		69	0,44	
		15	0,10	
101	Lastesõim Planeedi Mudila	170	1,07	159
		955 *	6,02	
		161	1,02	
		144	0,91	

\*- keldriruum, kus lapsed ei viibi

## Lisa 11 Pidevmõõtmise uuringusse kaasatud lasteaiad

