

EESTI MEREAKADEEMIA
Merendusteaduskond
Hüdrometeoroloogia õppetool

Viktorija Nazimova
RADOONITASE LASTEASUTUSTES
IDA- JA LÄÄNE-VIRUMAAL
Lõputöö

Juhendaja: Lia Pahapill

Tallinn 2011

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

"....." 200.... a.

Autor.....
/allkiri ja kuupäev/

Õpperühm:

Töö vastab kehtivatele nõuetele.

"....." 200.... a.

Juhendaja.....
/allkiri ja kuupäev/

Kaitmisele lubatud:

"....." 200.... a.

.....

Kaitstud hindele:

.....

"....." 200.... a.

.....

SISUKORD

SISUKORD	3
SUMMARY	5
LÜHENDITE LOETELU.....	7
SISSEJUHATUS	8
1. RADOON	11
1.1 Ioniseeriv kiirgus	11
1.2 Radooni teke ja füüsilised omadused	12
1.3 Radooni avastamise ajalugu	14
1.4. Radooniuuringud Eestis.....	14
1.4 Radooni mõju tervisele.....	16
1.5 Radoonitasenormeerimist	19
2.1 Radooni mõõtmised hoonete siseõhus.....	21
2.1.1 Alfajälg meetod	21
2.1.2 Elektreetmeetod	22
2.1.3 Aktiivmeetod	22
3. UURITAVATE OBJEKTIDE VALIK.....	23
3.1 Radooniohtlikud alad Eestis	23
3.2 Uuritavad lasteasutused	23
3.3 Mõõtmiste tegemise ja andmete kogumise korraldamine	23
4. RADOONISISALDUSED IDA- JA LÄÄNE-VIRUMAA LASTEASUTUSTES.....	26
4.1 Töökoha radoonist põhjustatud kiirgusdoosid.....	29
4.2 Radoonist põhjustatud efektiivdoosid	30
5. MEETMED RADOONITASEME ALANDAMISEKS	31
5.1 Radooni saatmine hoonesse.....	32
5.2 Radoonitaseme vähendamine	34
5.2.1 RADOONISISALDUSE VÄHENDAMINE EHITAVAS HOONES	34
5.2.1.1 Radoonikile.....	35
5.2.1.2 Alarõhu meetod	36
5.2.1.3 Membraanid.....	36
5.2.1.4 Õhkpadja meetod	36
5.2.1.5 Põrandaaluse ventileerimine.....	37
5.2.1.6 Radoonikaev	37
5.2.1.7 Ventilatsioon	38
5.2.2.1 RADOONISISALDUSE VÄHENDAMINE OLEMASOLEVAS HOONES	38
5.2.2.2 Visuaalselt nähtavate aukude ja pragude kõrvaldamine	38
5.2.2.3 Põranda väljavahetamine	39
5.2.2.4 Ventilatsiooni paigaldamine	39

5.2.2.4 Põrandaaluse ventileerimine.....	39
5.2.2.5 Väljaspool hoonet tehtavad tööd	39
KOKKUVÕTTE.....	41
KASUTATUD MATERJALID	42
Lisa 1.	44
Lisa 2.	45
Lisa 3.	46
Lisa 4.	47
Lisa 5.	48
Lisa 6.	49
Lisa 7.	50
Lisa 8	51
Lisa 9	54

SUMMARY

Radon levels in child care institutions in Ida- and Lääne-Virumaa County

Author: Viktorija Nazimova

Language: Estonian

Radon is a colourless, odourless, radioactive gas that occurs naturally in the environment. Radon is a naturally occurring decay product of radium-226, the fifth daughter of uranium-238. It comes from the natural breakdown of uranium in soils and rocks. Radon exits the ground and can seep into your home through holes and cracks in the foundation. In the open air, the amount of radon gas is very small and does not affect a health risk. However, in some confined spaces like basements, underground mines and rooms on the first floor, radon can accumulate to relatively high levels and be a reason of increases the risk of developing lung cancer

Several studies have showed that children are more susceptible to radon exposure than adults, because they have different lung architecture and breathing patterns. The relative risk from domestic radon exposure is also higher for children because they spend more time at home and the child care institutions.

According to the data of the Estonian standard EVS 840:2009 the annual average concentration of radon should be less than 200 Bq/m³ (Becquerel per cubic meter) in the living buildings, offices and the rest rooms, and less than 400 Bq/m³ in the existing houses.

Radon concentrations in air were measured in 83 child care institutions in Ida- and Lääne-Virumaa County. Plastic detectors were used as an a passive method, and the measurements, were carried out in the rooms where children spent the majority of their time. Detectors were exposed for 2-3 months from February to April.

The indoor radon concentrations were different, in the range from 29 to 1087 Bq/m³ of indoor air. Measured radon concentrations in 54-school meets the standard. The calculated annual effective dose from that source for children during their time at in child care institutions were

from 0,07-6,85 mSv per year. There are different measures that result in reduction of the radon level: renovation of the existing basement floors, particularly earth floors; sealing cracks and openings in walls and floors, and around pipes and drains; ventilating the sub-floor of basement floors. Measures to reduce radon concentrations in air were introduced in the instant study process.

LÜHENDITE LOETELU

UNSCEAR - Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni Aatomikiirguse Mõjude Teaduskomitee

ICRP - Rahvusvaheline Kiirguskaitse Komisjon

WHO - Maailma Tervishoiuorganisatsioon

IAEA – Rahvusvaheline Aatomienergiaagentuur

NEHAP - Eesti Keskkonnatervise Riiklik Tegevusplaan

EPA(USEPA)- Ameerika Ühendriikide Keskkonnakaitse Agentuur

Bq/m³ – bekerelli kuupmeetri kohta

mSv – millisiivert

mSv/a – millisiivert aastas

Rn – radoon ja tema tütarproduktid

SISSEJUHATUS

Iga inimest mõjutab kogu tema eluajal looduslikest allikatest tulev ioniseeriv kiirgus; kiirgusallikateks võivad olla ka meditsiinis ja tööstuses kasutatavad seadmed; tuumaenergeetika; tuumarelvakatsetused; sõjatööstus jms. (*Влацкий, 2005*)

Igal aastal saab inimene keskmiselt 0,7 % kiirgus doosist tuumakatsetuste tagajärjel. Tuumaenergeetikast ja teistest tehnogeensetest allikatest põhjustatud saaste moodustab 0,3 %. See-eest meditsiiniuuringud ja ravi annavad sellest doosist juba 34 %. Kuid peamine oht lähtub siiski looduslikest allikatest: looduslik foon annab 22 % kogudoosist, radoon koguni 43% (*Влацкий, 2005*). Loodusliku kiirguse allikatest kõige ohtlikum on radoon. Tema kogus ja pääs maapinnale oleneb pinnasekihtidest ning uraani sisaldava geoloogilise kihi paksusest ja sügavusest maakoos. Nii Maailma Tervishoiuorganisatsioon (WHO), Rahvusvaheline Radioloogilise Kaitse Komisjon (ICRP) kui ka Rahvusvaheline Aatomienergia Agentuur (IAEA) pööravad tähelepanu radooniprobleemile ja radoonist tuleneva terviseriski vähendamisele. Nimetatud rahvusvahelised organisatsioonid soovivad riikidel läbi viia spetsiaalseid radooniuuringute programme, et informeerida elanikkonda radooniga seondvatest ohtudest ja nende vältimise võimalustest. 1999. aastal koostatud Eesti Keskkonnatervise Riikliku Tegevusplaani (NEHAP) järgi kuulub radoon meil enam levinud terviseohtlike keskkonnategurite hulka.

Vastavalt Briti Kiirguskaitse Büroo arvestustele sureb Suurbritannias igal aastal radooni tõttu kopsuvähki 2500 inimest. Keskkonnaagentuuri andmetel sureb USAs igal aastal 20000 inimest onkoloogilistesse haigustesse, mis on tekkinud tõenäoliselt radoonist ja tema tütarproduktidest (*Уткин, 2000*).

Esmakordselt oli looduslikult esinevate radioaktiivsete isotoopide mõju tervisele näha inimestel, kes töötasid uraanikaevandustes. Oli teada, et kaevurid põevad tundmatut kopsuhaigust, mis lõpuks tuvastati kui kopsuvähk. Edaspidi teadvustati radooni olemasolu ka eluruumides. Radooni probleemi olemust eluruumides on praegu tunnustatud kogu maailmas.

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

emissioonid ning maapind, millele on hoone ehitatud. Kõiki neid faktoreid tuleks arvestada radooni mõõtmistulemuste hindamisel ning kõrgema kontsentratsiooni puhul leevendusmeetmete valimisel.

Eestis tõusis huvi radooniprobleemivastu 1988. aastal seoses nn Sillamäe juhtumiga, kus lasteaialastel ilmnenud juuste väljalangemise ühe põhjusena kahtlustati uraanirikast pinnasest pärinevat radooni. Enam kui 20 aastat toimunud süstemaatiliste radooniuuringute tulemusena on Eestis välja selgitatud radooniohtlikumad piirkonnad ja koostatud esialgne radooni riskialade kaart (Petersell jt, 2005), alates 2000. aastast eksisteerib meie riigis ka ehitusstandard ehitavate hoonete radoonitasemele – 200 Bq/m³ (EVS 840:2000). Uurimistöö toimub peamiselt kahes valdkonnas: ühelt poolt geoloogilised uuringud pinnaseõhu radoonisisalduse selgitamiseks ja teisalt radooni aktiivsuskontsentratsioonide mõõtmised hoonetes. Tänapäevaks enam kui 2000 majas tehtud mõõtmised hõlmavad peamiselt elamuid, vähem töökohti ja lasteasutusi. Samas peaksid lasteasutused olema erilise tähelepanu all, sest laste organism on tavaliselt tundlikum kahjulike keskkonnatingimuste suhtes. Radooniprobleemi meie lasteasutustes käsitleti 2005. aastal Tallinna Ülikoolis kaitstud magistritöös radooniohtlike alade lasteasutuste kohta (Pesur, 2005), milles vaadeldi koole ja lasteaedu ning Eesti Mereakadeemias valminud lõputöös radoonist Tallinna lasteaedades (Preiman, 2009). Lastekodudele, kus lapsed viibivad enamuse ajast, on seni uuringutes vähe tähelepanu pööratud. Osaliselt kajastati radoonimõõtmisi meie lastekodudes 2010. aastal Eesti Mereakadeemias kaitstud lõputöös radoonist Eesti erinevates tööpaikades (Vait, 2010).

Andmed radiatsiooni mõjust lastele on üsna piiratud, kuid rida uuringuid on näidanud, et lapsed on täiskasvanutest enam vastuvõtlikud radooni mõjutustele lapse organismi madalama vastupanuvõime tõttu (*Alpha Track... 2011*).

Lasteasutustes veedavad lapsed olulise osa ööpäevast. Lasteaiaid ja lastekodud on tavaliselt madalad mõnekorruselised majad, paljud rühmatoad ja magamisruumid asuvad esimestel korrustel ja radoonikontsentratsioon neis võib olla väga kõrge.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on välja selgitada, milline on siseõhu radoonitase Lääne- ja Ida-Virumaa lasteasutustes ja hinnata neis radoonist põhjustatud efektiivdoose.

Lähtuvalt töö eesmärgist püstitati järgnevad küsimused ja neist tulenevad tööhüpoteesid:

1. Milline on siseõhus radoonitase Lääne- ja Ida-Virumaa lasteasutustes?

Tööhüpotees: enamuses uuritavates lasteasutustes radoonitasemed vastavad normile.

2. Millised on radoonist saadavad efektiivdoosid lasteasutustes?

Tööhüpotees: mõnedes lasteasutuses saadavad efektiivdoosid võivad ületada Eesti keskmist radoonist saadava efektiivdoosi.

3. Kas on võimalik radoonisisaldust hoonetes alandada? Millised meetmed on meil kasutusel?

Tööhüpotees: radoonitaseme alandamiseks hoonetes on Eestis olemas erinevaid meetmeid.

1. RADOON

1.1 Ioniseeriv kiirgus

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

Vabanenud osakesed ja gammakvandid on võimelised ioniseerima ümbritsevat ainet. Seepärast nimetatakse vabanenud osakeste ja gammakvantide voogu ioniseerivaks kiirguseks. Kiirguskaitse seisukohalt on ioniseeriv kiirgus see, mis on võimeline tekitama bioloogilises koes ioonpaare (Kiirguskaitse sõnastik, 1997). Radioaktiivsel lagunemisel tekib põhiliselt kolme liiki ioniseerivatkiirgust: alfa-, beeta- ja gammakiirgus.

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

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

Gammakiirgus on gammakvantide voog. Gammakvandid on vägasuure läbimisvõimega ja neid suudab peatada alles 5 sentimeetri paksune seatinakiht või poolemeetiline betoonikiht

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

Radionukliidid võivad esineda puhtal kujul või mõne ainekoostises. Kui aines on radionukliidide suurel hulgal, nimetatakse seda ainet radioaktiivseksaineks. Olenevalt aines

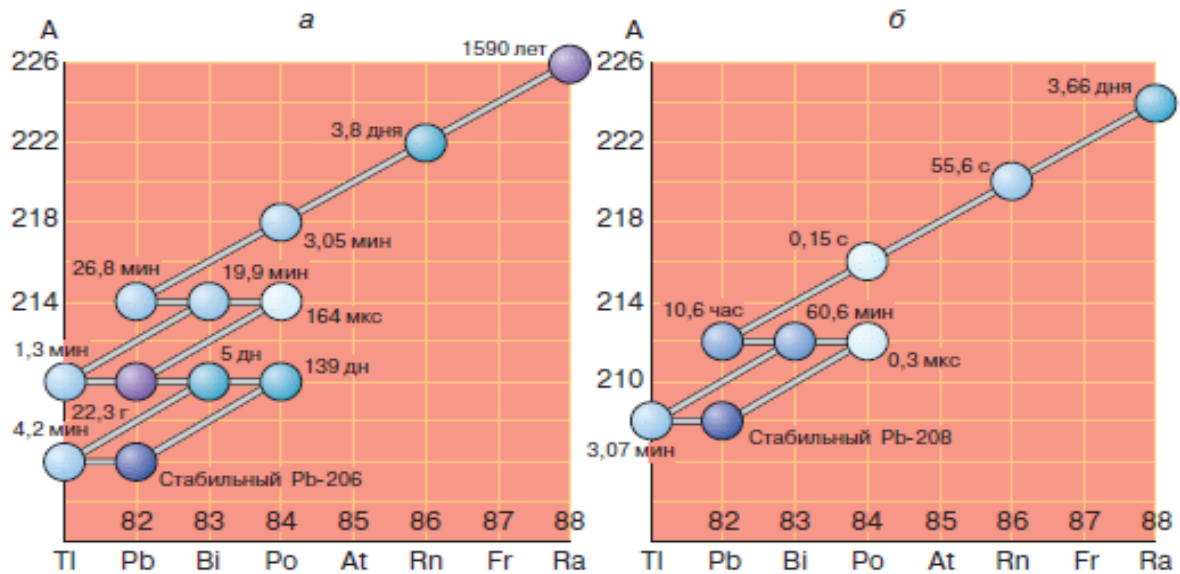
sisalduvate radionukliidide hulgast ja nende poolestusaja kestusest toimub aines iga ajaühiku jooksul kindel arv tuumalagunemisi. Ainele omast tuumade lagunemiskiirust nimetatakse selle aine aktiivsuseks ja aktiivsuse mõõtühik on bekerell (Bq), mis vastab ühele tuumalagunemisele sekundis.

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

1.2 Radooni teke ja füüsikalised omadused

Maakoor sisaldab oma tekkimisest peale radioaktiivseid elemente, mis tekitavad looduslikku kiirgusfooni. Kivimites, atmosfääris, pinnases, taimedes, elusorganismide kudedes leidub radioaktiivseid isotoope nagu kaalium-40, rubiidium-87, uraan-235 ja toorium-232. Mõned nukliidid on ligi 4,5 miljardit aastat vanad. Nad on säilinud vaid seetõttu, et radioaktiivsete perekondade emade poolestusajad on suured, näiteks uraan-238 puhul $4,5 \cdot 10^9$ aastat, uraan-235 puhul $0,7 \cdot 10^9$ aastat (Уткин, 2000).

Iga lüli radioaktiivses ahelas moodustub kiirusega, mille määrab eelneva nukliidi poolestusaeg, ent laguneb vastavalt oma poolestusajale. Sel viisil kehtib lülides lagunemisel tasakaal, see tähendab, et nii palju kui laguneb tütarelemente, nii palju tekib neid juurde vastavalt emanukliidide poolestusaegadele. Pärast pikka muundumisprotsessi moodustuvad lõpuks radionukliidide perekondades stabiilsed plii isotoobid (Joonis 1).



Joonis 1. Uraan-238 (a) ja toorium-232 (b) radioaktiivse lagunemise read (Уткин, 2000).

Radoon on inertne, värvuse ja lõhnata gaas, mis kuulub Mendelejevi perioodilisusesüsteemi radioaktiivsete keemiliste elementide 8. gruppi. Radoon on elementide perioodilisussüsteemi 86. element, tema aatommass on 222.

1899.-1903. a. F. Dorn, ja E. Rutherford avastasid, et uraanipreparaadid, toorium ja aktinium eraldavad radioaktiivseid gaase (emanatsioon), mis kujutavad endast, nagu hiljem selgus, elemendi aatomnumbriga 86 isotoope ja, mida hakati nimetama radooniks (Самосюк, 2011).

Radoon on õhust ligi 7,7 korda raskem väärisgaas, mis ei osale keemilistes reaktsioonides ja eraldab lagunemisel ioniseerivat alfa-kiirgust (α -kiirgus). Ta on ainukene looduslikus olekus normaaltingimustes gaasina esinev raskeelement, mis levib õhu koostises või gaasina vees ja tahkestub alles -71°C juures. Pinnases tekib radoon (Rn) uraani (U) ja tooriumi (Th) radioaktiivsel lagunemisel, millede keskmine sisaldus on maakoos vastavalt 2,5 mg/kg ja 10,3 mg/kg. Uraan koosneb põhiliselt kahest isotoobist: uraan-238 (^{238}U), mis moodustab 99,3% ja isotoobist uraan-235 (^{235}U), mis moodustab 0,7%. Uraanist-238 (^{238}U) kujuneb radoon-222 (^{222}Rn) ehk radoon (ka kitsamas mõttes). Uraanist-235 (^{235}U) kujuneb radoon-219 (^{219}Rn) ehk aktinoon. Nende poolestusaeg on väga erinev, radoonil 3,82 ööpäeva, aktinoonil 3,92 sekundit ja toroonil 55,6 sekundit. Kuna aktinooni ja torooni poolestusaeg on väga lühike, hõlmab ^{222}Rn põhjustatud radioaktiivne kiirgus kogu radooni päritoluga kiirgusdoosist üle 93% (UNSCEAR, 1993).

1.3 Radooni avastamise ajalugu

Saksa arst ja loodusuurija Parcelsus juhtis juba 16. sajandil tähelepanu hõbedakaevurite kopsuhaigustele Schneebergis Saksamaal. Haiguse, mida hiljem hakati kutsuma „Schneebergi haiguseks“, sagedus tõusis 17. ja 18 sajandil nii kõrgele, et kaevandustes hakati eelistama lahtiste hõbeda-, vase- ja koobaltikaevanduste kasutamist. 1879. aastal tunti haigus ära kopsuvähina (WHO Regionaalbüroo, 1997).

Schneebergis korraldatud uurimised aastal 1902, näitasid radooni esinemist suurtes kogustes. Sellest ajast on pärit ka väide, et radooni kontsentratsioon ja kopsuvähki haigestumine on omavahel seotud. 1920-ndail aastail leidis see väide kinnitust täpsemates uurimustes Schneebergis ja teistes kaevandustes, näiteks Böömimaal, kust pärinesid ka mineraalid, mida kasutas oma uurimustes Marie Curie. Need uurimistulemused ei olnud siiski piisavad üldise heakskiidu saamiseks, sest osa teadlasi kirjutasid kopsuvähi tekke teiste tegurite arvele (Preiman, 2009).

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

Esimest korda kasutati röntgenkiirgust meditsiinilises diagnostikas vähem, kui kuus kuud pärast selle avastamist 1895.aastal. Niisiis mõisteti kiirguse kasulikkust väga vara, sellega koos selgus aga ka kiirguse võimalik ohtlikkus arstide ja kirurgide jaoks, kes 1900. aastate alguses said teadmatuses kiirguse üledoose (Kiirgus...2006).

1.4. Radooniuuringud Eestis

Eestis tõusis radooniprobleem huviorbiiti seoses nn „Sillamäe juhtumiga“ aastal 1988. Ilmnes juuste väljalangemine Sillamäe lasteaialastel, mille põhjusena kahtlustati uraanirikast pinnasest pärinevat radooni. 1988-ndaks aastaks oli radooniprobleemi uuritud Soomes, Rootsis ja USA-s. 1990. aastal kehtestati tolleaegses Nõukogude Liidus, kuhu kuulus ka Eesti NSV ajutised piirnормid radoonikontsentratsioonidele majades (uutes 100 Bq/m³ ja

olemasolevates majades 200 Bq/m³) (Pahapill, 2004).

Aastail 1989-1990 tegeldi siseõhu radooniprobleemiga tollase Eesti Teadusliku Uurimise Instituudi ehitusfüüsika osakonnas. Selles ajavahemikus tehti mõõtmisi enam kui 400 majas, millest 90% olid elamud ja 10% lasteasutused (Pahapill, 2004).

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

Aastatel 1994-1998 läbi viidud radoonimonitooringus (Riikliku Keskkonnaseire Programmi alamprogramm) tehti uuringud 700 majas, peamiselt elamutes. Mõõtmistulemuste aritmeetiline keskmine oli 102 Bq/m³. 65% majadest jäi radoonitase alla 100 Bq/m³ ja 3% ületas 800 Bq/m³ (Pahapill, 2004).

Eesti-Rootsi koostööna valmis ja trükiti 2004. aastal „Eesti radooniriski kaart“ (Petersell jt, 2004). Radooniriski kaardist lähtutakse uute majade ehitamisel, aga kindlasti ka vanade renoveerimisel. Ülevaate radooni sisaldustes Eesti elamutes valdade kaupa annab lisas olev joonis (Lisa 1)

Radooni sisalduse laialdasem, kuid ühtlasi ka kaudne uuring Eesti pinnases ja aluspõhja kivimites algas 1958. aastal riikliku geoloogilise kaardistamise (mõõtkavas 1 : 200 000) käigus uraaniotsingute suunana. Uuringu tulemisena selgitati pinnases ja puuraukudes aluspõhja kivimite loodusliku gammakiirguse tase (Petersell jt, 2004).

Rn, Th ja K sisalduse sihipärane uuring Eesti pinnases algas 1958. aastal, kui alustati Eesti mulla plaanipärast geoloogilist kaardistamist (Petersell jt, 2004).

Uuringud majade radoonisisalduse kohta on tuvastanud Eestis piirkondi, kus radoonikontsentratsioon hoonetes on väga kõrge, mis tõestab, et radooni sisalduse selgitamine Eesti pinnases on aktuaalne ja oluline keskkonnauuringute suund (Petersell jt, 2004).

2006. aasta suvel valmis Kiirguskeskuse poolt projekt „Radoonisisaldus radooniohtlike alade lasteasutuste siseruumides“. Projekti eesmärgiks oli otseste mõõtmiste abil välja selgitada ja

kaardistada siseõhu radooni kontsentratsioon lasteasutustes 30 radooniohtlikumas vallas ja linnas üle Eesti. Radoonisisaldust uuriti kokku 208 hoones. Projekti tulemused on üheks aluseks soovitusliku aktsioonitaseme väljatöötamisele töökohtade jaoks, mille ületamisel tuleks tarvitusele võtta abinõud radoonist tuleneva terviseriski vähendamiseks (Pesur, 2006).

Projekti “Radooni kaardi lõpetamine – radoon hoonete siseõhus piirkondades, kus andmed radoonitasemete kohta puuduvad” eesmärk oli määrata radoonisisaldus piirkondades, kus seni läbi viidud uuringute käigus polnud mõõtmisi teostatud ning millede kohta radoonitasemete andmed puudusid (hinnanguliselt 48 valda ja linna). Projekti raames mõõdeti igas uurimata vallas ja linnas radoonisisaldust umbes 10 elumajas ning 1-2 lasteasutuses. Projekti käigus töötati välja Kiirguskeskuse poolsed soovitused olemasolevate hoonete radoonisisaldusele. Lisaks loodi elektrooniline andmebaas, kuhu kanti selle ning eelnevate radooniuuringutega kogutud andmed (Tänavsuu, Lust, 2008).

2005. aastal valminud uurimustöö “Joogivee radioaktiivsusest põhjustatud terviseriski hinnang”, üldiseks eesmärgiks oli anda hinnang elanike terviseriskile, mis on põhjustatud radioaktiivse joogivee tarbimisest ning analüüsida olukorda ja teha ettepanekuid edasiste tegevuste kavandamiseks. Joogivee tarbimisest põhjustatud elanikudoosi komponendi hindamisel leiti, et EL direktiivi 98/83/EC käsitlese järgi saab kambrium-vendi vett tarvitav täiskasvanud inimene 730 l joogivee aastasest tarbimisest oodatava efektiivdoosi 0,02-0,95 mSv, mis moodustab keskmisest elaniku kogudoosist kuni 34%. Analüüsi tulemusel leiti, et elaniku kogudoos jääb vahemikku 1,5-6,7 mSv/a. Siia on arvestatud ka keskmine radoonist põhjustatud efektiivdoos. Piirkonniti võib ühe või teise kiirgusallika osakaal kogudoosis olla erinev (Joogivee...,2005).

1.4 Radooni mõju tervisele

Rahvastiku tervist mõjutab oluliselt väljaspool inimorganismi asuv keskkond füüsikaliste, bioloogiliste, keemiliste, sotsiaalsete ja psühhosotsiaalsete teguritega, kusjuures mõju tervisele ilmneb sageli alles aastate pärast. Eelkõige mõjutavad keskkonnategurid lapsi, kusjuures alla 5-aastaste arvele langeb koguni 40% keskkonna negatiivsest tervisemõjust. Lisaks lastele on keskkonnamõjudele kõige vastuvõtlikumad veel rasedad ja vanurid (Sotsiaalministeerium, 2011).

Näiteks vastavalt WHO hinnangutele kutsub hoonesisene radoon esile 3-14% kõigist

kopsuvähi juhtudest; see on teine kopsuvähi põhjus paljudes maades (*WHO, 2011*).

Keskkonnatervise all mõistetakse inimeste tervist sõltuvalt keskkonnast ja keskkonna muutmist inimeste tervisele soodsamaks. Ei ole võimalik parandada inimese tervist ainult sotsiaalsete meetmetega, kui pole tagatud keskkonnas (nii elu- kui ka töökeskkonnas) toimivatest ohuteguritest tingitud tervisekahjustuste vältimine. Inimese tervistmõjutavad mitmesugused keskkonnategurid, eelkõige: füüsilised (ioniseeriv ja mitteioniseeriv kiirgus, müra, vibratsioon), keemilised ja bioloogilised, mis võivad oma otsese toimega või elukeskkonna (joogivee, toidu, sise- ja välisõhu, pinnase jms) halvendamise kaudu ebasoodsalt mõjuda inimesetervisele. Elukoha valikul tuleks tähelepanu pöörata piirkonna radooni olukorrale (Sotsiaalministeerium, 2011).

Radiatsioon on suurim inimest mõjutav looduslik ioniseeriva kiirguse allikas enamikes maades. Ainuüksi Suurbritannias põhjustab radoon enam kui 1100 kopsuvähijuhtu aastas. Radooni mõju inimese organismile märgati juba XVI sajandil, mil kaevurite imelik haigus äratas arstiteadlaste tähelepanu. Hiljem näitas Saksamaa ja Tšehhoslovakkia uraanikaevanduse töötajate suremuse analüüs, et 30-50% kaevuritest sureb kopsuvähki. Seepärast intensiivistati radioaktiivsuse mõju uuringuid (*Уткин, 2000*).

Kaevuritele tehtud uuringud kinnitavad radoonist põhjustatud kiiritust, eriti selle kõrge kontsentratsiooni juures, selgelt kopsuvähi riski kasvu nii suitsetajatele kui mittersuitsetajatele. Nende uuringute tulemusel klassifitseeris Rahvusvaheline Vähiuuringute Agentuur 1988.a radooni kui kantserogeeni (*IARC 1988*).

Alates 80ndaist aastaist on arvukalt uuritud ruumides sisalduva radooni ja elanike kopsuvähi juhtude arvu omavahelist seost. Üksikud uuringud ei oleks piisavad tõestusmaterjaliks, et just nimelt radoon mõjutab inimeste tervist. Seepärast koondasid oma andmed uurijad Euroopas (Darby et al 2005, 2006), Põhja-Ameerikas (Krewski et al. 2005, 2006) ja Hiinas (Lubin et al. 2004), ühtseteks analüüsideks (*Environmental, 2008*).

Need kolm koondanalüüsi näitasid selgelt seoseid radoonist põhjustatud kiirgusdoosi ja kopsuvähi riski vahel. Nad tõestasid ümberlükkamatult, et radoon kutsub esile kopsuvähi juhtude arvu kasvu elanike seas. Selgus, et risk haigestuda kopsuvähki ei ole välistatud isegi kiirgustasemel alla 200 Bq/m³, mis praegu on radoonikontsentratsiooni normiks paljudes maades.

Terviseriski seisukohalt on oluline radooni lagunemine lühiealisteks tütarisotoopideks. Need on radioaktiivsed metallioonid, mis kinnituvad õhus leiduvate tolmu- jm osakeste külge või mitmesugustele pindadele. Tänu omadusele kinnituda ruumiõhusolevale aerosoolile, on radooni tütarproduktide hulk õhus sama radoonisisalduse korral tolmuses ja suitsuses ruumis suurem kui puhtas.

Radoon satub organismi sissehingatava õhu kaudu. Organismis jätkub radooni ning selle tütarproduktide edasine lagunemine, mille tulemusena vabaneb alfa-kiirgus. Alfa-kiirguse vabanemine organismides võib põhjustada hingamisteede- ja kopsuvähki. (kiirguskeskuse teabematerjal).

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

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

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

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

Kopsuvähk on Eestis sagedaseimaks vähisurmade põhjuseks moodustades neist 21%. Eesti Vähiregistri andmeil registreeritakse meil keskmiselt 700 uut kopsuvähijuhtu aastas. Mitu uut haigusjuhtu neist võiks olla põhjustatud radoonist elamutes? Sellele küsimusele püüti vastata tuginedes riikliku uuringu käigus saadud näitajatele erinevate radoonikontsentratsioonide statistilisest jaotusest meie elamutes ja Karolinska Instituudi epidemioloogilisele uuringule radoonist tuleneva kopsuvähi riski kohta. Selgus, et radoon meie kodudes põhjustab 12% ehk

ligikaudu 90-100 uut kopsuvähijuhtu aastas, millest omakorda 87% moodustab see osa (32%) elanikkonnast, kes suitsetab ja kõigest 13% langeb mittedsuitsetajate arvele (Pahapill. 2004).

1.5 Radoonitasemete normeerimist

Ülemaailmne Tervishoiuorganisatsioon (WHO) kutsus maid üles looma või tugevdama olemasolevaid programme radoonitaseme piiramiseks elumajades ja lasteasutustes. Enamik Euroopa riike on kehtestanud radooni piirväärtusedelamutele ja töökohtadele. Riigiti on need erinevad, jäädes vahemikku 150 Bq/m³ – 1000 Bq/m³ sõltuvalt sellest, kas tegemist on olemasolevate või planeeritavate hoonetega, elu- või tööruumidega. Põhjamaad (Taani, Soome, Island, Norra ja Rootsi) soovivad tegutsemistasemeks nii olemasolevates elamutes kui ka maapealsetes töökohtades 400 Bq/m³, 200 Bq/m³ aga uurimistasemena olemasolevatele ja soovitatava ülemise piiritasemena uutele hoonetele (Tänavsuu, Lust, 2008).

Eesti standard EVS 840:2009 “Radooniohutu hooneprojekteerimine“ sätestab, et hoonete elu-, puhke- ja tööruumides peab aasta keskmine radoonisisaldus olema väiksem kui 200 Bq/m³. (EVS, 2009).

Vastavalt Eesti standardile EVS 840:2009 “Radooniohutu hoone projekteerimine” liigitatakse pinnased radooni emissiooni põhjal ja sellest tulenevad meetmed radooniohu vältimiseks majades. (tabel 1).

Tabel 1: Pinnase liigitus radooni emissiooni põhjal (EVS 840:2009)

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

Madala ja normaalse radoonisisaldusega pinnase puhul ei ole nõutavad spetsiaalsed radoonitõkestusmeetmed, kuid kui on kõrge või üli kõrge radoonisisaldus pinnase õhus, siis on vaja projekteerida radooniohutut hoonet vastavalt EVS standardile EVS 840:2009 „Radooniohutu hoone projekteerimine“.Uurimistöo „Radooni kaardi lõpetamine- radoon hoonete siseõhus piirkondades, kus andmed radoonitasemete kohta puuduvad“ üheks eesmärgiks oli ka Kiirguskeskuse poolsete soovitude väljatöötamine olemasolevatele hoonetele nii elu- kui ka töökohtadele. Olemasolevate hoonete eluruumide ning tihedalt kasutatavate töökohtade nagu lasteasutused, hooldekodud, vanglad jne. on Kiirguskeskuse poolseks soovituslikuks piirmääraks 400 Bq/m³, kuid meetmete rakendamine on õigustatud, kui radooni kontsentratsioon ületab 600 Bq/m³ (Tänavsuu, Lust 2008).

Soovituste kohaselt on töökohtades radoonisisalduse vähendamise meetmete rakendamine õigustatud, kui kontsentratsioonid ületavad väärtust 1000 Bq/m³.

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1 Radooni mõõtmised hoonete siseõhus

Igas ruumis on olemas mingi kogus radooni, see sõltub ehituse kvaliteedist ja konstruktsioonist, samuti geoloogilistest teguritest, muutuvatest ilmastikuoludest ning elanike elustiilist (tuulutamisagedus, tubade asetus jne).

Kõige õigem on mõõta radoonitaset hoones kütmisperioodil, sest just siis on mõõtmise tulemused kõige täpsemad. Radoonitaset mõõdetakse hoone keldri- või esimesel korrusel, mõnedel juhtudel ka teise korruse elu- või tööruumides. Lasteasutustes mõõdetakse peamiselt klasse ja magamisruume, kus lapsed ja töötajad veedavad suurema osa ajast.

Õigemate tulemuste saamiseks tuleks mõõtmisi teha pikema aja vältel ja mitte vähem kui 2-3 kuud. Radooni mõõtmisel kasutatakse peamiselt kolme meetodit: alfajälgmeetod, elektreetmeetod ja aktiivmeetod.

2.1.1 Alfajälg meetod

EPA andmetel on pikaajaline test parim viis teha kindlaks radoonisisaldust erinevatel aastaagadel ning erinevates ruumides võimaldades saada tõesemaid andmeid ja vältida vigu (*Alpha Track... 2011*).

Alfajälgmeetod on passivne mõõtmismeetod, kus alfatundlikud filmid jäetakse ruumidesse enam kui 90 päevaks, see võimaldab uurida radoonitaset tavalistes elutingimustes. Alfajälg detektor võtab arvesse kõik testimise ajal olnud ilmamuutused. Ilm ja ruumide ventileerimine võivad mõjuda hoone radoonitasemele, alfajälgmeetodi abil uuritakse radoonitaset muutavas olukorras, näiteks suletud või avatud uste ja akende puhul tavalises elukorralduses (*Alpha Track... 2011*).

Detektorina kasutatakse plastikust topsi sees olevaid alfa-tundlikke filme. Kõikidele detektoritele on kantud number. Radoon imbub kambrisse ning emiteerides α - osakese kahjustab plastiku pinda, tekitades jälje. Peale eksponeerimisperioodi lõppu söövitatakse jäljed keemiliselt, mis võimaldab neid mikroskoobi abil loetleda ning arvutada mõõte perioodi keskmise radoonikontsentratsiooni (kiirguskeskuse juhend).

2.1.2 Elektreetmeetod

Kasutatakse detektoreid, milles on umbes 700 voldini laetud tablett. Kui radoon ja tema tütarproduktid emiteerivad alfaosakesi, siis tablett kogub laengu, mis tekib õhu ioniseerimisel. Mõõteperioodi pikkus varieerub mõnest päevast mõne kuuni sõltuvalt detektorite disainist.

2.1.3 Aktiivmeetod

Kasutatakse erinevaid elektroonilisi aparate õhus radoonisisalduse määramiseks. Oluline on märkida, et sageli on selliste mõõtevahendite puhul kasutusel filtrid, mis eemaldavad radooni tütarisotoobid ning seega mõõtetulemus kajastab ainult radooni gaasi ($Rn\ 222$) sisaldust õhus. Tulemused keskmistatakse mingile ajaperioodile (nt 1h või 10 min) (kiirguskeskuse teabematerjal).

3. UURITAVATE OBJEKTIDE VALIK

3.1 Radooniohtlikud alad Eestis

Kiirguskeskuse koostatud valdade radooniriski kaart (Lisa 2), annab ülevaate radoonitasemetest Eesti valdades. Uuringust „Radoon Eestimaa elamutes“ selgub, et diktüoneemakilda, glaukoniitliivakivi ja karsti esinemise piirkonnad on Eestis radooniriski aladeks (Pahapill jt. 2001).

3.2 Uuritavad lasteasutused

Lasteasutuste all mõeldakse antud lõppuutöös lastekodusid, lasteaedu, koole ning vabaaja veetmise kohti.. Uuringusse võeti 83 lasteasutust Ida- ja Lääne-Virumaal.

3.3 Mõõtmiste tegemise ja andmete kogumise korraldamine

Käesolevas töös on kasutatud Keskkonnaameti kiirgusosakonna radoonitaseme mõõtmisandmeid, mis saadi uuringus 2006. aastal Tallinna Ülikooli magistrandi Evelyn Pesuri poolt, teine osa radoonisisalduse mõõtmisest on tehtud 2011 aastal töö autori poolt (Lisa 3).

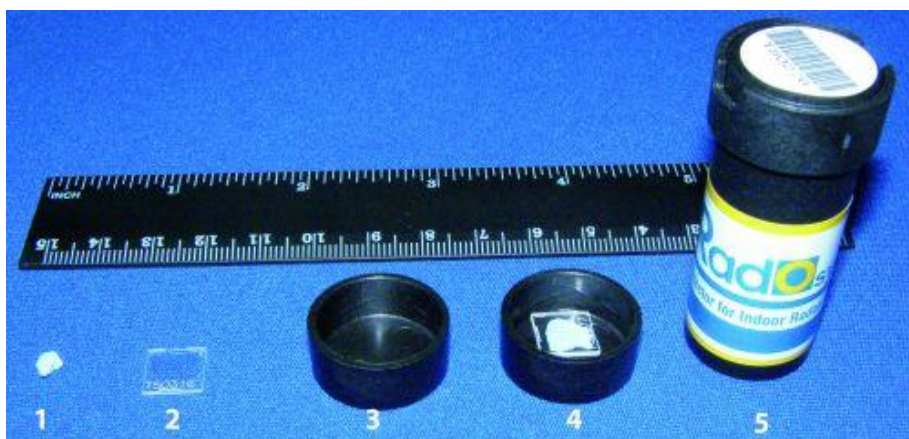
Uuring kooskõlastati haridus- ja teadusministeeriumiga, seejärel saadeti väljavalitud lasteasutustele posti teel informeeriv kiri (Lisa 4), mis teatas lasteasutuste kaasamisest radooni uuringusse “Radoonitasemed Eesti erinevates töökohtades”.

Kiirgusosakonnas valmistati radoonidetektorid ette laialisaatmiseks lasteasutustesse. Veebruaris saadeti detektorid koos juhendmaterjaliga posti teel lasteasutustele. Igas ümbrikus oli: 2-6 plastikedektorit (sõltuvalt lasteasutuse suurusest), radoonidetektori kasutamise juhend eesti keeles (Lisa 5) ja vene keeles (Lisa 6) ja ankeet (Lisa 7).

Kiirgusosakond kasutab alfa-tundlikust plastikust mõõdikut ehk detektorit, mis eksponeeritakse mõõdetaval objektil 2-3 kuu jooksul. Veebruarist kuni aprillini olid detektorid kohapeal.

Lasteasutustes pandi detektorid esimesele korrusele või keldrikorrusele - ruumidesse, mida kasutatakse mängu- või magamisruumina; või kohta, kus veedavad palju aega töötajad ja lapsed (näiteks logopeediruum).

Pärast toimus kiirgusosakonnas detektorite keemiline töötlemine ja analüüs. Plastiktopsist (difusioonkambrist), mis oli pandud hoonesse, eemaldati detektor (joonis 2) ning pandi spetsiaalsesse kasseti, mis mahutab 12 detektorit. Detektorite numbrid kontrolliti üle tagastatud ankeetidelt.



Joonis 2. Alfajälgdetektori paigutus difusioonkambris :

1. liimine alus detektori kinnitamiseks
2. detektor
3. difusioonkambri kaas
4. detektor, mis on kinnitatud difusioonkambri kaanele
5. difusioonkamber tervikuna (*Экосервис С. 2010*).

Detektori töötlemiseks ja analüüsimiseks kasutatakse analüüsisüsteemi Ungari firmast RADOSYS Ltd. Keemiliseks töötlemiseks valmistatakse lahus, milles 4 liitrisse destilleeritud vette lahustati 1 kg NaOH-d. Spetsiaalsesse termostaatvanni NaOH lahusesse pandi kassetid detektoritega. Kasette hoiti lahuses temperatuuril 90°C kraadi neli tundi, seejärel detektoreid neutraliseeriti 4 liitris destilleeritud vee ja äädika lahuses 20 minutit ning siis jäeti ööpäevaks kuivama. Edasi pandi kassetid detektoritega mõõtekompleksi, kus mikroskoop loendas ja arvutas radoonikontsentratsiooni väärtused. Saadud radoonisisaldused salvestati arvuti andmebaasi. Joonisel 3 on toodud mõõtmistel kasutusel olnud mõõtesüsteem RADOSYS.



Joonis 3. Mikroskoop ja arvutisüsteem (*Radosys Ltd. 2011*).

4. RADOONISISALDUSED IDA- JA LÄÄNE-VIRUMAA LASTEASUTUSTES

Selles peatükis esitatakse uuringu “Radoonitasemed Eesti erinevates töökohtades.” käigus mõõdetud siseõhuradoonisisaldused Ida- ja Lääne-Virumaa lasteasutustes ning otsitakse vastust tööhüpooteesile, kas enamikus uuritavates lasteasutustes radoonitasemed vastavad kehtestatud normile.

Eesti radoonisisalduse standard EVS 840:2009 näeb ette, et radoonisisaldus ruumides peab olema väiksem, kui 200 Bq/m^3 .

Käesolevas töös esitatakse Ida-Virumaa ja Lääne-Virumaa (Lisa 8) kütteperioodidel (2006 ja 2011) teostatud mõõtmiste üldistatud keskmised tulemused. Kuna antud töö eesmärgiks oli anda ülevaade radoonitasemetest Ida- ja Lääne-Virumaa lasteasutustes, siis on kasutatud nii E. Pesuri (2006) magistritöös toodud andmeid kui ka käesoleva töö autori mõõtmistulemusi (2011), viimased on tabelites märgistatud tärnikesega. Tulemustest selgub, et 83 uuritavast hoonest ületas 29 hoone keskmine radoonisisaldus lubatava piiri, sealhulgas 7 asutuses oli keskmine radoonisisaldus kaks korda kõrgem kui lubatud. Maksimaalne mõõdetud keskmine radoonisisaldus 1087 Bq/m^3 oli Sinimäe Põhikoolis ja minimaalne mõõdetud keskmine radoonisisaldus oli 29 Bq/m^3 , „MTÜ Avatud Värav“ Kiikla Lastekodus.

Tabelis 2 on toodud keskmised radoonisisaldused neis lasteasutustes, kus radoonitase ei ületanud 200 Bq/m^3 .

Tabel 2. Ida- ja Lääne-Virumaa lasteasutuste keskmised radoonisisaldused.

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi	Keskmine radoonisisaldus (Bq/m^3)
1	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Tareke*	200
2	Ida-Virumaa	Jõhvi	Lasteaed “Kalevipoeg”	190
3	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Sääse Lasteaed	181
4	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Päikseke	169
5	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Lasteaed Kröll	164
6	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Muinasjutt*	158

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi	Keskmine radoonisisaldus (Bq/m³)
7	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Kiitsi Põhikool	153
8	Lääne-Virumaa	Haljala	Haljala Gümnaasium	151
9	Ida-Virumaa	Illuka	Illuka Põhikool	148
10	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Uhtna Põhikool	147
11	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tareke	146
12	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Järve küla päevakeskus	142
13	Ida-Virumaa	Jõhvi	Lasteaed "Sipsik"	141
14	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Muusikakool	135
15	Ida-Virumaa	Mäetaguse	Mäetaguse Põhikool	128
16	Ida-Virumaa	Sonda	Erra Lasteaed	127
17	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Ahtme Gümnaasium	123
18	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Väikevend*	122
19	Ida-Virumaa	Sonda	Sonda Põhikool	107
20	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Muinasjutt	104
21	Ida-Virumaa	Sillamäe	Vanalinna Kool	100
22	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tuhkatriinu	98
23	Lääne-Virumaa	Rägavere	Põlula Põhikool	98
24	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Helepunased Purjed	95
25	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Päästekool	94
26	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Pääsuke	91
27	Ida-Virumaa	Sillamäe	Kannuka Kool	89
28	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Rukkilill	88
29	Ida-Virumaa	Sonda	Sonda Lasteaed	86
30	Lääne-Virumaa	Vihula	Võsu Põhikool	85
31	Ida-Virumaa	Illuka	Kurtna Laste Päevakeskus	79
32	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Pääsuke*	79
33	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Kohtla-Järve Vene Gümnaasium	78
34	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Vahtre Põhikool	78

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi	Keskmine radoonisisaldus (Bq/m³)
35	Ida-Virumaa	Jõhvi	Jõhvi Vene Gümnaasium	77
36	Lääne-Virumaa	Vinni	Vinni Perekodu*	77
37	Lääne-Virumaa	Rägavere	Ulvi Lasteaed	76
38	Lääne-Virumaa	Haljala	Haljala Lasteaed	74
39	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Kaseke*	71
40	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Pääsupesa	70
41	Lääne-Virumaa	Haljala	Aaspere Põhikool	67
42	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Lasteaed	63
43	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Lasteaed	62
44	Ida-Virumaa	Maidla	Maidla Põhikool	60
45	Lääne-Virumaa	Vihula	Võsu laste Mängurühm	55
46	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Karuke	54
47	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Gümnaasium	54
48	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Buratino	49
49	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Kohtla-Järve Lastekodu*	43
50	Ida-Virumaa	Narva	Narva Lastekodu*	36
51	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Käoke*	36
52	Lääne-Virumaa	Tapa	Tapa Laste- ja Noortekodu*	31
53	Lääne-Virumaa	Rakvere	Rakvere Lille Kool*	30
54	Ida-Virumaa	Mäetaguse	MTÜ Avatud Värav Kiikla Lastekodu*	29

*autori tehtud radoonitaseme mõõtmised 2011a.

Jälgides rahvusvahelisi soovitusi, ning Eesti standardis sätestatud, tuleks asutused liigitada ka vastavalt sellele, kui juba üks tulemus on üle lubatava normi. Sellisel juhul lisandub veel 14 hoonet (Tabel 3), kus üks või mitu mõõtetulemust on üle piirväärtuse. Radoonisisaldus oli madalam kõikides ruumides kokku 38 mõõdetud hoones (Lisa 9).

Tabel 3. Lasteasutused, kus üks või mitu mõõtmistulemust ületab 200 Bq/m³

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi	Mõõte- punkte	Tulemusi üle 200 (Bq/m ³)
1	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Muusikakool	4	1
2	Ida-Virumaa	Jõhvi	Lasteaed “Kalevipoeg”	6	2
3	Ida-Virumaa	Jõhvi	Lasteaed “Sipsik”	6	1
4	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Muinasjutt	4	1
5	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tareke	6	2
6	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Päikseke	3	1
7	Ida-Virumaa	Sonda	Erra Lasteaed	6	1
8	Ida-Virumaa	Sonda	Sonda Lasteaed	6	1
9	Ida-Virumaa	Vaivara	Vaivara Lasteaed	4	3
10	Ida-Virumaa	Narva	Narva lasteaed Tareke*	2	1
11	Lääne-Virumaa	Haljala	Haljala Gümnaasium	8	2
12	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Uhtna Põhikool	4	1
13	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Sääse Lasteaed	6	1
14	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Kiitsi Põhikool	3	2

* Autori tehtud radoonitaseme mõõtmised 2011a.

Lasteasutustes, kus keskmine radoonisisaldus on piirväärtusest kõrgem võiks võtta tarvitusele meetmed radoonisisalduse vähendamiseks. Lasteasutustes, kus esines üksikuid kõrgemaid tulemusi, aga keskmine radoonisisaldus jäi alla 200 Bq/m³, võiks läbi viia täiendavad uuringud selleks, et välja selgitada radooniohu tegelik ulatus. Hoonetes, kus kõik tulemused olid alla 200 Bq/m³ pole vaja rakendada radooni vähendamise meetodid.

4.1 Töökoha radoonist põhjustatud kiirgusdoosid

Inimene veedab sisseruimides umbes 16 tundi ööpäevas, mis on 5840 tundi aastas. Vastavalt

ICRP andmetest tööruumides viibitud ajaks loetakse 2000 tundi aastas viide. Seega 100 Bq/m³ tööruumis vastab efektiivdoos $(1,84/5840)*2000 = \sim 0,63$ mSv aastas. Lastekodude efektiivdooside arvutamisel kasutati samu üleminekukoefitsente, mis on elamute puhul: 0,021 mSv/a 1 Bq/m³ kohta (8760 tundi/aastas).

4.2 Radoonist põhjustatud efektiivdoosid

Looduskiirgusest põhjustatud efektiivdoos jääb üldjuhul vahemikku 2,4-4 mSv/a (milliSiivertit aastas). Looduslik kiirgus koosneb peamiselt kahest komponendist, gammakiirgusest ning radoonist. Eestis elumajades tehtud uuringute alusel võib Eesti keskmiseks radoonist tingitud efektiivdoosiks pidada 1 mSv aastas (*Pahapill et al, 2003*).

Tulemusi kajastab tabel 4, kus on välja toodud asutused, kus töötajatele või lastele radoonist põhjustatud efektiivdoos on suurem kui 1 mSv/a (Terviklik doose kajastav tabel lisas 8).

Tabel näidab, et 35 lasteasutuses saadav efektiivdoos suurem, kui Eesti keskmine radoonist põhjustatud efektiivdoos.

Tabel 4. Ida- ja Lääne-Virumaa lasteasutustes radoonist põhjustatud efektiivdoosid

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi	Efektiivdoos (mSv) 2000 tunni kohta Aastas
1	Ida-Virumaa	Vaivara	Sinimäe Põhikool	6,85
2	Ida-Virumaa	Vaivara	Olgina Lasteaed	5,01
3	Ida-Virumaa	Toila	Toila Gümnaasium	4,95
4	Lääne-Virumaa	Viru-Nigula	Vasta Põhikool	4,32
5	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Gümnaasium	4,14
6	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tuvike	2,94
7	Lääne-Virumaa	Vihula	Palmse laste Mängurühm	2,74
8	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Karikakar*	2,5
9	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Marjake*	2,48
10	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Aluverre Põhikool	2,31
11	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Vajangu Põhikool	2,29
12	Ida-Virumaa	Toila	Voka Lasteaed	2,08

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi	Efektiivdoos (mSv) 2000 tunni kohta Aastas
13	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Jaaniussike	1,87
14	Ida-Virumaa	Jõhvi	Lasteaed Kakuke	1,85
15	Ida-Virumaa	Lüganuse	Lüganuse Keskkool	1,82
16	Ida-Virumaa	Toila	Toila Lasteaed	1,71
17	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Vajangu Lasteaed	1,66
18	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Lepatriinu	1,65
19	Lääne-Virumaa	Vinni	Vinni Perekodu*	1,6
20	Ida-Virumaa	Sillamäe	Astangu Kool	1,53
21	Lääne-Virumaa	Sõmeru	Sõmeru Lasteaed Pääsusilm	1,51
22	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Kohtla-Järve Gümnaasium	1,38
23	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Porkuni Kool	1,36
24	Ida-Virumaa	Vaivara	Vaivara Lasteaed	1,34
25	Ida-Virumaa	Sillamäe	Eesti Põhikool	1,33
26	Ida-Virumaa	Mäetaguse	Mäetaguse Lasteaed Tõruke	1,31
27	Lääne-Virumaa	Viru-Nigula	Viru-Nigula Lasteaed	1,31
28	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Kakuke	1,3
29	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Keskkool	1,29
30	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Gümnaasiumi Algkool	1,29
31	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Tareke*	1,26
32	Ida-Virumaa	Jõhvi	Lasteaed "Kalevipoeg"	1,2
33	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Säase Lasteaed	1,14
34	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Päikseke	1,07
35	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Lasteaed Kröll	1,04

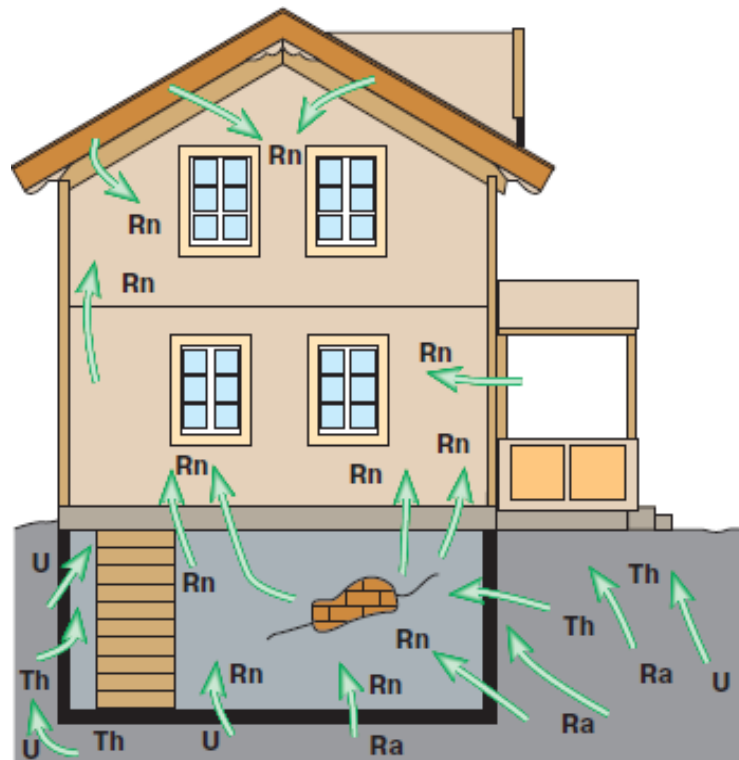
* autori tehtud radoonitaseme mõõtmiste põhjal 2011a

5. MEETMED RADOONITASEME ALANDAMISEKS

5.1 Radooni saatmine hoonesse

Radoon vabaneb maakoorest kõikjal, kuid tema kontsentratsioon välisõhus on maakera erinevates punktides erinev. Kui paradoksaalne see esmapilgul ei tunduks, kuid inimene saab radoonikiirituse peamise doosi asudes kinnises, tuulutamata ruumis. Parasvöötmes on radooni kontsentratsioon kinnises ruumis keskmiselt 8 korda kõrgem kui välisõhus. Troopilistes maades selliseid mõõtmisi ei ole tehtud, kuid võib oletada, et kuna kliima on seal palju soojem ja eluruumid enam avatud, ei erine seal radoonikontsentratsioon ruumides palju selle kontsentratsioonist välisõhus (*Alpha Track, 2011*).

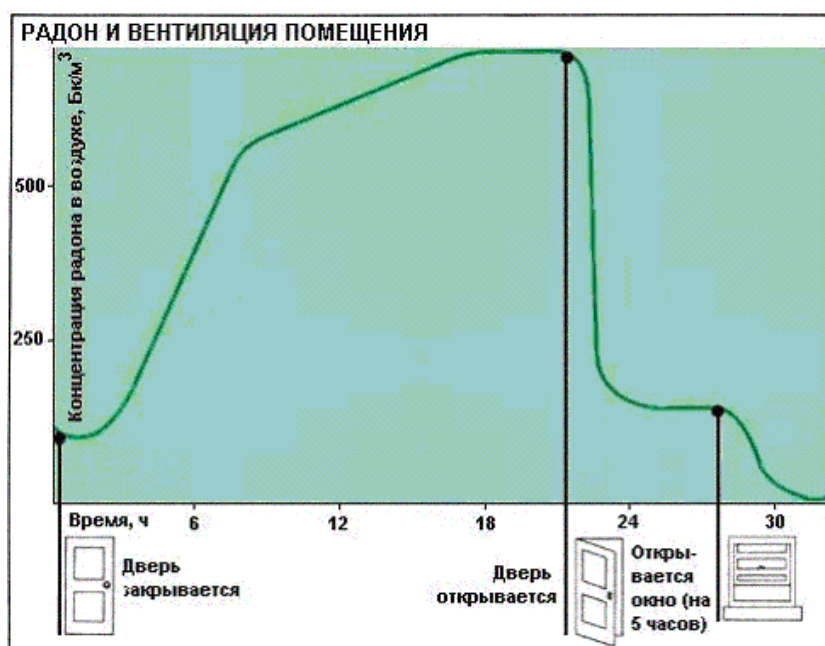
Radoon satub hoonesse eri teid mööda: tungib läbi tarindite maapõuest, eraldub ehitusmaterjalidest (tsement, betoon, telliskivi), millest hooned on ehitatud, kandub edasi veevärgiveega ja majapidamisgaasiga (Joonis 4).



Joonis 4. Peamised teed, mille kaudu satub radoon hoonesse (*Уткин, 2000*).

Üks peamisi radooni hoonesse kogunemise teid on vahetult seotud pinnasega, millele hoone on ehitatud.

Uraan-238 keskmine sisaldus pinnases on umbes 3 mg/kg. Maapõues paikneb radoon ebahühtlaselt. See on seotud sellega, et radoon koguneb tektoonilistesse rikesse, kuhu see satub kivimite mikrolõhedest. Harvad pole juhused, kui nõrgalt radioaktiivsed kivimid sisaldavad oma tühimikes ja pragudes radooni kogustes, mis ületavad kõrgradioaktiivsete kivimite foone sadu ja tuhandeid kordi (näiteks karstilõhedes). Radoon difundeerub pinnasest õhku peamiselt rõhkude erinevuse tõttu. Vahetult kivimilõhedele hoonete ja rajatiste ehitamine viib selleni, et neisse satub maapõuest pinnaseõhuvoog, mille radoonisisaldus on kõrge. Hoone õhus kontsentreerub radoon ületab lubatud piirväärtused ning tekitab tõsise radiatsiooniohu seal töötavatele ja elavatele inimestele. Radoon kontsentreerub hoonesisises õhus vaid siis, kui hoone on väliskeskkonnast piisavalt isoleeritud (Joonis 5). Jooniselt 5 on näha, kuidas mõjutab akende ja uste avamine õhu radoonisisaldust ühekorruselise maja eluruumides. Joonis näitab, et kui kõik aknad ja uksed on kinni, siis radooni kontratsioon eluruumides on suur, pärast uste ja akende avamist toimub radoonisisalduse vähenemine.



Joonis 5. Ühekorruselise maja õhutamise mõju õhu radoonisisaldusele eluruumides (Средства и методы...2011).

Pääsedes hoonesse üht või teist teed pidi (tungides läbi vundamendi ja põrandate aluspinnast või kasutatud ehitusmaterjalidest) koguneb radoon sinna. Selle tulemusel võivad tekkida

küllaltki kõrged radoonitasemed, eriti kui maja asub pinnasel, kus radionukliidide sisaldus on suur või kui selle ehitusel kasutati kõrge radionukliidide sisaldusega ehitusmaterjale. Hoone hermetiseerimine soojustamise eesmärgiga ainult suurendab probleemi, sest siis on veel raskem viia radoongaasi hoonest välja (Уткин, 2000).

5.2 Radoonitaseme vähendamine

Kui uus hoone planeeritakse radooniohtlikule alale, või olemasolevas hoones on avastatud radooniprobleem, tuleb sellele leida õige lahendus, et vältida kõrge radionukliidide sisaldusest 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.

Kuna Eestis on radooniohu allikaks peamiselt pinnasest pärinev radoon, keskendutakse järgnevalt eelkõige ehituslikele meetmetele, mida saab kasutada pinnasest imbuva radooni tõkestamiseks. Kaitseabinõud radoonisisetungimise vastu on kaheksa: ehitatavatele või ehitatud hoonetele (Finestum).

5.2.1 RADOONISISALDUSE VÄHENDAMINE EHITAVAS HOONES

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 2009).

Keldriga maja puhul tuleb aga arvesse võtta, et kuigi tema kokkupuutepind radooni

sisseibumise 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 vajalikkuse määramiseks tuleb lähtuda EVS 840:2009 "Radooniohutu hoone projekteerimine" tabelist (peatükis 1.5 tabel 1), milles esitatakse meetmed radooni hoonesse sattumise vältimiseks sõltuvalt pinnase radooniohtlikkusest (EVS 2009).

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 sisseibumise 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 sisseibumist. Materjalideks võivad olla radoonikile, teatud liiki membraanid ning mastiksid (Finestum).

5.2.1.1 Radoonikile

Radoonikile on tavalisest ehituskiledest veidi paksem, ningselle paigaldamise mehhanism on teistsugune. Tavalise kile puhul laotatakse see lihtsalt betoonplaadile ning tihti seda ei teibita.

Radoonitõkkene kasutatava kile puhul teibitakse kilejätkukohad, ning kile viiakse üle vundamendiäärte, et radoon ei saaks hoonesse siseneda seintekaudu (Joonis 6). Keldriga hoone puhul tuleb kogu vundament valada kilekotti ja kile otsad tuua maapinnast kõrgemale.

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 hoonealne pinnas ongi radoonikile kasutamise eelduseks (Finestum).



Joonis 6. Radoonitõkkekile paigaldamine (*Radon barrier, 2011*).

5.2.1.2 Alarõhu meetod

Sellisel meetodil imetakse õhk ära maja alt, kus tekitatakse 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 (Finestum).

5.2.1.3 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. Sellised süsteemid on tavalisest radoonikilest kallimad, kuid efektiivsus on suurem, ning otstarve tihti mitmekülgsem.

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 (Finestum).

5.2.1.4 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. 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 kergplokkist, 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 ainult asjatundja (Finestum).

5.2.1.5 Põrandaaluse ventileerimine

Põrandaaluse ventileerimine loomulikult toimub on rakendatav keldrita hoone puhul. Hoonesse paigaldatakse toru, mille kaudu maja alune õhk juhitakse välja. Põrandaaluse ventileerimine mehhaanilise tõmbe 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. Põrandaalust ventileerimist saab kasutada siis, kui radoon pärineb pinnasest. Kuna see ei muuda õhuvahetust ruumi sees, pole otstarbekas seda kasutada juhul, kui radoon pärineb ehitusmaterjalist (Finestum).

5.2.1.6 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 maa-alalal. Radoonikaev paigaldatakse väljapoole maja ning peaaegu täielikult maa alla, välja jääb vaid toru ots. Radoonikaevude asukoha valikul ning ventileerimise määra valiku tegemiseks tuleb arvestada järgnevaga:

- 1) pinnase läbilaskvus;
- 2) maja asukoht - saab paigaldada ka näiteks kahe majavahele, 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 tihtivõimalik ega mõttekas (Finestum).

5.2.1.7 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 radoonitõkestamisel abinõuks, eriti kui tegemist on radooniohtliku alaga. Valede ehitusvõtete tõttu võib radooni hoonesse tungimine olla intensiivsem, kui ventilatsiooni abil vahetuva õhu määr. Keldriga hoone puhul tuleb kindlasti välja ehitadaloomulikul tõmbel või mehaanilise väljatõmbega tõhus keldri ventilatsioonisüsteem (Finestum).

5.2.2.1 RADOONISISALDUSE VÄHENDAMINE OLEMASOLEVAS HOONES

5.2.2.2 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 soojuste ja külma mõjul paigale jääb. Silikoontäidete kasutamisel tuleb arvestada, et neid ei tohi kasutada elektrikaablite ja elektrijuhtmetega seonduvate aukude täitmiseks. Seinte ülevärvimisest võib olla lekkekohtade vähendamisel kasu, kuid kui aluspinnas on praod, ei ole värvimine lahenduseks. Põranda ning seinte katmine vähendab ka ehitusmaterjalidest pärinevat radooni.

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 suurenedada.

Visuaalselt nähtamatute radooni sisseimbumiskohtade kõrvaldamine. Väga tihti põhjustavad radooni sisseimbumist eluruumidesse praod ning lõhed, mida pole võimalik kindlaks teha ja ei pruugi silmaga näha. Seetõttu tuleb kõrvaldada ka nähtamatud sisseimbumiskohad.

Keldriga hoone puhul on oluliseks maa-aluse osa katmine. Tihti on välisseina lahtikaevamine kulukas, aeganõudev või isegi võimatu. Sellisel juhul võib proovida tihendada keldrit seestpoolt. Sein saab odavamalt katta värvides, kuid see pole alati efektiivne.

Paremaks lahenduseks on siseseinte katmine spetsiaalkatetega, nagu näiteks tsemendiplaaster. Ühe võimalusena on ehitusmaterjalide täitmine akrülaatgeeliga, mis tihendab materjale ning

täidab nende poorid. Sellise meetodiga on saadud aga ka häid tulemusi, nt seinte katmisel tehtud kihiga on radoonisisaldus vähenenud kuni 65% (Finestum).

5.2.2.3 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. 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 (Finestum).

5.2.2.4 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 radooniimbumist hoone alt, ning põhjustada ruumides soovitud vastupidise efekti. Seetõttu tuleks peale ventilatsiooni paigaldamist radoonisisaldust mõõta (Finestum).

5.2.2.4 Põrandaaluse ventileerimine

Ilma põrandapinda ülesvõtmata on ventileerimine võimalikainult 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 suurened (Finestum).

5.2.2.5 Väljaspool hoonet tehtavad tööd

Maapinnast allapoole jäävate välisseinte katmine radoonitõkkega. Kui hoone sees tehtavad tööd ei ole kõrge radoonisisalduse seisukohalt väga efektiivseid tulemusi andnud, tuleks kaaluda hoone pindade parandamist väljaspoolt. See meetod on efektiivne näiteks keldriga

maja puhul, mille alla radoonirikka õhu kogumissüsteemi pole tihti võimalik installeerida.

Keldriga maja maa-aluse 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. 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 ehitistel on isolatsioonisüsteemi paigaldamine tunduvalt keerukam, kuna lisanduvad kaevetööd ja olemasolevate põrandate ja seinte viimistluskihtide lammutustööd ehk isolatsioonitöödega kaasnevad teised ja tihti mahukamad tööd kui isolatsioonitööd ise ongi.

Lisaks neile meetoditele aitab radoonitaseme alandamiseks teatud pinnasetüüpide puhul ka vanade hoonete juurde radoonikaevu installimine (Finestum).

KOKKUVÕTTE

Antud lõputöös on uuritud radoonisisaldusi Eesti lasteasutustes. Uuringus oli vaatluse all 83 asutust Ida- ja Lääne-Virumaal.

Keskmise radoonisisalduse oli kõige madalam 29 Bq/m^3 „MTÜ Avatud Värav“ Kiiikla Lastekodus. Uuritavatest hoonest 29. ületas keskmine radoonisisaldus 200 Bq/m^3 piiri. 14 lasteasutuses ületati seda piiri ühes või mitmes ruumis, kuid keskmine jäi alla 200 Bq/m^3 . Maksimaalne keskmine radoonisisaldus oli 1087 Bq/m^3 Sinimäe Põhikoolis. Ülejäänud 54 mõõdetud lasteasutuse radoonisisaldused vastavad kehtestatud normile, mis kinnitab esimest tööhüpoteesi: enamustes uuritavates lasteasutustes radoonitasemed vastavad normile.

Saadud tulemuste alusel arvutati radoonist saadavad efektiivdoosid. Käesolevas töös on arvutuse aluseks võetud 2000 töötundi, mis põhjustab 1 Bq/m^3 radoonisisalduse puhul $0,0063 \text{ mSv}$ efektiivdoosi aastas. Eesti keskmine radoonist tingitud efektiivdoosi väärtus on 1 mSv aastas. Mõõtmistulemuste alusel arvutatud efektiivdoosid lasteasutustes jäid vahemikku $0,07\text{-}6,85 \text{ mSv}$ aastas. Neist 35 lasteasutuses saadud efektiivdoosid ületavad Eesti keskmist radoonist saadavat efektiivdoosi. Seega leidis kinnitust teine hüpotees: ainuüksi lasteasutustes saadavad efektiivdoosid võivad ületada meil keskmise radoonist saadava efektiivdoosi.

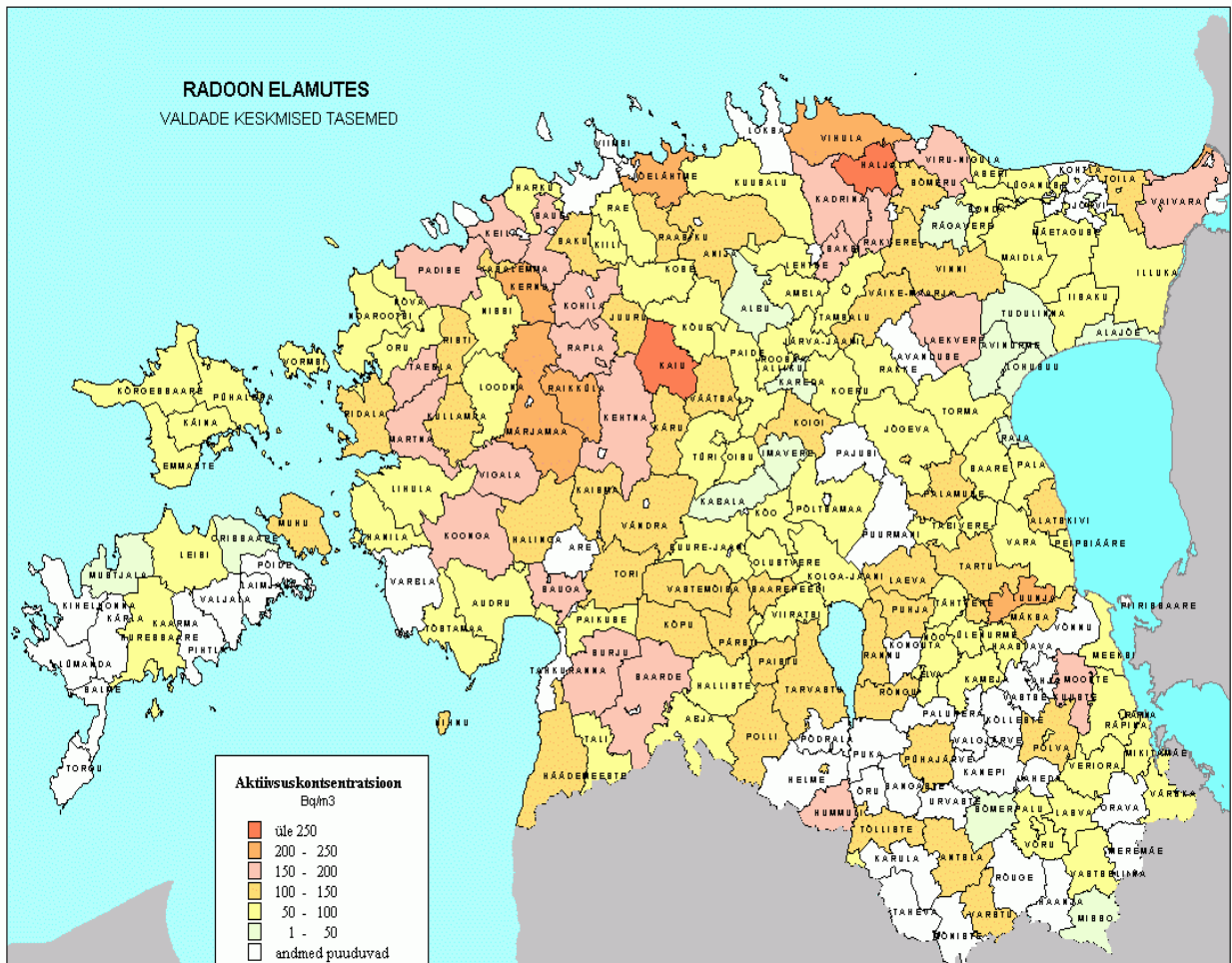
Antud töös uuriti meetmeid radoonitaseme alandamiseks, mis on kasutusel tänapäeval. Selgus, et radooni kontsentratsiooni saab vähendada erinevate meetmetega: hoone projekteerimisel ja ehitamisel. Kuid on ka võimalik leida erinevaid meetmeid radoonisisalduse vähendamiseks olemasolevates hoonetes. Seega leidis kinnitust teine hüpotees: radoonitaseme alandamiseks on olemas erinevaid meetmeid. Meetmete valik sõltub sellest, kas tegemist on olemasoleva või radooniohtlikule pinnasele ehitatava hoonega

KASUTATUD MATERJALID

1. *Влацкий Ф.Д.* Исследования содержания радона в жилых помещениях первомайского района оренбургской области, Вестник ОГУ 10-2005 Том 2 Естественные и технические науки.
2. *Уткин В.И.* Радоновая проблема в экологии, соросовский образовательный журнал, том 6, номер 3, 2000
3. *Самосюк И.З., Владимиров А.А., Галаченко А.А., Ткалина А.В., Самосюк Н.И., Чухраева Е.Н., Жуков В.А.* Радонотерапия: теоретические предпосылки, механизм лечебного действия, методики применения. Radom-Киев-Хмельник 2011
4. *C. Richard Cothorn, James E. Smith.* Environmental radon New York 1987
5. *WHO.* Environmental and occupational cancers, Fact sheet N°350 ,March 2011,
6. *Jay H. Lubin, Ph.D.* Environmental Factors in Cancer: Radon President's Cancer Panel Charleston, South Carolina, 2008
7. *Hajo Zeeb, Ferid Shannoun.* Who Handbook on indoor radon : a public health perspective
8. *IAEA. 2003.* „Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines. No. 33“.
9. *IARC (1988).* Report of an IARC Working Group to Review the Approaches and Processes Used to Evaluate the Carcinogenicity of Mixtures and Groups of Chemicals
10. *UNSCEAR 1993* Report Sources and effects of ionizing radiation
11. *Mjönes L., Falk R.* Cancer Risks from Radon in indoor Air and Drinking Water in Sweden. Seventh International Symposium on Natural Radiation Environment. Rhodes, Greece. 2002.
12. *Kairi Tanavsuu, Merle Lust.* Aruanne Radooni kaardi lõpetamine- radoon hoonete siseõhus piirkondades, kus andmed radoonitasemete kohta puuduvad, Projekt nr 38
13. *Merle Lust.* Radooniuringud Eestis, Radooniseminar Tartus 22. nov. 2006.a.
14. *Finestum.* Radooni mõõtmise. Finestum OÜ.
15. *Finestum.* Radooni vähendamise võimalused. Finestum OÜ.
16. *Pahapill L, Rulkov A.* „Radoon majades“ Tallinn. 2004
17. *Pahapill L.* „Radoon hoonetes“ . Tallinn. Tõravere Trükikoda. 1999
18. *Pahapill L, Rulkov, A., Rajamäe, R. Akerblom, G.* 2003. Radon in Estonian Dwellings. Results from a National Radon Survey. SSI Raport: 2003:16.

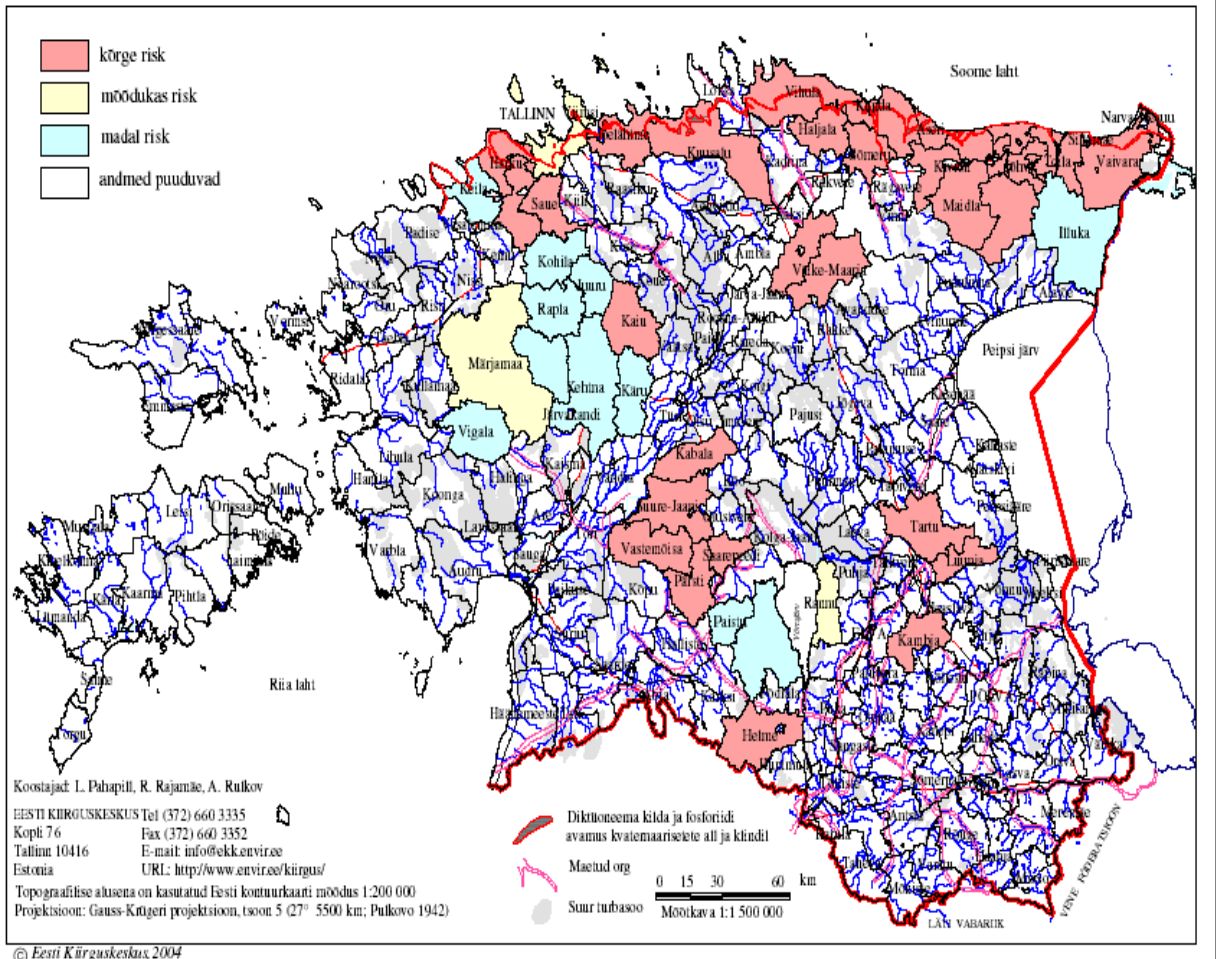
19. *Kiirguskeskuse teabematerjal*. Radoon – looduslik risk sinu tervisele. Kiirguskeskus
20. *Kiirguskeskuse teabematerjal*. Radooniohu arvestamine ehitusplaneeringutes ning olemasolevates hoonetes. Keskkonnainvesteeringute Keskus. Kiirguskeskus
21. *Kiirguskeskuse juhend*. Radoniohu arvestamine ehitusplaneeringutes ning olemasolevates hoonetes;
22. *Eesti Standard EVS 840:2009*. “Radooniohutu hooneprojekteerimine” 2009. Eesti Standardikeskus.
23. *Petersell Valter*. Radoonist Eestimaa pinnases. Tallinn. Eesti Geoloogiakeskus. 12.02.2008
24. *Petersell V., Akerblom G., Ek B.-M., Enel M., Mõttus V., Täht K.* 2004. „Eesti Radooniriski Kaart”. Tallinn. Raamatutrükikoda OÜ. 52 lk.
25. *Lia Pahapill, Anne Rulkov, Raivo Rajamäe, Gustav Akerblom.* „Radon Eestimaa elamutes“. Riikliku uuringu tulemused Kiirguskeskus, Eesti-Rootsi Kiirguskaitse Instituut. 2001
26. *Evelyn Pesur*. Radoon radooniohlik alade lasteasutustes. Magistritöö. Tallinn. 2006.
27. *Preiman Olga*. “Siseõhu radoonisisaldused Tallinna lasteasutustes”. Tallinn. 2009. Eesti Mereakadeemia Lõpputöö
28. *Kertu Vait*. “Radooniuuring Eesti erinevates töökohtades”. Tallinn 2010. Eesti Mereakadeemia Lõputöö
29. *USEPA United States Environmental Agency info* [<http://www.epa.gov/radon/pubs/index.html>]
30. *Sotsiaalministeeriumi info* [www.sm.ee] 2011
31. *Alpha Track Test Kit Long Term Alpha Track Detector* [<http://www.radonzone.com/alpha-track-test-kit.html>] 2011.
32. *Joogivee radioaktiivsusest põjustatud terviseriski hinang*, Tallinn 2005
33. *Kiirgus, inimene ja keskkond* IAEA, Kiirguskeskus, 2006. 80 lk.
34. *Экосервис С.* Интегральное измерение радона [<http://www.ecoservice.kz/news>] 2010
35. *Radosys Ltd* [<http://www.radosys.com/contact.html>] 2011
36. *Radon Barrier* [<http://carrickaneha.blogspot.com/2010/04/radon-barrier.html>] 25. Aprill 2010
37. *Средства и методы защиты от электромагнитных и ионизирующих излучений*, глава 8. Источники радиации [http://grachev.distudy.ru/Uch_kurs/sredstva/-main_0_1.htm] 2011

Allikas: Pahapill jt, 2001



Joonis. Radoonitasemed Eestimaa valdades (Pahapill jt, 2001).

Leht 1.3.Radoonirisk valdades



Joonis. Radoonirisk valdades (Pahpill jt.,2004).

Lasteasutused, kus mõõtmised toimusid 2011. aastal

Ida-Virumaa

Kohtla-Järve Lastekodu

Mäetaguse MTÜ Avatud Värav Kiikla Lastekodu

Narva Lastekodu

Narva Lasteaed Karikakar

Narva Lasteaed Kaseke

Narva Lasteaed Käoke

Narva Lasteaed Muinasjutt

Narva Lasteaed Marjake

Narva Lasteaed Pääsuke

Narva Lasteaed Tareke

Narva Lasteaed Väikevend

Lääne-Virumaa

Vinni Perekodu

Rakvere Lille Kool

Tapa Laste- ja Noortekodu

Uuring “Radoonitasemed Eesti erinevates töökohtades.”

Lugupeetud asutuse juhataja,

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

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

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

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

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

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

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

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

Viktorija Nazimova 58172891, Viktorija.Nazimova@gmail.com

Lia Pahapill 5121090, lia.pahapill@gmail.com

Meeldivale koostööle lootma jäädes,

Viktorija Nazimova
Praktikant
Keskkonnaamet
Kiirgusosako

Radooni mõõtedetektori kasutamine

Detektor kujutab endast plasttopsi paigutatud spetsiaalset kiletükikest, millele õhus leiduva radooni radioaktiivsel lagunemisel tekkivad osakesed jätavad oma jäljed. Detektor ise mingeid radioaktiivseid või keemiliselt aktiivseid aineid ei sisalda.

Palun täitke detektoritega kaasasolev ankeet. Mõõtmise alguskuupäevaks märkige detektorite pakendist väljavõtmise kuupäev. Detektorid võtke kotikesest välja mõõdetavas ruumis. Hoidke originaalpakend alles. Detektorid numbrileiate pakendilt.

Detektorid paigaldamiseks tuleb valida koht, kus inimesed viibivad pikka aega. Pole otstarbekas paigaldada detektoreid koridori, WC-sse, vannituppa jne. Elumajas pange detektorid elutuppa ja magamistuppa. Märkige ankeedil milline detektor millisesse ruumi paigutati.

Detektorid asukoht toas peaks olema selline, kus seda ei liigutata ega kaeta esemetega ja mis ei asu otse akna või ukse juures. Pole hea paigaldada detektorit ventilatsiooniava, radiatori või muu soojusallika lähedusse. Jälgige, et detektorit ei "paigutaks ringi" koristaja, väikelapsed ja lemmikloomad.

Sobiv koht on näiteks kapipealne kõrgusega 1-2 m, kuhu midagi muud tavaliselt ei asetata. Soovitav oleks panna detektor kapi esiservale, et vältida juhuslikku kukkumist kapi taha.

Aeg-ajalt kontrollige, et detektorid oleks alles oma esialgses asukohas ja poleks kaetud mõne esemega.

Peale detektorite paigaldamist elage tavapäraselt tööelu. Ärge tuulutage tube rohkem või vähem kui tavaliselt, sundventilatsiooni olemasolul kasutage seda tavapäraselt.

Mõõtmisperioodi (2 kuud) lõppemisel asetage detektorid Teile väljastatud alumiiniumiga kaetud plastkotikesse või äärmisel juhul kahekordsesse kilekotti. Üritage kotike õhukindlalt sulgeda, näiteks kleeplindiga.

Märkige ankeedile mõõtmise lõppkuupäev ja saatke või tooge detektorid koos ankeediga ning täidetud radoonikontsentratsiooni määramise avaldusega tagasi Keskkonnaameti kiirgusosakonda aadressil Kopli 76, 10416 Tallinn.

viktorija.nazimova@gmail.com

6644 912, 5817289

Viktorija Nazimova

Руководство по установке детекторов

1. Заполните прилагаемую анкету. Детекторы высуньте из пакета в комнате, в которой проводятся измерения. Отметьте дату изъятия детектора в анкете. Сохраните пакет. Номер детектора найдете на упаковке.
2. Для установки детектора выберите комнату, где часто находятся люди (детекторы не устанавливаются в коридоре, туалете и т.д.). В многоквартирном доме расположите один детектор в жилой комнате, другой - в спальне.
В частном доме расположите один детектор в жилой комнате первого этажа, другой - в спальне (этаж не важен, но по возможности, на первом этаже). Отметьте в анкете месторасположение детекторов.
3. Детекторы расположите таким образом, чтобы в течение периода измерения не перемещать их. Также не рекомендуется располагать детекторы вблизи окна/двери, вентиляции, радиатора (или другого источника тепла) и вблизи сильного источника освещения. Рекомендуется располагать детектор на расстоянии не меньше 1,65 м от них, от стен – на расстоянии не меньше 25 см. проследите, чтобы детектор не перемещали уборщица, дети или домашние животные
4. Подходящее место для расположения детектора 1-2 м от пола, например, наверху шкафа, на высоте 1-2 м, чтобы предотвратить случайное падение детектора.
5. Оставьте детектор на месте на 2 месяца. Время от времени проверяйте, что детектор находится на первоначальном месте и он ничем не накрыт. В период измерения не меняйте привычный режим проветривания и вентилирования.
6. По окончании периода измерения отметьте соответствующую дату в анкете и поместите детекторы в те же пакеты, в которых они к Вам прибыли (при случайной потере пакетов положите детекторы в двойной целлофановый пакет) Пакет надо тщательно запечатать, чтобы не проникал воздух (например, заклеить клейкой лентой).
Обозначьте в анкете дату окончания измерений и отправьте или принесите детекторы вместе с анкетами обратно по адресу Kopli 76, 10416 Tallinn Keskkonnaamet kiirgusosakond.

viktorija.nazimova@gmail.com

6644 912, 5817289

Viktorija Nazimova

ANKEET

Asutuse nimetus:

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

Kontaktisik:
(nimi, telefon, e-mail)

Valikvastuste korral palun tõmmake õigetele variantidele joon alla.

Hoone valmimisaasta:

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

Objekti olukord: renoveeritud, kapremont, muu:

Asukoht: tasasel maal, kallakul, künka peal, orus

Aluspõhi: paas, liiv või kruus, savi

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

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

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

Õhuvahetus: loomulik, väljatõmbeventiil, üldventilatsioon, muu:

Ventilatsioon töötab keskmiselt: tundi ööpäevas

Õhuvahetuse efektiivsus valdaja hinnangul: hea, keskmine, halb

Akende tüüp: puit, plastik, muu:

Aknad vahetati viimati:

Vundamendi materjal:

Vundamendi tüüp:

Kelder: jah, ei, osaline

Keldri põranda materjal:

Keldri seinte materjal:

Keldri lae materjal:

Esimese korruse põranda materjal:

Esimese korruse seina materjal:

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

Selgitus:

Esimese korruse põranda pindala: m²

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

Kiirgusosakonna kontaktisik: Viktorija Nazimova, 6644912, 58172891

viktorija.nazimova@gmail.com

Tabel. Ida- ja Lääne-Virumaa lasteasutuste keskmine radoonisisaldus ja efektiivdoos (mSv) 2000 tunni kohta aastas.

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi	Keskmine radoonisisaldus (Bq/m ³)	Efektiivdoos(mSv) 2000 tunni kohta Aastas
1	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Keskkool	205	1,29
2	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Lasteaed	62	0,39
3	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Muusikakool	135	0,85
4	Ida-Virumaa	Illuka	Illuka Põhikool	148	0,93
5	Ida-Virumaa	Illuka	Kurtna Laste Päevakeskus	79	0,5
6	Ida-Virumaa	Jõhvi	Lasteaed Kakuke	294	1,85
7	Ida-Virumaa	Jõhvi	Jõhvi Vene Gümnaasium	77	0,49
8	Ida-Virumaa	Jõhvi	Lasteaed "Kalevipoeg"	190	1,2
9	Ida-Virumaa	Jõhvi	Lasteaed "Sipsik"	141	0,89
10	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Jarve kula päevakeskus	142	0,89
11	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Ahtme Gümnaasium	123	0,77
12	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Kohtla-Järve Gümnaasium	219	1,38
13	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Kohtla-Järve Vene Gümnaasium	78	0,49
14	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Buratino	49	0,31
15	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Kakuke	206	1,3
16	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Karuke	54	0,34
17	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Lepatriinu	262	1,65
18	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Muinasjutt	104	0,66
19	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Pääsuke	91	0,57
20	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tareke	146	0,92
21	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tuhkatriinu	98	0,62
22	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tuvike	466	2,94
23	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Vahtre Põhikool	78	0,49
24	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Kohtla-Järve Lastekodu*	43	0,9
25	Ida-Virumaa	Lüganuse	Lüganuse Keskkool	288	1,82

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi	Keskmine radoonisisaldus (Bq/m ³)	Efektiiv doos(mSv) 2000 tunni kohta Aastas
26	Ida-Virumaa	Maidla	Maidla Põhikool	60	0,38
27	Ida-Virumaa	Mäetaguse	Mäetaguse Lasteaed Toruke	208	1,31
32	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Kaseke*	71	0,45
33	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Käoke*	36	0,23
34	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Muinasjutt*	158	0,99
35	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Marjake*	393	2,48
36	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Pääsuke*	79	0,5
37	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Tareke*	200	1,26
38	Ida-Virumaa	Narva	Lasteaed Väikevend*	122	0,77
39	Ida-Virumaa	Sillamäe	Astangu Kool	242	1,53
40	Ida-Virumaa	Sillamäe	Eesti Põhikool	212	1,33
41	Ida-Virumaa	Sillamäe	Kannuka Kool	89	0,56
42	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Helepunased Purjed	95	0,6
43	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Jaaniussike	297	1,87
44	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Päikseke	169	1,07
45	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Pääsupesa	70	0,44
46	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Rukkilill	88	0,55
47	Ida-Virumaa	Sillamäe	Vanalinna Kool	100	0,63
48	Ida-Virumaa	Sonda	Erra Lasteaed	127	0,8
49	Ida-Virumaa	Sonda	Sonda Lasteaed	86	0,54
50	Ida-Virumaa	Sonda	Sonda Põhikool	107	0,68
51	Ida-Virumaa	Toila	Toila Gümnaasium	786	4,95
52	Ida-Virumaa	Toila	Toila Lasteaed	271	1,71
53	Ida-Virumaa	Toila	Voka Lasteaed	330	2,08
54	Ida-Virumaa	Vaivara	Olgina Lasteaed	796	5,01
55	Ida-Virumaa	Vaivara	Sinimäe Põhikool	1087	6,85
56	Ida-Virumaa	Vaivara	Vaivara Lasteaed	213	1,34
57	Lääne-Virumaa	Haljala	Aaspere Põhikool	67	0,42
58	Lääne-Virumaa	Haljala	Haljala Gümnaasium	151	0,95
59	Lääne-Virumaa	Haljala	Haljala Lasteaed	74	0,47

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi	Keskmine radoonisisaldus (Bq/m ³)	Efektiiv doos(mSv) 2000 tunni kohta Aastas
60	Lääne-Virumaa	Rägavere	Põlula Põhikool	98	0,62
61	Lääne-Virumaa	Rägavere	Ulvi Lasteaed	76	0,48
62	Lääne-Virumaa	Someru	Aluvere Põhikool	367	2,31
63	Lääne-Virumaa	Someru	Sõmeru Lasteaed Pääsusilm	239	1,51
64	Lääne-Virumaa	Someru	Uhtna Põhikool	147	0,93
65	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Porkuni Kool	216	1,36
66	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Sääse Lasteaed	181	1,14
67	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Gümnaasium	658	4,14
68	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Lasteaed Kröll	164	1,04
69	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Vajangu Lasteaed	263	1,66
70	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Vajangu Põhikool	363	2,29
71	Lääne-Virumaa	Vihula	Palmse laste Mänguruhm	435	2,74
72	Lääne-Virumaa	Vihula	Võsu laste Mänguruhm	55	0,35
73	Lääne-Virumaa	Vihula	Võsu Põhikool	85	0,54
74	Lääne-Virumaa	Viru- Nigula	Vasta Põhikool	685	4,32
75	Lääne-Virumaa	Viru- Nigula	Viru-Nigula Lasteaed	208	1,31
76	Lääne-Virumaa	Väike- Maarja	Kiitsi Põhikool	153	0,97
77	Lääne-Virumaa	Väike- Maarja	Väike-Maarja Gümnaasium	54	0,34
78	Lääne-Virumaa	Väike- Maarja	Väike-Maarja Gümnaasiumi Algkool	205	1,29
79	Lääne-Virumaa	Väike- Maarja	Väike-Maarja Lasteaed	63	0,4
80	Lääne-Virumaa	Väike- Maarja	Väike-Maarja Päästekool	94	0,59
81	Lääne-Virumaa	Vinni	Vinni Perekodu*	77	1,6
82	Lääne-Virumaa	Rakvere	Rakvere Lille Kool*	30	0,19
83	Lääne-Virumaa	Tapa	Tapa Laste- ja Noortekodu*	31	0,65

* Autori tehtud radoonitase mõõtmised 2011a

Tabel. Lasteasutused, kus kõik mõõdetud tulemused olid madalamad kui 200 Bq/m³ kõikides ruumides.

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi
1	Ida-Virumaa	Aseri	Aseri Lasteaed
2	Ida-Virumaa	Illuka	Illuka Põhikool
3	Ida-Virumaa	Illuka	Kurtna Laste Päevakeskus
4	Ida-Virumaa	Jõhvi	Jõhvi Vene Gümnaasium
5	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Järve küla päevakeskus
7	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Kohtla-Järve Vene Gümnaasium
8	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Buratino
9	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Karuke
10	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Pääsuke
11	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Lasteaed Tuhkatriinu
12	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Vahtre Põhikool
13	Ida-Virumaa	Kohtla-Järve	Kohtla-Järve Lastekodu
14	Ida-Virumaa	Maidla	Maidla Põhikool
15	Ida-Virumaa	Sillamäe	Kannuka Kool
16	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Helepunased Purjed
17	Ida-Virumaa	Sillamäe	Lasteaed Rukkilill
18	Ida-Virumaa	Sillamäe	Vanalinna Kool
19	Ida-Virumaa	Sonda	Sonda Põhikool
20	Ida-Virumaa	Mäetaguse	MTÜ Avatud Värav Kiikla Lastekodu
21	Ida-Virumaa	Narva	Narva Lastekodu

Nr	Maakond	Vald	Asutuse nimi
22	Ida-Virumaa	Narva	Narva lasteaed Väikevend
23	Ida-Virumaa	Narva	Narva lasteaed Kaseke
24	Ida-Virumaa	Narva	Narva lasteaed Käoke
25	Ida-Virumaa	Narva	Narva lasteaed Muinasjutt
26	Ida-Virumaa	Narva	Narva lasteaed Pääsuke
27	Lääne-Virumaa	Haljala	Aaspere Põhikool
28	Lääne-Virumaa	Haljala	Haljala Lasteaed
29	Lääne-Virumaa	Rägavere	Ulvi Lasteaed
30	Lääne-Virumaa	Tamsalu	Tamsalu Lasteaed Kröll
31	Lääne-Virumaa	Vihula	Võsu laste Mängurühm
32	Lääne-Virumaa	Vihula	Võsu Põhikool
33	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Gümnaasium
34	Lääne-Virumaa	Väike-Maarja	Väike-Maarja Lasteaed