

TALLINNA ÜLIKOOL

Matemaatika-loodusteaduskond

Keskkonnakorralduse õppetool

**Evelyn Pesur**

**RADOON RADOONIOHTLIKE ALADE LASTEASUTUSTES**

Magistritöö

Juhendaja: *Ph D* Raivo Rajamäe

Autor: ..... ” ....” .....2006. a  
Juhendaja:..... “ ....” .....2006. a  
Lubatud kaitsmisele ” ....” .....2006. a  
Õppetooli juhataja prof T.Pöder.....

Tallinn 2006

# SISUKORD

SISUKORD .....	2
SISSEJUHATUS .....	3
1. RADOONI OHTLIKKUS .....	7
1.1. Radooni tekkimine ja füüsilised omadused .....	7
1.2. Radooni mõõtmine .....	8
1.3. Radooni ja terviseefektide vahelise seosed .....	9
1.3.1. Lähteandmed .....	9
1.3.2. Radoonist tulenevad terviseefektid .....	10
1.3.3. Radoonist põhjustatud terviserisk .....	11
1.4. Radooni hoonesse sisenemise võimalused .....	11
1.4.1. Radoon pinnasest .....	12
1.4.2. Radoon veest .....	13
1.4.3. Radoon ehitusmaterjalidest .....	14
1.5. Radoonisisalduse vähendamise võimalused .....	16
1.5.1. Radooni tõkestamine uue hoone ehitamisel .....	16
1.5.2. Radoonisisalduse vähendamine olemasolevas hoones .....	20
1.6. Töökohtade ruumide siseõhu radoonisisalduse normeerimine .....	23
2. MATERJAL JA METOODIKA .....	24
2.1. Uuritavate objektide valik .....	24
2.1.1. Uuritavad vallad ja linnad .....	24
2.1.2. Uuritavad lasteasutused .....	25
2.1.3. Mõõtmiskohtade valik lasteasutuses .....	26
2.2. Radoonisisalduse mõõtmise ja ehituslike andmete kogumise korraldamine .....	27
2.2.1. Plastikdetektorite ning juhendmaterjali jagamine piirkondadesse .....	27
2.2.2. Plastikdetektorite tagastamine .....	27
2.2.3. Ehituslike parameetreid uuriv ankeet .....	28
2.2.4. Ankeedist laekunud vastuste määr .....	28
2.3. Tulemuste analüüs .....	28
2.3.1. Andmebaasi koostamine ning andmetöötlus .....	28
2.3.2. Radoonisisaldusest tingitud dooside kajastamine .....	29
Need arvutused võeti aluseks töötajatele ning lastele radoonist põhjustatud efektiivdooside arvutamisel .....	30
2.3.3. Radoonisisalduse ja ehituslike parameetrite seos .....	30
2.3.4. Radoonisisalduse vähendamise maksumus .....	31
2.4. Metoodika puudused .....	31
3. RADOONISISALDUS LASTEASUTUSTES RADOONIOHTLIKEL ALADEL .....	33
3.1. Radooniohtlike alade lasteasutuste radooniuuringu tulemused .....	33
3.2. Elumajade ja lasteasutuste radoonisisalduse võrdlus .....	38
4. RADOONIST PÕHJUSTATUD EFEKTIIVDOOSID RADOONIOHTLIKE ALADE LASTEASUTUSTES .....	42
5. SEOS RADOONISISALDUSE JA EHITUSLIKE PARAMEETRITE VAHEL .....	46
6. RADOONISISALDUSE VÄHENDAMISE MEETMED EESTIS NING NENDE MAKSUMUS .....	51
KOKKUVÖTE .....	54
SUMMARY .....	57
KASUTATUD KIRJANDUS .....	59
LISAD .....	62

## SISSEJUHATUS

Radoon on radioaktiivne gaas, mis tekib maapinnas looduslike radionukliidide lagunemisel. Inertgaasina võib ta levida pinnases kümnete meetrite kaugusele ja teatud tingimustel imbuda läbi vundamendi- ja põrandakonstruktsioonide hoonete siseruumidesse. Radooni ja tema lühiealiste tütar nukliidide (ka tütarproduktide) sissehingamise tagajärjel suureneb inimestel kopsuvähki haigestumise risk. (Clavesnjö and Åkerblom 1994)

Maailma Tervisekaitse Organisatsiooni (WHO) uusimate andmete järgi võivad radoon ja tema tütarproduktid põhjustada kuni 15% kopsuvähi juhtumitest maailmas (WHO 2005).

Radooniga seotud probleemistikku on käsitletud põhjalikult Rahvusvahelise Kiirguskaitse Komisjoni (ICRP) publikatsioonis nr 65 (ICRP 1993). Selles on esitatud teaduslikult põhjendatud soovitusel radooni kontsentratsiooni piiramiseks elu- ja tööruumides ning otstarbekate kaitsemeetmete rakendamiseks. Nimetatud publikatsioonist on lähtunud mitmed rahvusvahelised organisatsioonid (EL, IAEA jt), kui ka paljud riigid ohutusstandardites radooniga seotud piirangute kehtestamisel. (EC 1996; IAEA 2003) Ka Eesti standard EVS 839:2003 järgib rahvusvaheliselt aktsepteeritud piirväärtust radoonitaseme kohta hoonete siseruumides – 200 Bq/m<sup>3</sup> (bekerelli kuupmeetris) (EVS 2003a).

Radooniprobleemi käsitlemisel on paljudes riikides läbi viidud laiaulatuslikud uuringud selgitamaks välja radooniohtlike alade suurust, seal elavate inimeste arvu ja elamute siseõhu radooni kontsentratsiooni tegelikke tasemeid. Radooniohtlike alade markeerimiseks on kasutatud kahte liiki informatsiooni: andmeid pinnase geoloogia ja geokeemilise koostise kohta ning elumajade siseõhu radoonisisalduse mõõtetulemusi (Castren et al 1992; Andersen et al 1999; Miksova and Barnet 2002).

Eestis alustati süstemaatilisi radooniuuringuid 1990-ndate aastate algul, ning tähelepanu pöörati elamute siseõhu ja joogivee radooni mõõtmistele. Elamutes läbiviidud uuringute tulemuste alusel koostati esimene ülevaade Eesti elamute siseõhu radoonitasemest (Pahapill et al 1998). Järgneva tööna koostati ülevaade Eesti elamute (nii korterite kui ka ühepereelamute) radoonisisaldusest, mis hõlmas kõiki maakondi ja kus anti hinnang radoonist põhjustatud terviseriski kohta kogu elanikkonnale. Selleks kasutati ICRP

riskihinnanguid, Eesti Vähiregistri andmeid ning radooniuringute tulemusi ja leiti, et radoon põhjustab Eestis umbes 90 uut kopsuvähi juhtu aastas (Pahapill et al 2003).

1999. aastal alustati radooniuringute järgmist etappi, mille eesmärgiks oli geoloogiliste andmete ja elamute mõõtetulemuste alusel määratleda Eesti radooniohtlikud alad. Töö tulemusena koostati Eesti radooniohtlike levilate kaart, kust selgub, et valdavalt suurt riski põhjustavad ohualad asuvad Põhja-Eestis, kuid mõõduka ohuga alasid esineb ka Kesk- ja Lõuna-Eestis (Petersell et al 2004).

Uuringute tulemused näitavad, et elamute siseõhu radoonitasemelt ja potentsiaalsete radooniohu aladelt on Eesti võrreldav Rootsi ja Soomega, mis on Euroopa kõige suurema radooniohuga riigid.

Kuigi Eestis on radooniprobleemi juba olulisel määral uuritud, siis võrreldes teiste riikidega puudutab kogu senine mõõteandmestik ainult elamuid. Töökohti, sealhulgas lasteasutusi on Eestis uuritud vähe, mis ei võimalda teha järeldusi radooni taseme kohta neis asutustes. Samas aga võib elamute mõõteandmete põhjal eeldada, et suure radooniohuga aladel võib ka töökohtadel olla siseõhu radoonitase ohtlikult kõrge.

Erinevalt elamute radoonitasemest on töökohtade radoonitase normeeritud nii EL kui ka Rahvusvahelise Aatomienergiaagentuuri (IAEA) soovitusetega (IAEA 2003). Töökohtade looduskiirituse taseme jälgimine ja vajadusel sekkumine on EL liikmesriikidele kohustuslik EL direktiivi 96/29 järgi (EC 1996).

Radoonist ning tema tütarproduktidest põhjustatud kopsuvähi juhtumeid saab vähendada ja vältida, kui jätkata radooniuringuid ning inimeste teadlikkuse suurendamist selles valdkonnas.

Ülaltoodud põhjustel taotles töö autor Kiirguskeskuse töötajana Keskkonnainvesteeringute Keskuselt raha süstemaatilise radooniuringu läbiviimiseks lasteasutustes. Projekt sai positiivse rahastamisotsuse, ning antud magistritöö üheks aluseks ongi selle uuringu käigus saadud tulemused.

Esimeseks etapiks lasteasutuste kaardistamisel siseõhu radoonisisalduse järgi valis autor piirkonnad, kus seniste uuringute tulemusel oli elumajades saadud kõrgenenud

radoonisisaldusi. Kuigi otseselt elumajade ning töökohtade uuringuid ja ka tulemusi võrrelda ei saa, on siiski sellistes piirkondades suurem tõenäosus leida kõrgeenenud radoonitaset töökohtade hoonetes. Uurimise alla võeti lasteasutused ning asutused, kus lapsed oma vaba aega veedavad, näiteks huvikeskused ja raamatukogud.

Laste tervis on pidevalt ühiskonna tähelepanu all ja seega oleks vaja läbi viia radoonimõõtmised kõigis lasteasutustes. Siiski eksisteerivad mitmed objektiivsed põhjused, mis lubavad radooniuuringuid jätkata etapiviisiliselt.

Ajaliseks piiranguks on laste õppeperiood, mis Eestis langeb kokku kütteperioodiga. Kütteperioodil saadud tulemused on üldiselt kõrgemad kui suvise mõõtmise tulemused ja seega objektiivsemad laste terviseriski hindamisel.

Ressursipiiranguks on mõõteaparatuur, millega on optimaalne ühe kütteperioodi jooksul analüüsida kuni 1500 mõõtepunkti tulemused. Samuti on piiratud inimressurss. Antud projektiga tegeles projektijuhina magistritöö autor, ning teda abistas kolme kuu jooksul lisatöötaja.

Erinevalt elamutest, mis Eestis on eraomanduses, kuuluvad lasteasutused enamuses kohalikele omavalitsustele, kes peavad nendes tagama ka ohutud olmetingimused. Üheks sellises näitajaks on mõõdukas siseõhu radoonitase. Kõrgeenenud radoonisisalduse puhul tuleb rakendada meetmeid, mis võivad olla väga erinevad nii tehnilise teostuse kui ka rahaliste kulutuste seisukohalt. Seega on väga aktuaalne välja selgitada, millistes ehitiste tüüpides on radoonisisaldus kõrgem ning hinnata, millised on otstarbekad radoonisisaldust vähendavad meetmed ja mis on nende võimalik maksumus.

Ülaltoodust tulenevalt on magistritöö üldiseks eesmärgiks uurida, kui suur on radooniohtlikele aladele jäävate lasteasutuste siseõhu radoonisisaldus, hinnata radoonist põhjustatud efektiivdoose ning selgitada võimalusi radoonitaseme vähendamiseks.

Üldisest eesmärgist tulenevad täpsustavad küsimused:

1. Milline on radoonisisaldus lasteasutustes radooniohtlikel aladel Eestis?

Tööhüpotees: piirkondades, kus elumajades on mõõdetud kõrge radoonisisaldus on see kõrgem ka lasteasutustes.

2. Millised on radooniohtlikel aladel radoonist saadavad efektiivdoosid lasteasutustes?

Tööhüpotees: ainuüksi lasteasutustes saadavad efektiivdoosid radooniohtlike aladel võivad ületada Eesti keskmise radoonist saadava efektiivdoosi.

3. Kas leidub seoseid kõrge radoonisisalduse ja ehituslike parameetrite vahel?

Tööhüpotees: vanemates hoonetes ja keldrita majades on radoonisisaldus kõrgem.

4. Milliste meetmete abil saaks radoonisisaldust lasteasutustes vähendada ja palju võiks see maksma minna?

Tööhüpotees: odavam on uue maja ehitamise puhul rakendada meetmeid radooni tõkestamiseks, kui vähendada olemasolevas majas kõrgenenud radoonisisaldust.

## Tänuavaldused

Kuna tegemist oli suuremahulise uuringuga, tänab autor kõiki, kes aitasid projekti läbi viia ning nõustasid magistritöö kirjutamisel.

Eraldi tänab autor töö juhendajat hr Raivo Rajamäed. Olulise panuse eest töö valmimisse tänab autor Kiirguskeskuse töötajaid Anne Rulkovi ja Toomas Kööpi ning andmete töötlemise juures osutatud abi eest õppejõude assist. Tiit Lukkit ning lekt. Reimo Rivist.

# 1. RADOONI OHTLIKKUS

Selles peatükis kirjeldatakse radooni tekkimist ja füüsikalisi omadusi, tema kontsentratsiooni mõõtmise meetodeid, radooni poolt põhjustatud tervisekahjustusi ning radooni hoonesse sisenemise võimalusi.

## 1.1. Radooni tekkimine ja füüsikalised omadused

Radoon on lõhnatu ja värvitu looduslik inertne gaas. Radoon-222 ( $^{222}\text{Rn}$ ) pärineb uraan-238 ( $^{238}\text{U}$ ) radioaktiivse lagunemise reast, ning tekib vahetult pärast radium-226 lagunemist. Radoon-222 poolestusaeg on 3,82 päeva.

Radooni teine tuntum isotoop radoon-220 ehk toroon pärineb toorium-232 ( $^{232}\text{Th}$ ) lagunemineast ning tekib vahetult pärast radium-224 lagunemist. Torooni poolestusaeg on kõigest 56 sekundit (Martin 2004). (*Lisas 1 on toodud  $^{238}\text{U}$  ja  $^{232}\text{Th}$  lagunemise rida*)

Radionukliidide aktiivsuse ühikuks on bekerell (Bq), mis vastab ühele lagunemisele sekundis. Radoonisisalduse mõõtmisel õhus kasutatakse mõõtühikut Bq/m<sup>3</sup>. Seega aktiivsuskontsentratsioonil 1 Bq/m<sup>3</sup> laguneb ühe sekundi jooksul ühes kuupmeetris õhus üks radooniaatom. (Martin 2004)

Kuigi suur osa pinnases tekkinud radoonist laguneb juba tekkekohal, on 3,82 päevane poolestusaeg küllalt pikk selleks, et osa temast jõuaks eluruumidesse ning inimese sissehingatavasse õhku. Seetõttu peetaksegi olulisemaks just  $^{222}\text{Rn}$  mõju inimesele. Tänu lühikesele poolestusajale on torooni osakaal tühine.  $^{222}\text{Rn}$  lagunemisel tekkivad tütar nukliidid poloonium-218, plii-214, vismut-214 ja poloonium-214 on metallide ioonid, mis sissehingamisel kinnituvad kopsukoe pinnale. Suure lagunemisenergia tõttu ongi need peamised kiirgusdoosi põhjustajad. (ICRP 1993)

Antud töös peetakse radooni mõiste all silmas  $^{222}\text{Rn}$  ning radooni poolt tekitatud mõju all radooni koos tema tütarproduktidega.

## 1.2. Radooni mõõtmine

Ruumide siseõhus radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmiseks kasutatakse nn aktiiv- ja passiivmeetodeid. Aktiivmeetodi puhul kasutatakse elektroonilist aparatuuri, mille suure tundlikkusega detektorist pumbatakse läbi uuritavat õhku (Miles 2000). Tänu sellele saab jälgida kiireid radoonitaseme kõikumisi ruumi siseõhus. Suure tundlikkuse tõttu saab juba lühikese, umbes 2-3 päevase, mõõteajaga selgeks, kas hoones on probleeme kõrge radoonisisaldusega. Aktiivmeetodi kasutamisel on võimalik koostada ka radoonitaseme ajaline graafik ööpäeva lõikes, mis võib olla abiks radooni tekkimise allika või sisseimbumiskoha väljaselgitamisel. (*Lisas 2 joonisel 2.1 näide aktiivmeetodi puhul väljastatavast graafikust*)

Passiivmeetodi puhul läbib ruumi õhk detektori kambri vaba difusiooni teel. Detektorina kasutatakse tavaliselt odavat plastikmaterjali, mis võimaldab läbi viia massilisi mõõtmisi. Mõõteae on sellise meetodi puhul tavaliselt kaks kuni kolm kuud. Seega saadakse tulemusena pikaajaline keskmine radoonitase uuritavas ruumis, mis on eelistatud kiiritusdoosi hinnangu tegemisel (RPII 2004).

Ruumide siseõhu radooniuuringuid soovitatakse teha kütteperioodil, ning siis kui ruume realselt kasutatakse. Soovitavad piirnormid käsitlevad aga aasta keskmisi väärtusi. Selleks, et minna üle lühemaajaliselt mõõtmiselt aasta keskmisele tulemusele, soovitatakse leida üleminekukoefitsiendid tehes aastaringseid mõõtmisi teatud hulgal majas. Eestis tehtud samalaadsetest kontrollmõõtmistest selgus, et üleminekukoefitsiendi väärtus kõikus vahemikus 0,48-1,32. Seetõttu antakse soovitus koefitsiendi leidmise asemel kasutada kütteperioodil saadud tulemust normatiividega arvestamisel. (Pahapill ja Rulkov 2004)

Antud magistritöö raames mõõdeti radoonisisaldust ruumide siseõhus rahvusvaheliselt tunnustatud passiivse meetodiga. Selleks kasutati CR-39 tüüpi plastikmaterjalist detektoreid, mis asuvad spetsiaalse piluga varustatud kaitsekarbis. Radooni lagunemisel tekkiv alfakiirgus tekitab nimetatud plastiktükile jäljed. Pärast mõõteperioodi lõppu töödeldakse plastikedektoreid keemiliselt ning analüüsitakse elektroonilise mikroskoobi ja spetsiaalse arvutiprogrammiga. Väljundparameetrina leitakse mõõteperioodi keskmine radoonisisaldus. (*Lisas 2 foto mõõteaparatuurist*)



Mõõtetulemuse kui statistilise suuruse mõõtemääramatuseks on hinnatud 95% usaldusväärsustasemel 10-30% sõltuvalt tulemuse suurusest (Mellander 1992):

- 1) mõõtetulemustel alla 100 Bq/m<sup>3</sup> on keskmine mõõtemääramatus 30%;
- 2) tulemuste vahemikus 101 – 300 Bq/m<sup>3</sup> puhul 20%;
- 3) tulemuste 301 - 1000 Bq/m<sup>3</sup> puhul 14%;
- 4) üle 1000 Bq/m<sup>3</sup> tulemuse puhul 10%.

Antud töös tulemuste üldistamisel ja analüüsil on mõõtemääramatusi arvestatud vastavalt toodud jaotusele, kuna töö eesmärgiks on esialgse hinnangu saamine radoonitaseme kohta uuritavate piirkondade lasteasutustes. Tulemuste õigsus ja jälgitavus mõõtühikuni Bq/m<sup>3</sup> tagatakse kalibreeritud detektorite ning foonidetektorite abil.

Tootjatehases valmistatud detektorid pakitakse 120 kaupa ning sellest kogusest jäetakse neli detektorit fooni mõõtma ning neli saadetakse kalibreerimislaborisse.

Siseruumide radoonisisalduse mõõtmiseks välja saadetakud komplekteeritud detektorid pakitakse transportimise ajaks õhutihedatesse alumiiniumkottidesse.

## 1.3. Radooni ja terviseefektide vahelise seosed

### 1.3.1. Lähteandmed

Ioniseeriva kiirguse uurimiseks inimesele peetakse paremaks populatsiooni epidemioloogilisi uuringuid. Nende abil on kindlaks tehtud, et kiiritus suuremal hulgal tekitab vähkkasvajaid. Epidemioloogilistest uuringutest on radooni puhul kasutatud väga palju *case study* tüüpi uuringuid (Darbi 2004), aga ka näiteks retrospektiivseid uuringuid (Birovljev et al 1999), mille puhul on mõõdetud klaaspindadele jäänud radooni pikaealisi lagunemise produkte.

Radooni pikaealisi lagunemise produkte saab kasutada ka biomarkerina, määrates nende sisaldust luudes, hammastes, juustes, uriinis või veres (USEPA 2003).

Geograafilisi uuringuid, mida samuti tihti tehakse, on kahjuks raske mujale interpreteerida, kuna erinevad tingimused muudavad radooni väljaimbumist (Clavesnjö and Åkerblom 1994).

Viimasel 10 aastal on palju uuringuid tehtud, millest mõned on näidanud korrelatsiooni radooni ja kopsuvähi vahel, mõne puhul aga pole seos eriliselt esile tulnud. Mõnikord toovadki sellised epidemioloogilised uuringud kaasa rohkem küsimusi kui vastuseid. Võib juhtuda, et uuringute läbiviimisel on tehtud vigu või mõjutavad tulemusi muud faktorid, näiteks inimeste liikumine ühest elukohast teise. Seetõttu väidavad mõned skeptikud, et radooni mõju on üle hinnatud. (Arthur 2000)

Ometi on epidemioloogilised uuringud näidanud seost kiirituse ja inimesel esineva kopsuvähi vahel. Seetõttu saab radooni ja tema tütarproduktid klassifitseerida inimesele kantserogeenseteks (USEPA 1993).

### 1.3.2. Radoonist tulenevad terviseefektid

Juba 300 aastat tagasi, märgati seost Saksamaa ja endise Tšehhoslovakkia kaevanduse töötajate ning imeliku haiguse vahel, milleks oli kopsuvähk. Pärast radioaktiivsuse avastamist leiti, et selle põhjustajaks oli radoon ning tema tütarproduktid, mis pärinesid uraanirikkast kivimist. (Martin 2004) Kui esmalt peeti kõrget radoonisisaldust kaevanduste probleemiks, siis hiljem jõuti järeldusele, et ka muudes töökohtades ja ka elumajades võib esineda väga kõrgeid radoonisisaldusi (Bevelacqua 2004).

Kuna radoon on inertne gaas, siis on suur tõenäosus, et sissehingatud radoon väljub hingamisteedest ka ilma neid kahjustamata. Inimesele on ohtlikumad hoopis radooni lühiealised tütarproduktid, mis omavad elektrilaengut. (USEPA 2003) (*Lisas 3 joonisel 3.1 kiirgusest põhjustatud raku surm*)

Tänu elektrilaengule saavad need osakesed vabalt kopsu ladestuda ja kopsukudesid kahjustada lagunemisel vabaneva energia tõttu. See mõjutab tugevalt kopsude ja bronhide pinna rakulist struktuuri, kahjustab või isegi tapab rakke. Keha suudab küll rakke asendada, kuid rakud võivad hakata ka näiteks kontrollimatult paljunema ning sellised

rakulised defektid võivad viia kopsuvähi tekkeni. (Martin 2004) (*Lisas 3 joonisel 3.2 kopsuvähi tekkemehhanism*)

### 1.3.3. Radoonist põhjustatud terviserisk

Radoonist tulenevat terviseriski suurust mõjutavad tegurid on radooniga kokkupuute aeg ja geoloogiline ning graafiline asukoht. Lisaks neile teguritele on olulised ka indiviidi eripärast sõltuvad tegurid nagu suitsetamine, sugu, füüsiline seisund ja geneetiline eripära.

Radooni ning tubakasuitsu vahel on täheldatud sünergilist (positiivset samasuunalist) kantserogeenset efekti. (USEPA 2003) Eestis on palju suitsetajaid, seetõttu on riskitegur kõrgem, kui näiteks Skandinaaviamaades. (*Lisas 4 suitsetajate ja mitesuitsetajate radoonist põhjustatud terviseriski võrdlus*)

Esialgsete arvutuste järgi tekib Eestis aastas radooni tõttu 90 uut kopsuvähi juhtu (Pahapill et al 2003) ehk 12% kogu kopsuvähi esmajuhtudest. (*Lisas 4 vähi esmajuhtude registreerimine Eestis 2000 aastal*)

On teada, et teatud tüüpi vähkkasvajad esinevad kiirguskahjustuste tõttu rohkem lastel. Radooni ning kopsuvähi puhul pole sellist seost veel leitud. Seega ei doosi, ega sellest tuleneva terviseriski arvutamisel ei tehta vahet täiskasvanul ja lapsel. (USEPA 2003)

Reaalselt avaldub radooni mõju kopsudele alles aastakümnete jooksul. Kuna terviseriski arvutatakse potentsiaalse eluaegse kiirituse abil (ICRP 1993), on üsna keeruline interpreteerida antud uuringu käigus arvatavaid doose radoonist tekkiva kasvaja riskiks. Seetõttu piirduakse dooside kajastamisega ning antakse soovitus eraldi terviseriski uuringu tegemiseks.

## 1.4. Radooni hoonesse sisenemise võimalused

Kirjutades radoonist, eriti radooni ja ehituslike parameetrite seostest ja radooni vähendamise viisidest saab suures osas lähtuda 1994 aastal Clavesnjö ja Åkerblomi poolt

kirjutatud the Radon Bookist (1994). See on raamat, mida väga tihti tsiteeritakse ning mida on kasutatud ka mitmete riikide ehituslike meetodikate ja -standardite loomisel. Ka Eesti standardis Radooniohutu hoone projekteerimine (EVS 2003b) on kasutatud ulatuslikult nimetatud teost.

#### 1.4.1. 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).

Kuna radoon on gaas, liigub ta õhuga maapinnast hästi kohtadesse, kus on alarõhk. Selleks kohaks võib hoone, milles kasutatakse väljatõmbega ventilatsioonüsteemi. Majja võib alarõhk tekkida ka välisõhu temperatuuri kõikumistest. Radooni poolestusaeg küllaldane, et see jõuaks koguneda elumajja, välja arvatud juhul kui maja on ehitatud radoonikindlaks. Radoon võib koguneda ruumi ja ületada mitu korda lubatava taseme ka siis, kui maapinnas on selle sisaldus madal. (Clavesnjö and Åkerblom 1994)

Järgnevas on kirjeldatud võimalikke situatsioone:

Radooni imbumisel maapinnast siseruumidesse on mitmeid soodustavaid ning takistavaid tegureid, millega tuleb maja ehitamisel või olemasoleva hoone radoonitase vähendamisel arvestada.

#### Maapind millele hoone on rajatud

1. Niiskele savile rajatud majas on väike radoonioht, kuna sellisest materjalist ei suuda radoon läbi tungida. Savi võib ohuks kujuneda siis, kui on ise raadiumirikas, või on sellesse jäänud diktüoneema tükikesi. (Selline olukord, on kohati näiteks Tiskre elamurajoonis).

2. Otse kivipinnasele rajatud majas on radoonioht juhul kui pinnases on kõrge radooni kontsentratsioon ja radoon saab hästi maapinnale liikuda, pinnas on purunenud/pragunenud, samuti karstialadel, kus maja all võivad olla koobaste tõttu rõhuerinevused. Näiteks Tabasalus.

3. Radoonirisk esineb majas, mis on rajatud kruusasarnasele või kiviklibuga kaetud pinnasele.
4. Maapinna aeratsioon sõltub maja alla pandava täitematerjali hulgast.
5. Täitematerjal võib olla raadiumirikas ning võib põhjustada radoonisisalduse suurenemise hoone siseõhus.
6. Kui radoon imbub täitematerjalist, pole see ventilatsiooni või tuuletõmbe korral ohtlik, kuid kui täide on kaetud väljast tiheda katte või saviga, siis tõuseb radooni kontsentratsioon. (Clavesnjö and Åkerblom 1994)

### Ehituskonstruksioonid

Hoopis olulisem maapinnast, millele hoone rajatakse, on ehitamise kvaliteet ning ka ehituslikud parameetrid. Eestis on ülevaate andmiseks, kuidas radoon hoonesse tungib ning kuidas seda vältida, välja antud infomaterjal Radooniohutu elamu (2004) ning standard Radooniohutu hoone projekteerimine (EVS 2003b). Tüüpilisi radooni sisseimbumise kohti hoones illustreerib joonis 1.1

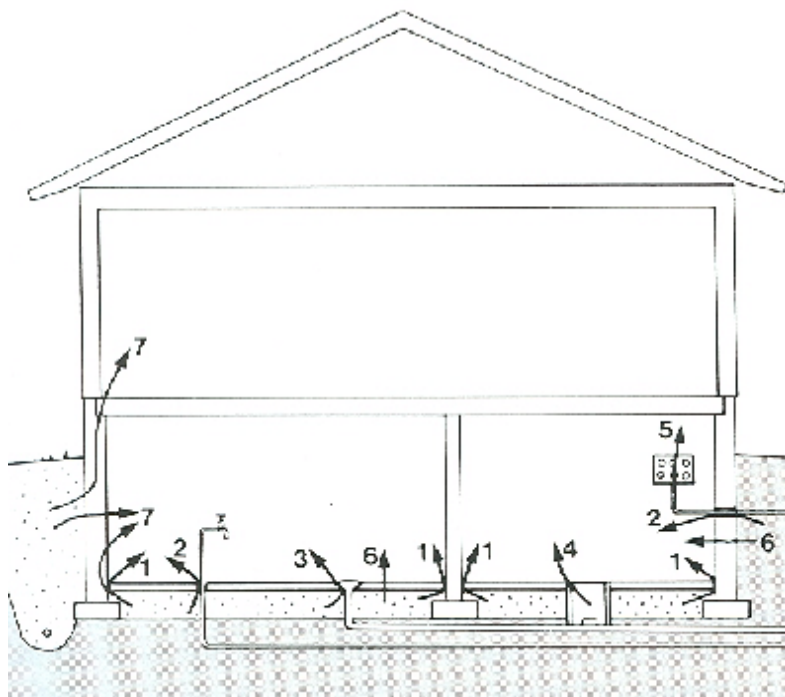
#### 1.4.2. Radoon veest

Normaalne radoonisisaldus joogivees on 10-100 Bq/l. Eestis pole vee radoonisisalduse probleemi täheldatud. Kuid kui on alust arvata, hoonetes kasutatav vesi võib põhjustada suure radooni kontsentratsiooni siseõhus, tuleb vett uurida (EVS 2003b).

### Soodustavad ja takistavad tegurid

Madal või kõrge radoonisisaldus vees on tingitud geoloogilisest eripärast, ning selle päritolust. Radoonisisaldus võib kõrgem olla vees, mis on võetud kambrium-vendi veelademest või veelademest, mis pole vettpidava kihiga eraldatud oobulusliivakivi ja/või diktüoneemakilda kihtidest. Samuti kvaternaari pealmises veekihi, kui ülesvoolu paikneb oobulusliivakivi ja/või diktüoneemakilda või nende töötlemisjääkide puistang (EVS 2003b). Ohtlikuks ei loeta veelademeid, mis asuvad liivakivide ja paeakivi vahel. Pinnavees radooni peaaegu ei eksisteeri.

Joonis 1.1



Joonis. Peamised radooni sisseimbumise kohad

1. Keldri/vundamendi ning seinte vahelised praod.
2. Maaaluste juhtmete ja kaablite sisenemise kohad.
3. Konstruktsioonide ühenduskohad (nt põrand/sein, põrand/põrand). Neid võib raske märgata, kuna nad võivad olla kaetud põranda- või seinakattega.
4. Avad torustikusüsteemi/lõõride piirkonnas/torustiku sisenemise kohad, nt seina ja toru vaheline osa.
5. Lekkekohad telefoni- ning elektriliinide majja tulemise kohtadest
6. Praod ehituskonstruktsioonides, mis on otse ühenduses radooniallikaga.
7. Poorsed seina- või põrandamaterjalid. (Clavesnjö and Åkerblom 1994)

### 1.4.3. Radoon ehitusmaterjalidest

Mõnikord võib kõrgenenud radoonisalduse ruumides põhjustada ka ehitusmaterjalidest pärinev radoon. Ehitusmaterjalide radionukliidide sisalduse piirmäär on kehtestatud eriaktiivsuse indeksiga (gamma- või raadiumiindeks) ning see peab olema väiksem kui 1,0. (EVS 2003b).

### Soodustavad ja takistavad tegurid

Eestis põhjustavad kõrget radoonisisaldust peamiselt fosforiit ning diküoneemekilt, kuid nendest ehitusmaterjale ei valmistata. 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.

Radoonisisaldust hoone sees võivad tõsta graniit, teatud põlevkivi tuhast tehtud tsement, plokid, uraanirikas fosfaatkips, kaevanduste jääkidest ja -tuhast valmistatud ehitusmaterjalid. Madala radoonisisaldusega on tavaliselt pae-, liivakivi (Clavesnjö and Åkerblom 1994).

Teatud radoonikontsentratsiooniga pinnas ning samast pinnasest valmistatud ehitusmaterjal ei ole sama ohtlikkuse astmega. Seinmaterjal on õhem, ning allub ruumide õhuvahetusele, samas, kui pinnases olev radoon on piiratud õhuvahetusega ja kontsentreerub. (Åkerblom 2006)

Ehitusmaterjalide raadiumisisaldust ning radooni eksaltatsiooni sellest illustreerib tabel 1.1.

Tabel 1.1

Ehitusmaterjalide raadiumisisaldus ning radooni eksalatsioon

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

## 1.5. Radoonisisalduse vähendamise võimalused

Kui uus hoone planeeritakse radooniohtlikule alale, või olemasolevas hoones on avastatud radooniprobleem, tuleb sellele leida õige lahendus, et vältida kõrge radoonisisaldusest tingitud ülemäärast kiiritust, ning minimeerida kopsuvähi riski.

Radooni vähendamiseks hoonetes on mitu meetodit ja sobivaim sõltub reaalsest olukorrast:

1. Allika kõrvaldamine. Allikas on näiteks maja alune pinnas, mõnikord ehitusmaterjal ja vesi. Tihti on allika kõrvaldamine võimatu. Kui allikaks on ehitusmaterjal, siis selle väljavahetamine on kohati õigustatud.

2. Radoonisisalduse vähendamine, kui see on juba ruumi jõudnud. Seda saab teha näiteks ventilatsiooni abil õhuvahetuse suurendamise ja rõhumuutuste ühtlustamisega.

3. Radooni ära juhtimine nii, et see ei jõuaks siseõhku. Sellisel juhul kasutatakse näiteks põrandapinna ja pinnase katmist vastava materjaliga. (Clavesnjö and Åkerblom 1994)

Kuna Eestis on radooniohu allikaks peamiselt pinnasest pärinev radoon, keskendutakse eelkõige ehituslikele meetmetele, mida saab kasutada pinnasest imbuva radooni tõkestamiseks.

### 1.5.1. Radooni tõkestamine uue hoone ehitamisel

Radooniohutu hoone ehitamise üldnõuded Eestis esitatakse standardis. Selles jagatakse meetmed vastavalt majatüübile. Iga objekt on unikaalne, ning radooni tõkestamiseks on vaja arvestada, kas maja ehitatakse keldriga, keldrita, otse maapinnale, või maapinnast kõrgemale. Üldiselt kehtib seos, mida väiksem pind on ühenduses maapinnaga, seda väiksem on oht radooni tungimiseks hoonesse. (EVS 2003b)

Keldriga maja puhul tuleb aga arvesse võtta, et kuigi tema kokkupuutepind radooni sisseimbumise jaoks on suurem, on täheldatud keldriga majades esimesel korrusel madalamat radoonisisaldust, kui keldrita maja puhul. Erinevus võib olla tingitud sellest, et keldrisse tunginud radoon hajub enne esimesele korrusele jõudmist teatud osas, keldrita maja puhul seda võimalust ei ole.



Radoonitõkke kasutamise vajalikkuses määramiseks tuleb lähtuda ka alljärgnevast tabelist, milles esitatakse meetmed radooni hoonesse sattumise vältimiseks võrrelduna pinnase radooniohtlikkusega (EVS 2003b).

Tabel 1.2

Radooni hoonesse sattumise vältimise meetmed olenevalt pinnase radoonisisaldusest

Pinnase radoonisisalduse tase	Pinnase radoonisisaldus (Bq/m <sup>3</sup> )	Meetmed radooni hoonesse sattumise vältimiseks
Madal	alla 10000	Tavaline hea ehituskvaliteet
Normaalne	10000-50000	Tavaline hea ehituskvaliteet, maapinnale rajatud betoonplaadi ja vundamendi liitekohtade, pragude ja läbiviikude tihendamine, maapinnast kõrgemal asuva põrandaaluse tuulutus
Kõrge	50000-250000	Tarindite radoonikindlad lahendused (õhutihedad esimese korruse tarindid ja/või alt ventileeritav betoonpõrand või maapinnast kõrgemal asuva põrandaaluse sundventilatsioon)
Ülikõrge	üle 250000	Eriti hoolikas ehituse teostus, kopleksed radoonikaitse meetmed

Kui hoone rajatakse madala või normaalse radoonisisaldusega pinnasele aitab kõrgeenenud radoonisisaldust ruumis vältida enamasti hea ehituskvaliteet. Ehitusmaterjalina on radoonitõkkeks näiteks betoon. Ehituskvaliteet peaks tagama, et betooni ei tekiks praod, mille vältimine on radooni sisseimbumise seisukohalt väga oluline.

Kui radoonisisaldus pinnases on kõrgem, tuleb kombineerida erinevaid võtteid, et vältida radooni sattumist hoone siseruumidesse. Sellisel juhul tuleb betoonplaat katta vastavate materjalidega, mis tõkestavad radooni sisseimbumist. Materjalideks võivad olla radoonikile, teatud liiki membraanid ning mastiksid. (*Radoonitõkke asukoht vundamendil on vaadeldav joonisel 5.1 lisas 5*)

### Radoonikile

Radoonikile on tavalisest ehituskiledest veidi paksem, ning selle paigaldamise mehhanism on teistsugune. Tavalise kile puhul laotatakse see lihtsalt betoonplaadile ning tihti seda ei teibita. Radoonitõkkene kasutatava kile puhul teibitakse kile jätkukohad, ning kile viiakse

üle vundamendiäärte, et radoon ei saaks hoonesse siseneda seinte kaudu. Keldriga hoone puhul tuleb kogu vundament valada kilekotti ja kile otsad tuua maapinnast kõrgemale. (*Lisas 5 joonisel 5.2 radoonikile paigaldamine*) Radoonikile ei täida otstarvet siis, kui see on purunenud või vigastatud. See võib juhtuda kile paigaldamisel või betooni valamisel sellele. Samuti võib kile puruneda hoone ulatusliku vajumise või nihkumise tulemusena. Korralik paigaldus ning tugev hoonealune pinnas ongi radoonikile kasutamise eelduseks. (Kilekeskus [www.kilekeskus.ee](http://www.kilekeskus.ee))

### Membraanid

Hoonele paigaldatud hüdroisolatsioonisüsteem võib õige paigalduse korral olla ka efektiivne radoonitõke. Hüdroisolatsiooni ühe komponendina kasutatakse tavaliselt membraane, mis sarnaselt kilele pannakse keldrita maja puhul üle vundamendiplaadi ning keldriga hoone puhul ümber otseselt radooni ning niiskusega kokkupuutuvat tsooni ning ääred tuuakse välja maapinnast kõrgemale (Langeproon 2006). (*Lisas 6 joonisel radooni ning veega otse kokku puutuvatest pindadest*) Sellised süsteemid on tavalisest radoonikilest kallimad, kuid efektiivsus on suurem, ning otstarve tihti mitmekülgsem. (*Lisas 6 fotol hüdroisolatsiooni paigaldamine*)

Lisaks eelmainitud meetoditele kasutatakse pindade katmiseks ka mitut liiki mastikseid. Nende efektiivsus radooni tõkestamise seisukohalt sõltub samuti oskuslikust paigaldamisest.

Kui maja planeeritakse kõrge radooniohuga alale tuleks kasutada ka meetodeid, mis radoonirikka õhu hoone alt minema juhivad või takistavad selle pääsemist ruumidesse.

### Alarõhu meetod

Sellisel juhul imatakse maja alt radoonirikas õhk ära ning tekitatakse maja alla alarõhk. Majaaluse õhu ventileerimisel tuleks arvestada temperatuuri langusega ning maapinna külmumisega talvekuudel, kui toimub liialt intensiivne ventileerimine. Süsteemi efektiivsust on raske prognoosida, kuna see sõltub pinnase aeratsioonist ning ehitise kvaliteedist (Clavesnjö and Åkerblom 1994)

### Õhkpadja meetod

Selle meetodi puhul pumbatakse hoonest võetav õhk maja alla, et tekitada sinna niinimetatud õhkpadi. Radooni sisseimbumine on välistatud, kui põrand on õhutihe ning ilma pragudeta. Vastasel juhul võib hoonealuse ülerõhu tõttu radoon intensiivsemalt majja tungima hakata. (Clavesnjö and Åkerblom 1994)

Õhkpadja meetod tõstab majaaluse õhu temperatuuri, seetõttu on välistatud majaaluse pinnase külmumine. Ka võib seda meetodit niiskuse takistamiseks kasutada, kuna kuivem toaõhk liigub maja alla. Teatud majatüübi puhul, näiteks kui pinnasele toetuv hooneosa on kergplokist, siis võib niiskus sealt siseneda ja tekitada niiskuse ja hallituse probleeme. Ka võib sellise meetodiga juhtuda, et pressitakse radoonirikast õhku naabermajja. Seetõttu peaks süsteemi paigaldama peaks ainult asjatundja. (Clavesnjö and Åkerblom 1994)

### Põrandaaluse ventileerimine

*Põrandaaluse ventileerimine loomulikul tõmbel* on rakendatav keldrita hoone puhul. Hoonesse paigaldatakse toru, mille kaudu maja alune õhk juhitakse välja (Clavesnjö and Åkerblom 1994).

*Põrandaaluse ventileerimine mehhaanilisel tõmbel* - sellisel juhul ühendatakse imamistorudega maja alla paigaldatavad dreenaaritorud. Ventilaatori abil tõmmatakse radoonirikas õhk välja ühest või mitmest kohast hoone alt. Torude paigaldus sõltub konkreetsest ehitisest ja pinnasetüübist. (*Joonised põrandaaluse ventileerimissüsteemide tüüpidest lisas 7*) (Clavesnjö and Åkerblom 1994)

Lisaks neile meetoditele on olemas ka *põrandaaluse tuulutus* loomuliku õhuvahetuse abil, kuid see on efektiivne juhul, kui radoonisisaldus pinnases ei ole väga kõrge. (EVS 2003b)

Põrandaalust ventileerimist saab kasutada siis, kui radoon pärineb pinnasest. Kuna see ei muuda õhuvahetust ruumi sees pole otstarbekas kasutada juhul, kui radoon pärineb ehitusmaterjalist. (Clavesnjö and Åkerblom 1994)

### Radoonikaev

Radoonikaevu paigaldamine on võimalik vaid paksu ja hea aeratsiooniga pinnase puhul, milleks on näiteks kruus ja liiv. Sellistes pinnases saab radoonikaev alandada rõhku suurel maalalal. Radoonikaev paigaldatakse väljapoole maja ning peaaegu täielikult maa alla,

välja jääb vaid toru ots. Radoonikaevude asukohavalikul ning ventileerimise määra valiku tegemiseks arvestada järgnevaga:

- 1) pinnase läbilaskvus;
- 2) maja asukoht - saab paigaldada ka näiteks kahe maja vahele, siis saavad kasu mitu naabrit;
- 3) ka ümbritsevaga, nt aed, sest kaevata tuleb kuni 4 m sügavusele, kuna vastasel juhul võib radoonirikas õhk majja tungida.
- 4) kivisele pinnasele pole radoonikaevu paigaldamine tihti võimalik ega mõttekas. (Clavesnjö and Åkerblom 1994) (*Lisas 8 joonise 1 8.1 radoonikaev*)

### Ventilatsioon

Ka ventilatsiooni paigaldamine on radooni vähendamise seisukohalt üheks valikuks. Ventilatsiooni tõttu vahetub ruumi õhk kiiremini ning vähenevad ruumide rõhuerinevused. Tuleb silmas pidada, et ventilatsioon üksi ei ole radooni tõkestamisel abinõuks, eriti kui tegemist on radooniohtliku alaga. Valede ehitusvõtete tõttu võib radooni hoonesse tungimine olla intensiivsem, kui ventilatsiooni abil vahetava õhu määr.

Keldriga hoone puhul tuleb kindlasti välja ehitada loomulikult tõmbel või mehaanilise väljatõmbega tõhus keldri ventilatsioonisüsteem (EVS 2003b). (*Lisas 9 joonistel 9.1 ja 9.2 keldri ventilatsioonisüsteemid*)

## 1.5.2. Radoonisisalduse vähendamine olemasolevas hoones

### 1.5.2.1. Hoone sees tehtavad tööd

#### Visuaalselt nähtavate aukude ja pragude kõrvaldamine

Kui mõõtmiste abil on leidnud kinnitust radooni imbumine pragude ning lõhede kaudu, tuleb need sulgeda.

Põranda võib katta radooni mitteläbilaskvate materjalidega. Sein ja põranda vahelisele alale võib paigaldada elastse katte, mis liikumisel, aga ka soojuse ja külma mõjul paigale jääb. Silikoontäidete kasutamisel tuleb arvestada, et neid ei tohi kasutada elektri kaablite ja elektrijuhtmetega seonduvate aukude täitmiseks. Seinte ülevärvimisest võib olla

lekkekohtade vähendamisel kasu, kuid kui aluspinnases on praod, ei ole värvimine lahenduseks. Põranda ning seinte katmine vähendab ka ehitusmaterjalidest pärinevat radooni. (Clavesnjö and Åkerblom 1994)

Aukude ning pragude kõrvaldamine ei vähenda oluliselt radoonisisaldust, kui maapind, millele hoone on rajatud, on kõrge radoonisisaldusega. Samuti tuleb pindade katmisel arvestada sellega, et vale tehnika tõttu võib radoonisisaldus ruumides hoopis suurenda. (USEPA 2003)

#### Põranda väljavahetamine

Mõnel juhul, näiteks kui puitpõrand on paigaldatud maapinnale, väga õhukese vundamendi peale, ei ole abi põrandakatte paigaldamisest. Sellise olukorra lahenduseks võib olla õhkpadja tekitamine põranda alla, või uue põranda paigaldamine olemasoleva peale. (Clavesnjö and Åkerblom 1994)

Kallimaks meetodiks on kogu põrandapinna ülesvõtmine, et ehitada välja parem vundament. Sellisel juhul aga on võimalik maja alla paigaldada ka torustikusüsteem, mis on efektiivne lahendus radooni vähendamiseks.

#### Visuaalselt nähtamatute radooni sisseimumiskohtade kõrvaldamine

Väga tihti põhjustavad radooni sisseimumist eluruumidesse praod ning lõhed, mida pole võimalik kindlaks teha ja ei pruugi silmaga näha. Seetõttu tuleb kõrvaldada ka nähtamatud sissimumiskohad.

Keldriga hoone puhul on oluliseks maaaluse osa katmine. Tihti on välisseina lahti kaevamine kulukas, aeganõudev või isegi võimatu. Sellisel juhul võib proovida tihendada keldrit seestpoolt. Seinut saab odavamalt katta värvides, kuid see pole alati efektiivne. Paremaks lahenduseks on siseseinte katmise spetsiaalkatetega, nagu näiteks tsemendiplaaster. Ühe võimalusena on ehitusmaterjalide täitmine akrülaatgeeliga, mis tihendab materjale ning täidab nende poorid. (*Lisas 8 joonisel 8.2 on näidatud akrülaatgeeli kasutamine ehitusmaterjalide täitmise.*) Sellise meetodiga on saadud aga ka häid tulemusi, nt seinade katmisel tehtud kihiga on radoonisisaldus vähenenud kuni 65%.(USEPA)

### Ventilatsiooni paigaldamine

Lihtsaim viis tõsta ventilatsioonimäära olemasolevas hoones, on ventilatsioonisüsteem üle vaadata ja korrastada. Loomuliku ventilatsiooni puhul see vahetada mehhaanilise ventilatsiooni vastu. Ventilatsiooni paigaldamise ja kasutamise puhul tuleb arvestada, et liiga tugev õhuvool ning tõmme võib intensiivistada radooni imbumist hoone alt, ning põhjustada ruumides soovitud vastupidise efekti. Seetõttu tuleks peale ventilatsiooni paigaldamist radoonisisaldust mõõta. (Clavesnjö and Åkerblom 1994)

### Põrandaaluse ventileerimine

Ilma põrandapinda ülevõtmata on ventileerimine võimalik ainult siis, kui on vaba ligipääs põranda alla. Vastasel juhul tuleb põrandapind üles võtta, et sinna torud paigaldada. Kui põranda kvaliteet on halb, ei ole see meetod efektiivne ja selle abil ei saa oluliselt radoonisisaldust vähendada.

Mõnel juhul on olnud vajadus põrandaaluste ning radooni hoonest väljajuhtivate torude arvu suurendada. Torude vale paigaldusega ja tihendamata jätmiseta võib radoonisisaldus aga hoopis suureneeda. (DELG 2002)

## **1.5.2.2. Väljaspool hoonet tehtavad tööd**

### Maapinnast allapoole jäävate välisseinte katmine radoonitõkkega

Kuna hoone sees tehtavad tööd ei ole kõrge radoonisisalduse seisukohalt väga efektiivseid tulemusi andnud, tuleks kaaluda hoone pindade parandamist väljapoolt. See meetod on efektiivne näiteks keldriga maja puhul, mille alla radoonirikka õhu kogumissüsteemi pole tihti võimalik installeerida.

Keldriga maja maaaluse osa välisseina katmiseks sobivad materjalid on bituumenkiht, membraanid ja termoplastikkile. Selliste katete miinuseks võib olla kohati vastupidamatus maja loomulikule vajumisele või näiteks vibratsioonile, mida tekitab liiklus ja mis omakorda muudab maja asendit. (DELG 2004) Oluline on teada, et kasu pole vaid seinte katmisest, kuna seinte alumine osa toetub otse maale ja sealt saab radoon siiski seina ja sealt edasi ruumi liikuda. Ka sellisel juhul saab kasutada materjalide täitmist geeliga.

Vanadel ehitustel on isolatsioonisüsteemi paigaldamise tunduvalt keerukam - lisanduvad kaevetööd ja olemasolevate põrandate ja seinte viimistluskihtide lammutustööd ehk isolatsioonitöödega kaasnevad teised ja tihti mahukamad tööd kui isolatsioonitööd ise ongi. (Langeproon 2006)

Lisaks neile meetoditele aitab radoonitaseme alandamiseks teatud pinnasetüüpide puhul ka vanade hoonete juurde radoonikaevu installeerimine.

## 1.6. Töökohtade ruumide siseõhu radoonisisalduse normeerimine

ICRP publikatsioonis nr 65 on ära toodud soovituslikud piirtasemed aastaringse radoonisisalduse kohta siseõhus, mis töökohtades võiksid jääda vahemikku 500-1500 Bq/m<sup>3</sup>. (ICRP 1993) Mitme Euroopa riigi (Synnott et al 2004) aga ka IAEA (IAEA 2003) soovitusel lasteasutuste kohta peetakse vajalikuks kasutada piirtasemena 200 Bq/m<sup>3</sup> nagu see on soovitatav ka ehitatavates uutes elumajades. See langeb kokku Eesti standardis EVS 839:2003 toodud piinormiga kõigi siseruumide kohta. Seega radoonitase lasteasutustes Eestis normeeritud kooskõllaliselt üldise rahvusvahelise praktikaga.

Lasteasutustes, kus kõikide ruumide tase on alla 200 Bq/m<sup>3</sup>, loetakse ohutuks ning seal ei ole vaja edasisi toiminguid radooni suhtes ette võtta (PPII 2004).

Selline eelinformatsioon on vajalik lähtekohtade püstitamiseks antud uuringu tulemuste puhul.

## 2. MATERJAL JA METOODIKA

### 2.1. Uuritavate objektide valik

#### 2.1.1. Uuritavad vallad ja linnad

Elamute siseõhu andmete analüüs näitas, et radooniohtlikke alasid on otstarbekas piiritleda valdade ning linnade (edaspidi piirkondade) kaupa. Selline lähenemine on ka praktiline detektorite eksponeerimise korraldamisel.

Piirkondade radooniohtlikkuse määratlemisel võib kasutada erinevaid kriteeriume. Antud magistritöös võeti aluseks Suurbritannia Kiirguskaitseameti (NRPB) poolt kasutatav kriteerium, mille järgi radooniohtlikena käsitletakse piirkondi, kus 1% hoonetest on radoonitase kõrgem rakendatavast piinormist. ICRP soovitusel töökohtade jaoks on alampiiriks seatud 500 Bq/m<sup>3</sup> (ICRP 1993).

Arvestades toodud kriteeriumi eraldati Eesti elamute radooniandmete alusel välja sellised vallad ja linnad, kus 1% tulemustest ületas 500 Bq/m<sup>3</sup>. Seejuures eeldati, et elamutes ja lasteasutustes hoonetes valitsevad enam-vähem ühesugused radooni taset mõjutavad tegurid.

Probleem tekkis selliste piirkondade juures, kus mõõtetulemuste arv oli väike (7-10 tulemust) ning ükski neist ei ületanud taset 500 Bq/m<sup>3</sup>. Kuna aga on selgunud, et radooni esinemisjaotus teatud piirkonnas allub lognormaalsele seaduspärasusele (Castren et al 1992; Miles 2000), siis võib ilmnedagi, et ka väikese mõõtetulemuste arvuga piirkonnas võib esineda kõrge radoonitasemega hooned. Selleks, et sellised alad vaatluse alt välja ei jääks, on otstarbekas regressioonianalüüsiga leida olemasolevale väikesele mõõtetulemuste hulgale sobiv lognormaalne jaotus ja leida arvutuslikult üle 500 Bq/m<sup>3</sup> radoonitasemega hoonete esinemise tõenäosus.

Kasutades kirjeldatud meetodit, eraldati antud töö jaoks potentsiaalselt radooniohtlike piirkondadena välja 30 valda ja linna. Uuringusse lisati ka Viimsi vald, mis modelleeringu tulemusena napilt välja jäi. Kuna Viimsi on viimaste aastatega saanud populaarseks ehitusalaks, võeti ka see piirkond uurimise alla.



### 2.1.2. Uuritavad lasteasutused

Lasteasutuste all mõeldakse antud magistritöös lasteaedasil, koole ning ka kohti, kus lapsed oma vaba aega veedavad. Sellisteks kohtadeks võivad olla näiteks raamatukogud, aga ka kultuurimajad, noortekeskused, viimaseid nimetatakse lihtsustamise eesmärgil edaspidi huvikeskusteks. Kuigi raamatukogudes ja huvikeskustes veedavad lapsed vähe aega, võeti ka need asutused uurimise alla, kui töökohad, kus väiksemate ruumide tõttu võib eeldada kõrgeid mõõtetulemusi.

Eelinformatsiooni kogumise käigus selgus, et valitud aladele jäävate hoonete arv on ligikaudu 300 ning neist 10% ehk 30 lasteasutuses on esimesel korrusel keskmiselt 10 ruumi.

Mitmed pädevad organisatsioonid soovivad lasteasutuste kaardistamisel mõõta ära kõik esimese- või keldrikorruse ruumid (USEPA 1993; RPII 2004). Samas mõõndakse, et see pole 100% vajalik. Mitmeid ruumid, nagu koridorid ning tualetid, ei ole pidevas kasutuses.

Pärast erinevate maade metoodikate (Reichelt et al 1999; RPII 2004) ja kogemustega tutvudes ning uuringutele kehtivate piirangutega arvestades leiti, et kooli ja lasteaeda on otstarbekas paigutada keskmiselt kuus detektorit, raamatukokku ja huvikeskusesse maksimaalselt neli detektorit.

Kuna uurimise alla võetud hoonete arv oli 300, saadi detektorite koguarvuks ligi 2000, mida oli piirangute tõttu liiga palju. Keskkonnainvesteeringute Keskuse mõnevõrra väiksema rahaeraldise tõttu kahandatigi kahe hooneterohkema piirkonna Tartumaa ja Kohtla-Järve objektide arvu vähemalt poole võrra, samuti jäeti väike osa huvikeskustest ja raamatukogudest uurimise alt välja.

Kokkuvõtvalt võeti uuringusse siiski 210 asutust. Selleks kasutati 1150 detektorit, millest lasteasutustes eksponeeriti 1070 detektorit, 40 detektorit kasutati kalibratsiooniks ning 40 fooni määramiseks.

### 2.1.3 Mõõtmiskohtade valik lasteasutuses

Antud uuringu meetodika nägi ette, et detektorid paigaldatakse hoonetesse asutuste ruumide arvu järgi. Seetõttu paigaldati huvikeskustesse ja raamatukogudesse enamasti kaks kuni neli, lasteaedadesse neli kuni kaheksa ning koolimajadesse kaheksa kuni kaksteist detektorit.

Juhul, kui ei kaardistata kõiki ruume, on oluline, et detektorid paigaldatakse enim kasutatavatesse kohtadesse. (RPII 2004) Kuna uuring oli suunatud eelkõige lastele, soovitati detektorid paigaldada keldri- või esimese korruse ruumidesse, kus lapsed kõige rohkem aega veedavad. Üldlevinud meetodika radoonisisalduse määramisel näeb ette, et detektorid paigaldatakse võimalikult maapinna lähedal olevatesse ruumidesse. Tavaliselt on radoonisisaldus neis ruumides suurem, kui kõrgemal asuvates ruumides. Koolitöötajatele anti kaasa juhend, kuidas detektorid paigaldada. Materjal oli eesti- ja venekeelne. (*Lisas 10 asub eestikeelne, ning lisas 11 venekeelne infomaterjal koolitöötajatele*)

Kuigi käesoleva uuringu käigus sooviti määrata radoonisisaldus ära eelkõige neis ruumides, kus viibivad lapsed, ei järginud asutuste töötajad alati seda soovitusi. Lisaks laste ruumidele, paigaldati detektorid ka töötajate kabinetidesse ning isegi laoruumidesse. Eeldatavasti on sellise käitumise põhjuseks ühelt poolt töötajate huvi eelkõige enda tervise vastu, kuid teisest küljest ka ilmselt kartus, et detektorid lastele liigset huvi pakuvad. Mõnikord jäeti ankeetides detektori asukoht täpsustamata. (*Detektorite protsentuaalne jagamine ruumide kaupa on vaadeldav lisas 12 joonisel 1*)

Tutvudes erinevate meetodikatega, ilmnes, et detektoreid polegi otstarbekas paigutada vaid ühte tüüpi ruumidesse. (Durcik *et al* 1997). Adekvaatse uuringu jaoks hea, kui ruumid, kuhu detektorid paigaldatakse, oleksid juhuslikult valitud. Nii saab neid andmeid edaspidistes uuringutes paremini ära kasutada.

## 2.2. Radoonisisalduse mõõtmise ja ehituslike andmete kogumise korraldamine

### 2.2.1. Plastikdetektorite ning juhendmaterjali jagamine piirkondadesse

Detektorid koos juhendmaterjaliga jagati kohalike omavalitsuste keskkonna-, tervisekaitse- või haridusspetsialistide kätte ning selgitati uuringu aktuaalsust ning detektorite lasteasutustesse paigutamise metoodikat. *(Piirkondade töötajatele mõeldud eestikeelne juhendmaterjal asub lisas 13 ning venekeelne lisas 14)*

Kohaliku spetsialisti ülesandeks oli tagada detektorite jõudmine lasteasutusse ning sealt peale 1,5-3 kuulise mõõteperioodi lõppemist need analüüsimiseks Kiirguskeskusesse.

1070 välja jagatud detektorist loodeti tagasi saada 90% ehk 963 detektorit.

### 2.2.2. Plastikdetektorite tagastamine

Radooniohtlikele aladele jäävate lasteasutuste kaardistamise esimese etapi käigus valiti välja 210 asutust 30 erinevast linnast ja vallast. Detektorid saadi tagasi aga 202 asutusest kokku 208 hoonest. Mõne piirkonna spetsialistid (Maardu, Harku, Kuusalu, Viimsi) ei pidanud kinni neile antud lasteasutuste nimekirjast, ning jätsid osa detektoritest kasutamata või panid need eksponeerima eramajadesse.

1070 välja jagatud detektorist tagastati 1006, neist kasutamata oli jäetud 24, eramajadesse paigaldatud 10 ning ilma tähistuseta 5 detektorit

Detektorite vale eksponeerimine oli tingitud, kas piirkonna spetsialistide või lasteasutuste töötajate huvipuuduse, uuringu aktuaalsuse mittemõistmise või halva töö kvaliteedi tõttu.

Analüüsimise käigus purunes või osutus loetamatuks 6 detektorit. Seega tagastatud oli 94% detektoritest, kuid nende vale eksponeerimise ning ka analüüsimise käigus purunenud detektorite tõttu saab uuringu tarbeks kasutada 90% detektoritest ehk 961 mõõtetulemust. *(Lisas 12 joonisel 2 on välja jagatud detektorite tagasisaamise jaotus)*

### 2.2.3. Ehituslikke parameetreid uuriv ankeet

Ehituslike parameetrite uurimiseks anti koos detektoritega asutustesse kaasa ka ankeet. Seamasugust ankeeti on kasutatud radooniuuringute käigus nii Eestis kui ka mujal maailmas (Castren et al 1992; Synnott et al 2004). Nimetatud ankeedist laekuvate vastuste abil on võimalik otsida seoseid radoonisisalduse ning ehituse tüüpide ja eripärade vahel.

Autor lisas ankeedile mõned andmeväljad, mida on vaja renoveerimiseks kuluvate summade arvutamiseks. (*Eestikeelne ankeet lisas 15 ning venekeelne ankeet lisas 16*)

Tagasi loodeti saada 90% ankeetidest, milles oleksid täidetud kõik need väljad, mida kasutatakse antud uurimistöös alusmaterjalina.

### 2.2.4. Ankeedist laekunud vastuste määr

Tagasi saadetud ankeetide arv ning nende täitmise määr oli piirkonniti väga erinev. Näiteks võib tuua Kohtla-Järve ning Raikküla, kus tagasi laekusid kõik ankeedid ning need sisaldasid 95-100% küsitud infost. Vastupidiselt oli piirkondi, kust ankeedid saadeti tagasi vaid mõnest asutusest. Sellisel juhul saatis autor piirkondadesse uue järelpärimise.

Lõplikult saadi informatsiooni tagasi vähem kui oodati, ligikaudu 70% asutustest.

## 2.3. Tulemuste analüüs

### 2.3.1. Andmebaasi koostamine ning andmetöötlus

Laboratoorselt analüüsitud detektorite tulemused ning ankeetidest laekunud informatsioon kanti Microsoft Excel põhisesse andmebaasi. See on esimene elektrooniline hoonete radoonisisaldust ning ehituslikke parameetreid kajastav andmebaas 1000 andmeregaga. Eelnevate uuringute käigus kogutud informatsioon on paberkujul, ning andmete analüüsimise ning võrdlemise eelduseks on nende kandmine samasse andmebaasi.

Peamised tegurid, mida uuriti olid kas radoonisisaldus oli kõrgem piirkondades, kus elumajades on leitud kõrgeenenud tulemusi, ning kas erinevate ehituslike parameetrite ja radoonisisalduse vahel on võimalik leida sõltuvust.

Kuna antud uuringu käigus koguti palju andmeid, siis ehituslike meetmete puhul arvestati juba eelnevate rahvusvaheliste uuringutega kindlaks tehtud seoseid. Nende andmete süvendatud analüüsimise oleks otstarbekas eraldi uurimistöö raames.

Tulemuste visualiseerimiseks kasutas autor hoonete keskmisi tulemusi ning nende põhjal arvutatud efektiivdoose, mis kanti Mapi-Info programmi abil Eesti baaskaardile. Kaardi koostamiseks vajalike koordinaatide saamiseks pöörduiti piirkondade spetsialistide poole ning kasutati Maa-ameti otsingusüsteemi (Maa-amet [www.maaamet.ee](http://www.maaamet.ee))

### 2.3.2. Radoonisisaldusest tingitud dooside kajastamine

Radooniohtlike alade lasteasutustes mõõdetud radoonisisalduste ümberarvutamiseks potentsiaalseteks aastaseks efektiivdoosideks kasutati ICRP üleminekuseoseid. (ICRP 1993) Efektiivdoosid arvutati välja töötajatele ning lastele lasteasutuse keskmise radoonisisalduse järgi. Töötajate puhul arvestati nende töötundide arvuga ühe aasta jooksul. Kooli ning lasteaia puhul arvestati laste potentsiaalselt lühemat ja pikemat viibimise aega asutuses. Raamatukogude ja huvikeskuste puhul arvestati lapse võimaliku viibimise aega neis asutustes aasta jooksul.

Töötajate, ehk õpetajate, kasvatajate, huvikeskuste töötajate puhul võeti tööajaks 2000 tundi, nagu soovitab ICRP tööaja arvestamise puhul. Tegelikult võivad kasvatajad ning õpetajad töökohtades vaheaegade tõttu viibida ka vähem.

2000 tundi põhjustab 1 Bq/m<sup>3</sup> radoonisisalduse puhul 0,0063 mSv efektiivdoosi aastas.

Laste puhul arvestati nende viibimisega koolis ja lasteaias keskmiselt 5-8 tundi, pikapäeva rühma laste puhul võib selleks ajaks kujuneda isegi 10 tundi päevas. Lisaks sellele ajale käivad lapsed ka huviringides või raamatukogudes ja internetipunktides keskmiselt 2 tundi nädalas.

Arvestades suvepuhkusi, kujuneb siis ajaks 9 kuud ehk 180 päeva. Minimaalselt võib siis laps koolis või lasteaias viibida:

$$5 \cdot 180 = 900 \text{ tundi aastas} \quad (1)$$

ning maksimaalselt

$$10 \cdot 180 = 1800 \text{ tundi aastas.} \quad (2)$$

Huvikeskuses ja raamatukogudes veedetud ajaks võib pidada:

$$36 \cdot 2 = 72 \text{ tundi aastas} \quad (3)$$

Arvestades, et 2000 tunni korral põhjustab 1 Bq/m<sup>3</sup> suurune radoonisisaldus 0,0063 mSv/a, siis selline radoonisisaldus 900 tunni puhul põhjustab:

$$0,0063 \cdot 900 / 2000 = 0,0028 \text{ mSv/a,} \quad (4)$$

1800 tunni puhul põhjustab:

$$0,0063 \cdot 1800 / 2000 = 0,0056 \text{ mSv/a ja} \quad (5)$$

72 tunni puhul põhjustab:

$$0,0063 \cdot 72 / 2000 = 0,00023 \text{ mSv/a} \quad (6)$$

Need arvutused võeti aluseks töötajatele ning lastele radoonist põhjustatud efektiivdooside arvutamisel.

### 2.3.3. Radoonisisalduse ja ehituslike parameetrite seos

Ehituslike parameetreid uurivate ankeetide vastuseid töödeldi Microsoft Exceli funktsioone kasutades mitmel erineval viisil, et leida korrelatsiooni ehituslike parameetrite ja radoonisisalduse vahel. Peamised tegurid, mida uuriti olid keldri olemasolu ja radoonisisalduse-, ning hoone vanuse ja radoonisisalduse vaheline seos.

Esmalt kasutati rahvusvaheliselt tunnustatud seoseid ning eeldusi. Näiteks maja vanuse puhul eeldati, et vanemate hoonete ehituslikud konstruktsioonid on radoonile vähem vastupidavad kui alles ehitatud hoonete konstruktsioonid. Samuti eeldati materjalide puhul, et betoon ning paneelplokk on paremad radooni tõkestajad kui näiteks puit või kergkruusast ehitusplokk. Arvestati ka näiteks sellega, hoonealuse pae- ning kruusapinnase puhul on suurem tõenäosus kõrgeenenud radoonisisaldusele ruumis, kui savipinnase puhul. (Clavesnjö and Åkerblom 1994; Nordic 2000; Organo 2004; RPII 2002)

Selliste eelduste ning seoste abil reastati tegurid vastavalt nende ohtlikkusele 0-5 punktilisele skaalale, kus 0 on ohutuim, ning 5 kõige ohtlikum. (*Lisas 17 täielik tabel ohtlikkuse koefitsientidega*)

#### 2.3.4. Radoonisisalduse vähendamise maksumus

Uurimaks, milliseid meetodeid kasutatakse Eestis radoonisisalduse vähendamiseks juba olemasolevas hoones või uue hoone ehitamise puhul, telliti hinnakalkulatsioon neljast projekteerimise ja ehitusmaterjalide müügiga tegelevast firmast. Uuriti projekteerimise, paigaldamise ning materjali maksumust.

### 2.4. Metoodika puudused

Pärast detektorite ning ankeetide tagastamist ning saadud informatsiooni analüüsimist avastati mõned ebakorrektsused, mida järgnevatel uuringutel on võimalik vähendada või vältida.

Ilmnes, et mõnikord ei eksponeeritud detektoreid soovitud ajal ning välja valitud kohtades. Mõnest piirkonnast ei tagastatud detektoreid peale eksponeerimise lõppu õigeaegselt. Seetõttu jäi detektorite kogumine ning tagastamise vahele pikem paus.

Autor määras küll detektoritele soovitud eksponeerimise koha ning mõõteaja, kuid ilmselt jäi sellest kinnipidamise vajaduse kohta selgitustöö väheseks.

Detektorite õige eksponeerimise oleks taganud lepingu sõlmimine piirkonna töötaja ning uuringu läbiviija vahel.

Ehituslikke parameetreid uuriv ankeet oli lasteasutuste töötajate jaoks kohati liiga spetsiifiline, mistõttu ei osatud küsimustele vastata. Samuti on oht, et sellisel juhul vastati ka valesti, mida on väga aeganõudev kontrollida.

Ankeedist olid välja jäänud mõned parameetrid, mis hiljem huvipakkuvaks osutusid. Kuna paljudesse piirkondadesse tuli vastuste täiendamiseks uus järelepärimine teha, sai küsimused ka hiljem esitada.

Enne järgmist uuringut on soovitav ankeet üle vaadata, lisada mõned ehituslikud parameetrid, nagu akende vahetamine, ning osalise keldri olemasolu. Töökohtade uuringu puhul võib uurida ka töötajate arvu.



### 3. RADOONISISALDUS LASTEASUTUSTES RADOONIOHTLIKEL ALADEL

Selles peatükis esitatakse uuringu käigus lasteasutustes mõõdetud siseõhu radoonisisaldused ning otsitakse vastust tööhüpoteesile, kas piirkondades, kus elumajades on mõõdetud kõrge radoonisisaldus on see kõrgem ka lasteasutustes.

#### 3.1. Radooniohtlike alade lasteasutuste radooniuuringu tulemused

Antud uuring viidi läbi kütteperioodil, kuid jäi mõnes piirkonnas osaliselt ka koolivaheajale, mil ruume reaalselt ei kasutatud. Sellisel juhul on täheldatud radoonisisalduse mõningast tõusu, kuna ruume ei tuulutata ja radoon kontsentreerub. Kuna antud mõõtmismetoodika puhul pole võimalik koostada radoonisisalduse kohta ajalist graafikut, ei saa öelda, kas koolivaheajast tingituna radoonisisaldus ruumides muutus. Selle küsimuse lahendamiseks oleks soovitav viia läbi eraldi uurimistöö, mille lähteandmetena saaks edukalt kasutada lasteasutuste radoonitaseme kaardistamise esimese etapi tulemusi.

Kuna Eestis radoonisisaldust normeeriv standard EVS 839:2003 näeb ette, et radoonisisaldus ruumides peab olema väiksem, kui 200 Bq/m<sup>3</sup>, lähtutakse hinnangu andmisel nimetatud piirväärtusest.

Andmete süstematiseerimise jagati hooned kolme gruppi:

- 1) esimene - keskmine üle 200 Bq/m<sup>3</sup> ja üksikud ruumid mitmekordselt üle selle taseme;
- 2) teine - keskmine küll alla 200, kuid üksikud ruumid kõrge tasemega;
- 3) kolmas - nn ohutud hooned, kus kõik mõõtmistulemused on alla 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Esimesse gruppi kuuluvad lasteasutused on vaadeldavad tabelis 3.1.

Tabel 3.1

Piirnormi ületava keskmise radoonisisaldusega lasteasutused

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi	Keskmine radoonisisaldus (Bq/m <sup>3</sup> )
1	Ida-Virumaa	Mäetaguse	Mäetaguse Raamatukogu	1756
2	Ida-Virumaa	Vaivara	Sinimäe Raamatukogu	1480
3	Ida-Virumaa	Aseri	Rannu Raamatukogu	1203
4	Ida-Virumaa	Vaivara	Sinimäe Põhikool	1087
5	Ida-Virumaa	Jõhvi	Jõhvi Keskraamatukogu	861
6	Ida-Virumaa	Vaivara	Olgina Lasteaed	796
7	Ida-Virumaa	Toila	Toila Gümnaasium	786
8	Harjumaa	Maardu	Kallavere Keskkool	767
9	Lääne-Virumaa	Viru-Nigula	Vasta Põhikool	685
10	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Gümnaasium	658
11	Harjumaa	Maardu	Maardu Rahvamaja	557
12	Ida-Virumaa	Lüganuse	Lüganuse Rahvamaja	553
13	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tuvike	466
14	Harjumaa	Harku	Tabasalu Raamatukogu	461
15	Ida-Virumaa	Lüganuse	Lüganuse Raamatukogu	452
16	Harjumaa	Harku	Tabasalu Tibutare Lasteaed	439
17	Lääne-Virumaa	Vihula	Palmse laste Mängurühm	435
18	Harjumaa	Maardu	Maardu Kunstide Kool	433
19	Ida-Virumaa	Lüganuse	Purtse Külaselts	430
20	Ida-Virumaa	Lüganuse	Varja Raamatukogu	392
21	Raplamaa	Märjamaa	Märjamaa Sotsiaalabi	390
22	Harjumaa	Jõelähtme	Neeme Algkool	378
23	Harjumaa	Kuusalu	Kolga Lasteaed	376
24	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Aluvere Põhikool	367
25	Lääne-Virumaa	Haljala	Aaspere Raamatukogu	365
26	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Sõmeru Noortetuba	364
27	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Vajangu Põhikool	363
28	Harjumaa	Harku	Vääna Lasteaed-Algkool	357
29	Harjumaa	Jõelähtme	Loo Lasteaed Pääsupesa	342
30	Ida-Virumaa	Toila	Voka Lasteaed	330
31	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Jaaniussike	297
32	Tartumaa	Tartu	Tartu Forseliuse Gümnaasium	295
33	Ida-Virumaa	Jõhvi	Jõhvi Gümnaasium	294
34	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Ahtme Gümnaasium*	294
35	Ida-Virumaa	Lüganuse	Lüganuse Keskkool	288
36	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Päkapiikk	288
37	Harjumaa	Maardu	Maardu Põhikool	285

\* kahe hoonega lasteasutuse vanem hoone

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi	Keskmine radoonisisaldus (Bq/m <sup>3</sup> )
38	Ida-Virumaa	Kohtla	Saka Rahvamaja	275
39	Ida-Virumaa	Toila	Toila Lasteaed	271
40	Harjumaa	Kuusalu	Kuusalu Avatud Noortekeskus	270
41	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Vajangu Lasteaed	263
42	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Lepatriinu	262
43	Harjumaa	Maardu	Maardu Gümnaasium	262
44	Harjumaa	Harku	Tabasalu Ühisgümnaasium	261
45	Raplamaa	Märjamaa	Lasteaed Muumi	255
46	Harjumaa	Harku	Rannamõisa Lasteaed	251
47	Harjumaa	Jõelähtme	Kostivere Lasteaed	249
48	Lääne-Virumaa	Viru-Nigula	Viru-Nigula Raamatukogu	245
49	Ida-Virumaa	Sillamäe	Astangu Kool	242
50	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Sõmeru Lasteaed Pääsusilm	239
51	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Raamatukogu	221
52	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Kohtla-Järve Gümnaasium	219
53	Lääne-Virumaa	Rägavere	Viru-Kabala Raamatukogu	219
54	Raplamaa	Märjamaa	Lasteaed Karikakar	216
55	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Porkuni Kool	216
56	Ida-Virumaa	Vaivara	Vaivara Lasteaed	213
57	Ida-Virumaa	Sillamäe	Eesti Põhikool	212
58	Ida-Virumaa	Mäetaguse	Mäetaguse Lasteaed Tõruke	208
59	Lääne-Virumaa	Viru-Nigula	Viru-Nigula Lasteaed	208
60	Raplamaa	Märjamaa	Märjamaa Muusika- ja Kunstikool	207
61	Harjumaa	Harku	Harkujärve Lasteaed- Algkool	206
62	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Kakuke	206
63	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Keskkool	205
64	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Gümnaasiumi Algkool	205
65	Ida-Virumaa	Sillamäe	Sillamäe Kultuurikeskus	203
66	Harjumaa	Maardu	Maardu Linna Raamatukogu	201

\* kahe hoonega lasteasutuse vanem hoone

Tulemustest selgub, et 208 uuritavast hoonest ületas 66 hoone keskmine radoonisisaldus lubatava piiri, sealhulgas 19 asutuses oli keskmine radoonisisaldus kaks korda kõrgem kui lubatud. Kasutades rahvusvahelisi soovitusi, ning Eesti standardis sätestatud, tuleks asutused liigitada ka vastavalt sellele, kui juba üks tulemus on üle lubatava normi. Sellisel juhul lisandub veel 36 hoonet, kus üks või mitu mõõtetulemust on üle piirväärtuse.

Tabel 3.2.

Lasteasutused, kus üks või mitu mõõtetulemust ületab piirnormi 200 Bq/m<sup>3</sup>

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi	Mõõte- punkte	Tulemusi üle 200 (Bq/m <sup>3</sup> )
1	Harjumaa	Harku	Harku Lasteaed	6	2
2	Harjumaa	Jõelähtme	Loo Keskkool	8	2
3	Harjumaa	Jõelähtme	Neeme Lasteaed	6	1
4	Harjumaa	Kuusalu	Kuusalu Keskkool	5	1
5	Harjumaa	Maardu	Lasteaed Rukkilill	4	1
6	Harjumaa	Padise	Padise Põhikool	6	1
7	Harjumaa	Padise	Padise valla Lasteaed Harju risti rühm	3	1
8	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Muusikakool	4	1
9	Ida-Virumaa	Illuka	Illuka Põhikool*	3	1
10	Ida-Virumaa	Jõhvi	Lasteaed Kalevipoeg	6	2
11	Ida-Virumaa	Jõhvi	Lasteaed Sipsik	6	1
12	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Muinasjutt	4	1
13	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tareke	6	2
14	Ida-Virumaa	Mäetaguse	Mäetaguse Põhikool	8	1
15	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Päikseke	3	1
16	Ida-Virumaa	Sonda	Erra Lasteaed	6	1
17	Ida-Virumaa	Sonda	Sonda Lasteaed	6	1
18	Ida-Virumaa	Vaivara	Vaivara Lasteaed	4	3
19	Ida-Virumaa	Vaivara	Vaivara Lasteaed*	4	2
20	Lääne-Virumaa	Haljala	Haljala Gümnaasium	8	2
21	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Sõmeru Lasteaed Pääsusilm*	4	1
22	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Ubja Noortetuba	2	1
23	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Uhtna Põhikool	4	1
24	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Sääse Lasteaed	6	1
25	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Kiitsi Põhikool	3	2
26	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Õppekeskus	8	1
27	Raplamaa	Märjamaa	Lasteaed Midrimaa	3	1
28	Raplamaa	Märjamaa	Märjamaa Gümnaasium	8	3
29	Raplamaa	Märjamaa	Valgu Põhikool Valgu lasteaed	6	2
30	Tartumaa	Kambja	Kambja Põhikool	8	3
31	Tartumaa	Kambja	Kammeri kool	12	2
32	Tartumaa	Tartu	Hugo Treffneri Gümnaasium	4	1
33	Tartumaa	Tartu	Tartu Karlova Gümnaasium	10	1
34	Tartumaa	Tartu	Tartu Maarjamõisa Lasteaed	3	1
35	Tartumaa	Tartu	Tartu Raatuse Gümnaasium	8	1
36	Tartumaa	Tartu	Tartu Tamme Gümnaasium	10	3

\* kahe hoonega lasteasutuse vanem hoone

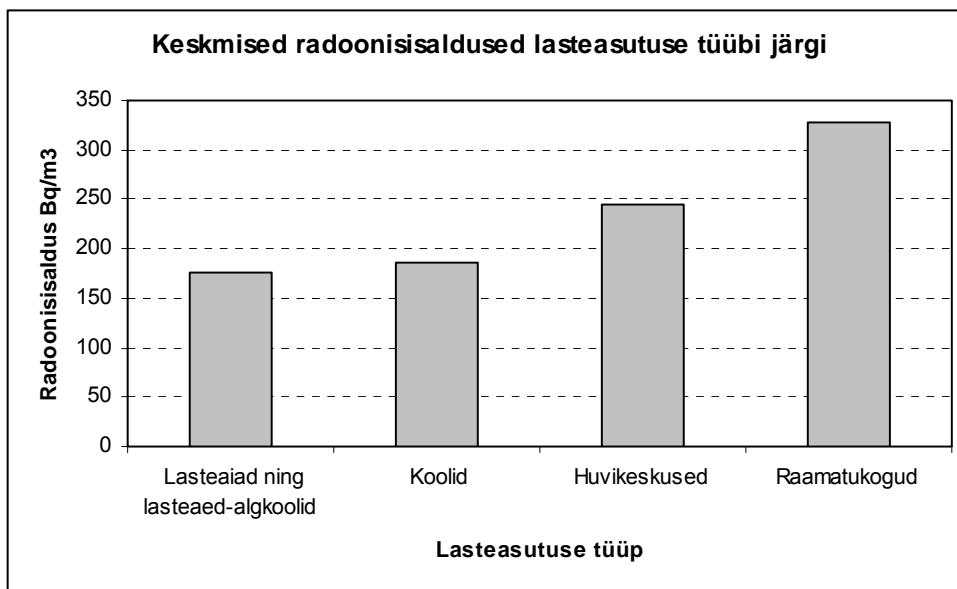
Radoonisisaldus oli madalam kõikides ruumides kokku 106 mõõdetud hoones. (Alla piirväärtuse mõõdetud hoonete nimekiri asub lisas 17 ning hoonete täielik nimekiri, koos tulemustega on vaadeldav lisas 18 )

Seega probleeme radoonisisaldusega eksisteeris 49% mõõdetud hoonetest. Selline tulemus pole üllatav, kuna samadest piirkondadest oli kõrgeid tulemusi saadud ka elumajadest.

Hoonetes, kus keskmine radoonisisaldus on piirväärtusest kõrgem tuleks viivitamatult võtta tarvitusele meetmed radoonisisalduse vähendamiseks. Hoonetes, kus keskmine sisaldus jäi küll alla 200 Bq/m<sup>3</sup>, kuid esines üksikuid kõrgemaid tulemusi, tuleks läbi viia täiendavad uuringud selleks, et välja selgitada radooniohu tegelik ulatus. Hoonetes, kus kõik tulemused olid alla 200 Bq/m<sup>3</sup> pole vaja rakendada kaitsemeetmeid. Siiski oleks soovitatav hoonetes, kus enamus tulemusi olid ligilähedased piirväärtusele, mõne aasta pärast läbi viia radoonisisalduse kordusmõõtmised.

Lasteasutuste tüüpide võrdlemisel selgus, et oodatult olid kõrgemad tulemused huvikeskustes ning raamatukogudes, kus üldjuhul on klassiruumidest väiksemad ja kinnisemad ruumid. Keskmisi radoonisisaldusi lasteasutuste tüübi järgi illustreerib joonis 3.3.

Joonis 3.3



Joonis. Keskmised radoonisisaldused lasteasutustes asutuse tüübi järgi

Radooniohtlike alade lasteasutuste keskmised radoonisisaldused on vaadeldavad ka Eesti kaardil. (Lisa 19)

## 3.2. Elumajade ja lasteasutuste radoonisisalduse võrdlus

On väljendatud arvamust, et elumajades tehtud uuringuid ei saa otseselt üle kanda töökohtadele. See on reaalne, kuna tulemusi ei saa üle kanda isegi naabermajalt naabermajale. Andmete üle kandmine elumajadest töökohtadele pole võimalik seetõttu, et erinevad on näiteks ehituslikud parameetrid ja hoone otstarve. Radoonisisalduse erinevused tulevad veel teistsugustest ventilatsiooni tingimustest ning isegi aerosoolide ning kemikaalide sisaldusest neis ehitistes. (Reicelt et al 1998) Samuti töökohas rohkem häirivaid faktoreid, kui elumajades (Kavasi et al 1998).

Võib eeldada, et radoonisisaldus on töökohtades üldjuhul madalam, kuna ruumid on suuremad ja avatumad. Lasteasutuste puhul tuulutatakse tihti ruume, mis peaks radoonitaset alandama.

Kuid kuna radoonisisaldus tuleneb geoloogilisest eripärast on alust arvata, et piirkondades, kus elumajades on mõõdetud kõrgeenenud tulemusi, on need suuremad ka töökohtades. Selle hüpoteesi kontrollimiseks võrreldi elumajade uuringu tulemusi lasteasutuste tulemustega (tabel 3.3 ning joonis 3.1)

Tuleb märkida, et kuna kirjandusest võetud andmed elumajade kohta on antud ilma mõõtemääramatuseta, siis erinevalt ülaltoodud hoonete grupeerimisest pole andmete võrdlemisel adekvaatsuse saavutamiseks lasteasutuste tulemuste mõõtemääramatust arvestatud.

Andmete alusel koostati ka korrelatsioonijoonis, uurimaks korrelatsiooni suurust (joonis 3.2). Korrelatsioonikoefitsiendi väärtus 0,34, mis viitab nende parameetrite nõrgale omavahelisele seosele. Üldise seaduspärasusena võib aga täheldada, et keskmine radoonitase lasteasutustes on madalam kui elamutes. Siiski on olukord vastupidine nelja valla puhul: Vaivara, Viru-Nigula, Mäetaguse ja Tamsalu. Arvestades madalate mõõtetulemuste suhteliselt suurt mõõtemääramatust, võib Sõmeru valla tulemused lugeda kokkulangevaiks. Teiseks võib üldiselt järeldada, et kõigis valdades, kus elamute keskmine radoonitase on alla piirnормi, on ka lasteasutuste keskmine radoonitase piirnормist madalam. Erandina eristuvad siin Tamsalu ja Mäetaguse vald, kus põhjuseks võib olla üksikud väga kõrgeid mõõtetulemused.

Tabel 3.3.

## Lasteasutuste ja elamute radooni mõõtetulemuste võrdlus

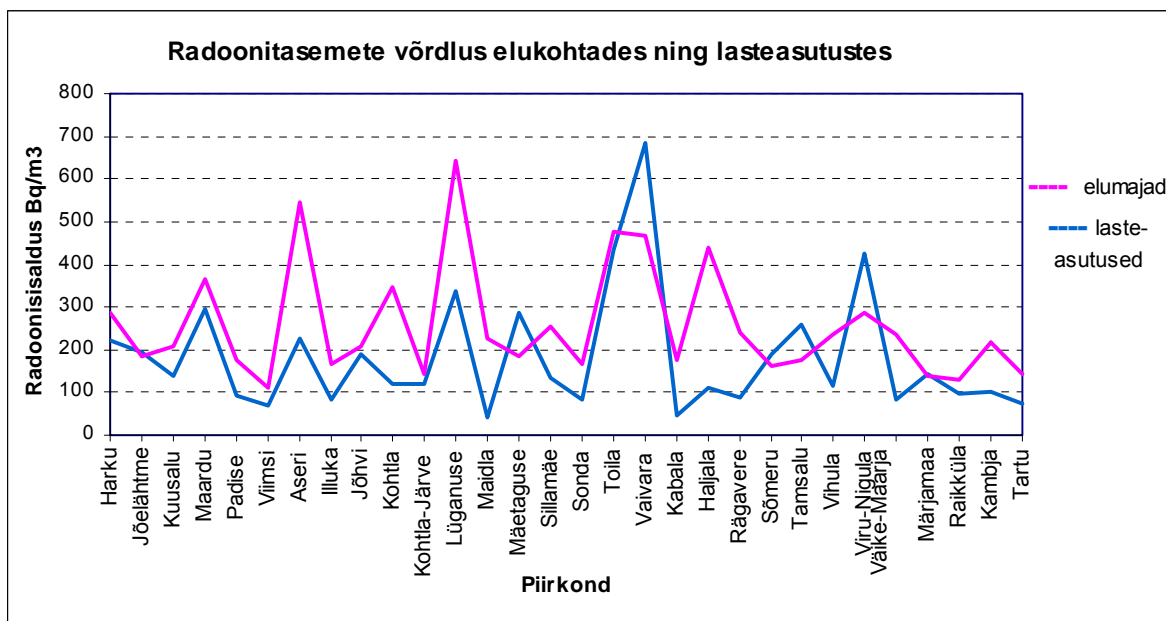
Maakond	Vald	Radoonisisaldus koolides (Bq/m <sup>3</sup> )			Radoonisisaldus elumajades (Bq/m <sup>3</sup> )		
		AM	GM	Max	AM	GM	Max
Harjumaa	Harku	223	196	642	285	182	2143
Harjumaa	Jõelähtme	192	161	585	183	114	827
Harjumaa	Kuusalu	140	95	596	206	120	2446
Harjumaa	Maardu	296	196	1573	367	276	1806
Harjumaa	Padise	92	73	290	178	153	324
Harjumaa	Viimsi	72	56	160	111	88	517
Ida-Virumaa	Aseri	224	104	1184	544	325	2455
Ida-Virumaa	Illuka	85	73	181	168	133	316
Ida-Virumaa	Jõhvi	189	124	1283	209	122	678
Ida-Virumaa	Kohtla	119	115	245	347	194	2740
Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	120	80	939	142	91	1045
Ida-Virumaa	Lüganuse	338	311	574	641	390	3987
Ida-Virumaa	Maidla	44	40	79	226	163	516
Ida-Virumaa	Mäetaguse	287	149	1726	186	144	651
Ida-Virumaa	Sillamäe	133	103	488	253	165	3829
Ida-Virumaa	Sonda	82	57	226	168	109	359
Ida-Virumaa	Toila	433	310	1422	476	313	2006
Ida-Virumaa	Vaivara	685	411	3500	468	384	2254
Järvamaa	Kabala	44	39	79	174	157	382
Lääne-Virumaa	Haljala	111	72	441	441	211	6196
Lääne-Virumaa	Rägavere	90	74	203	241	182	518
Lääne-Virumaa	Sõmeru	190	160	417	161	104	588
Lääne-Virumaa	Tamsalu	257	202	1312	178	151	534
Lääne-Virumaa	Vihula	114	71	421	238	155	2426
Lääne-Virumaa	Viru-Nigula	426	247	1080	285	224	940
Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	82	63	239	236	161	865
Raplamaa	Märjamaa	142	126	359	137	100	641
Raplamaa	Raikküla	97	92	166	128	107	348
Tartumaa	Kambja	104	82	366	219	203	404
Tartumaa	Tartu	72	49	864	142	109	337

AM – antud valla piires saadud kõigi mõõtetulemuste aritmeetiline keskmine,

GM – antud valla piires saadud kõigi mõõtetulemuste geomeetriline keskmine,

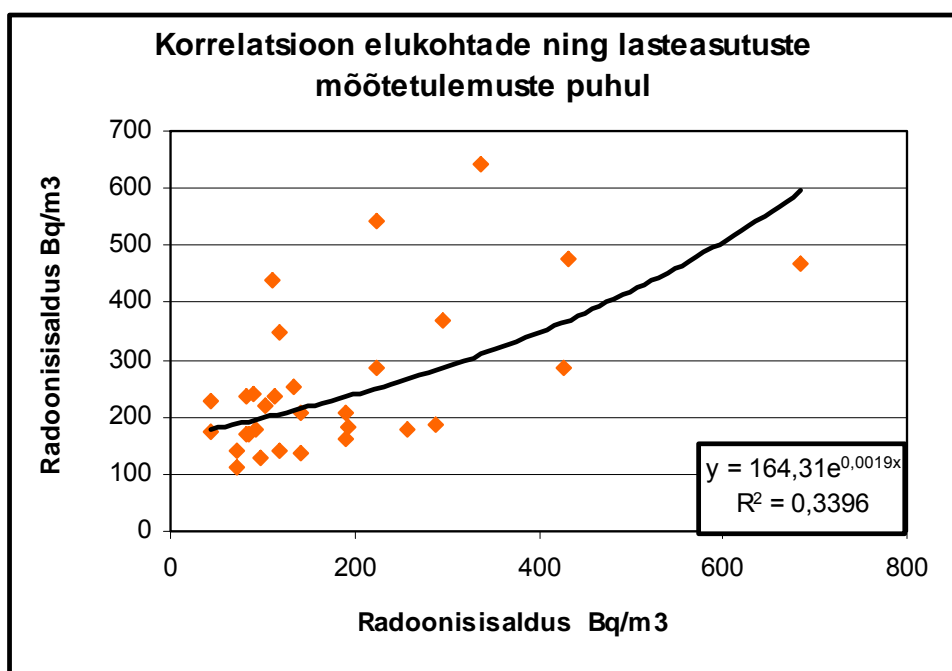
Max – maksimaalne mõõtetulemus antud valla piires.

Joonis 3.1



Joonis. Radoonitasemete võrdlus elukohtades ning lasteasutustes radooniohtlikel aladel

Joonis 3.2



Joonis. Korrelatsioon elukohtades ning lasteasutustes radooniohtlikel aladel

Lasteasutustest rääkides on oluline teada, et üheski hoones ega ruumis, kus lapsed viibivad, poleks radoonitase kõrgem piirnormist. Seega huvitavad meid ka maksimaalsed mõõtetulemused valdade piires. Ülaltoodud tabelist (tabel 3.3) selgub, et üle piirnormi



ulatuvaid üksikuid tulemusi lasteasutustest on saadud enamus uuritud valdades. Ainult neljas vallas jäi ka maksimumtulemus allapoole piirnormi.

Seega võib järeldada, et esimene tööhüpotees on õige. Väga suure tõenäosusega (hinnanguliselt 85%) saab väita, et elamute mõõteandmete põhjal ülaltoodud kriteeriumi alusel välja eraldatud radooniohtlikes piirkondades on lasteasutustes ruume, kus radoonitase ületab soovitatavat piirnormi 200 Bq/m<sup>3</sup>. Siit võib järeldada, et ka väiksema radoonihuga piirkondades võib küllalt suure tõenäosusega olla lasteasutusi või üksikuid ruume, kus radoonitase on mittepõhjendatult kõrge. Seetõttu tuleb edaspidi laiendada lasteasutuste radooniuuringuid ka vähemohhtlikele piirkondadele.

## 4. RADOONIST PÕHJUSTATUD EFEKTIIVDOOSID RADOONIOHTLIKE ALADE LASTEASUTUSTES

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

ICRP ümberarvutusi kasutatades leiti efektiivdoosid töötajatele ning lastele mis saadakse lasteasutustes.

Tulemuse kajastab tabel 4.1, kus on välja toodud asutused, kus töötajatele või lastele radoonist põhjustatud efektiivdoos on suurem kui 1 mSv/a. (*Terviklik doose kajastav tabel tabel lisas 18*)

Tabel 4.1

Lasteasutustes radoonist põhjustatud efektiivdoosid

Nr	Asutuse nimi	Keskmine radoonisaldus (Bq/m <sup>3</sup> )	Efektiivdoos (mSv) 2000 tunni kohta aastas	Efektiivdoos (mSv) 1800 tunni kohta aastas	Efektiivdoos (mSv) 900 tunni kohta aastas	Efektiivdoos (mSv) 72tunni kohta aastas
1	Mäetaguse Raamatukogu	1756	11,06			0,40
2	Sinimäe Raamatukogu	1480	9,33			0,34
3	Rannu Raamatukogu	1203	7,58			0,28
4	Sinimäe Põhikool	1087	6,85	6,09	3,04	
5	Jõhvi Keskraamatukogu	861	5,43			0,20
6	Olgina Lasteaed	796	5,01	4,46	2,23	
7	Toila Gümnaasium	786	4,95	4,40	2,20	
8	Kallavere Keskkool	767	4,83	4,30	2,15	
9	Vasta Põhikool	685	4,32	3,84	1,92	
10	Tamsalu Gümnaasium	658	4,14	3,68	1,84	
11	Maardu Rahvamaja	557	3,51			0,13
12	Lüganuse Rahvamaja	553	3,48			0,13
13	Lasteaed Tuvike	466	2,94	2,61	1,31	
14	Tabasalu Raamatukogu	461	2,90			0,11
15	Lüganuse Raamatukogu	452	2,85			0,10
16	Tabasalu Tibutare Lasteaed	439	2,77	2,46	1,23	

17	Palmse laste Mängurühm	435	2,74	2,43	1,22	
18	Maardu Kunstide Kool	433	2,73	2,42	1,21	
19	Purtse Külaselts	430	2,71			0,10
20	Varja Raamatukogu	392	2,47			0,09
21	Märjamaa Sotsiaalabi	390	2,46			0,09
22	Neeme Algkool	378	2,38	2,12	1,06	
23	Kolga Lasteaed	376	2,37	2,11	1,05	
24	Aluvere Põhikool	367	2,31	2,06	1,03	
25	Aaspere Raamatukogu	365	2,30			0,08
26	Sõmeru Noortetuba	364	2,29			0,08
27	Vajangu Põhikool	363	2,29	2,03	1,02	
28	Vääna Lasteaed-Algkool	357	2,25	2,00	1,00	
29	Loo Lasteaed Pääsupesa	342	2,16	1,92	0,96	
30	Voka Lasteaed	330	2,08	1,85	0,93	
31	Lasteaed Jaaniussike	297	1,87	1,66	0,83	
32	Tartu Forseliuse Gümnaasium	295	1,86	1,65	0,83	
33	Jõhvi Gümnaasium	294	1,85	1,65	0,82	
34	Ahtme Gümnaasium*	294	1,85	1,65	0,82	
35	Lüganuse Keskkool	288	1,82	1,62	0,81	
36	Tartu Lasteaed Päkapiikk	288	1,82	1,62	0,81	
37	Maardu Põhikool	285	1,80	1,60	0,80	
38	Saka Rahvamaja	275	1,74			0,06
39	Toila Lasteaed	271	1,71	1,52	0,76	
40	Kuusalu Avatud Noortekeskus	270	1,70			0,06
41	Vajangu Lasteaed	263	1,66	1,47	0,74	
42	Maardu Gümnaasium	262	1,65	1,47	0,74	
43	Lasteaed Lepatriinu	262	1,65	1,47	0,73	
44	Tabasalu Ühisgümnaasium	261	1,64	1,46	0,73	
45	Lasteaed Muumi	255	1,61	1,43	0,71	
46	Rannamõisa Lasteaed	251	1,58	1,40	0,70	
47	Kostivere Lasteaed	249	1,57	1,39	0,70	
48	Viru-Nigula Raamatukogu	245	1,54			0,06
49	Astangu Kool	242	1,53	1,36	0,68	
50	Sõmeru Lasteaed Pääsusilm	239	1,51	1,34	0,67	
51	Aseri Raamatukogu	221	1,40			0,05
52	Viru-Kabala Raamatukogu	219	1,38			0,05
53	Kohtla-Järve Gümnaasium	219	1,38	1,22	0,61	
54	Porkuni Kool	216	1,36	1,21	0,61	
55	Lasteaed Karikakar	216	1,36	1,21	0,61	
56	Vaivara Lasteaed	213	1,34	1,19	0,60	
57	Eesti Põhikool	212	1,33	1,19	0,59	
58	Viru-Nigula Lasteaed	208	1,31	1,16	0,58	

59	Mäetaguse Lasteaed Tõruke	208	1,31	1,16	0,58	
60	Märjamaa Muusika- ja Kunstikool	207	1,30	1,16	0,58	
61	Harkujärve Lasteaed-Algkool	206	1,30	1,15	0,58	
62	Lasteaed Kakuke	206	1,30	1,15	0,58	
63	Aseri Keskkool	205	1,29	1,15	0,58	
64	Väike-Maarja Gümnaasiumi Algkool	205	1,29	1,15	0,57	
65	Sillamäe Kultuurikeskus	203	1,28			0,05
66	Maardu Linna Raamatukogu	201	1,27			0,05
67	Varbola Kool	198	1,25	1,11	0,55	
68	Harku Lasteaed	198	1,25	1,11	0,55	
69	Vaivara Lasteaed*	197	1,24	1,10	0,55	
70	Lasteaed "Kalevipoeg"	190	1,20	1,06	0,53	
71	Loo Keskkool	186	1,17	1,04	0,52	
72	Sääse Lasteaed	181	1,14	1,02	0,51	
73	Ubja Noortetuba	179	1,13			0,04
74	Padise valla Lasteaed Harju Risti rühm	176	1,11	0,99	0,49	
75	Märjamaa Gümnaasium	175	1,10	0,98	0,49	
76	Linna Raamatukogu	173	1,09			0,04
77	Lasteaed Päikseke	169	1,07	0,95	0,48	
78	Lasteaed Midrimaa	169	1,07	0,95	0,47	
79	Tartu Maarjamõisa Lasteaed	168	1,06	0,94	0,47	
80	Tamsalu Lasteaed Kröll	164	1,04	0,92	0,46	
81	Harku Noortekeskus	158	1,00			0,04

\* kahe hoonega lasteasutuse vanem hoone

Tabelist järeldub, et nii lasteasutuste töötajatele, kui ka lastele radoonist põhjustatavad doosid on suuremad, kui Eestis keskmiselt radoonist saadav efektiivdoos 1 mSv/a. Kõrgendatud doose saadakse nii 2000 tunni, 1800 ning isegi 900 tunnise viibimisega neis asutustes aasta jooksul.

Võttes arvesse 2000 töötundi aastas, on 81 lasteasutuses saadav efektiivdoos suurem, kui Eesti keskmine radoonist põhjustatud efektiivdoos. Seega leidis kinnitust teine hüpotees - ainuüksi lasteasutustes saadavad efektiivdoosid radooniohtlike aladel võivad ületada Eesti keskmise radoonist saadava efektiivdoosi.

Tuleb arvestada, et sellele doosile lisandub ka veel elumajast saadav efektiivdoos ning on väga suur tõenäosus, et radooniohtlikel aladel on radoonisaldus ka elumajas kõrgendatud.

USEPA (1993) soovib kindlasti lastevanematel mõõta radoonisisaldust ka elukohas, juhul kui on ilmnenud, et koolis või lasteaias on kõrge radoonitase.

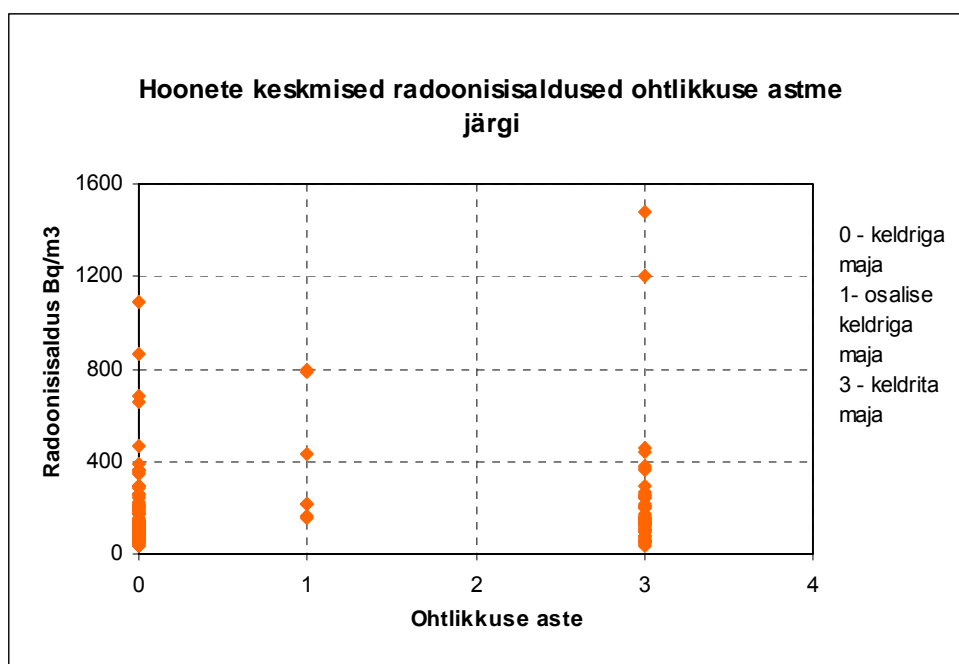
Radoonist põhjustatud efektiivdoosid on vaadeldavad ka Eesti kaardil. (*Lisa 20*)

## 5. SEOSD RADOONISISALDUSE JA EHITUSLIKE PARAMEETRITE VAHEL

Selles peatükis käsitletakse seoseid siseõhu radoonisisalduse ning selliste ehituslike parameetrite nagu keldri olemasolu ja hoone vanuse vahel. Kasutati rahvusvaheliselt tunnustatud seoseid ning eeldusi ning reastati ehituslikud tegurid vastavalt nende ohtlikkusele 0-5 punktilisele skaalale, st omistati neile ohuindeksid.

Kõigepealt võrreldi keldri olemasolu radoonisisaldusega. Ohtlikkuse järgi reastati hooned järgmiselt: 0 (kui kõige ohutum) – keldriga hoone, 1 – osalise keldriga ja 3 – keldrita hoone. Toodud ohuindeksi väärtuse ning radoonisisalduse vahel olemasolevate andmete alusel korrelatsiooni ei leitud. See tähendab, et 0 ohuindeksiga keldriga majades polnud hoonete keskmised radoonisisaldused oluliselt madalamad, kui osalise keldriga või keldriteta hoonete puhul. Tulemusi illustreerib joonis 5.1.

Joonis 5.1



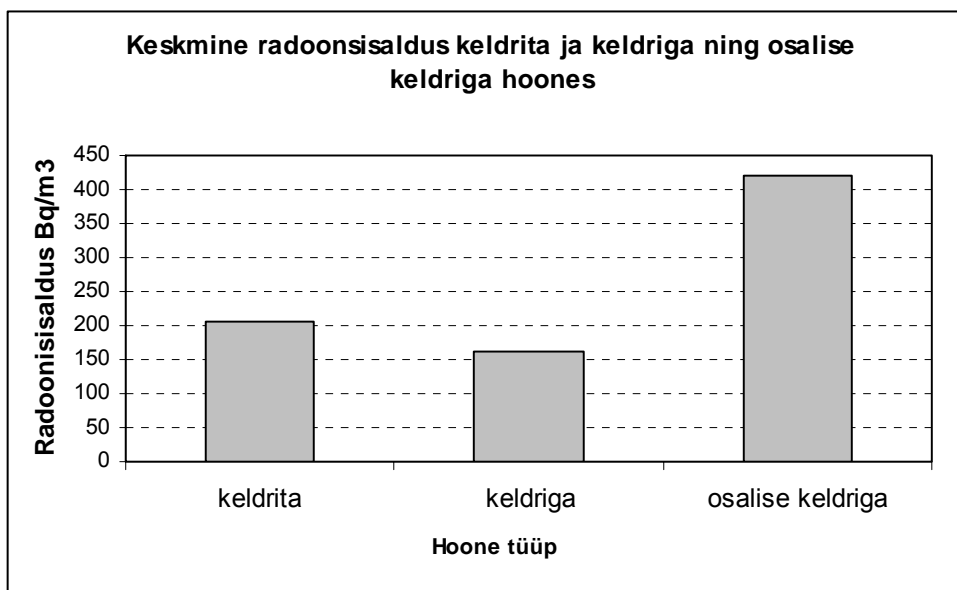
Joonis. Keldri olemasolu ja radoonisisalduse seos lasteasutuste hoonetes ohtlikkuse astme järgi

Selline tulemus võib olla tingitud valesti reastatud eeldustest. Keldriga elumaja esimese korruse eluruumides on radoonisisaldused üldjuhul madalamad, kui keldrita hoones. Lasteasutustes on aga kasutuses ka palju keldriruume ning mõõtmised toimusid ka neis

ruumides. Küllalt hüpoteetiline on ka eeldus, et osalise keldriga hooned on väiksema radooniohuga kui keldrita hoone.

Korrelatsiooni küll ei leitud, kuid joonise uurimisel järelitati, et osalise keldriga hoonete keskmine tulemus võib olla võrreldes teiste hoone tüüpidega kõrgem. Selle kontrollimiseks arvutati erinevate majatüüpide kõikide tulemuste keskväärtus, ning leiti, et keldriga hoones on keskmiselt kõige madalamad tulemused, ning kõige kõrgemad tulemused olid osalise keldriga hoonetes. Tulemusi illustreerib joonis 5.2.

Joonis 5.2.



Joonis. Keskmine radoonisisaldus keldrita, keldriga ning osalise keldriga lasteasutuse hoones

Joonisest järeljub, et osalise keldriga lasteasutuse keskmine radoonisisaldus on 2 korda kõrgem, kui teiste hoonete puhul. 150 hoonest oli ainult seitse märkinud hoone tüübina osalise keldri olemasolu, seetõttu ei tuleks antud joonisest kaugeleulatuvaid järeldusi teha. Oluline on siiski märkida, et seitse osalise keldriga hoonest vaid üks hoone ruumide siseõhu radoonisisaldus jäi napilt alla 200 Bq/m<sup>3</sup>. Ülejäänud tulemused olid, kas osaliselt või täielikult üle piirnormati. Samuti ei asunud hooned kindlas piirkonnas, vaid Raplamaal, Ida-Virumaal ning Tartumaal.

Osalise keldriga hoone eripäraks on kahe eraldi hoonestruktuuri - keldriga ja keldrita hoone eksisteerimine. Erinevad majaosad alluvad loomulikule vanemisprotsessile: maja vajumisele ning nihkumisele erinevalt, mistõttu võivad ühenduskohtadesse tekkida

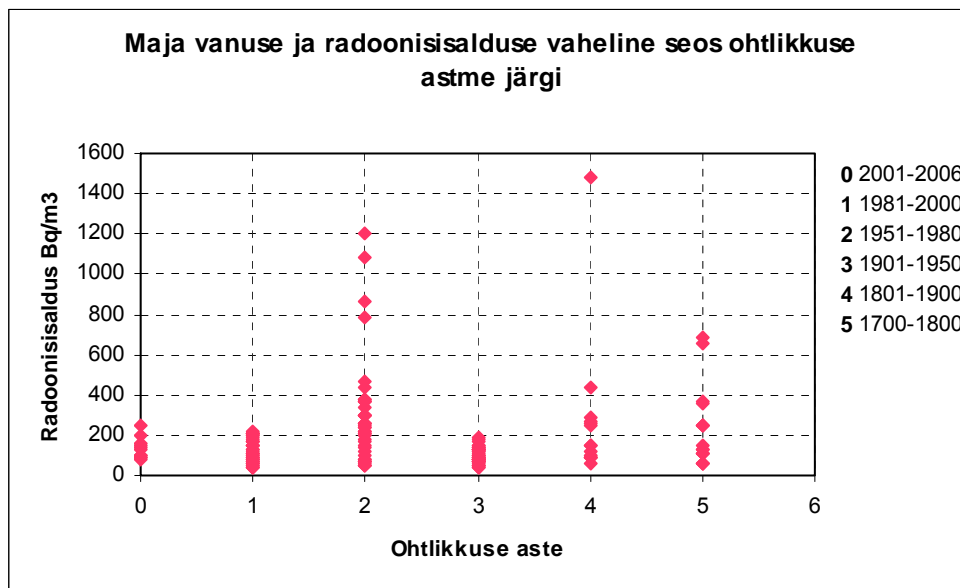
oluliselt suuremad lõhed ning praod. Seetõttu tuleks edaspidistes uuringutes osalise keldriga maja kui potentsiaalse radooniohtlik majatüüp eraldi uurimise alla võtta ning selgitada, kas on olemas veel ehituslikke eripärasid, mis võivad kõrge radoonitaseme selles hoonetüübis põhjustada.

Järgmiseks vaadeldi radoonisisalduse seost hoone vanusega, eeldusel, et vanemates hoonetes on potentsiaalseid lekkekohti rohkem, kui uutes hoonetes, mille konstruktsioonid peaksid olema vastupidavad.

Hooned reastati vastavalt valmimisaastale, kusjuures kõige uuematele hoonetele määrati ohtlikkuse koefitsiendiks 0, ning kõige vanematele 5.

Ka sellisest reastamisest ei leitud otsest korrelatsiooni. Tulemused on nähtavad joonisel 5.3.

Joonis 5.3



Joonis. Maja vanuse ja radoonisisalduse vaheline seos lasteasutuste hoonetes ohtlikkuse astme järgi

Joonisest järeldus oodatust vastupidi, et kõrgenenud tulemused kontsentreeruvad peamiselt ajavahemikku 1951-1990. Seetõttu ilmes vajadus hoonete valmimisaastate ajavahemikke kitsendada. Tulemusi illustreerib joonis 5.4.

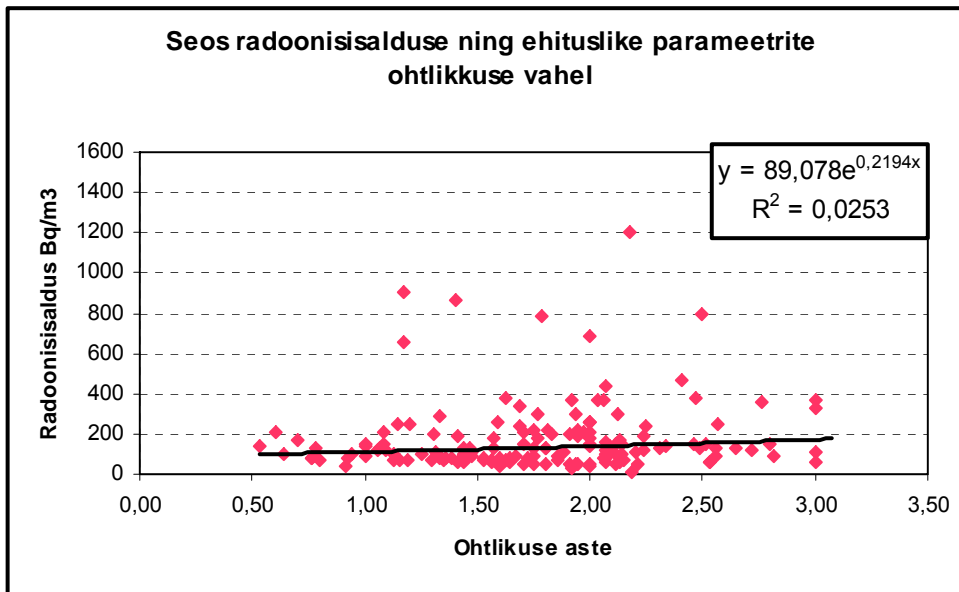




Sellest tulenevalt leidis hüpotees kinnitust sel määral, et vanemates majades on radoonisisaldus küll suurem, kuid see ei suurene otseselt maja vanuse suurenedes, vaid võib oleneda hoone ehitamise kvaliteedist ning ehitusstiilist.

Viimasena summeeriti iga hoone ehituslike parameetrite ohtlikkuse ning võrreldi neid keskmise radoonitasemega hoones. Tulemused on vaadeldavad joonisel 5.5.

Joonis 5.5



Joonis. Seos radoonisisalduse ning ehituslike parameetrite ohtlikkuse vahel

Joonisest 5.5 võib järeldada, et madalama ohuindeksiga hoonetes ei ole radoonisisaldus oluliselt madalam. Ometi selgub, et mida suurem on ohtlikkuse aste, seda rohkem esineb keskmisest kõrgemaid üksikuid tulemusi. Edaspidistes uuringutes tuleks üksikuid kõrgeid tulemusi andnud hooneid omavahel võrrelda ja otsida nende vahel ühist tegurit, mis võiks kõrge radonisisalduse põhjuseks olla. Kuna ehituslike parameetrite ja radoonisisalduse vahel head korrelatsiooni ei leitud, võib järeldada, et eeldatud seosed suures osas ei kehti ning radoonisisaldus ruumides oleneb suurel määral ehituse kvaliteedist ning ehitusaluse pinnase radoonisisaldusest.

## 6. RADOONISISALDUSE VÄHENDAMISE MEETMED EESTIS NING NENDE MAKSUMUS

Radooni tõkestamine ja vähendamine on lisakaitsemeetmed, mida saab tarvitada radoonist tuleneva terviseriski vähendamiseks.

Selles peatükis antakse üldine ülevaade lahendustest, mida Eestis radooni vähendamiseks ruumide siseõhus kasutatakse ja otsitakse vastust tööhüpoteesile: odavam on uue maja ehitamise puhul rakendada meetmeid radooni tõkestamiseks, kui vähendada olemasolevas majas kõrgenenud radoonisisaldust.

Kuna Eestis on radooniohu allikaks eelkõige pinnasest pärinev radoon, keskendutakse ehituslikele meetmetele, mida saab kasutada selle tõkestamiseks. Ka hinnakalkulatsioonid on tehtud Eestis teostatavate ning aktuaalsete meetoditele. Erinevate meetodite puhul kasutatakse erinevad suuruseühikuid. Näiteks antakse tihti põrandakatete materjalide ning paigaldamise hinnakalkulatsioonid ruutmeetrites, komplekssete lahenduste nagu hoonealuse õhu ventileerimise või ehitise isolatsioonisüsteemi puhul saab välja tuua teatud suurusel objekti tööde projekteerimise ja teostamise ning materjalide maksumuse. Keskmise lasteasutuse suurusel on siin hinnatud vastavalt laekunud ehituslikele parameetritele 1000 m<sup>2</sup>. Kõik hinnad on toodud Eesti kroonides.

### Radoonikile

Radoonikilet võib uute hoonete isoleerimisel kasutada tavalise kile asemel. Selleks ei pruugi vaja minna eraldi projekti. Radoonikile materjali maksumus on ruutmeetri (m<sup>2</sup>) kohta umbes 60 krooni. Kile paigaldamisel tuleb arvestada selle ülekatte kuluga, mis kohati on kuni 40%. Kile paigaldamise teeb eriliseks ja aeganõudvaks selle teipimise vajadus, ning tööde korrektsus, et kilesse ei jääks kohti, kust radoon sisse imbuda saaks. Teipimiseks kasutatakse spetsiaalteipi, mida kulub palju ning mis on tavateipidest vastupidavam ning seega ka kallim. Spetsiaalteibi rulli hinnaks on ligikaudu 800 krooni. Ka tuleb läbiviikude isoleerimiseks kasutada spetsiaalset isoleerimisteipi, mille maksumuseks on ligikaudu 650 krooni rulli kohta. See tähendab, et radoonikile maksumus, võrreldes tavaliste ehitusmaterjalidega pole oluliselt kallim. Meetodi hinna muudab kõrgemaks ajakulu ning spetsiaalteipide kasutamise vajadus, mis on võrreldes tavapärase ehitusmetoodikaga kulukam.

Kuna vana hoone puhul pole võimalik paigaldada kilet ka seinakonstruktsioonide alla, ei pruugi kile kasutamine juba olemasoleva hoone puhul olla efektiivne. Olemasoleva hoone puhul radoonikile paigaldamise eeldab ehitusfüüsikutega konsulteerimist ning vajadust pörandapind üles võtta. Seega lisanduvad materjalikulule projekteerimise kulud. Samuti on pikem paigaldamise aeg, kuna pörandala ülesvõtmine on väga aeganõudev protsess.

Pörandapinna ülesvõtmise maksumuseks hinnatakse 100 kroonile m<sup>2</sup>, ning töö tunnitasuks 100 krooni.

### Membraanid

Hüdroisolatsioonisüsteemi puhul, mille üheks osaks on membraanid, kasutatakse kompleksseid lahendusi nii vee kui gaaside tõkestamiseks. Keskmise elumaja puhul maksab hüdroisolatsioonisüsteemi projekteerimine ning paigaldus koos materjaliga kuni 100 000 EEK. Keskmise koolihoone puhul tuleks arvestada vähemalt 700 000 kroonise investeeringuga. Hüdroisolatsiooni paigaldamine hoiab lisaks radoonile ära ka niiskusest tekitatud kahjustused.

Olemasoleva hoone hüdrosoleerimine on tunduvalt kulukam. Lisaks materjali kulule lisanduvad vajalike pindade lahti kaevamise ja ettevalmistamise kulud. Need on väga aeganõudvad tööd, mistõttu moodustavad arvestatava kuluosa kogu süsteemi paigaldamisest.

### Pörandaalune ventilatsioonisüsteem

Pörandaaluse ventilatsioonisüsteemina pakutakse Eestis rahvusvaheliselt aktsepteeritud meetodil projekteeritud torudesüsteemi, koos majja paigaldatava püstiku ja ventilaatoriga. Tüüplahendus, mis ei sisalda paigaldamist maksab sellise meetodi puhul uue elamu jaoks alla 10000 krooni. Keskmise koolihoone jaoks tuleks arvestada suurema materjalikuluga, sest lisaks hoonealustele torudele, tuleks kasutada rohkem püstikuid ning ventilaatoreid, mis radoonirikka õhu hoone alt välja juhiks.

Olemasoleva hoone puhul ei ole Eestis eriti kogemusi eelnimetatud süsteemi installeerimiseks. Olemasoleva hoone puhul on efektiivsust raske prognoosida. Süsteemi paigaldamise eelduseks oleks, kas vaba ligipääs hoone alla või pörandapinna ülesvõtmine.

Igal juhul hinnatakse juba olemasoleva hoone jaoks süsteemi projekteerimist ning paigaldamist tunduvalt kallimaks kui uue hoone puhul.

### Ventilatsioon

Keskmise suurusega koolihoone tüüpventilatsiooni projekteerimise, materjalikulu ning paigaldamise maksumuseks hinnati ligikaudu 1 000 000 kroonile. Olemasolevasse hoonesse ventilatsioonisüsteemi paigaldamise maksumuseks oli ligikaudu 1 400 000 krooni. Põhiline hinnavahe tuli projekteerimisest ning avade ning torutike kinniehitus tööde mahu erinevusest.

Seega võib järeldada, et hüpotees leidis kinnitust, ning odavam on radooni tõkestamisega arvestada juba ehitise projekteerimise käigus. Lisaks selgus, et mitmed uue hoone puhul rakendatavad efektiivsed süsteemid polegi vana hoone puhul rakendatavad.

Eelnev on kinnituseks vajadusele informeerida elanikkonda radooni tõkete kasutamise otstarbekusest ning vajadusel juba projekteerimise käigus, mitte peale seda kui juba valmishitatud hoones avastatakse radooniprobleem.

## KOKKUVÕTE

Antud magistritöö raames mõõdeti radoonisisaldust ruumide siseõhus rahvusvaheliselt tunnustatud passiivse meetodiga.

Radooniohtlikele aladele jäävate lasteasutuste kaardistamiseks mõõdeti siseõhu radoonisisaldust 208 hoones kokku 30 erinevas vallas ja linnas.

Keskmine radoonisisaldus oli üle lubatava piirväärtuse 200 Bq/m<sup>3</sup> kokku 66 uuritud hoones. 36 hoones, kus keskmine radoonisisaldus oli alla piirväärtuse, ei vastanud nõuetele üks või mitu ruumi. Radoonisisaldus oli madalam kõikides ruumides kokku 106 mõõdetud hoones. Seega probleeme radoonisisaldusega eksisteeris 49% mõõdetud hoonetest. Selline tulemus oli eeldatav, kuna samadest piirkondadest oli kõrgeid tulemusi saadud ka elumajadest. Kinnitust leidis hüpotees, et piirkondades, kus elumajades on mõõdetud kõrge radoonisisaldus on see kõrgem ka lasteasutustes.

Magistritöö autor leiab, et lasteasutuste hoonetes, kus keskmine radoonisisaldus on piirväärtusest kõrgem, tuleks viivitamatult võtta tarvitusele ehituslikud meetmed radoonisisalduse vähendamiseks. Hoonetes, kus keskmine sisaldus jäi küll alla 200 Bq/m<sup>3</sup>, kuid esines üksikuid kõrgemaid tulemusi, tuleks läbi viia täiendavad uuringud selleks, et välja selgitada radooniohu tegelik ulatus. Hoonetes, kus kõik tulemused olid alla 200 Bq/m<sup>3</sup> pole vaja kaitsemeetmeid rakendada. Siiski oleks soovitatav hoonetes, kus enamus tulemusi on ligilähedased piirväärtusele, mõne aasta pärast läbi viia radoonisisalduse kordumõõtmised.

Saadud tulemuste alusel arvatati lasteasutuste töötajatele ning lastele radoonist saadavad efektiivdoosid. Lasteasutuste töötajatele võeti arvutuste aluseks potentsiaalne töötundide arv 2000 tundi aastas. Laste puhul arvestati potentsiaalset lühimat ning pikimat aega, mis nad võiksid asutustes viibida ühe aasta jooksul, ning saadi vastavalt 1800 tundi ning 900 tundi. Arvutustest selgus, et aastas radooni poolt põhjustatud keskmise efektiivdoosi väärtus 1 mSv/a ületati 2000 töötunni puhul koguni 81, 1800 töötunni puhul 72, ning 900 töötunni puhul 28 asutuses. Seega leidis kinnitust hüpotees, mille kohaselt ainuüksi lasteasutustes saadavad efektiivdoosid radooniohtlike aladel võivad ületada keskmise radoonist saadava efektiivdoosi.

Saadud tulemused kinnitavad veelkord vajadust võtta kasutusele lisakaitsemeetmed hoonetes, kus nimetatud piirväärtused on lubatust kõrgemad.

Uuritavate hoonete kohta kogutud ehituslike andmete töötlemisel Microsoft Exceli programmi abil leiti, et kõrget radoonisisaldust hoonetes saab pigem selgitada ehitamise halva kvaliteedi, kui radooniohtlike ehituslike parameetritega. Tulemustest selgus siiski, et radoonisisaldus suureneb üldiselt maja vanusega, kuid ei saavuta oma maksimumväärtust kõige vanemate ehitiste puhul. Pigem on kõrgeid tulemusi teatud kümnenditel ehitatud hoonetes.

Keskmiselt oli radoonisisaldus kõrgem osalise keldriga hoonetes, millele järgnesid keldrita hooned. Madalaimad tulemused olid keldriga majades. Selles osas leidis kinnitust hüpotees, et vanemates hoonetes ja keldrita majades on radoonisisaldus kõrgem.

Osalise keldriga hoonetes olid suur osa tulemusi üle piirväärtuse, mistõttu tuleks majatüüp tähistada kui potentsiaalselt radooniohtlik ning uurida selle majatüübi ning radoonisisalduse vahelisi seoseid.

Samuti täheldati keskmisest suuremaid sisaldusi 1941-1960 aastatel ehitatud hoonetes. Ka elumajades tehtud uuringute käigus selekteeriti 1950-ndatel ehitatud majad kui potentsiaalselt radooniohtlikud. Seetõttu tuleks kontrollida, kas kõrgeid tulemusi andnud 1941-1960 aasta hooned võivad olla sama tüüpi.

Viimasena uuriti meetmeid, mille abil saaks radoonisisaldust vähendada projekteeritavates lasteasutustes aga ka hoonetes, mis on juba valmis ning milles esinevad kõrgeid radoonisisaldused.

Hinnakalkulatsioonides võrdlemise tulemusena leidis kinnitust hüpotees et, odavam on radooni tõkestamisega arvestada juba ehitise projekteerimise käigus. Lisaks selgus, et mitmed uue hoone puhul rakendatavad efektiivsed süsteemid polegi vana hoone puhul rakendatavad. Saadud tulemused on kinnituseks vajadusele informeerida elanikkonda radooni tõkete kasutamise otstarbekusest ning vajadusel juba projekteerimise käigus, mitte peale seda kui juba valmishitatud hoones avastatakse radooniprobleem.

## Soovitused ja ettepanekud

Uuringu läbiviimisel ning tulemuste analüüsimisel kerkisid esile mitmesugused küsimused, mida tuleks uurida, samuti pakub autor välja mõned soovitused edaspidisteks projektideks. Sellest tulenevalt jagunevad soovitused kaheks: kogutud andmete edaspidiseks kasutamiseks ning uute uuringute korraldamiseks.

### Soovitused kogutud andmete kasutamiseks:

1. Otsida ühiseid tegureid ehituslike parameetrite ja kõrgeenenud radoonisisaldusega hoonetes. Kasutada selleks erinevaid kohta andmeanalüüsi võimalusi.
2. Uurida erinevate ruumide ja radoonisisalduse vahelist sõltuvust. On teada, et väiksemates ruumides on suurem radoonisisaldus, kuid alati see pole nii.
3. Täpsustada radoonist tulenevat terviseriski mõõdetud lasteasutustes.
4. Selgitada, kas osaliselt väga külmale ning koolivaheaja perioodile jäänud mõõtmistulemused on tavapärasel ajal tehtutest kuidagi eraldatavad (kõrgemad).

### Edaspidised uuringud:

1. Jälgida rohkem geoloogilisi andmeid, kuna on veel mitmeid piirkondi, kus pinnases on täheldatud kõrget radoonisisaldust, kuid kus hoonetes pole mõõtmisi tehtud.
2. Teha suuremat koostööd kohalike omavalitsustega, näiteks Tallinnas, sest Tallinna lasteasutuste kaardistamiseks tuleks teha eraldi projekt, ning ühel spetsialistilt võtaks see kindlasti ühekütteperioodi.
3. Proovida selgitada kõige ebasobivamad majatüübid (osalise keldriga hoone kui potentsiaalne ohtlik majatüüp), et nende ehitamist radooniohtlikule alale vältida.
4. Koguda andmeid laste arvu kohta, kes radooniohtlikel aladel elavad ning õpivad.



## SUMMARY

### **RADON IN CHILD CARE INSTITUTIONS LOCATED IN RADON DANGER ZONES**

Radon is a radioactive gas that emerges upon the decomposition of natural radionuclides in the soil. As an inert gas, it can spread dozens of meters in the soil and in certain conditions, it can also filter into the interior of buildings through the foundation and floor constructions. Upon inhaling radon and short lived radon daughters, the risk of lung cancer will increase.

Therefore, international organizations and several states have enforced safety standards related to radon. The Estonian standard EVS 839:2003 also follows the internationally accepted radon level limit value in the interior of buildings – 200 Bq/m<sup>3</sup> (bequerel per cubic meter)

Comprehensive studies concerning the radon problem have been carried out in several states in order to determine the size of radon danger zones, the number of people living there and the actual level of radon concentration in the interior of buildings.

So far the studies have been conducted in Estonia in dwelling houses only. The results indicate that considering the potential radon danger zones, Estonia can be compared with Sweden and Finland which have the most extensive radon danger in Europe.

The children's health is constantly under the observation of the society and radon measurements should be conducted in all child care institutions.

According to the above, the general aim of the MA thesis is to investigate how big is the indoor air radon concentration in the child care institutions that are located in the radon danger zones, to evaluate the health risk caused by radon and to identify the possibilities of diminishing the radon level.

In the course of the present MA thesis, the radon concentration in the indoor air of spaces was measured with the internationally recognized passive method.

The average radon concentration was over the allowed limit value 200 Bq/m<sup>3</sup> in 66 buildings under observation. In 36 buildings where the radon concentration was below the limit value, one or several rooms did not meet the requirements. The radon level was lower in all the rooms in altogether 106 buildings that were measured.

Measures for diminishing the radon concentration should immediately be taken in the buildings where the average radon concentration was bigger than the limit value. Additional researches should be carried out in the buildings where there were single high indicators.

Measures of additional protection should not be applied in the buildings where all the indicators were below 200 Bq/m<sup>3</sup>.

On the basis of the results, effective doses of radon were calculated for the employees of the child care institutions and the children themselves. The calculations indicated that the average value of effective dose 1mSv/j caused by radon per year was exceeded in 81 institutions in case of 2000 hours of labour.

Upon processing the constructional information of the buildings under study, it was found that high radon concentration in buildings can rather be explained with bad quality of construction than radon hazardous constructional parameters. However, the results established that the radon level generally increases with the age of the building.

On the average, the radon concentration was higher in buildings with a partial basement and these were followed by buildings without a basement. The lowest indicators were in buildings with a basement.

Comparing the prices of radon restraining measures, it appeared that it would be cheaper to apply the radon restraining methods in new buildings than to diminish the elevated radon concentration in existing buildings. It also appeared that there are not many possibilities in Estonia to diminish the radon concentration effectively in the existing building and therefore, it would be wise to consider the danger immediately upon establishing a building in radon danger zone.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- Andersen, C.E., et al.* 1999. Mapping indoor radon-222 in Denmark: design and test of the statistical model used in the second nation-wide survey. 1999. Radon in the Living Environment. Greece. 583-596.
- Appleton, J.D.* 2000. Dealing with radon emissions in respect of new development. British Geological Survey. Nottingham.
- Arthur, T.* Lung cancer risk from exposure to radon in the home - are policies in the United Kingdom appropriate to the risk? MPH MCIEH FRSH.
- Bevelacqua, J. J.* 2004. Basic Health Physics Problems and Solutions. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Birovljev, A., et al.* 1999. Retrospective assessment of historic radon concentrations in Norwegian dwellings by measuring glass implanted Po-210- an international field intercomparison. Radon in the Living Environment. Greece. 817-828.
- Castren, O., et al.* 1992. Indoor radon survey in Finland: Methodology and applications. Radiation Protection Dosimetry 45.1. 413-418.
- Clavesjö, B. Åkerblom, G.* 1994. The Radon Book. Stockholm. The Swedish Council for Building Research. Ljunglöfs Offset AB.
- Darbi, S.* Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. 2004. BMJ, doi:10.1136/bmj.38308.477650.63
- DELG* Department of the Environment and Local Government. 2002. Radon in Existing Buildings Corrective Options. 2002. Stationery Office. Dublin.
- Durcik, M., et al.* 1997. Radon Risk assessment in Slovak Kindergartens and Basic Schools. Radiation Protection Dosimetry. Nuclear Tehnology Publishing. 71.3. 201-206.
- EC* European Commission. 1996. Basic Safety Standards Directive.
- EVS* Eesti Standard 839:2003 Sisekliima. 2003. Eesti Standardikeskus.
- EVS* Eesti Standard 840:2003 Radooniohutu hoone projekteerimine. 2003. Eesti Standardikeskus.
- IAEA* International Atomic Energy Agency Radiation. 2003. Protection against Radon in Workplaces other than Mines. Vienna.
- ICRP* The International Commission on Radiological Protection. 1993. Protection Against Radon-222 at Homes and at Work. Pergamon.
- Jõgioja, E.* 2004. Radooniohutu elamu. Tallinn. OÜ Ehitusteave. Kiirguskeskus.
- Kavasi, N., et al.* 1998. Measurement of average Radon Gas concentration at workplaces.

- KK* Kiirguskeskus. Radoon – looduslik risk sinu tervisele. Kiirguskeskus.
- Langeproon* ÜO Langeproon. 2006. Hoonete niiskuskahjustuste likvideerimine. Uusehitiste hüdroisolatsioon. Konverentsimaterjal.
- Maa-amet* www.maaamet.ee 10.05.2006
- Martin, J, E.* 2004. Physics for Radiation. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- Mellander, H and Enflo, A.* 1992. Nuclear Tehnology Publishing. 45. 65-70.
- Miksova, J., Barnet, I.* 2002. Geological support to the National Radon Programme (Czech Republic). Bulletin of the Czech Geological Survey.77.1. 13-22.
- Miles, J. C. H.* 1993. Temporal Variation of Radon levels in Houses and Implications for Radon Measurement Strategies. Radiation Protection Dosimetry. Nuclear Tehnology Publishing. 93.4. 369-375..
- Miles, J.* Mapping radon-prone areas by lognormal modeling of house radon data. Health Physich 1998:74(3): 370-378
- Nordic* The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden. 2000. Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries- Recommendations.
- Organo, C.* 2004. High radon concentrations in a house near Castleisland, County Kerry (Ireland-identification, remediation and post-remediation. Juornal of Radiological Protection. 24. 107-120.
- Pahapill, L. Rulkov, A.* 2004 Radoon majades. Aruanne. Kiirguskeskus.
- Pahapill.L., et al.* 1998. Radon in Baltic States. Radiation Protection Issues in the Baltic Region with Emphasis on Co-operative Projects with Estonia, Latvia and Estonia. Risø National Laboratory. Denmark.
- Pahapill.L., et al.* 2003. Radon in Estonian Dwellings. Result from a National Radon Survey. SSI report 2003:16.
- Petersell, V., et al.* 2004. Eesti Radooniriski kaart. Seletuskiri. Tallinn-Stockholm. Tallinna Raamatukoda OÜ.
- Reichelt, A., et al.* 1999. Radon in Workplaces. Germany.
- RPII* Radiological Protection Institute of Ireland Planning Radon Surveys in Workplaces. 2004. Guidance notes.
- RPII* Radiological Protection Institute of Ireland. 2002. Standard Protocol for Determination of the annual average Radon Gas concentration in domestic Dwellings. Dublin.
- RPII* Radiological Protection Institute of Ireland. 2000. Radon Radiation in Homes.

Synnott, H., et al. 2004. Radon in Irish Primary and post-Primary Schools. The Results of a National Survey. Radiological Protection Institute of Ireland. RPII-04/2.

*USEPA* United States Environmental Agency .Assessment of Risks from Radon in Homes. 2003. United States Environmental Agency. Protection Air and Radiation. 402-R-03-003.

*USEPA* United States Environmental Agency.1993. Radon Measurements in Schools. Air and Radiation

*Walsh, C., McLaughlin, J.P.* 1999. Correlation of <sup>210</sup>Po Implanted in glass with Radon Gas Exposure: Sensitivity analysis of critical parameters using a Monte-Carlo approach. Radon in the Living Environment. Greece. 1163-1167.

*WHO* World Health Organisation. 2005. Geneva Congress. [www.who.org/geneva/VäikeVähiraamat](http://www.who.org/geneva/VäikeVähiraamat). [www.cancer.ee](http://www.cancer.ee) 20.12.2005

*Åkerblom, G.* 2006 intervjuu 09.04.2006

*Kilekeskus* [www.kilekeskus.ee](http://www.kilekeskus.ee) hinnakalkulatsioon 05.05.2005

*Remoluft* [www.remoluft.ee](http://www.remoluft.ee) hinnakalkulatsioon 25.05.2006

*OÜ Langeproon Inseneriehitus* [www.langeproon.ee](http://www.langeproon.ee) hinnakalkulatsioon 20.05.2006

*Uponor* [www.uponor.ee](http://www.uponor.ee) hinnakalkulatsioon 02.05.2006

LISAD

Tabel 1.1

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
Radium-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

Tabel 1.2

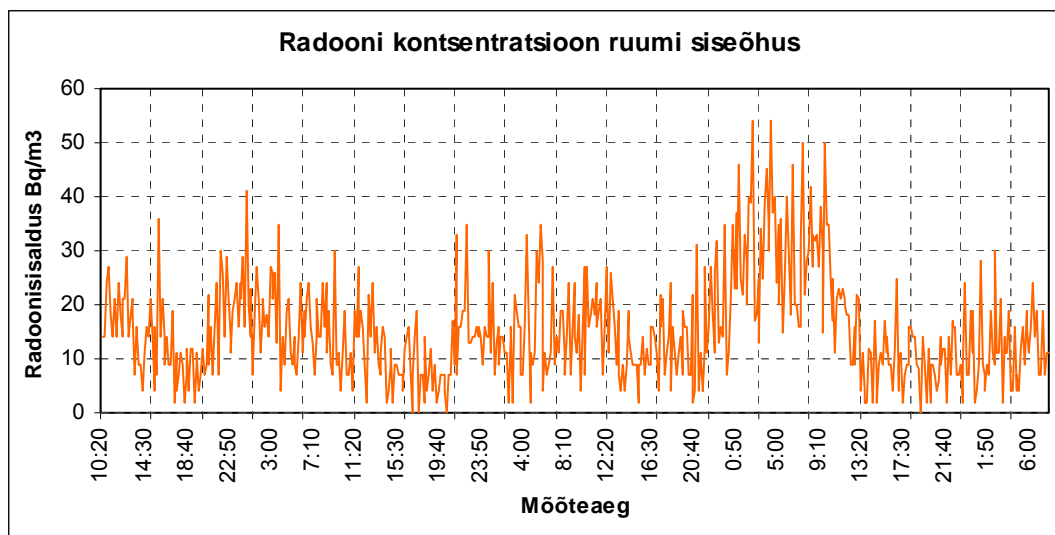
Toorium-232 radioaktiivse lagunemise rida

Isotoop	Poolestusaeg	Radiatsiooni tüüp	Märkused
Toorium-232 (Th)	$1.41 \times 10^{10}$ aastat	$\alpha$	Metall
Radium-228 (Ra)	5.76 aastat	$\beta$	Metall
Aktinon-228 (Ac)	6.13 tundi	$\beta, \gamma$	Metall
Toorium-228 (Th)	1.91 aastat	$\alpha, \gamma$	Metall
Radium-224 (Ra)	3.66 päeva	$\alpha, \gamma$	Metall
<b>Radoon-220 (Rn)</b>	<b>55.6 sekundit</b>	$\alpha$	<b>Gaas, tundub 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

Allikas: Eesti Radooniriski kaart. Petersell et al 2004

## Lisa 2

Joonis 2.1



Joonis. Aktiivmeetodi puhul radoonisalduse tulemuste kohta väljastatav graafik

Foto 2.1

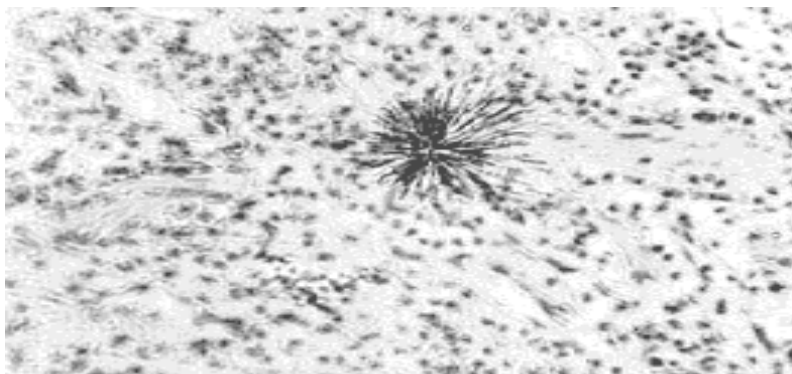


Foto. Pasiivmeetodi detektorite mõõteaparatuur



## Lisa 3

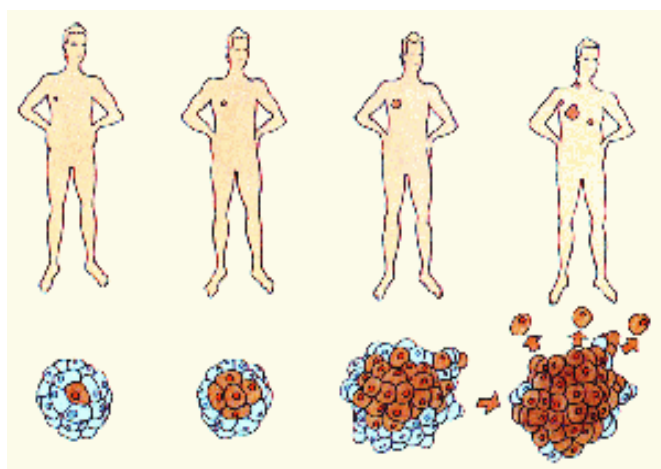
## Joonis 3.1



Joonis. Kiirgusest põhjustatud raku surm

Allikas: USEPA

## Joonis 3.2



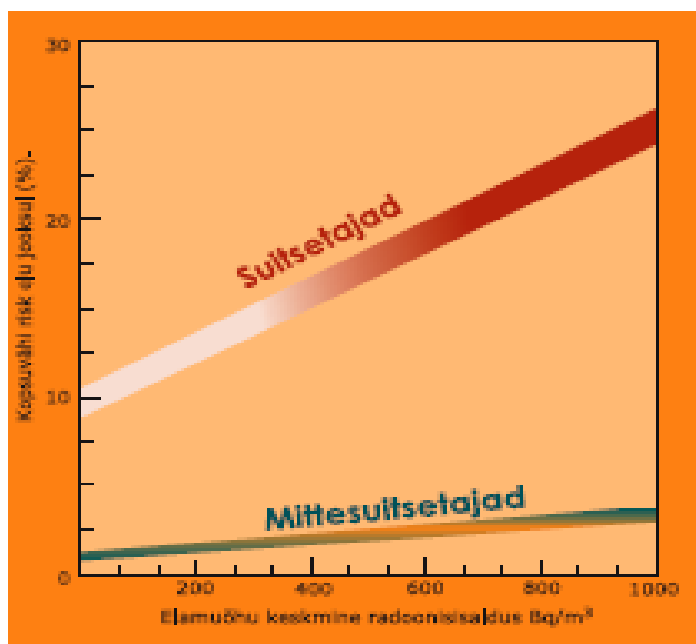
Joonis. Kopsuvähi tekkemehhanism

1. etapp: Tavaline kopsurakk muutub vähirakuks.
2. etapp: Vähirakk paljuneb ja moodustub kasvaja - kopsuvähk.
3. etapp: Kasvaja suureneb ja teda on võimalik avastada.
4. etapp: Vähkkasvaja levib ja moodustab siirdeid.

Allikas: Väike Vähiraamat

## Lisa 4

Joonis 4.1



Joonis. Radooni mõju suitsetajatele ja mittesuitsetajatele  
Allikas: Radoon – looduslik risk sinu tervisele

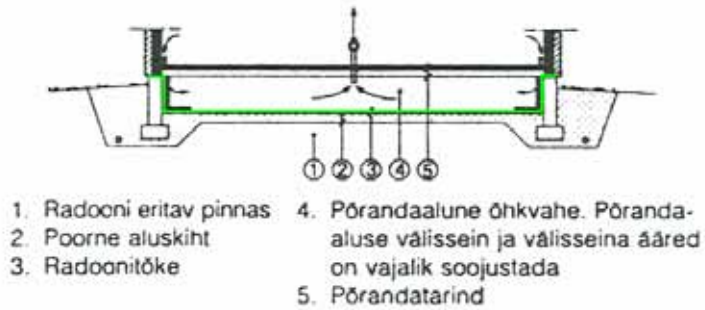
Tabel 4.1

Sagedasemad vähipaikmed Eestis, 2000

Mehed			Naised		
Paige	Esmasjuhud		Paige	Esmasjuhud	
	Arv	%		Arv	%
Kops	579	20,1	Rind	538	17,5
Eesnääre	367	12,8	Nahk	381	12,4
Magu	274	9,5	Magu	217	7
Nahk	264	9,2	Käärsool	214	6,9
Käärsool	171	6	Emakakeha	184	6
Neer	149	5,2	Emakakael	162	5,3
Kusepõis	148	5,2	<b>Kops</b>	<b>161</b>	<b>5,2</b>
Pärasool	142	4,9	Munasari	151	4,9
Kõhunääre	95	3,3	Pärasool	145	4,7
Kõri	71	2,5	Neer	100	3,2
Kõik paikmed	2873	100	Kõik paikmed	3081	100

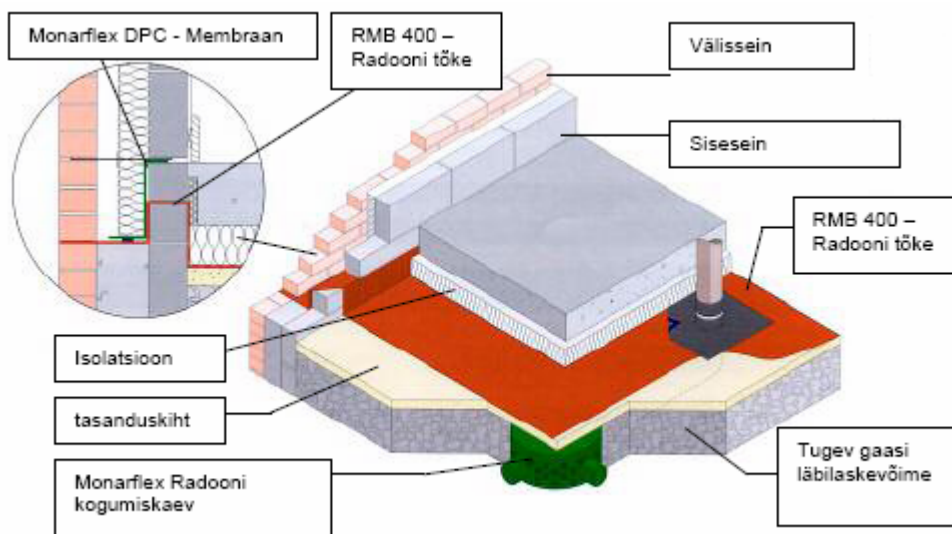
Allikas: Eesti Vähiliit

Lisa 5  
Joonis 5.1



Joonis. Radoonitõkke asukoht põrandatarindi suhtes  
Allikas: EVS 840:2003

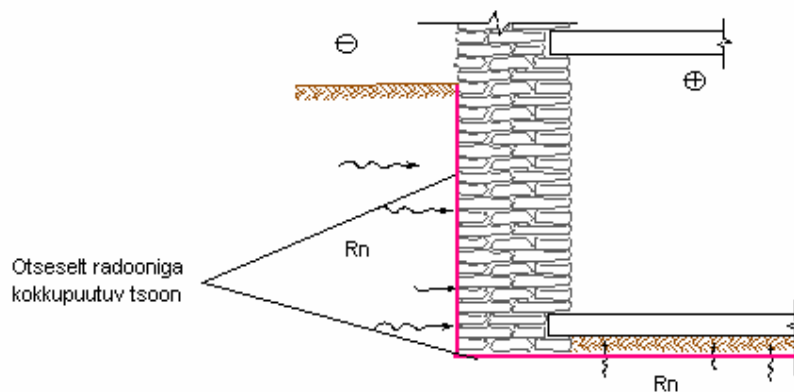
Joonis 5.2



Joonis. Radoonikile paigaldamine  
Allikas: Kilekeskus

## Lisa 6

## Joonis 6.1



Joonis. Radooni ning veega otse kokku puutuvad pinnad keldriga hoone puhul  
Allikas: OÜ Langeproon Inseneriehitus

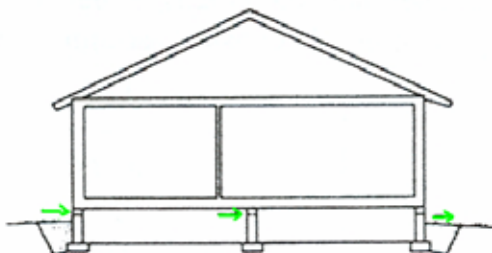
## Foto 6.1



Foto. Hüdroiolsiooni paigaldamine  
Allikas: OÜ Langeproon Inseneriehitus

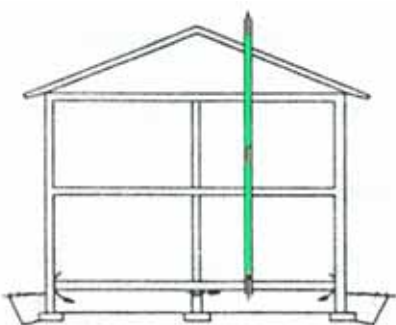
## Lisa 7

## Joonis 7.1



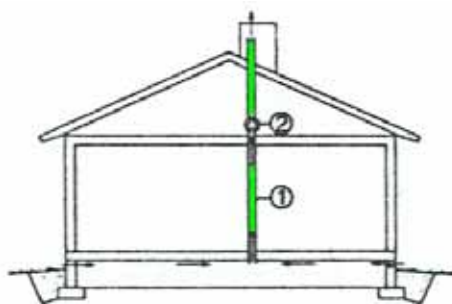
Joonis. Põrandaaluse tuulutus välisõhuga  
Allikas: EVS 840:2003

## Joonis 7.2



Joonis: Põrandaaluse ventileerimine välisõhuga loomulikul tõmbel  
Allikas: EVS 840:2003

## Joonis 7.3

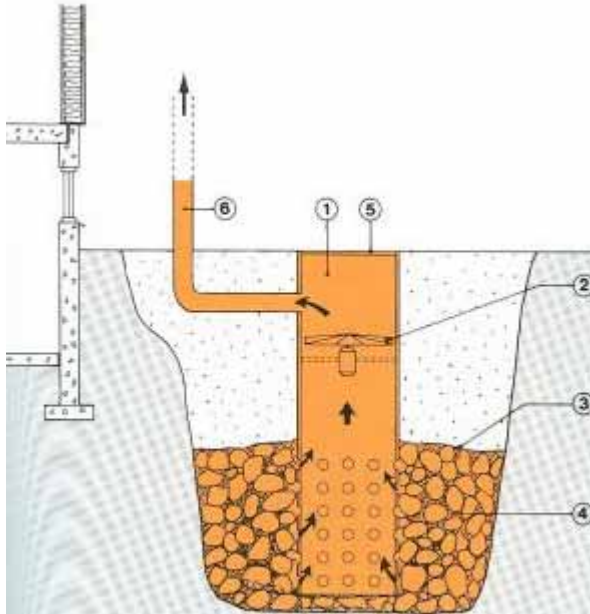


1. Metall- või PVC-toru, mis on kondensatsiooni vältimiseks soojustatud
2. Ventilator, mis vajaduse korral lülitatakse sisse

Joonis. Põrandaaluse ventileerimine mehaanilisel tõmbel  
Allikas: EVS 840:2003

## Lisa 8

Joonis 8.1

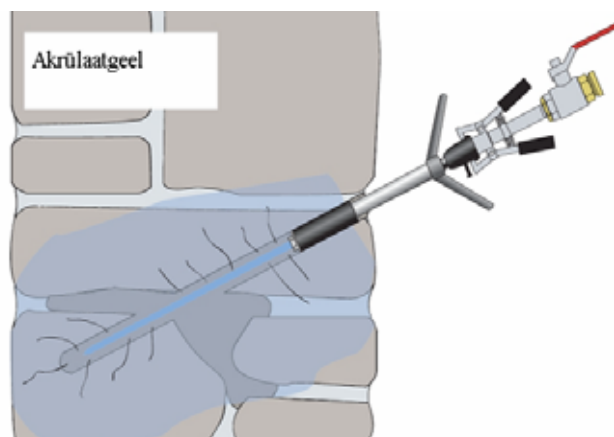


Joonis. Radoonikaev

- 1) laiem toru;
- 2) ventilaator;
- 3) kruus;
- 4) augud torus;
- 5) maapind;
- 6) väiksem toru, mis jõuab maapinnale.

Allikas: Radoonihutu elamu, The Radon Book

Joonis 8.2

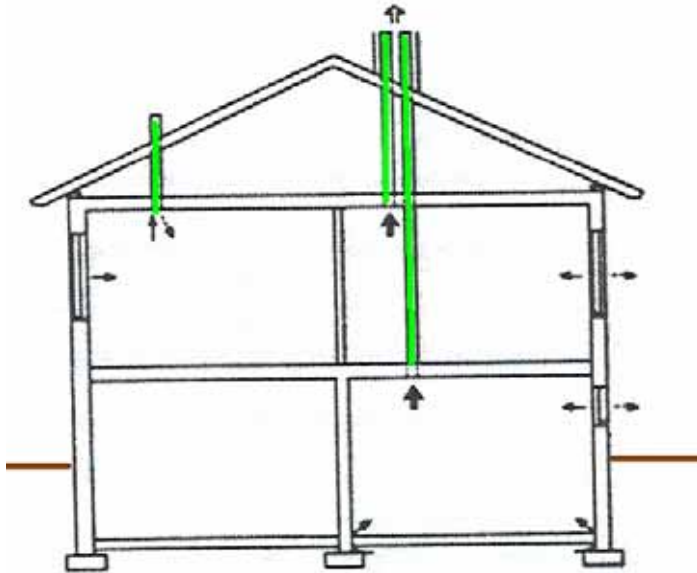


Joonis. Ehituskonstruksiooni täitmine geeliga

Allikas: OÜ Langeproon Inseneriehitus

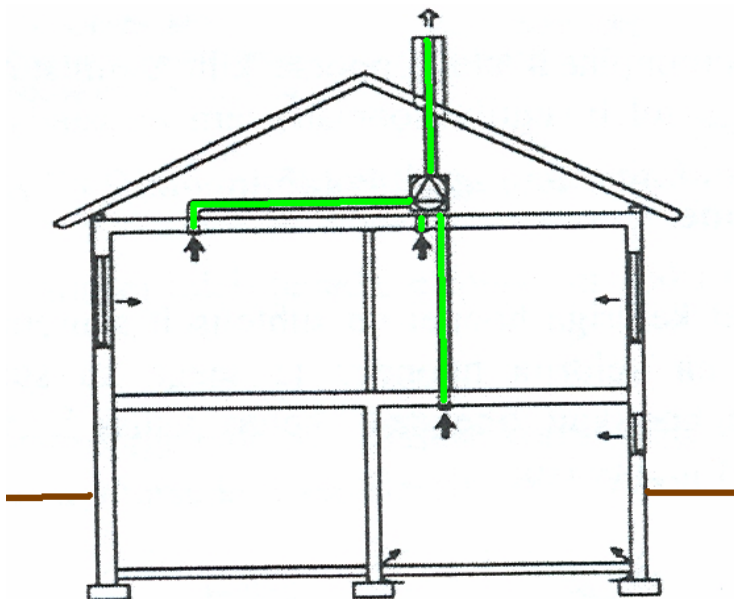
## Lisa 9

## Joonis 9.1



Joonis. Loomulikul tõmbel töötav ventilatsioonisüsteem  
Allikas: EVS 840:2003

## Joonis 9.2



Joonis. Mehaanilise väljatõmbega ventilatsioonisüsteem  
Allikas: EVS 840:2003

Lasteasutuste töötajatele mõeldud eestikeelse juhendmaterjali vähendatud näide

**Kiirguskeskus**  
**Kopli 76**  
**Tallinn 10416**  
**Kontaktisik: Evelyn Pesur**  
**Tel: 660 3336, 5199 2921**

### **PROJEKT Radoon lasteasutuste siseruumides kõrgenenud radooniriskiga piirkondades**

Radoon on maapinnast pärinev looduslik radioaktiivne gaas, mis suurendab kopsuvähki haigestumise riski.

Vastavalt EL direktiivile on iga liikmesriik kohustatud välja selgitama töökohad, kus radoonist põhjustatakse töötajatele kiirguskaitse seisukohast oluline kiiritusdoos ning rakendama sobivaid meetmeid kiirituse vähendamiseks.

Töökohtadest uuritakse esimesena lasteasutusi, kuna laste organism on kiirituse suhtes tundlikum, kui täiskasvanute oma.

Projekti eesmärgiks on otseste mõõtmiste abil välja selgitada ja kaardistada siseõhu radooni kontsentratsioon lasteasutustes 30 radooniohtlikumas vallas ja linnas üle Eesti. Radoonisisaldust uuritakse kokku umbes 150 hoones. Tulemused avaldatakse 2006 aasta suvel.

Nimetatud mõõtmisi on vaja selleks, et välja töötada otstarbekohaseid meetmeid töötajate, eelkõige laste, kaitsmiseks radoonist põhjustatud ülemäärase kiirituse eest.

Soovitav mõõtmisperiood: 11.01.2006-11.03.2006

#### Radoonidetektori kasutamine lasteasutustes

1. Täida detektoritega kaasasolev **ankeet** ja **märgi detektoritele** pakendist välja võtmise kuupäev. (Ühes pakendis on 2 detektorit). **Detektor võta kotist välja alles ruumis, kuhu see mõõtma jääb!** Jäta kott alles.
2. Pane detektorid enim kasutatavatesse klassiruumidesse esimesel korrusel või keldrikorrusel. **Ühte ruumi pannakse üks detektor.** Detektoreid ei paigaldata koridoridesse, WCdesse jne. Märgi ruumide asukoht ja sellele vastav detektori number ankeeti.
3. Detektori asukoht ruumis peaks olema selline, kus seda ei liigutata ega segata ja mis ei asu otse akna või ukse juures. Sobiv koht on näiteks kapipealne kõrgusel 1-2 m, kuhu midagi muud tavaliselt ei asetata. Soovitav oleks panna detektor kapi esiservale, et vältida juhuslikku kukkumist kapi taha. Ära pane detektorit avatud akna või ventilatsiooni, radiaatori või muu soojusallika- ning tugeva valgusallika lähedusse, ning kinnisesse kappi.
4. Aeg-ajalt kontrolli, et detektor oleks alles oma esialgses asukohas ja poleks kaetud mõne esemega.
5. Detektori kasutamise ajal elada tavapärast elu. Ruume pole tarvis tuulutada rohkem või vähem kui tavaliselt, sundventilatsiooni olemasolul töötagu see tavapäraselt.
6. Mõõtmisperioodi (2 kuud) lõppemisel ja detektori eemaldamisel märgi ankeedile vastav kuupäev, pane detektorid samasse kotti, kus need olid, või selle kadumisel kahekordsesse kilekotti, sulge õhutihedalt (nt kleeplindiga) ning anna valla või linna spetsialisti kätte, kes saadab need koos ankeediga tagasi Kiirguskeskusesse.

**Suur tänu!**



Lasteasutuste töötajatele mõeldud venekeelse juhendmaterjali vähendatud näide

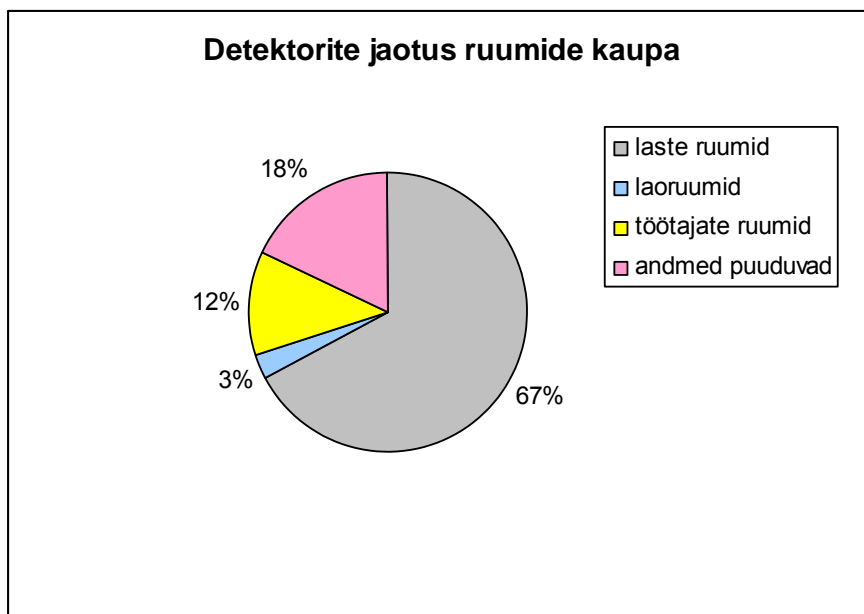
**Kiirguskeskus**  
**Kopli 76**  
  
**Tallinn 10416**  
**Kontaktisik: Evelyn Pesur**  
**Tel: 660 3336, 5199 2921**

#### ПРОЕКТ

Памятка по установке детекторов для измерения радона.

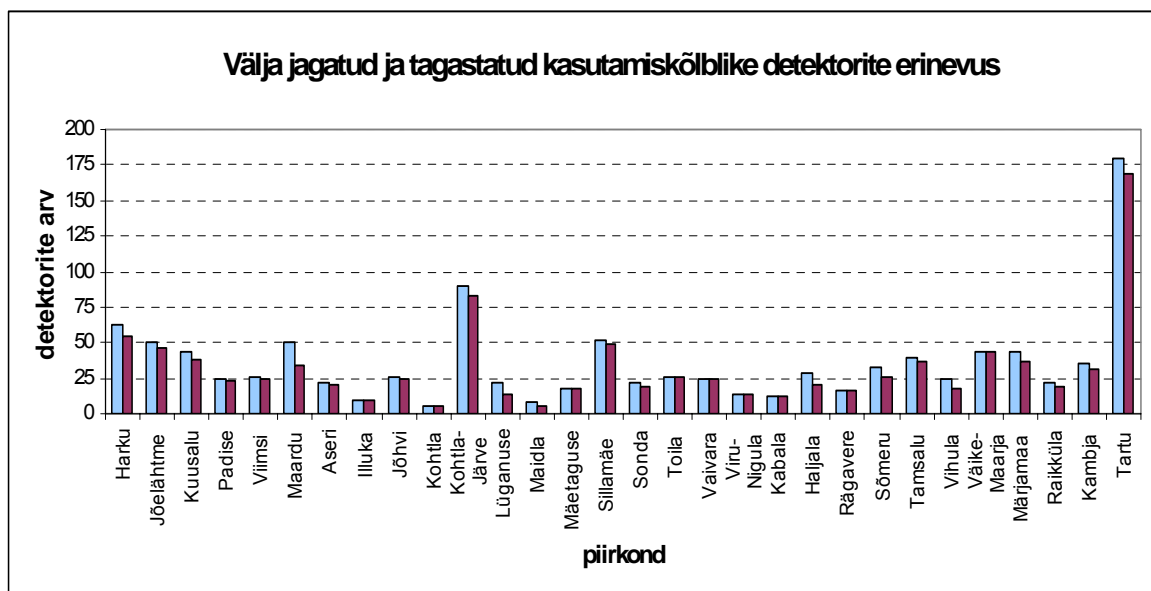
1. Детектор вытащите из пакета только в помещении, где будут проходить измерения. Сохраните мешок. В одной пачке два детектора. Заполните анкету сопровождающую детектор и отметь на детекоре дату начало измерения.
2. Установите детекторы в классах первого этажа и в подвальных помещениях частого пользования. В одном помещении устанавливается один детектор. Детекторы не устанавливается в коридорах и туалетах. Обозначте в анкете местонахождение помещения и номер детектора, расположенный в этом помещении.
3. Наиболее подходящее место для детектора в помещении на шкафах или на полках, расположенных на высоте 1-2 м от пола.  
Нельзя устанавливать детекторы близко к окнам и дверям, вблизи радиаторов, вентиляции и в закрытых шкафах  
Нельзя передвигать детектор с одного места на другое, нельзя его двигать.  
Время от времени проверяйте находится ли детектор на том же месте, не прикрыт ли он чем-либо.
4. По истечению измерительного периода ( 2 месяца) соберите детекторы. Заполните в анкете дату окончания измерения. Положите детектор в тот же самый мешок или, при его пропаже, в двойной целофановый мешок, закройте наглухо( нп. липкой лентой) и отдайте специалисту из Linnavalitsus, который отправит детекторы в Kiirguskeskus.

## Joonis 12.1



Joonis. Detektorite protsentuaalne jaotus lasteasutustes ruumide kaupa

## Joonis 12.2



Joonis. Välja jagatud ja tagastatud kasutamiskõlblike mõõdetektorite arvuline erinevus

Piirkondade töötajatele mõeldud eestikeelse juhendmaterjali vähendatud näide

**Kiirguskeskus**  
**Kopli 76**

**Tallinn 10416**  
**Kontaktisik: Evelyn Pesur**  
**Tel: 660 3336, 5199 2921**

**PROJEKT Radoon lasteasutuste siseruumides kõrgenenud radooniriskiga piirkondades**

Radoon on maapinnast pärinev looduslik radioaktiivne gaas, mis suurendab kopsuvähki haigestumise riski.

Vastavalt EL direktiivile on iga liikmesriik kohustatud välja selgitama töökohad, kus radoonist põhjustatakse töötajatele kiirguskaitse seisukohast oluline kiiritusdoos ning rakendama sobivaid meetmeid kiirituse vähendamiseks.

Töökohtadest uuritakse esimesena lasteasutusi, kuna laste organism on kiirituse suhtes tundlikum, kui täiskasvanute oma.

Projekti eesmärgiks on otseste mõõtmiste abil välja selgitada ja kaardistada siseõhu radooni kontsentratsioon lasteasutustes 30 radooniohtlikumas vallas ja linnas üle Eesti. Radoonisisaldust uuritakse kokku umbes 150 hoones. Tulemused avaldatakse 2006 aasta suvel.

Nimetatud mõõtmisi on vaja selleks, et välja töötada otstarbekohaseid meetmeid töötajate, eelkõige laste, kaitsmiseks radoonist põhjustatud ülemäärase kiirituse eest.

Soovitav mõõtmisperiood: 19.01.2006-19.03.2006

Info vallavalitsuse töötajale (IVO KORJUS):

5. Jaga detektorid koos infolehte ning ankeediga valla lasteasutuste juhatajatele.
6. Teie valla uuritavad asutused on:

Asutus	Detektorite arv
Aseri Keskkool	
Aseri Muusikakool	
Aseri Lasteaed	
Aseri raamatukogu	2
Rannu raamatukogu	2

7. Keskmiselt on asutusele mõeldud 6 detektorit (3 kotti). Jaga need asutuste suuruse järgi. Suuremasse asutusse rohkem, ning väiksemasse vähem.

8. Mõõtmisperioodi lõppedes korja detektorid ja ankeedid lasteasutustest kokku, veendu, et need on õhutihedalt kottidesse suletud ning saada Kiirguskeskusesse.

**Suur tänu!**

Eestikeelse ehituslikke parameetreid uuriva ankeedi vähendatud näide

## Ankeet

**Objekti nimi ja aadress:**.....

(maakond, vald, linn/alev/küla, aadress, indeks)

**Kontaktisik:**.....

(nimi, telefon, e-mail)

**Valmimisaasta:**.....

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

**Objekti olukord:** renoveeritud, kapremont, muu:.....

**Asukoht:** tasasel maal, kallakul

**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

**Vundamendi materjal:**.....

**Kelder:** jah, ei

**Keldri põranda materjal:**.....

**Keldri seinte materjal:**.....

**Esimese korruse põranda materjal:**.....

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

**Mõõtmine:** keldris, esimesel korrusel

Detektori nr	Asukoht	Mõõtmisperiood	Detektori nr	Asukoht	Mõõtmisperiood

Venekeelse ehituslikke parameetreid uuriva ankeedi vähendatud näide

### Анкета

**Название объекта и адрес:** .....

(уезд, волость, город/посёлок/село, адрес, индекс)

**Контактное лицо :** .....

(имя, телефон, e-почта)

**Год постройки :** .....

**Тип дома:** частный, рядный, многоэтажный, панельный, другой.....

**Состояние объекта:** реновированный, капитальный ремонт, другое.....

**Местонахождение:** гладкая земля, на склоне

**Грунт:** плитняк, песок или гравий, глина

**Водоснабжение:** центральное, свой колодец, водопровод с грунтовой водопровод с поверхностной водой

**Материал стен:** дерево, кирпич, бетон, дощатое наполнение, блок, панель, другой.....

**Отопительная система:** центральное отопление, электроотопление, индивидуальное центральное отопление, печное, другое.....

**Воздухообмен:** естественный, вытяжная вентиляция, общая вентиляция, другая.....

**Вентиляция работает в среднем:** ..... часов в сутки

### *Эффективность воздухообмена*

**по оценке владельца:** ..... хорошая, средняя, плохая

**Материал фундамента:**.....

**Подвал:** да, нет

**Материал пола подвала:**.....

**Материал пола первого этажа:**.....

**Площадь пола первого этажа:**..... м<sup>2</sup>

**Измерения:** в подвале, на первом этаже

<i>Номер детектора</i>	<i>Расположение</i>	<i>Период измерения</i>	<i>Номер детектора</i>	<i>Расположение</i>	<i>Период измерения</i>

Tabel 16.1

Ehituslikud parameetrid reastatud vastavalt nende radooniohtlikusele

Ehituslik parameeter	0	1	2	3	4	5
<b>Valmimisaasta</b>	2000-2006	1991-2000	1951-1990	1901-1950	1801-1900	kuni 1800
<b>Maja tüüp</b>	kivimaja korrusmaja paneelmaja	puitmaja ridamaja ühekordne hoone		ühepere- elamu		talumaja mõis
<b>Hoone olukord</b>	uus	renoveeritud	kapitaal- remont			pole remonditud
<b>Asukoht</b>	tasane maapind		kallak	küngas		
<b>Aluspõhi</b>	savi			paas	kruus	
<b>Veevarustus</b>	pinnavesi	veevärk põhjaveega		tsentraalne		
<b>Seinamaterjal</b>	betoon paneel	tellis laud puit		raudkivi	paekivi	kergplokk
<b>Põranda materjal</b>	betoon paneel		kiviplaat	betoonplokk tellis tsement	paekivi	puit kergplokk
<b>Õhuvahetus</b>	üld- ventilatsioon		väljatõmbe ventilatsioon osaline ventilatsioon			loomulik
<b>Ventilatsioon töötab ööpäevas</b>	12 -24 tundi	7-12 tundi		1-6 tundi		0 tundi
<b>Õhuvahetuse efektiivsus kasutaja hinnangul</b>	hea		keskmine			halb
<b>Vundament</b>	betoon paneel	betoonplokk tellis betoon ja maakivi		raudkivi betoon ja kergplokk puit	paekivi	kergplokk
<b>Kelder</b>	jah	osaline		ei		
<b>Mõõtmise koht</b>	teisel korrusel	esimesel ja teisel korrusel		esimesel korrusel	esimesel korrusel ja keldris	kelder

Hooned, kus kõik mõõdetud tulemused olid madalamad radoonisisalduse piirväärtusest 200 Bq/m<sup>3</sup>

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi
1	Harjumaa	Harku	Harku Noortekeskus
2	Harjumaa	Harku	Tabasalu Teelahkme Lasteaed
3	Harjumaa	Jõelähtme	Kaberneeme Raamatukogu
4	Harjumaa	Jõelähtme	Kostivere Põhikool
5	Harjumaa	Jõelähtme	Kostivere Raamatukogu
6	Harjumaa	Kuusalu	Kolga Keskkool
7	Harjumaa	Kuusalu	Kolga Raamatukogu
8	Harjumaa	Kuusalu	Kuusalu Lasteaed Jussike
9	Harjumaa	Kuusalu	Kuusalu Muusikakool
10	Harjumaa	Kuusalu	Kuusalu Raamatukogu
11	Harjumaa	Maardu	Lasteaed Rõõm
12	Harjumaa	Maardu	Maardu Gümnaasium*
13	Harjumaa	Padise	Padise valla lasteaed
14	Harjumaa	Padise	Risti Põhikool
15	Harjumaa	Padise	Risti Põhikool*
16	Harjumaa	Viimsi	Lasteaed Piilupesa
17	Harjumaa	Viimsi	MLA Viimsi Lasteaed
18	Harjumaa	Viimsi	Pargi Lasteaed
19	Harjumaa	Viimsi	Püünsi Põhikool
20	Harjumaa	Viimsi	Viimsi Huvikeskus
21	Harjumaa	Viimsi	Viimsi Keskkool
22	Harjumaa	Viimsi	Viimsi Kunstikool
23	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Lasteaed
24	Ida-Virumaa	Illuka	Illuka Põhikool
25	Ida-Virumaa	Illuka	Kuremäe Raamatukogu
26	Ida-Virumaa	Illuka	Kurtina Laste Päevakeskus
27	Ida-Virumaa	Illuka	Kurtina Raamatukogu
28	Ida-Virumaa	Jõhvi	Jõhvi Vene Gümnaasium
29	Ida-Virumaa	Kohtla	Järve küla Päevakeskus
30	Ida-Virumaa	Kohtla	Krabuli Selts
31	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Ahtme Gümnaasium*
32	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Kohtla-Järve Vene Gümnaasium
33	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Buratino
34	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Karuke
35	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Pääsuke
36	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Pääsupesa
37	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tuhkatriinu
38	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Vahre Põhikool
39	Ida-Virumaa	Maidla	Maidla Põhikool
40	Ida-Virumaa	Maidla	Maidla Rahvamaja

41	Ida-Virumaa	Mäetaguse	Kiikla Raamatukogu
42	Ida-Virumaa	Mäetaguse	Pagari Raamatukogu
43	Ida-Virumaa	Sillamäe	Kannuka kool
44	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Helepunased Purjed
45	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Rukkilill
46	Ida-Virumaa	Sillamäe	Põlula Põhikool
47	Ida-Virumaa	Sillamäe	Vanalinna kool
48	Ida-Virumaa	Sonda	Sonda Põhikool
49	Ida-Virumaa	Sonda	Sonda Raamatukogu
50	Järvamaa	Kabala	Türi Kabala Raamatukogu
51	Järvamaa	Kabala	Türi Kabala Raamatukogu*
52	Lääne-Virumaa	Haljala	Aaspere Põhikool
53	Lääne-Virumaa	Haljala	Haljala Lasteaed
54	Lääne-Virumaa	Haljala	Varangu Raamatukogu
55	Lääne-Virumaa	Rägavere	Ulvi Lasteaed
56	Lääne-Virumaa	Rägavere	Ulvi Raamatukogu
57	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Roodevälja Noortetuba
58	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Kultuurimaja
59	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Lasteaed Kröll
60	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Raamatukogu
61	Lääne-Virumaa	Vihula	Võsu laste mängurühm
62	Lääne-Virumaa	Vihula	Võsu Põhikool
63	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Triigi Raamatukogu
64	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Gümnaasium
65	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Lasteaed
66	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Noortekeskus
67	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Päästekool
68	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Raamatukogu
69	Raplamaa	Märjamaa	Haimre Põhikool
70	Raplamaa	Märjamaa	Laukna Lasteaed- Algkool
71	Raplamaa	Märjamaa	Märjamaa Lasteaed Pillerpall
72	Raplamaa	Märjamaa	Sipa Lasteaed- Algkool
73	Raplamaa	Märjamaa	Varbola kool*
74	Raplamaa	Raikküla	Järvakandi Lasteaed-Algkool
75	Raplamaa	Raikküla	Järvakandi Lasteaed-Algkool
76	Raplamaa	Raikküla	Kabala Lasteaed
77	Raplamaa	Raikküla	Kabala Lasteaed-Põhikool
78	Raplamaa	Raikküla	Kabala Põhikool
79	Raplamaa	Raikküla	Kabala Raamatukogu
80	Raplamaa	Raikküla	Raikküla Lasteaed-Algkool
81	Tartumaa	Kambja	Kambja Lasteaed
82	Tartumaa	Kambja	Kambja Noortekeskus
83	Tartumaa	Kambja	Kuuste Põhikool
84	Tartumaa	Kambja	Unipiha Algkool
85	Tartumaa	Tartu	Tartu Annelinna Gümnaasium
86	Tartumaa	Tartu	Tartu Herbert Masingu kool
87	Tartumaa	Tartu	Tartu Kesklinna kool
88	Tartumaa	Tartu	Tartu Kesklinna Lastekeskus
89	Tartumaa	Tartu	Tartu Kommertsgümnaasium



90	Tartumaa	Tartu	Tartu Kroonuaia kool
91	Tartumaa	Tartu	Tartu Kunstigümnaasium
92	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Kannike
93	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Kivike
94	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Kröll
95	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Piilupesa
96	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Pääsupesa
97	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Ristikhein
98	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Rukkilill
99	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Sass
100	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Triinu ja Taavi
101	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Tõruke
102	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Tähtvere
103	Tartumaa	Tartu	Tartu Lastesõim Mesipuu
104	Tartumaa	Tartu	Tartu Mart Reiniku Gümnaasium
105	Tartumaa	Tartu	Tartu Puškini Gümnaasium
106	Tartumaa	Tartu	Tartu Veeriku kool

Radooniohtlike alade lasteasutuste keskmised radoonisisaldused ning neist põhjustatud efektiivdoosid

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi	Keskmine radooni-sisaldus (Bq/m <sup>3</sup> )	Efektiivdoos (mSv) 2000 tunni kohta aastas	Efektiivdoos (mSv) 1800 tunni kohta aastas	Efektiivdoos (900) tunni kohta aastas	Efektiivdoos (mSv) 72tunni kohta aastas
1	Harjumaa	Harku	Harku Lasteaed	198	1,25	1,11	0,55	
2	Harjumaa	Harku	Harku Noortekeskus	158	1,00			0,04
3	Harjumaa	Harku	Harkujärve Lasteaed-Algkool	206	1,30	1,15	0,58	
4	Harjumaa	Harku	Rannamõisa Lasteaed	251	1,58	1,40	0,70	
5	Harjumaa	Harku	Tabasalu Raamatukogu	461	2,90			0,11
6	Harjumaa	Harku	Tabasalu Teelahkme Lasteaed	130	0,82	0,73	0,36	
7	Harjumaa	Harku	Tabasalu Tibutare Lasteaed	439	2,77	2,46	1,23	
8	Harjumaa	Harku	Tabasalu Ühisgümnaasium	261	1,64	1,46	0,73	
9	Harjumaa	Harku	Vääna Lasteaed-Algkool	357	2,25	2,00	1,00	
10	Harjumaa	Jõelähtme	Kaberneeme Raamatukogu	82	0,52			0,02
11	Harjumaa	Jõelähtme	Kostivere Lasteaed	249	1,57	1,39	0,70	
12	Harjumaa	Jõelähtme	Kostivere Põhikool	111	0,70	0,62	0,31	
13	Harjumaa	Jõelähtme	Kostivere Raamatukogu	112	0,71			0,03
14	Harjumaa	Jõelähtme	Loo Keskkool	186	1,17	1,04	0,52	
15	Harjumaa	Jõelähtme	Loo Lasteaed Pääsupesa	342	2,16	1,92	0,96	
16	Harjumaa	Jõelähtme	Loo Raamatukogu	138	0,87			0,03
17	Harjumaa	Jõelähtme	Neeme Algkool	378	2,38	2,12	1,06	

18	Harjumaa	Jõelähtme	Neeme Lasteaed	153	0,96	0,86	0,43	
19	Harjumaa	Kuusalu	Kolga Keskkool	152	0,96	0,85	0,43	
20	Harjumaa	Kuusalu	Kolga Lasteaed	376	2,37	2,11	1,05	
21	Harjumaa	Kuusalu	Kolga Raamatukogu	54	0,34		0,01	
22	Harjumaa	Kuusalu	Kuusalu Avatud Noortekeskus	270	1,70		0,06	
23	Harjumaa	Kuusalu	Kuusalu Keskkool	141	0,89	0,79	0,40	
24	Harjumaa	Kuusalu	Kuusalu Lasteaed Jussike	77	0,48	0,43	0,21	
25	Harjumaa	Kuusalu	Kuusalu Muusikakool	105	0,66	0,59	0,30	
26	Harjumaa	Kuusalu	Kuusalu Raamatukogu	69	0,44		0,02	
27	Harjumaa	Maardu	Kallavere Keskkool	767	4,83	4,30	2,15	
28	Harjumaa	Maardu	Lasteaed "Rukkilill"	140	0,88	0,78	0,39	
29	Harjumaa	Maardu	Lasteaed "Rõõm"	142	0,89	0,79	0,40	
30	Harjumaa	Maardu	Maardu Gümnaasium	262	1,65	1,47	0,74	
31	Harjumaa	Maardu	Maardu Gümnaasium*	126	0,80	0,71	0,35	
32	Harjumaa	Maardu	Maardu Kunstide Kool	433	2,73	2,42	1,21	
33	Harjumaa	Maardu	Maardu Linna Raamatukogu	201	1,27		0,05	
34	Harjumaa	Maardu	Maardu Põhikool	285	1,80	1,60	0,80	
35	Harjumaa	Maardu	Maardu Rahvamaja	557	3,51		0,13	
36	Harjumaa	Padise	Padise Põhikool	119	0,75	0,66	0,33	
37	Harjumaa	Padise	Padise valla Lasteaed	76	0,48	0,43	0,21	
38	Harjumaa	Padise	Padise valla Lasteaed Harju Risti rühm	176	1,11	0,99	0,49	
39	Harjumaa	Padise	Risti Põhikool	95	0,60	0,53	0,27	
40	Harjumaa	Padise	Risti Põhikool*	105	0,66	0,59	0,29	
41	Harjumaa	Viimsi	Lasteaed Piilupesa	107	0,68	0,60	0,30	
42	Harjumaa	Viimsi	MLA Viimsi Lasteaed	93	0,59	0,52	0,26	
43	Harjumaa	Viimsi	Pargi Lasteaed	104	0,65	0,58	0,29	
44	Harjumaa	Viimsi	Püüksi Põhikool	85	0,54	0,48	0,24	

45	Harjumaa	Viimsi	Viimsi Huvikeskus	152	0,96				0,03
46	Harjumaa	Viimsi	Viimsi Keskool	21	0,13	0,12		0,06	
47	Harjumaa	Viimsi	Viimsi Kunstikool	105	0,66	0,59		0,29	
48	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Keskool	205	1,29	1,15		0,58	
49	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Lasteaed	62	0,39	0,35		0,17	
50	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Muusikakool	135	0,85	0,76		0,38	
51	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Raamatukogu	221	1,40				0,05
52	Ida-Virumaa	Aseri	Rannu Raamatukogu	1203	7,58				0,28
53	Ida-Virumaa	Illuka	Illuka Põhikool*	82	0,51	0,46		0,23	
54	Ida-Virumaa	Illuka	Illuka Põhikool	148	0,93	0,83		0,41	
55	Ida-Virumaa	Illuka	Kuremäe Raamatukogu	126	0,79				0,03
56	Ida-Virumaa	Illuka	Kurtna Laste Päevakeskus	79	0,50	0,44		0,22	
57	Ida-Virumaa	Illuka	Kurtna Raamatukogu	85	0,53				0,02
58	Ida-Virumaa	Jõhvi	Jõhvi Gümnaasium	294	1,85	1,65		0,82	
59	Ida-Virumaa	Jõhvi	Jõhvi Keskraamatukogu	861	5,43				0,20
60	Ida-Virumaa	Jõhvi	Jõhvi Vene Gümnaasium	77	0,49	0,43		0,22	
61	Ida-Virumaa	Jõhvi	Lasteaed "Kalevipoeg"	190	1,20	1,06		0,53	
62	Ida-Virumaa	Jõhvi	Lasteaed "Sipsik"	141	0,89	0,79		0,39	
63	Ida-Virumaa	Kohtla	Järve küla päevakeskus	142	0,89	0,79		0,40	
64	Ida-Virumaa	Kohtla	Krabuli Selts	74	0,47				0,02
65	Ida-Virumaa	Kohtla	Saka Rahvamaja	275	1,74				0,06
66	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Ahtme Gümnaasium*	294	1,85	1,65		0,82	
67	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Ahtme Gümnaasium	123	0,77	0,69		0,34	
68	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Kohtla-Järve Gümnaasium	219	1,38	1,22		0,61	
69	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Kohtla-Järve Vene Gümnaasium	78	0,49	0,43		0,22	
70	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Buratino	49	0,31	0,28		0,14	
71	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Kakuke	206	1,30	1,15		0,58	

72	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Karuke	54	0,34	0,30	0,15	
73	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Lepatriinu	262	1,65	1,47	0,73	
74	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Muinasjutt	104	0,66	0,59	0,29	
75	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Pääsuke	91	0,57	0,51	0,25	
76	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tareke	146	0,92	0,82	0,41	
77	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tuhkatrinu	98	0,62	0,55	0,27	
78	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tuvike	466	2,94	2,61	1,31	
79	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Vahtre Põhikool	78	0,49	0,44	0,22	
80	Ida-Virumaa	Lüganuse	Lüganuse Keskkool	288	1,82	1,62	0,81	
81	Ida-Virumaa	Lüganuse	Lüganuse Raamatukogu	452	2,85		0,10	
82	Ida-Virumaa	Lüganuse	Lüganuse Rahvamaja	553	3,48		0,13	
83	Ida-Virumaa	Lüganuse	Purtse Külaselts	430	2,71		0,10	
84	Ida-Virumaa	Lüganuse	Varja Raamatukogu	392	2,47		0,09	
85	Ida-Virumaa	Maidla	Maidla Põhikool	60	0,38	0,34	0,17	
86	Ida-Virumaa	Maidla	Maidla Rahvamaja	44	0,28		0,01	
87	Ida-Virumaa	Mäetaguse	Mäetaguse Raamatukogu	1756	11,06		0,40	
88	Ida-Virumaa	Mäetaguse	Kiikla Raamatukogu	151	0,95		0,03	
89	Ida-Virumaa	Mäetaguse	Mäetaguse Lasteaed Tõruke	208	1,31	1,16	0,58	
90	Ida-Virumaa	Mäetaguse	Mäetaguse Põhikool	128	0,81	0,72	0,36	
91	Ida-Virumaa	Mäetaguse	Pagari Raamatukogu	134	0,85		0,03	
92	Ida-Virumaa	Sillamäe	Astangu Kool	242	1,53	1,36	0,68	
93	Ida-Virumaa	Sillamäe	Eesti Põhikool	212	1,33	1,19	0,59	
94	Ida-Virumaa	Sillamäe	Kannuka Kool	89	0,56	0,50	0,25	
95	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Helepunased Purjed	95	0,60	0,53	0,27	
96	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Jaaniussike	297	1,87	1,66	0,83	
97	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Päikseke	169	1,07	0,95	0,48	
98	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Pääsupesa	70	0,44	0,40	0,20	

99	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Rukkilill	88	0,55	0,49	0,25	
100	Ida-Virumaa	Sillamäe	Linna Raamatukogu	173	1,09			0,04
101	Ida-Virumaa	Sillamäe	Sillamäe Kultuurikeskus	203	1,28			0,05
102	Ida-Virumaa	Sillamäe	Vanalinna Kool	100	0,63	0,56	0,28	
103	Ida-Virumaa	Sonda	Erra Lasteaed	127	0,80	0,71	0,36	
104	Ida-Virumaa	Sonda	Sonda Lasteaed	86	0,54	0,48	0,24	
105	Ida-Virumaa	Sonda	Sonda Põhikool	107	0,68			0,02
106	Ida-Virumaa	Sonda	Sonda Raamatukogu	54	0,34	0,30	0,15	
107	Ida-Virumaa	Toila	Toila Gümnaasium	786	4,95	4,40	2,20	
108	Ida-Virumaa	Toila	Toila Lasteaed	271	1,71	1,52	0,76	
109	Ida-Virumaa	Toila	Voka Lasteaed	330	2,08	1,85	0,93	
110	Ida-Virumaa	Vaivara	Olgina Lasteaed	796	5,01	4,46	2,23	
111	Ida-Virumaa	Vaivara	Sinimäe Põhikool	1087	6,85	6,09	3,04	
112	Ida-Virumaa	Vaivara	Sinimäe Raamatukogu	1480	9,33			0,34
113	Ida-Virumaa	Vaivara	Vaivara Lasteaed	213	1,34	1,19	0,60	
114	Ida-Virumaa	Vaivara	Vaivara Lasteaed*	197	1,24	1,10	0,55	
115	Järvamaa	Kabala	Kabala Lasteaed	64	0,40	0,36	0,18	
116	Järvamaa	Kabala	Kabala Põhikool	60	0,38	0,34	0,17	
117	Järvamaa	Kabala	Türi Kabala Raamatukogu	61	0,39			0,01
118	Järvamaa	Kabala	Türi Kabala Raamatukogu*	36	0,23			0,01
119	Lääne-Virumaa	Haljala	Aaspere Põhikool	67	0,42	0,37	0,19	
120	Lääne-Virumaa	Haljala	Aaspere Raamatukogu	365	2,30			0,08
121	Lääne-Virumaa	Haljala	Haljala Gümnaasium	151	0,95	0,85	0,42	
122	Lääne-Virumaa	Haljala	Haljala Lasteaed	74	0,47	0,42	0,21	
123	Lääne-Virumaa	Haljala	Varangu Raamatukogu	116	0,73			0,03
124	Lääne-Virumaa	Rägavere	Põlula Põhikool	98	0,62	0,55	0,27	
125	Lääne-Virumaa	Rägavere	Ulvi Lasteaed	76	0,48	0,43	0,21	

126	Lääne-Virumaa	Rägavere	Ulvi Raamatukogu	149	0,94				0,03
127	Lääne-Virumaa	Rägavere	Viru-Kabala Raamatukogu	219	1,38				0,05
128	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Aluvere Põhikool	367	2,31	2,06	1,03		
129	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Roodevälja Noortetuba	113	0,72				0,03
130	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Sõmeru Lasteaed Pääsusilim*	147	0,93	0,82	0,41		
131	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Sõmeru Lasteaed Pääsusilim	239	1,51	1,34	0,67		
132	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Sõmeru Noortetuba	364	2,29				0,08
133	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Ubja Noortetuba	179	1,13				0,04
134	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Uhtna Põhikool	147	0,93	0,82	0,41		
135	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Porkuni Kool	216	1,36	1,21	0,61		
136	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Sääse Lasteaed	181	1,14	1,02	0,51		
137	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Gümnaasium	658	4,14	3,68	1,84		
138	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Kultuurimaja	124	0,78	0,69	0,35		
139	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Lasteaed Kröll	164	1,04	0,92	0,46		
140	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Raamatukogu	136	0,85	0,76	0,38		
141	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Vajangu Lasteaed	263	1,66	1,47	0,74		
142	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Vajangu Põhikool	363	2,29	2,03	1,02		
143	Lääne-Virumaa	Vihula	Palmse laste Mängurühm	435	2,74	2,43	1,22		
144	Lääne-Virumaa	Vihula	Võsu laste Mängurühm	55	0,35	0,31	0,16		
145	Lääne-Virumaa	Vihula	Võsu Põhikool	85	0,54	0,48	0,24		
146	Lääne-Virumaa	Viru-Nigula	Vasta Põhikool	685	4,32	3,84	1,92		
147	Lääne-Virumaa	Viru-Nigula	Viru-Nigula Lasteaed	208	1,31	1,16	0,58		
148	Lääne-Virumaa	Viru-Nigula	Viru-Nigula Raamatukogu	245	1,54				0,06
149	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Kiitsi Põhikool	153	0,97	0,86	0,43		
150	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Triigi Raamatukogu	58	0,36				0,01
151	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Gümnaasium	54	0,34	0,30	0,15		
152	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Gümnaasiumi Algkool	205	1,29	1,15	0,57		

153	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Lasteaed	63	0,40	0,35	0,18	
154	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Noortekeskus	51	0,32			0,01
155	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Päästekool	94	0,59	0,53	0,26	
156	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Raamatukogu	65	0,41			0,01
157	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Õppekeskus	128	0,81	0,72	0,36	
158	Raplamaa	Märjamaa	Haimre Põhikool	83	0,52	0,46	0,23	
159	Raplamaa	Märjamaa	Lasteaed Karikakar	216	1,36	1,21	0,61	
160	Raplamaa	Märjamaa	Lasteaed Midrimaa	169	1,07	0,95	0,47	
161	Raplamaa	Märjamaa	Lasteaed Muumi	255	1,61	1,43	0,71	
162	Raplamaa	Märjamaa	Laukna Lasteaed- Algkool	99	0,62	0,55	0,28	
163	Raplamaa	Märjamaa	Märjamaa Gümnaasium	175	1,10	0,98	0,49	
164	Raplamaa	Märjamaa	Märjamaa Lasteaed Pillerpall	127	0,80	0,71	0,36	
165	Raplamaa	Märjamaa	Märjamaa Muusika- ja Kunstikool	207	1,30	1,16	0,58	
166	Raplamaa	Märjamaa	Märjamaa Sotsiaalabi	390	2,46			0,09
167	Raplamaa	Märjamaa	Sipa Lasteaed- Algkool	118	0,75	0,66	0,33	
168	Raplamaa	Märjamaa	Valgu Põhikool Valgu Lasteaed	152	0,96	0,85	0,43	
169	Raplamaa	Märjamaa	Varbola Kool	198	1,25	1,11	0,55	
170	Raplamaa	Raikküla	Järvakandi Lasteaed-Algkool	120	0,75	0,67	0,34	
171	Raplamaa	Raikküla	Kabala Lasteaed-Põhikool	112	0,71	0,63	0,32	
172	Raplamaa	Raikküla	Kabala Raamatukogu	129	0,81	0,72	0,36	0,03
173	Raplamaa	Raikküla	Raikküla Lasteaed-Algkool	125	0,79	0,70	0,35	
174	Tartumaa	Kambja	Kambja Lasteaed	72	0,45	0,40	0,20	
175	Tartumaa	Kambja	Kambja Noortekeskus	73	0,46	0,41	0,20	
176	Tartumaa	Kambja	Kambja Põhikool	147	0,93	0,83	0,41	
177	Tartumaa	Kambja	Kammeri Kool	152	0,96	0,85	0,43	
178	Tartumaa	Kambja	Kuuste Põhikool	130	0,82	0,73	0,37	
179	Tartumaa	Kambja	Unipiha Algkool	93	0,59	0,52	0,26	



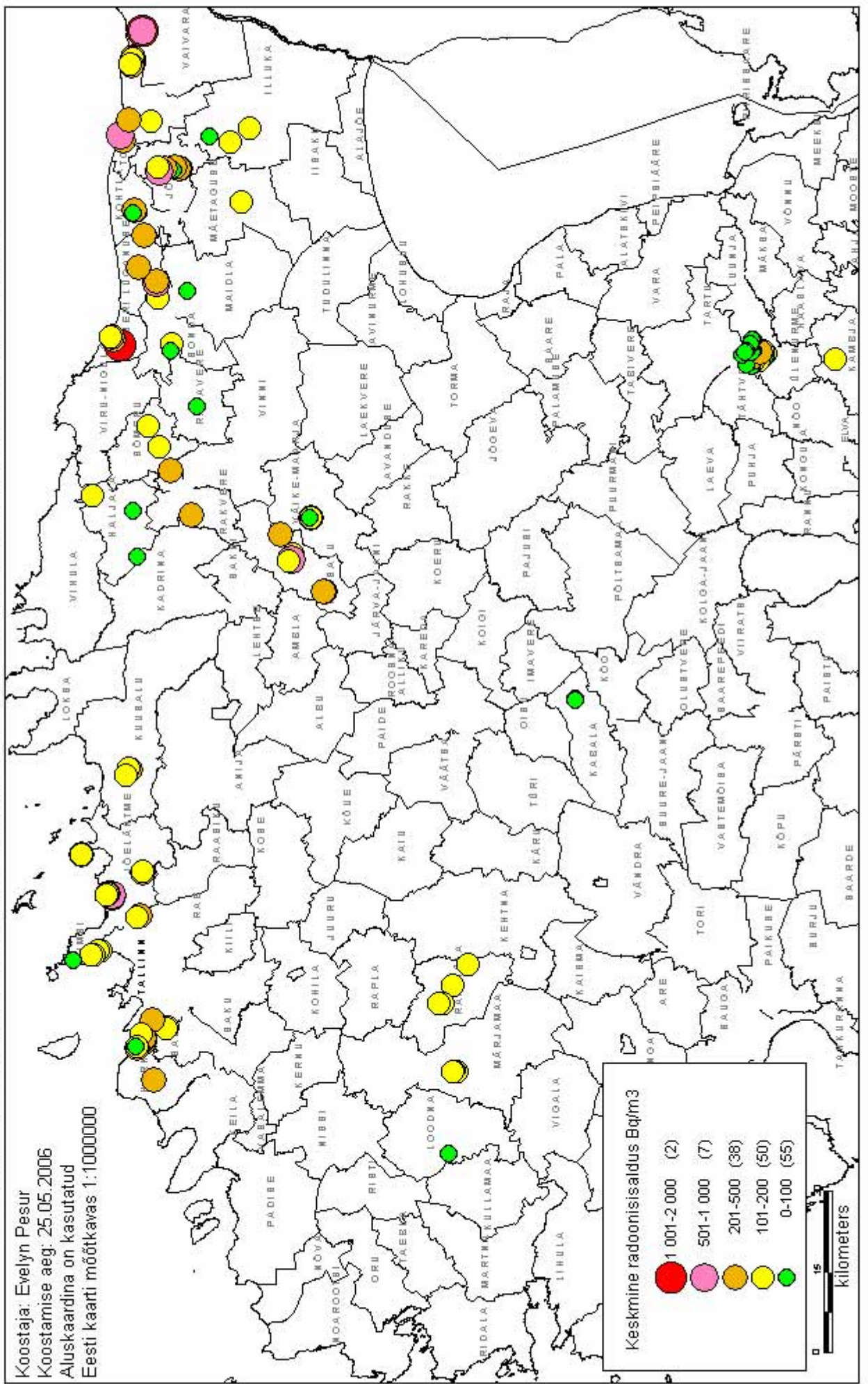
180	Tartumaa	Tartu	Hugo Treffneri Gümnaasium	92	0,58	0,52	0,26
181	Tartumaa	Tartu	Tartu Annelinna Gümnaasium	35	0,22	0,19	0,10
182	Tartumaa	Tartu	Tartu Forsetuuse Gümnaasium	295	1,86	1,65	0,83
183	Tartumaa	Tartu	Tartu Herbert Masingu Kool	84	0,53	0,47	0,23
184	Tartumaa	Tartu	Tartu Karlova Gümnaasium	66	0,41	0,37	0,18
185	Tartumaa	Tartu	Tartu Kesklinna Kool	76	0,48	0,43	0,21
186	Tartumaa	Tartu	Tartu Kesklinna Lastekeskus	87	0,55	0,49	0,24
187	Tartumaa	Tartu	Tartu Kommertsgümnaasium	68	0,43	0,38	0,19
188	Tartumaa	Tartu	Tartu Kroonuaia Kool	64	0,40	0,36	0,18
189	Tartumaa	Tartu	Tartu Kunstigümnaasium	76	0,48	0,42	0,21
190	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Kannike	46	0,29	0,26	0,13
191	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Kivike	71	0,45	0,40	0,20
192	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Kröll	70	0,44	0,39	0,20
193	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Piilupesa	74	0,47	0,42	0,21
194	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Päkapiikk	288	1,82	1,62	0,81
195	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Pääsupesa	69	0,43	0,38	0,19
196	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Ristikhein	106	0,67	0,59	0,30
197	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Rukkilill	128	0,80	0,71	0,36
198	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Sass	95	0,60	0,53	0,27
199	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Triinu ja Taavi	72	0,46	0,41	0,20
200	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Tõruke	75	0,48	0,42	0,21
201	Tartumaa	Tartu	Tartu Lasteaed Tähtvere	50	0,32	0,28	0,14
202	Tartumaa	Tartu	Tartu Lastesõim Mesipuu	38	0,24	0,21	0,11
203	Tartumaa	Tartu	Tartu Maarjamõisa Lasteaed	168	1,06	0,94	0,47
204	Tartumaa	Tartu	Tartu Mart Reiniku Gümnaasium	78	0,49	0,44	0,22
205	Tartumaa	Tartu	Tartu Puškini Gümnaasium	51	0,32	0,29	0,14
206	Tartumaa	Tartu	Tartu Raatuse Gümnaasium	73	0,46	0,41	0,21

207	Tartumaa	Tartu	Tartu Tamme Gümnaasium	150	0,95	0,84	0,42	
208	Tartumaa	Tartu	Tartu Veeriku Kool	39	0,25	0,22	0,11	
			Lasteaiaid ning lasteaed-alkkoolid keskmine	176	1,11	0,98	0,49	
			Koolid keskmine	187	1,18	1,05	0,52	
			Huvikeskused keskmine	244	1,54			0,06
			Raamatukogud keskmine	328	2,07			0,08
			Kokku keskmine	195	1,23	1,09	0,55	0,04

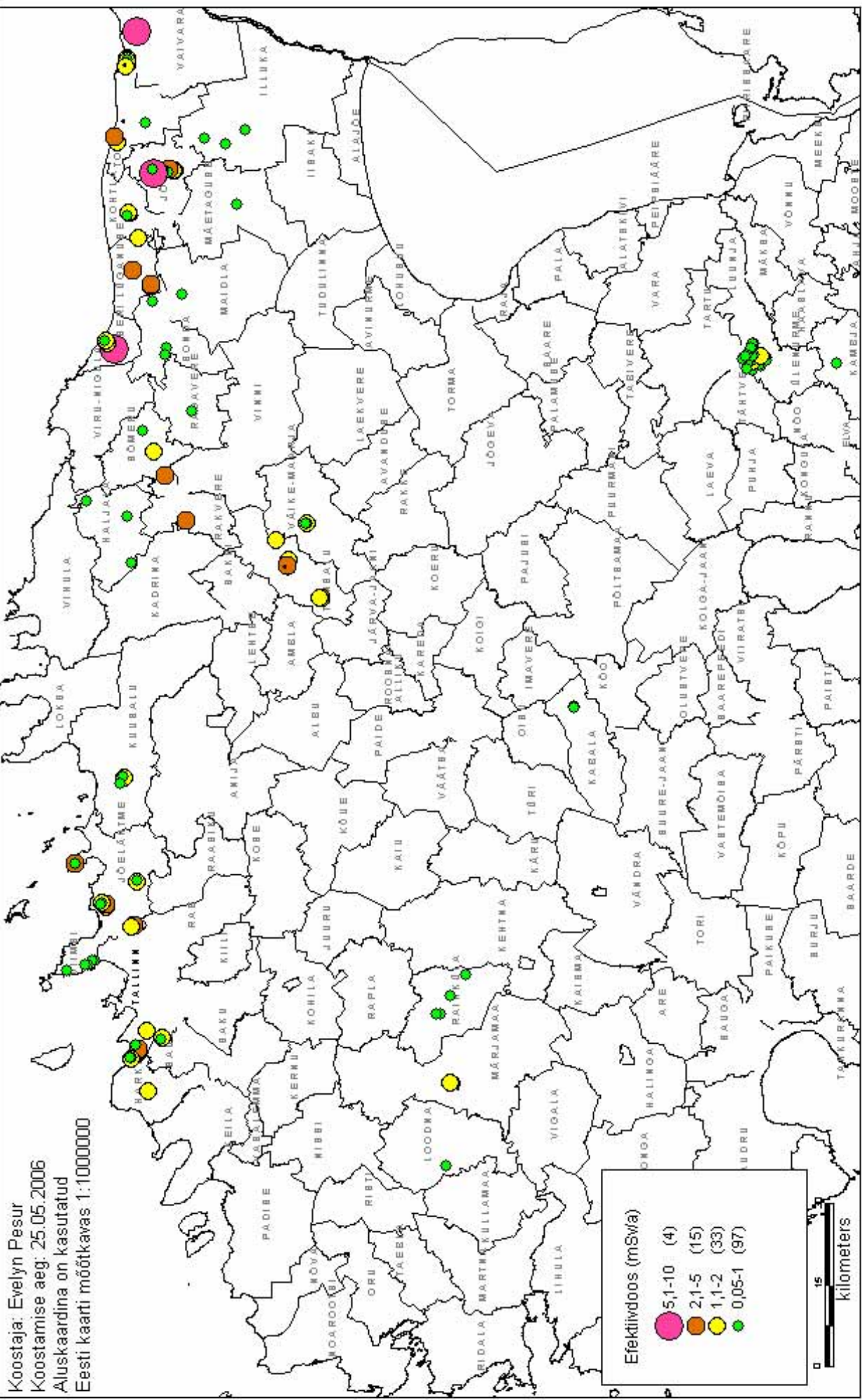
\* kahe asutusega hoone vanem hoone

### KESKMISED RADOONISISALDUSED RADOONIOHTLIKE ALADE LASTEASUTUSTE SISERUUMIDES

Koostaja: Evelyn Pesur  
Koostamise aeg: 25.05.2006  
Aluskaardina on kasutatud  
Eesti kaarti mõõtkavas 1:1000000



RADOONIST PÕHJUSTATUD EFEKTIIVDOOS RADOONIOHTLIKE LASTEASUTUSTE SISERUUMIDES 2000 TÖÖTUNNI JOOKSUL AASTAS



Koostaja: Evelyn Pesur  
 Koostamise aeg: 25.05.2006  
 Aluskaardina on kasutatud  
 Eesti kaarti mõõtkavas 1:1000000

Efektiivdoos (mSv/a)	
5,1-10	(4)
2,1-5	(15)
1,1-2	(33)
0,05-1	(97)

