

EESTI MEREAKADEEMIA
Merendusteaduskond
Hüdrometeoroloogia õppetool

Olga Preiman
SISEÕHU RADOONISISALDUSED TALLINNA
LASTEASUTUSTES
Lõputöö

Juhendaja:
Lia Pahapill

Tallinn 2009

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

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

Autor.....
/allkiri ja kuupäev/

Õpperühm:

Töö vastab kehtivatele nõuetele.

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

Juhendaja.....
/allkiri ja kuupäev/

Kaitsmisele lubatud:

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

.....

Kaitstud hindele:

.....

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

.....

SISUKORD

SISUKORD.....	2
SUMMARY.....	3
LÜHENDITE LOETELU.....	5
SISSEJUHATUS.....	6
1. RADOON.....	9
1.1 Ioniseeriv kiirgus.....	9
1.1.1. Radooni teke ja füüsilised omadused.....	11
1.2. Radooni uuringute ajalugu.....	13
1.3. Radoonist tulenev terviserisk.....	14
1.4 Radoonitasemete normeerimisest.....	16
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	18
2.1 Radooni mõõtmised hoonete siseõhus.....	18
2.1.1. Passiivne meetod.....	19
2.1.2. Aktiivmeetod.....	20
2.2. Uuritavate objektide valik.....	21
2.2.1. Radooniohtlikud alad Eestis.....	21
2.2.2. Uuritavad lasteaiad.....	23
2.3. Mõõtmiste tegemise ja andmete kogumise korraldamine.....	23
3. RADOONISISALDUSED TALLINNA LASTEASUTUSTES.....	25
3.1. Lasteasutuste uuringu tulemused.....	25
3.1.1. Radoonist põhjustatud efektiivdoosid.....	28
4. MEETMED RADOONITASEME ALANDAMISEKS.....	30
4.1. Radooni tungimine hoonesse.....	30
4.2. Radooniriski vähendamine.....	31
4.3. Radoonitõkke meetmed.....	32
4.3.1. Radooniohutu elamu ehitamise üldnõuded.....	32
4.3.2. Radooniohutu elamu ventileerimine.....	33
4.3.2.1. Keldriga elamu ventileerimine.....	33
4.3.2.2. Hoonealuse ventileerimine.....	34
4.3.2.2.1. Alarõhumeetod.....	34
4.3.2.2.2. Õhkpadjameetod.....	34
4.3.2.2.3. Põrandaalused ventilatsioonitorud.....	34
4.3.3. Radoonitõkkekile.....	35
4.3.4. Membraanid.....	36
4.3.5. Radoonikaev.....	36
4.4. Radoonitaseme alandamine olemasolevates elamutes.....	36
4.4.1. Visuaalselt nähtavate aukude ja pragude kõrvaldamine.....	37
4.4.2. Visuaalselt nähtamatute radooni sisseimbumiskohtade kõrvaldamine.....	37
4.4.3. Põranda väljavahetamine.....	38
4.4.4. Ventilatsiooni paigaldamine.....	38
4.4.4.1. Põrandaaluse ventileerimine.....	38
4.4.5. Väljaspool hoonet tehtavad tööd.....	38
KOKKUVÕTE.....	41
Järeldused ja soovitused.....	42
KASUTATUD KIRJANDUS.....	43
LISAD.....	45

SUMMARY

INDOOR RADON CONCENTRATIONS IN KINDERGARTENS OF TALLINN.

Author: Olga Preiman

Language: Estonian

Radon is a radioactive gas arising from the uranium decay chain. Because there are traces of uranium in all rocks and soils, radon comes out of the soil everywhere, all the time. More dangerous radon concentrations appear in ground waters and in the soil, hence, the risk of indoor air contamination due to the fact that it can accumulate in basements or low-ground house areas is higher. Any cracks in the floor of the basement make it possible for the gas to enter the house; unfortunately, one will not be aware of exposure to this toxic element until it may already be too late. Radon exposure is responsible for severe cases of lung cancer and consequent deaths.

International organisations and several states have enforced safety standards related to radon. The Estonian standard EVS 840:2009 also follows the internationally accepted radon level limit value in the interior of buildings – 200 Bq/m³ (Becquerel per cubic meter).

Estonia is prone to high radon danger, such as Sweden and Finland. Until year 2006 the studies have been conducted in Estonia in dwellings only. In 2006 indoor radon concentrations study was completed, which included nearly 200 child care houses in more than 30 areas in Estonia. The kindergartens of Tallinn were excluded from this study.

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

In the winter period of 2009 instantaneous radon concentrations in air were measured in 34 kindergartens of Tallinn. Plastic detectors were used as 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 months in 136 rooms.

The indoor radon concentrations were generally low, in the range from 13 to 264 Bq/m³ of indoor air, with an overall average of about 72 Bq/m³. However in single rooms of two kindergartens radon concentrations were 264 and 251 Bq/m³. Measures to reduce radon concentrations in air were introduced in the instant study process. The calculated annual effective dose from that source for children during their time at kindergarten is also low, from 0,1 to 0,8 mSv.

LÜHENDITE LOETELU

UNSCEAR - Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni Aatomikiirguse Mõjude Teaduskomitee

ICRP - Rahvusvaheline Kiirguskaitse Komisjon

WHO - Maailma Tervishoiuorganisatsioon

IAEA – Rahvusvaheline Aatomienergiaagentuur

NEHAP - Eesti Keskkonnatervise Riikliku Tegevusplaan

SISSEJUHATUS

Enamik inimesi pelgab radioaktiivset tehiskiirgust teadmata, et kõrgemaid doose saadakse hoopis looduslikest allikatest. Inimene saab looduslikest ioniseeriva kiirguse allikatest 1000 korda rohkem kiirgust, kui tuumatööstlusest (Miles, 1999). Kuna looduslike kiirgusallikate osas põhjustab radoon umbes 40 % kogu elanikkonna kiirgusdoosist (UNSCEAR), siis saab väita, et radoon on peamine looduslik ioniseeriva kiirguse allikas. Radooni kontsentratsioonid on kõige suuremad hoonete siseõhus, välisõhus ta hajub põhjustamata olulist kiirgusdoosi.

Siseõhu kvaliteedil on tervise seisukohalt oluline roll, sest me viibime siseruumides olenevalt aastaajast isegi kuni 90% ööpäevast. Tähtsaimateks siseõhu kvaliteeti ja ka radooni kontsentratsiooni mõjutavateks teguriteks on ventilatsioon, elamisharjumused, materjalide emissioonid ning maapind, millele on hoone ehitatud. Nende teguritega tuleb arvestada radooni mõõtmistulemustest järelduste tegemisel ning kõrgema kontsentratsiooni puhul radoonisisalduse vähendamise meetmete valimisel.

Eestimaal on looduskiirguse osas kosmilise kiirguse ja pinnase ning mineraalse ehitusmaterjali gammakiirguse osakaal mõnevõrra väiksem, kui paljudes Euroopa riikides, samas moodustab radoonist põhjustatud aga sageli enam kui 60% kiirgusdoosist. Radoon on Eesti inimeste peamiseks looduskiirguse allikaks. Radooniohu seisukohalt on Eesti võrreldav Euroopa suurima radooniohuga riikidega, nagu näiteks Rootsi või Soome.

Radooni probleemiga tegeleb rahvusvaheline organisatsioon Rahvusvaheline Kiirguskaitse Komisjon (ICRP). ICRP on 1928. aastal asutatud valitsusväline teadusorganisatsioon, mis avaldab regulaarselt soovitusi, kuidas korraldada kaitset ioniseeriva kiirguse eest. Organisatsiooni reputatsioon tuleneb tema liikmete teaduslikust mainest ja soovitude asjakohasusest. Komisjoni prognoosid surmaga lõppevasse vähki haigestumise tõenäosuse kohta põhinevad Jaapani tuumaplahvatused üleelanute uurimisel ja nende hindamisel selliste organisatsioonide poolt nagu Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni Aatomikiirguse Mõjude Teaduskomitee (UNSCEAR) ja Maailma Tervishoiuorganisatsioon (WHO). ICRP annab ette soovituslikud radooni piirmäärad töökohtadele ja elamutele. Elamutele on ICRP määranud aktsepteeritavaks radooni piirmääraks 200-600 Bq/m³, töökohtadele 500-1500 Bq/m³ (ICRP, 65), sest töökohas reeglina inimene veedab vähem aega kui kodus.

Radooni uuringute tähtsus seisneb radooni ohtlikkusel. Nii pikaajalised epidemioloogilised uuringud kui ka loomkatsed tõestavad, et radoon on üks kopsuvähi põhjustajatest. WHO andmetel võib kuni 15% kopsuvähi juhtudest olla põhjustatud radoonist ja tema tütarproduktidest (WHO 2005). Seega ei saa radooni ohtu suhtuda ükskõikselt.

Eestis tõusis radooniprobleem avalikkuse huvi keskmesse 1989. aastal seoses nn. „Sillamäe juhtumiga”, kus kahe sealse lasteaia lastel ja ka mõnel töötajal täheldati haiguslikku juuste väljalangemist, mille ühe põhjusena kahtlustati siseõhu radooni. Süstemaatilisi radooniuuringuid hakati meil tegema 1990-ndatel aastatel, mil Ehituse Teadusliku Uurimise Instituudi poolt viidi läbi mõõtmised enam kui 400 majas. Nende uuringute käigus saadi maksimaalseks radooni kontsentratsiooniks 6700 Bq/m^3 ning 4 % tulemustest ületas 800 Bq/m^3 . Uuringu tulemustest järeldati, et peamine radooniallikas on pinnas hoone all. Järgneva uuringu käigus 700 erinevas hoones (peamiselt elamud), mis toimus aastatel 1994-1998 saadi keskmiseks radoonikontsentratsiooniks 102 Bq/m^3 , maksimaalne mõõtetulemus saadi Kundas – $12\,000 \text{ Bq/m}^3$ (Pahapill, 2004).

Aastatel 1998-2001 viidi läbi radooniuuring 515 juhuslikult valitud majas üle Eesti. Selle uuringu käigus saadi keskmiseks radoonisisalduseks ruumides 103 Bq/m^3 ning neid tulemusi kasutati radooniriski kaardi valmimisel (Pahapill, 2001). Aastatel 2002-2004 kogus Kiirguskeskus (Keskkonnaameti Kiirgusosakond) koostöös Rootsi Kiirguskaitse Instituudiga, Rootsi ja Eesti Geoloogiakeskusega projekti “Radoon majades” raames radooniriski kaardi algmaterjale ning teavitas ka elanikkonda radooniga seotud riskidest (Pahapill, 2004). Kuni 2006. aastani puudutasid Eestis hoonete siseruumide radooniuuringud peamiselt eramuid.

Aastail 2005 - 2006 kütteperioodil viidi läbi radooniohtlike alade lasteasutuste radooniuuring, mis kajastub 2006 aastal valminud Evelyn Pesuri magistritöös „Radoon radooniohtlike alade lasteasutustes“ (Pesur, 2006). Töös võeti luubi alla ligi 1500 lasteasutust Eestis. Valik tehti aladelt, kus asuvad kõrgemate radooni kontsentratsioonidega elumajad (Pesur, 2006).

Probleeme radoonisisaldusega eksisteeris 49% mõõdetud hoonetest. Selline tulemus polnud üllatav, kuna samadest piirkondadest oli kõrgeid tulemusi saadud ka elumajadest. Lasteasutuste tüüpide võrdlemisel selgus, et oodatult olid kõrgemad tulemused huvikeskustes ning raamatukogudes, kus üldjuhul on klassiruumidest väiksemad ja kinnisemad ruumid.

Kõikide mõõdetud hoonete keskmiseks saadi 191 Bq/m^3 ning maksimaalseim tulemus 3850 Bq/m^3 oli Vaivara vallas (Pesur, 2006). Uuringu alt jäid välja Tallinna lasteaiad.

Hinnanguliselt on kuni kolmandik tervisekaotusest otseselt seotud elu-, töö- ja õpikeskkonnast tulenevate teguritega. Eelkõige mõjutavad keskkonnategurid lapsi, kusjuures alla 5-aastaste arvele langeb koguni 40% keskkonna negatiivsest tervisemõjust (Sotsiaalministeerium). Lapse organism on tundlikum, kui täiskasvanu inimese oma, sellepärast ning ülaltoodust tulenevalt on käesolevas lõputöös võetud uurimise alla siseõhu radoonisisaldused Tallinna lasteasutustes.

Lõputöö eesmärgiks on välja selgitada, milline on siseõhu radoonitase Tallinna lasteasutustes, hinnata neis radoonist põhjustatud efektiivdoose, tutvustada meetmeid radoonitaseme alandamiseks.

Lähtuvalt töö eesmärgist püstitati järgnevad küsimused ja neist tulenevad tööhüpoteesid:

1. Milline on siseõhus radoonisisaldus Tallinna lasteasutustes?

Tööhüpotees: enamustes uuritavates lasteasutustes radoonitasemed vastavad kehtestatud normile

2. Millised on radoonist saadavad efektiivdoosid lasteasutustes?

Tööhüpotees: ainuüksi lasteasutustes saadavad efektiivdoosid võivad ületada keskmise radoonist saadava efektiivdoosi

3. Kas saaks radoonisisaldust hoonetes alandada? Millised meetmed on kasutusel tänapäeval?

Tööhüpotees: radoonitaseme alandamiseks on olemas erinevaid meetmeid

Uuringu tulemused edastatakse lasteadadele, Tallinna Haridusametile ja Tervisekaitseinspeksioonile. Tulemused aitavad otsustada täiendavate uuringute vajaduse üle. Lisaks saab erinevate ehitiste kohta kogutud andmeid tulevikus eesmärgiga töötada välja ennetavaid meetmeid majades radooniohu vähendamiseks. Olemasoleva hoone radoonikindlaks muutmine renoveerimistööde käigus on rahaliselt kulukam võrreldes riskist lähtuva radoonikindla uue hoone ehitamine. Radooniohuga arvestamine aitab vähendada kasvajate tekkimise riski. Pidev teabe kajastamine ja teadlikkuse tõstmine radooniga kaasnevast terviseriskist propageerib omakorda radoonitaseme alandamist hoonetes.

1. RADOON

1.1 Ioniseeriv kiirgus

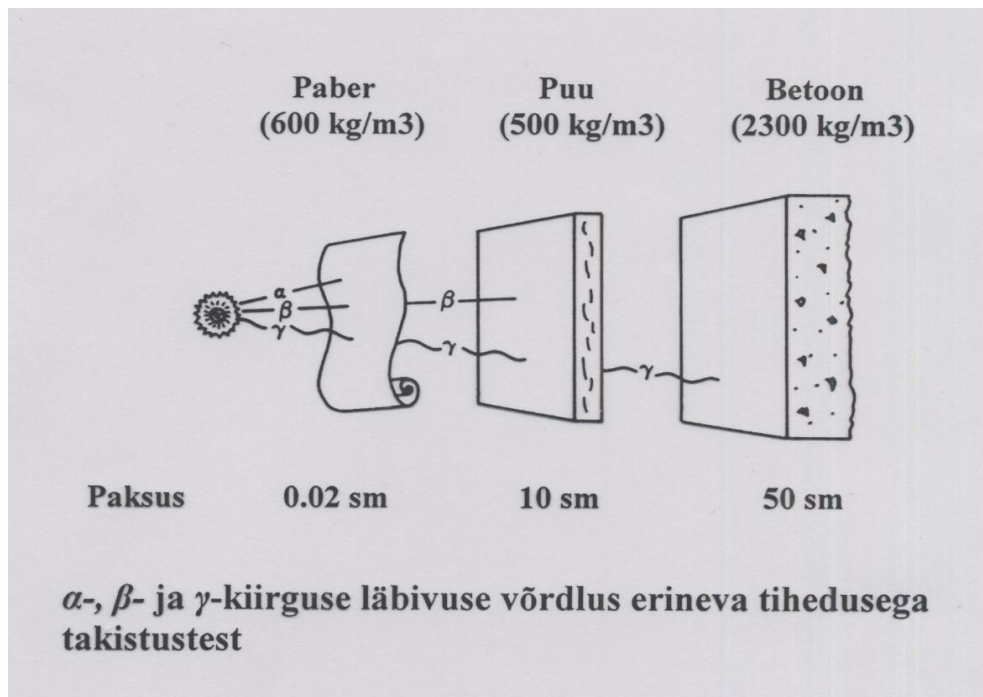
Nii inimene kui teda ümbritsev aine koosneb aatomitest. Kõik aatomid on sarnase ehitusega: nad koosnevad tuumast ja selle ümber tiirlevatest elektronidest. Aatomituumad koosnevad prootonitest ja neutronitest ning on tavaliselt väga püsivad. Kuid mõnedele aatomituumadele on omane iseeneslikult laguneda.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

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

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

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

Gammakiirgus on gammakvantide voog. Gammakvandid on väga suure läbimisvõimega ja neid suudab peatada alles 5 sentimeetri paksune seatinakiht või poolemeetrine betoonikiht (joonis 1).



Joonis 1. Alfa-, beta- ja gammakiirguse läbivuse võrdlus erineva tihedusega takistustest (Petersell, 2008).

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

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

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

1.1.1. Radooni teke ja füüsikalised omadused

Radooni nimetus tuleneb ladinakeelsest sõnast radio - „kiirgan”. Radooni varasemad nimetused on olnud ka emanatsioon (või raadiumi emanatsioon), nitoon, aktinoon, toroon – tulenevalt päritolust (nimed anti erinevatele Rn isotoopidele). Isotoobid avastati erinevate teadlaste poolt. Üldiselt peetakse radooni avastajaks saksa teadlast F. E. Dorni 1900. aastal (Karik, 2003).

Looduses tekib radoon (Rn) uraani (U) ja tooriumi (Th) radioaktiivsel lagunemisel (Lisa 1) ning koosneb kolmest isotoobist – radoon-222 (^{222}Rn) ehk radoonist, radoon-220 (^{220}Rn) ehk toroonist ja radoon-219 (^{219}Rn) ehk aktinoonist.

Looduslik U koosneb peamiselt kahest isotoobist – ^{238}U , mis moodustab 99,28% ja ^{235}U , mis moodustab 0,72%. Toorium (Th) koosneb praktiliselt 100%-lt isotoobist ^{232}Th . Inimeste tervist ohustav Rn on peamiselt U isotoobi ^{238}U radioaktiivsel lagunemisel tekkiva ^{226}Ra vahetu lagunemise produkt ja on esindanud ^{222}Rn isotoobiga. ^{238}U poolestusaeg on mõõdetav miljardite aastatega, ^{226}Ra poolestusaeg on 1620 aastat ja ^{222}Rn poolestusaeg ainult 3,82 päeva. Ka Th isotoobi ^{232}Th radioaktiivsel lagunemisel tekkiva raadiumi (^{224}Ra) lagunemisel eraldub Rn. Selle radooni ehk torooni (^{220}Rn) poolestusaeg on ainult 55,6 sekundit ja sellest tulenevalt on ^{220}Rn osakaal loodusliku Rn koostises tagasihoidlik. ^{235}U lagunemisel tekkiva radooni ehk aktinooni (^{219}Rn) sisaldus on väga väike, ühelt poolt tänu ^{235}U väikesele sisaldusele ja teiselt poolt ^{219}Rn väga lühikesele (3,82 sekundit) poolestusajale. Sellest tingituna moodustab ^{222}Rn poolt põhjustatud radioaktiivne kiirgus kogu radooni päritoluga kiirgusest üle 93% ning selle mõju elanikkonnale on määrav (UNSCEAR, 1993).

Radooni teeb kõigist teistest uraani ja tooriumi rea elementide seast eriliseks see, et tegu on gaasiga. Gaasiline olek annab talle liikuvuse. 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}Rn mõju inimesele. ^{222}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 nemad peamised kiirgusdoosi põhjustajad (ICRP, 1993).

Käesolevas töös peetakse radooni mõiste all silmas ^{222}Rn ning radooni poolt tekitatud mõju all radooni koos tema tütarproduktidega.

Radoonisisalduse mõõtmisel õhus kasutatakse mõõtühikut Bq/m^3 . Seega aktiivsuskontsentratsioonil 1 Bq/m^3 laguneb ühe sekundi jooksul ühes kuupmeetris õhus üks radooniaatom.

Gaasiline olek soodustab radooni aatomite liikuvust pinnases ja ainete poorides. Maapinnast õhku väljunud radoon hajub atmosfääris kiiresti ja sellest tulenevalt on välisõhus radooni kontsentratsioon tavaliselt $10\text{-}30 \text{ Bq/m}^3$. Siseõhus võib radooni kontsentratsioon olla mitu korda kõrgem ning ulatuda kuni mitmekümne tuhande Bq/m^3 (Petersell, 2004).

Kuna radooni radioaktiivse lagunemise poolestusaeg on lühike, 3,8 ööpäeva, siis difusiooni teel on tema levik küllalt piiratud. Näiteks ainult 10 % esialgsest kogusest jõuab vees 5 cm, niiskes liivas 2 m ja liikumatus õhus 5 m kaugusele. Kuid liikudes koos õhuga erinevatesse pinnasekihtidesse võib radoon enne lagunemist kanduda 20-40 meetri kaugusele, kivimites olevaid lõhesid pidi, kaevanduskäikudes ja kommunikatsioonitorustikes – veelgi kaugemale. Veega kivimite lõhedes edasi kandudes võib radoon maapinnani jõuda enam kui 100 m sügavuselt (Kiirguskeskuse teabematerjal).

Radooni lagunemissaadustest tekitatud üle maailma keskmistatud aastast efektiivdoosi hinnatakse umbes 1,2 millisiivertile. See väärtus aga varieerub märkimisväärselt. Mõnes riigis (näiteks Soomes) on riigi keskmine mitu korda kõrgem ja paljude maade elamutes saavad elanikud mitusada korda suuremaid efektiivdoose aastas. Seda arvestades on ICRP ja IAEA soovitanud määratleda ära aktsioonitase (väljendatakse Bq/m^3), see on aktiivsuskontsentratsiooni tase, millest kõrgemate väärtuste registreerimisel soovitatakse elamu valdajatel rakendada meetmeid radoonitaseme alandamiseks.

Tüüpiliselt peaksid aktsioonitasemed jääma vahemikku $200\text{-}600 \text{ Bq/m}^3$, mis on umbes kümme korda kõrgem kui keskmine radooni kontsentratsioon elamute siseõhus. Inimesed, kes avastavad, et radooni tase nende elamutes on kõrge, võivad selle alandamiseks takistada õhu sattumist maapinnast elamusse. Kõige tõhusam viis selleks on alandada väikese ventilaatori abil õhurõhku hoone all (keldris). Selline toiming on ICRP mõistes näide sekkumisest eesmärgiga vähendada inimese kokkupuudet ioniseeriva kiirgusega (IAEA).

Hoonesse imbub radoon pinnasest hoone alt ja ümbrusest, ehitusmaterjalidest, erinevatest kommunikatsiooni ja äravoolutorude avadest ning kraaniveest. Asjaolu, et hoones on tihti õhurõhk väiksem kui selle aluses pinnases, soodustab gaasi imbumist hoonesse (Pesur, 2006).

1.2. Radooni uuringute ajalugu

Radioaktiivseid elemente leidub maapinnal selle tekkimisest alates. Need elemendid, mille poolestusaeg oli kõige lühem, on arengu käigus kadunud. Maapinnal praeguseeni leiduvate pika poolestusajaga radioaktiivsete elementide seas on tuntum uraan, millest tekib ka radoon. Radioaktiivsuse avastas 1898. aastal Marie Curie, uurides raadiumi. Sellele järgnesid mitmed muud looduslikku radioaktiivsust uurivad tööd. 1900. aastal avastas füüsik F. Dorn, et raadiumi sooladest tekib radioaktiivne gaas radoon.

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

1902. aastal Schneebergis korraldatud uurimised näitasid radooni esinemist suurtes kogustes. Sellest ajast on pärit ka väide, et radooni kontsentratsioon ja kopsuvähki haigestumine on omavahel seotud. See väide leidis kinnitust 1920-ndail aastail korraldatud täpsemates uurimustes Schneebergis ja teistes kaevandustes, näiteks Böömimaal, kust pärinesid ka mineraalid, mida kasutas oma uurimustes Marie Curie. Nendest uurimistulemustest siiski ei piisanud üldise heakskiidu saamiseks, kuna mõned teadlased kirjutasid kopsuvähi tekke teiste tegurite arvele.

Alates 1940-ndatest aastatest hoogustus uraani kaevandamine. Radooni taset hakati uraanikaevandustest üldiselt mõõtma aga alles 1950. aastal.

1951. aastal näitasid katsed loomadega, et radoon mõjus neile kantserogeenselt. Epidemioloogilised uurimused kaevurite seas 1960-ndatel aastatel kinnitasid sama ka inimeste puhul.

Nobeli preemia laureaat E. Rutheford rõhutas juba 1907. aastal, et me kõik hingame iga päev radooni sisse. Esimesed majade siseõhus sisalduva radooni mõõtmised tehti aga alles 1956. aastal (Rootsis) ning nende käigus mõnedes hoonetes saadud suured mõõtmistulemused ei leidnud peaaegu üldse rahvusvahelist kajastust. Alles kakskümmend aastat hiljem näitasid paljudes riikides korraldatud süstemaatilised ja laiaulatuslikud uurimused, et radooni leidus kõikjal ja saadava kiirguse hulk võis olla väga suur, olles võrreldav kaevandustes mõõdetuga (WHO Regionaalbüroo, 1997).

ICRP toonitas radooni põhjustatud terviseprobleemide laiaulatuslikkust ning avaldas erisoovitused radoonist tulenevate terviseriskide vältimiseks oma spetsiaalses väljaandes N°65/1993 (ICRP, 1993).

1.3. Radoonist tulenev terviserisk

Rahvastiku tervist mõjutab oluliselt väljaspool inimorganismi asuv keskkond füüsikaliste, bioloogiliste, keemiliste, sotsiaalsete ja psühhosotsiaalsete teguritega, kusjuures mõju tervisele ilmneb sageli alles aastate pärast.

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 tervist mõjutavad mitmesugused keskkonnategurid, eelkõige: füüsikalised (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 inimese tervisele (Sotsiaalministeerium). 1999. aastal koostatud Eesti Keskkonnatervise Riikliku Tegevusplaani (NEHAP) järgi kuulub radoon meil enam levinud ohtlike keskkonnategurite hulka.

Sõltuvalt rakkudele tekitatud kahjustuse tüübist võib eristada ioniseeriva kiirguse kahesugust bioloogilist toimet: deterministlikku ja stohhastilist. Deterministlikke kiirgusmõjude puhul on olemas mingi lävidoos, mille ületamisel doosi suurenemisega suureneb kahjustuse raskus. Deterministlikud kiirgusmõjud tulenevad kudede moodustavate rakkude taastusvõime kaotusest (nahapõletused, kiiritustõbi). Stohhastilise kiirgusmõju korral mõjutatakse raku geneetilist komponenti, tulemuseks vähkkasvajad või pärilikud defektid. Stohhastiliste efektide puhul on tegemist lävidoosi mitteomavate kiirgusmõjudega, mille esinemise tõenäosus suureneb doosi suurenemisega, kuid mille raskus ei sõltu doosi suuruselt. Radooni puhul on tegu stohhastilise kiirgusmõjuga – radoonist põhjustatud kiirgusdoosi suurenedes suureneb ka tervisekahjustuse (vähi) tekkimise tõenäosus.

Terviseriski seisukohalt on oluline radooni lagunemine lühiealisteks tütarisotoopideks (polonium-218, plii-214, vismut-214, polonium-214). Need on radioaktiivsed metalliioonid, mis kinnituvad õhus leiduvate tolmu- jm osakeste külge või mitmesugustele pindadele: seintele, kardinale jne. Tänu omadusele kinnituda ruumiõhus olevale aerosoolile on radooni tütarproduktide hulk õhus sama radoonisisalduse korral tolmuses ja suitsuses ruumis suurem kui puhtas. Radoon ja tema tütarproduktid emiteerivad peamiselt alfa-kiirgust. Õhuga sisse hingatud radoonist ja tütarproduktidest vabanev alfa-kiirgus võib põhjustada hingamisteedes ja kopsus vähi. Mida suurem on radoonist saadav kiirgusdoos, seda suurem on vähioht. Mitmetes Euroopa riikides ja Põhja-Ameerikas on radoon suitsetamise järel teine kopsuvähi riskifaktor.

Suitsetamine tõstab järsult radoonist põhjustatud kopsuvähi riski. Puhta õhuga ruumis kinnitub osa radooni tütarisotoopidest pindale ega sattu sissehingatavasse õhku ning nende kahjustav mõju limaskestadele väheneb tunduvalt. Viimast seisukohta illustreerib eriti hästi Rootsis tehtud uuring radoonist tuleneva kopsuvähiriski kohta suitsetajatele ja mittesuitsetajatele.

Kuna varasemate epidemioloogiliste uuringute käigus ei eristatud suitsetajaid ja mittesuitsetajaid, oli raske vastata küsimusele, milline on ainult radoonist põhjustatud kopsuvähi risk. 2001. aastal avaldati Rootsis sealse Karolinska Instituudi epidemioloogilise uuringu tulemused, mis hõlmasid 436 kopsuvähi juhtu patsientidel, kes polnud kunagi suitsetanud (kontrollgrupp 1650 inimest).

Nimetatud uuringu põhjal väidavad Rootsi teadlased, 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). Selle uuringu tulemusi iseloomustab väga hästi sellest ettekandest võetud graafik (Lisa 2). Nagu jooniselt näha tõuseb risk haigestuda kopsuvähki seoses radoonitaseme tõusuga mittedsuitsetajatele väga aeglaselt, suitsetajatele on aga riski suurenemine palju järsem.

Eestis radoon on üks peamistest kiirguse allikatest ja seni tehtud mõõtmiste alusel võib väita, et radoon meie elamutes põhjustab igal aastal ligikaudu 90-100 uut haigusjuhtu (Eesti Vähiregistri andmeil tuvastatakse kopsuvähk meil aastas keskmiselt 700 uuel patsiendil), neist 90 on suitsetajad ja 10 mittedsuitsetajad (Pahapill, 2004).

Radoon ei ole uue aja moenähtus, vaid väga raskeid tervise probleeme tekitav radioaktiivne gaasiline aine, mille tagajärjeks võib olla kopsuvähk. Hirmuäratav fakt on see, et ainult 15% kopsuvähiga inimestest elavad rohkem kui 5 aastat (Indoor air health advisor).

1.4 Radoonitasemete normeerimisest

ICRP ja Euroopa Nõukogu soovivad võtta tarvitusele meetmed radooni vastu nii elu- kui ka töökohtades. Euroopa Liidu direktiiv 96/29 EURATOM (EURATOM, 1996) kehtestab põhilised standardid elanike ja kiirgustöötajate tervise kaitsmiseks ioniseeriva kiirguse eest. Selles dokumendis on tähelepanu pööratud radoonitasemetele töökohtades, kus looduskiirguse taseme jälgimine ja vajadusel sekkumine on liikmesriikidele kohustuslik

Enamik Euroopa riike on kehtestanud oma riigis radoonitasemete piirnormid elamutele ja töökohtadele. Normid on eri riikides erinevad, jäädes vahemikku 150-1000 Bq/m³ soovitava ülemise piirtasemena uutele ja aktsioonitasemena olemasolevatele hoonetele. Põhjamaad (Taani, Soome, Island, Norra ja Rootsi) soovivad aktsioonitasemeks nii olemasolevates elamutes kui ka maapealsetes töökohtades 400 Bq/m³, 200 Bq/m³ aga uurimistasemena olemasolevatele ja soovitatava ülemise piiritasemena uutele hoonetele (Tänavsuu, 2008).

Vastavalt Eesti Standardile 840:2009 „Radooniohutu hoone projekteerimine“(EVS, 2009) peab meil uutes, ehitatavates elu-, puhke- ja tööruumides aasta keskmine radoonisisaldus olema väiksem kui 200 Bq/m^3 . Tuginedes rahvusvahelisele praktikale soovitab keskkonnaameti kiirgusbüroo elanikele radooniprobleeme tutvustavas infovoldikus juba olemasolevate elamute puhul lähtuda aasta keskmisest 400 Bq/m^3 . Samas puudub meil kehtestatud aktsioonitase nii elamutele kui ka töökohtadele. Aktsioonitase radooni puhul on selline aktiivsuskontsentratsiooni tase, mille ületamisel tuleb pidevkiirituse olukorras rakendada korrektiiv- või kaitsetegevusi (Realo, 1997).

Nagu eespool öeldud, satub radoon majja peamiselt hoonealusest pinnasest, ehitusmaterjalidest ja vahel ka kraaniveest, kusjuures enamikus maades on peamine radooniallikas pinnas hoone all ja ümber. Vältimaks ülemääraseid radooni kontsentratsioone siseõhus on riigid kehtestanud soovituslikud piirmäärad ka radooni eraldusele ehitusmaterjalidest ning radoonisisaldustele joogivees. Olulise sammuna on kõrgemate radoonitasemetega maades kasutusel pinnaste radooniohtlikkuse klassifitseerimine ja sellest tulenevad ehituslikud meetmed. Eestis on vastavad soovitused olemas aastast 2000 kehtivas EPN 12.3 „Radooniohutu hoone projekteerimine“ ja mõnevõrra täpsustatud kujul 2009. aastast Eesti Standardis EVS 840:2009 (EVS, 2009). Dokument annab pinnaste liigituse radooni emissiooni põhjal ja esitab vastavad ehituslikud meetmed radooniohu vältimiseks.

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1 Radooni mõõtmised hoonete siseõhus

Radoonimõõtmiseks on sobilikum kütteperiood, mil radoonisisaldus ruumides on tõenäosuslikumalt kõige suurem. Mõõtmise ajal ei ole vajadust oma tavapärast eluviisi muuta - inimesed võivad elada oma igapäevast elu ning kasutada ruume harjumuskohaselt. Otstarbekas on mõõta radooni taset hoone esimesel korrusel ja/või keldrikorrusel, kui sealseid ruume kasutatakse elu- või tööruumidena. Kõrgematele korrustele radoon üldjuhul ei jõua ning seal probleemi enamasti ei esine. Tavaliselt tehakse mõõtmised elu- ja magamistoas. Töökohtadel on soovitatav mõõtmised läbi viia ruumides, kus töötajad viibivad suurema osa tööajast. Samuti lasteasutustes mõõtmised läbi viiakse enim kasutatavates klassi- ja magamisruumides. Mõõtmisi teostatakse ka korterites, mis asuvad ventilatsioonišahtide ja liftide lähedal, kuna radoon võib sisse imbuda ka maja läbivatest vertikaalsetest torudest. Valminud hoones on soovitatav mõõtmised teostada esimesel aastal pärast hoone kasutusele võtmist ning siis kui ruumides käib tavapärane elutegevus. Pooleliiolevas majas radoonisisalduse mõõtmise tulemused ei iseloomusta radoonikontsentratsiooni tegelikus olukorras. Oluline on meeles pidada, et mõõtes radoonisisalduse ühes hoones, ei iseloomusta see tulemus naabermaja radoonisisaldust (Kiirguskeskuse teabematerjal).

Radooni kontsentratsioon hoone siseõhus sõltub geoloogilistest tingimustest, maja konstruktsioonist ja ehituse kvaliteedist, materjalide emissioonidest, ventilatsioonist, elamisharjumustest (ruumide asustustihedus jne). Tuleb silmas pidada, et radoonitase ruumides muutub ka ajas, sõltudes lisaks elanike eluviisile ka muutuvatest ilmastikuoludest, nende ööpäevastest ja sesoonsetest kõikumistest.

Sõltuvalt uuringu eesmärkidest võib radoonitasemeid määrata mitmel erineval moel ja mitmete erinevate mõõteriistadega (Kiirguskeskuse teabematerjal).

Radooni kontsentratsiooni mõõtmiseks siseruumides võib kasutada nii passiivset kui ka aktiivset meetodit. Aktiivse meetodi korral paigaldatakse majja paariks päevaks elektrooniline radoonimonitor. Kuna mõõteaeg on lühike, ei saa tulemusi kasutada enamaks kui

radooniprobleemi indikatsiooniks. Passiivse meetodi puhul eksponeeritakse hones tavaliselt kahte väikest detektorit kaks kuud. Soovitavalt asetatakse detektorid elutuppa ja magamistuppa. Passiivse meetodi eeliseks on pikk mõõteperiood, mis tagab usaldusväärsema tulemuse.

Eesti Keskkonnaameti Kiirgusosakond (Kiirguskeskus) pakub mõlemat meetodit. Lisaks radooni kontsentratsiooni mõõtmise vahenditele omab Kiirgusosakond seadet, mis võimaldab teha kindlaks radooni hoonesse sisseimbumise kohad.

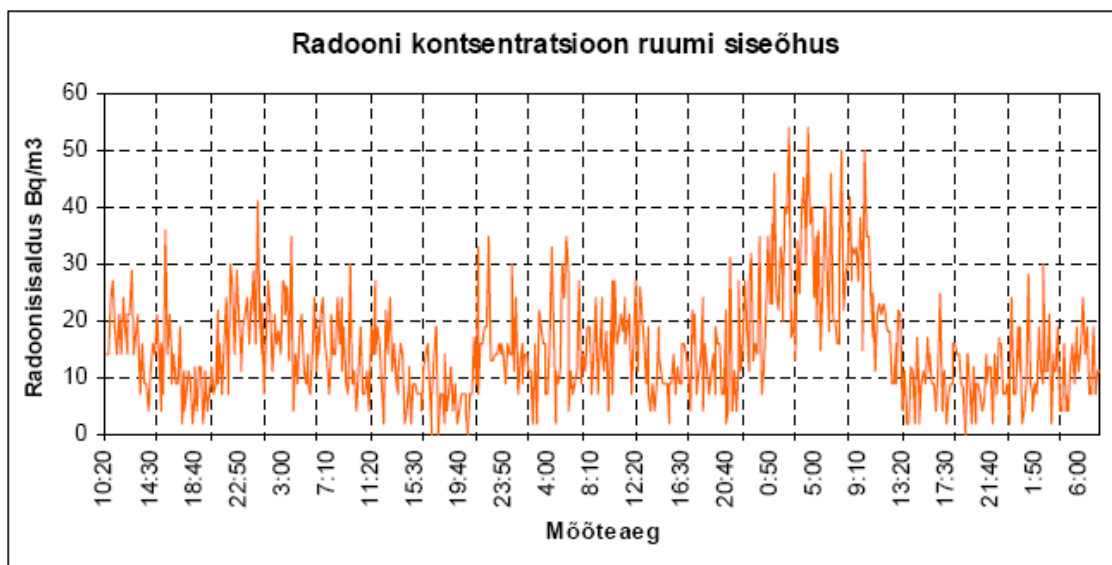
2.1.1. Passiivne meetod.

Tegemist on rahvusvaheliselt tunnustatud pikaajalise meetodiga, mille korral paigaldatakse mõõdetavale objektile tavaliselt kaheks kuuks kaks-neli detektorit. Plastikmaterjalist detektorid asuvad spetsiaalse piluga varustatud kaitsekarbis. Radoon imbub kambrisse ning emiteerides alfakiirgust kahjustab plastiku pinda, jättes sellele jälje (träki). Detektorid ise ei kiirga ning on seega täiesti ohutud. Pärast mõõteperioodi lõppu töödeldakse plastikdetektorid keemiliselt laboratooriumis ning analüüsitakse elektroonilise mikroskoobi ja spetsiaalse arvutiprogrammi abil. Väljundparameetrina leitakse mõõteperioodi keskmine radoonisisaldus. Meetod on usaldusväärne, kuna näitab pika mõõtmisperioodi keskmist tulemust. Lähtudes eeldusest, et radooni peamine allikas on maapind, paigaldatakse detektorid esimeste korruste elu- ja tööruumidesse või ka keldrikorruste elu-, magamis- ja tööruumidesse, kui sellised ruumid on olemas. Siseruumide radoonisisalduse mõõtmiseks komplekteeritud detektorid pakitakse transportimise ajaks õhutihedasse alumiiniumkotti ning saadetakse posti teel koos detektorite paigaldamise kirjaliku juhisega. Detektoreid on väga lihtne paigaldada ning need ei sega igapäeva elu. Peale eksponeerimisperioodi lõppu söövitatatakse alfaosakeste jäljed keemiliselt, mis võimaldab neid mikroskoobi abil loetleda ning arvutada mõõteperioodi keskmine kontsentratsioon. Pärast analüüsimist väljastatakse saadud tulemuste kohta protokoll. Kasutatav mõõtmismetoodika võimaldab võrrelda andmeid teiste Euroopa riikidega.

2.1.2. Aktiivmeetod.

Tegemist on aktiivmeetodiga, mille korral paigaldatakse hoonesse 2-4 päevaks radoonimonitori, näiteks AlphaGuard, mis jälgib radooni kontsentratsiooni muutusi ajas. Aparaat registreerib kümne minuti keskmisi radooni kontsentratsiooni, kui ka temperatuuri ja õhurõhu tulemusi ning hiljem on võimalik mõõteandmete põhjal saada arvutiprogrammiga graafik radooni sisalduse kõikumistest hoone siseõhus mõõteperioodi jooksul. Kuigi aparaat mõõdab pidevalt, iseloomustavad saadud tulemused siiski vaid hetkeolukorda ning annavad infot radooniprobleemi esinemise või puudumise kohta hoone siseõhus. 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.

Mõõtmistulemuste kohta väljastatakse protokoll mõõteperioodi keskmise tulemuse ning radooni sisalduse kõikumist iseloomustava graafikuga (näide joonisel 2.).



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

Lisaks sellele rahvusvaheliselt kasutatakse **elektermeetodid**. Kasutatakse detektoreid, milles on umbes 700 voldini laetud tablett. Kui radoon ja tema tütreid emiteerivad alfaosakesi, siis tablett kogub laengu, mis tekib õhu neutraliseerimisel. Mõõteperioodi pikkus varieerub mõnest päevast mõne kuuni sõltuvalt detektorite valmistajapoolsetest nõuetest.

Rahvusvaheliselt kasutatakse enim passiivse meetodit, mis ei ole tundlik mehhaanilistele vigastustele ning ei vaja kohapealset analüüsi (see tähendab mõõtmise saab teostada peale detektori eemaldamist mõõtekohalt).

Kuna passiivne meetod on usaldusväärsem ja lihtsam, siis antud lõputöö raames mõõdetakse radoonisisaldust ruumide siseõhus pikaajalise passiivse meetodiga, kasutades plastikmaterjalist detektoreid. Neid saadetakse posti teel neli tükki kaupa lasteasutustesse, paigaldatakse esimesel korrusel ja/või keldris ning peale eksponeerimisperioodi lõppu töödeldakse ja analüüsitakse andmeid Keskkonnaameti Kiirgusosakonnas.

2.2. Uuritavate objektide valik

2.2.1. Radooniohtlikud alad Eestis

Eesti Geoloogiakeskuse andmeil võib radoonioht elamutes esineda järgmistes Eesti piirkondades (Jõgioja, 2004):

Tallinnast lääne pool

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

Tallinnas

- 7) Alal, mis ulatub Harku järvest lõunas ja kagus kuni peastanguni;
- 8) Mustamäe nõlvaalusel kuni Rahumäeni, kuni kilomeetri laiusel ribal;
- 9) Põhja pool Rahumäe ja Liiva raudteejaamade vahelist joont kuni kahe kilomeetri laiusel ribal, mis ulatub Balti jaamani, Toompea küngas välja arvatud;
- 10) Ida pool Lilleküla ja Järve raudteejaamade vahelist joont kuni endise tsellulooditehaseni;

- 11) Paekalda-alusel alates endisest tselluloositehasest kuni peaastangu ristumiseni Vana-Narva maanteega, kuni poole kilomeetri laiusel ribal;
- 12) Marrjamäelt ida pool paikneval paeastangualusel kuni kilomeetri laiusel ribal;
- 13) Pirita jõe orus alates Nehatust kuni botaanikaaiani;
- 14) Pirita jõe orust ida pool paikneval paeastangualusel, kuni kahe kilomeetri laiusel ribal;

Tallinnast ida pool

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

33) Paeastangualusel kuni poole kilomeetri laiusel ribal Peeterristilt kuni Narva jõeni.

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

Ülaltoodust tulenevalt valiti Tallinna lasteasutusi, kuid suhteliselt terve Põhja-Eesti piirkond on radooniohtlik ala.

Kuna uuringu nii rahalised, kui ka inim- ja ajaressursid oli piiratud valiti 34 Tallinna lasteaeda.

2.2.2. Uuritavad lasteaiaid

Eelinformatsiooni kogumise käigus selgus, et Tallinna lasteasutuste arv on rohkem kui 200.

Pärast eelnevate kogemustega tutvumist leiti, et lasteaeda on otstarbekas paigutada neli detektorit (Pesur, 2006).

Kuna uurimise alla esialgselt võetud lasteasutuste arv oli 200, oleks selleks vaja läinud 800 detektorit. Keskkonnaameti Kiirgusosakonnal oli sulleks võimalik era mõnevõrra väiksema rahaeraldise tõttu jäeti suur osa uurimise alt välja.

Kokkuvõtvvalt võeti uuringusse 34 lasteaeda, selleks väljastati 136 detektorit. Detektorid on laekunud 28 lasteaiaist, see tähendab 112 detektorit. Lõputöö juurde on lisatud lasteade nimekiri (Lisa 3).

2.3. Mõõtmiste tegemise ja andmete kogumise korraldamine

Uuringu läbiviimiseks oli Keskkonnaameti kiirgusosakonnas olemas 136 radoonidetektorit seega 34 lasteaia tarvis. Tallinna 200 lasteasutuse hulgast valiti 34. Valikuga püüti haarata kõiki Tallinna linnaosi, kuid peatähelepanu oli suunatud potentsiaalselt radooniohtlikele

piirkondadele. Uuring kooskõlastati Tallinna Haridusametiga, seejärel saadeti välja valitud lasteadale meili teel informeeriv kiri (Lisa 4), mis teatas lasteaia kaasamisest radoonimõõtmistesse.

Kiirgusosakonnas valmistati radoonidetektorid ette laialisaatmiseks lasteasutustesse. Selleks pakiti igasse ümbrikusse: 4 plastik-detektorit, radoonidetektori kasutamise juhend (Lisa 5), infovoldik radoonist ja ankeet (Lisa 6). Veebruari lõpuks olid ümbrikud valmis ning saadeti postiga laiali.

Töös mõõdeti radooni passivsel meetodil, mis põhineb alfa-tundliku plastiku eksponeerimisele uuritavas keskkonnas ning on kasutusel Kiirgusosakonnas. Alfa-tundlikust plastikust detektor paikneb detektori kaitsekonteineri sees, kuhu radoon siseneb ning emiteerides spontaanselt alfakiirgust tekitab jälje plastikule. Detektoreid eksponeeriti mõõtekohal kaks kuud. Iga lasteaia esimese korruse mänguruumidesse ja magamistubadesse paigutati neli detektorit, seega mõõtmine toimus neljas erinevas ruumis. Enamus detektoreid tagastati posti teel.

Pärast eksponeerimisperioodi lõppu toimus detektorite keemiline töötlemine ja analüüs Kiirgusosakonnas. Selleks kõigepealt eemaldati detektor konteinerist ning pandi spetsiaalse kasseti, mis mahutab 12 detektorit. Detektorite numbrid kontrolliti üle tagastatud ankeetidelt.

Täidetud kassetid pandi spetsiaalsesse termostaatvanni NaOH lahusesse (4 liitrisse destilleeritud vette lahustati 1 kg NaOH-d).

Täidetud kassete hoiti lahuses temperatuuril 90°C kraadi neli tundi. Seejärel slaidid neutraliseeriti 4 liitri destilleeritud vee ja äädikaga umbes 20 minutit. Lahus valati ära ning detektorid jäid kuivama. Edasi pandi kassetid detektoritega mõõtekompleksi, kus mikroskoobi ja spetsiaalse arvutisüsteemi abil automaatselt arvutatakse vastavad radoonisisaldused, mis salvestatakse andmebaasi.

Detektorid ning analüüsisüsteem pärinevad Ungari firmast Radosys Ltd.

3. RADOONISISALDUSED TALLINNA LASTEASUTUSTES

Selles peatükis esitatakse uuringu käigus mõõdetud siseõhu radoonisisaldused Tallinna lasteasutustes ning otsitakse vastust tööhüpoteesile, kas enamustes uuritavates lasteasutustes radoonitasemed vastavad kehtestatud normile.

3.1. Lasteasutuste uuringu tulemused

Kuna Eestis radoonisisaldust standard EVS 840:2009 näeb ette, et radoonisisaldus ruumides peab olema väiksem, kui 200 Bq/m^3 , lähtutakse hinnangu andmisel nimetatud piirväärtusest.

Käesolevas töös esitatakse 2009 kütteperioodil teostatud mõõtmiste üldistatud keskmised tulemused tabelis 1.

Tabel 1. Tallinna lasteasutuste keskmised radoonisisaldused.

Nr	Lasteaia nimi	Keskmine radoonisisaldus (Bq/m^3)
1	Lasteaed Pallipõnn	133
2	Lindakivi lasteaed	131
3	Liikuri lasteaed	127
4	Mustakivi lasteaed	123
5	Vormsi lasteaed	122
6	Lasteaed Kajakas	114
7	Sikupilli lasteaed	112
8	Unistuse lasteaed	101
9	Siisikese lasteaed (Vase tn)	84
10	Lasteaed Sipsik	82
11	Kivimurru lasteaed	82
12	Priisle lasteaed	78
13	Padriku lasteaed	73
14	Komeedi lasteaed	72
15	Liivalaia lasteaed	63
16	Pae lasteaed	55
17	Mahtra lasteaed	53
18	Merivälja lasteaed	53

Nr	Lasteaia nimi	Keskmine radoonisisaldus (Bq/m ³)
19	Laagna lasteaed Rukilill	52
20	Pirita lasteaed	48
21	Siisikese lasteaed (Narva mnt)	48
22	Lauliku lasteaed	47
23	Paekaare lasteaed	42
24	Lasteaed Ojake	38
25	Tihase lasteaed	31
26	Lasteaed Lepatriinu	29
27	Lasteaed Kaseke	26
28	Tallinna 22.lasteaed	16

Antud tabelis on toodud keskmised radoonisisaldused, mille järgi on näha, et kõik keskmised radoonikontsentratsioonid vastavad kehtestatud normile. Radoonisisaldused uuringualuste lasteaedade kõikides ruumides on toodud lisas 7. Kuna igasse lasteaeda pandi neli detektorit, varieerus üksikute ruumide radoonitase kuni 5 korda (näiteks 53 – 264 Bq/m³ Pallipõnni lasteaias Mustamäel). Selleks, et eristada lasteasutusi vastavalt neis üksikute ruumide radoonisisaldusele tehti järgnev grupeering:

1) lasteasutused, mille keskmine kontsentratsioon üle 200 Bq/m³.

Sellesse gruppi saaks ära tuua ainult ühte lasteasutust, mille keskmine kontsentratsioon oli küll 214 Bq/m³, aga kaks neljast detektoritest oli paigaldatud keldrisse, kuid uuringu tulemused võrreldakse esimese korruse alusel. Seega selles grupis ei olnud mitte ühtegi lasteaeda.

2) lasteasutused, mille keskmine kontsentratsioon alla 200 Bq/m³, kuid üksikud ruumid kõrgema tasemega.

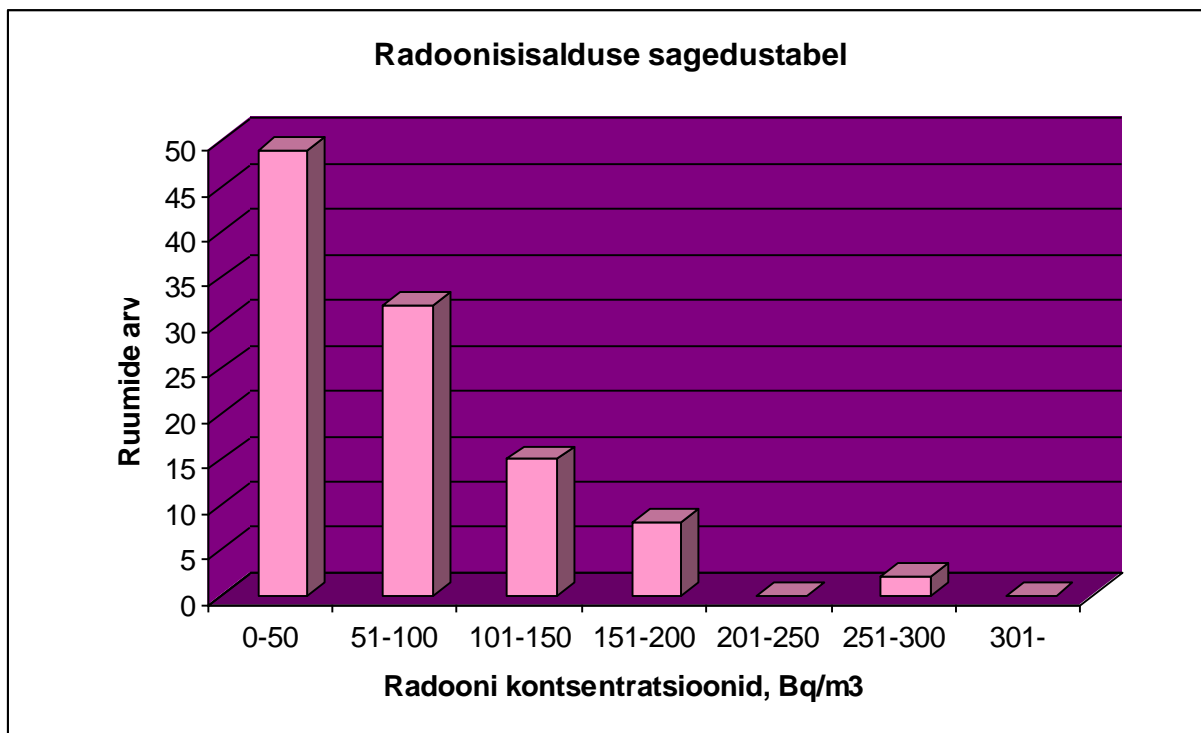
Selles grupis on esitatud kaks lasteaeda, milles üksikutes ruumides radoonisisaldused olid üle kui 200 Bq/m³. Üks asub Lasnamäel Kivila tänaval (251 Bq/m³), teine – Mustamäel Akadeemia teel (264 Bq/m³).

3) lasteasutused, mille kõik ruumid kontsentratsiooniga alla 200 Bq/m³, seega vastavad kehtestatud normile.

Sellesse gruppi kuuluvad ülejäänud lasteasutused (26), see tähendab enamus lasteasutustest, mis olid kaasatud käimasolevasse uuringusse.

Erinevate radoonitasemetega (<50; 51-100;.. Bq/m³) ruumide hulka kogu mõõtmistest iseloomustab radoonisisalduse sagedustabel (tabel 2).

Tabel 2. Radoonisisalduse sagedustabel.



Maksimaalne mõõdetud tulemus 395 Bq/m³ saadi Unistuste lasteaia keldris, kesklinnas, kuid samas lasteaias esimesel korrusel olid mõõtmistulemused vastavalt 144 ja 58 Bq/m³. Suurim radoonisisaldus 264 Bq/m³ esimesel korrusel saadi lasteaias Pallipõnn, mis asub Mustamäel Akadeemia teel, selle maja teistes ruumides olid mõõtmistulemused 151, 65 ja 53 Bq/m³. Kõige madalam radoonikontsentratsioon oli Tallinna 22.lasteaias – 13 Bq/m³, mis asub Kadriorus Vilmsi tänaval.

Nagu juba eelpool mainitud jäävad tulemused normi piiresse, üldisel suhteliselt madalate radoonikontsentratsioonide foonil on mõnede lasteade puhul jälgitav suhteliselt suur radoonitasemete erinevus erinevates ruumides.

3.1.1. Radoonist põhjustatud efektiivdoosid

Radoonisisalduste ümberarvutamiseks potentsiaalseks aastaseks efektiivdoosideks kasutati antud töös ICRP üleminekuseoseid (ICRP, 1993). Efektiivdoosid arvutati välja keskmiste radoonisisalduste järgi lasteaia (tabel 3). Siin on oluline määratleda mitu tundi aastas keskmiselt laps või lasteaia töötaja lasteasutuses viibib.

ICRP töötaja arvestuse kohaselt veedab inimene oma töökohas aastas 2000 tundi. Enamikus uuringutes on võetud ka lasteaedades eksponeerimisajaks 2000 tundi (IAEA, 2003). Kuid näiteks uuringus Poola lasteaedade radoonitasemete kohta väidetakse, et lapsed veedavad neis asutustes keskmiselt 2400 aastas (Kozak, 2006). Käesolevas töös on arvutuse aluseks võetud 2000 tundi, mis põhjustab 1 Bq/m³ radoonisisalduse puhul 0,0063 mSv efektiivdoosi aastas.

Looduskiirgusest põhjustatud efektiivdoos jääb üldjuhul vahemikku 2,4-4 mSv/a. Looduslik kiirgus koosneb peamiselt kahest komponendist, gammakiirgusest ning radoonist. Eestis elumajades tehtud uuringute alusel on meie keskmine elamus siseõhuradoonist saadav efektiivdoos 1 mSv aastas.

Tabel 3. Radoonist põhjustatud efektiivdoosid lasteasutustes.

Nr	Asutuse nimi	Põhjustatud efektiivdoos (mSv/aasta)
1	Lasteaed Pallipõnn	0,8
2	Lindakivi lasteaed	0,8
3	Liikuri lasteaed	0,8
4	Mustakivi lasteaed	0,8
5	Vormsi lasteaed	0,8
6	Lasteaed Kajakas	0,7
7	Sikupilli lasteaed	0,7
8	Unistuse lasteaed	0,6
9	Siisikese lasteaed (Vase tn)	0,5
10	Lasteaed Sipsik	0,5
11	Kivimurru lasteaed	0,5
12	Priisle lasteaed	0,5
13	Padriku lasteaed	0,5
14	Komeedi lasteaed	0,5
15	Liivalaia lasteaed	0,4

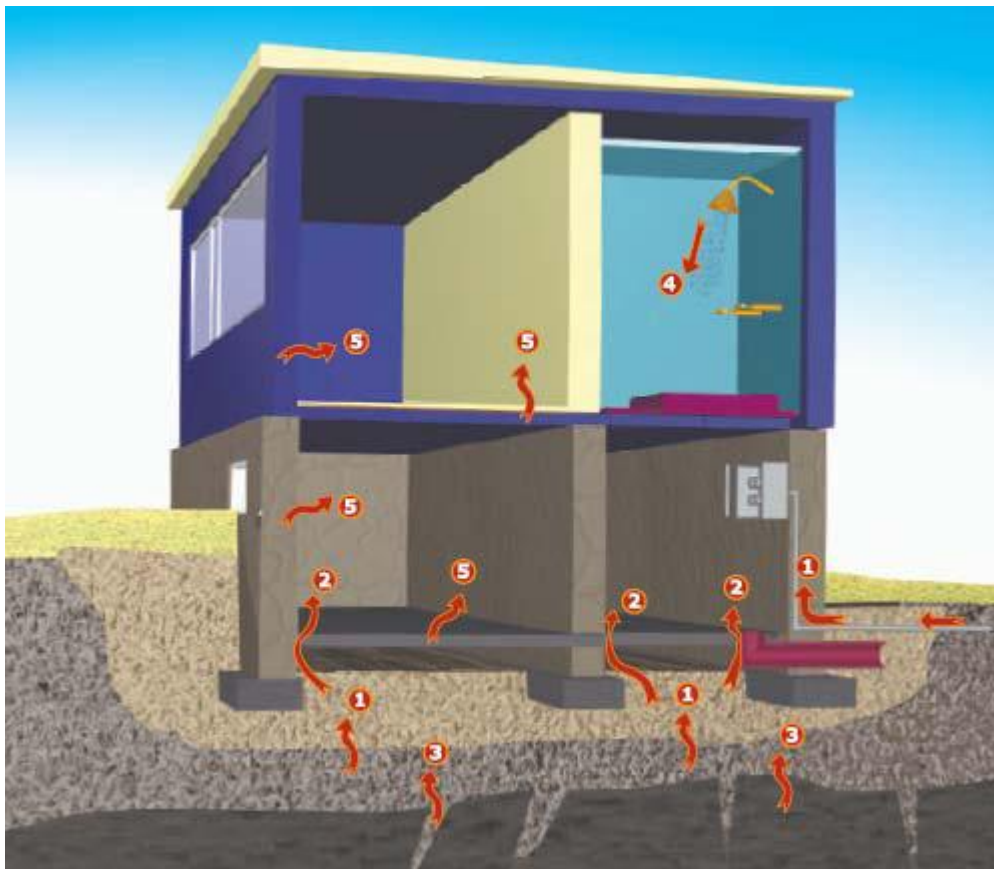
Nr	Asutuse nimi	Põhjustatud efektiivdoos (mSv/aasta)
16	Pae lasteaed	0,3
17	Mahtra lasteaed	0,3
18	Merivälja lasteaed	0,3
19	Laagna lasteaed Rukilill	0,3
20	Pirita lasteaed	0,3
21	Siisikese lasteaed (Narva mnt)	0,3
22	Lauliku lasteaed	0,3
23	Paekaare lasteaed	0,3
24	Lasteaed Ojake	0,2
25	Tihase lasteaed	0,2
26	Lasteaed Lepatriinu	0,2
27	Lasteaed Kaseke	0,2
28	Tallinna 22.lasteaed	0,1

Lasteasutuste efektiivdoosid jäid vahemikku 0,8-0,1 mSv aastas ja seega ei ületa keskmist radoonist saadava efektiivdoosi.

4. MEETMED RADOONITASEME ALANDAMISEKS

4.1. Radooni tungimine hoonesse

Hoonesse võib radoon sattuda mitmel viisil (joonis 3):



Joonis 3. Radooni sattumise viisid.

- 1) maapinnast hoone all ja selle ümber (läbi tarindite liitekohtade);
- 2) täitepinnasest (läbi tarindite liitekohtade);
- 3) aluspõhjast;
- 4) kraaniveest (puurkaevuveest);
- 5) ehitusmaterjalidest.

Õhust mitmeid kordi raskem radoon koguneb ehitiste madalamatesse kohtadesse: keldrisse, basseini, süvendisse jm. Esimesest korrusest kõrgemale radoon tavaliselt ei levi (Pirita linnaosa, ÜP KSH – OÜ).

Enamikel juhtudel tungib radoon ruumidesse hoonealusest pinnasest. Radooni ruumi sattumise peamised teed on näiteks: põranda ja seina vaheline pragu, ebatihed tarind, põrandasüvend, põrandat läbiva toru ümbrus, olmevesi, ehitusmaterjal (Jõgioja, 2004).

4.2. Radooniriski vähendamine

Aladel, kus radooni sisaldus pinnaseõhus ületab lubatud piirväärtuse (50 kBq/m^3), tuleb elamute, olme- ja teiste samaotstarbeliste hoonete projekteerimisel eelnevalt teha detailsemad Rn-riski uuringud. Kõrge Rn-sisalduse korral maja asukoha pinnases võimaldavad andmed rakendada ehitamisel kehtestatud radoonikaitse vajalikke nõudeid. Need nõuded sõltuvad radooni sisaldusest pinnaseõhus (EVS, 2009). Sellega välditakse majade siseõhu rikastumist radooniga üle lubatud piiri (200 Bq/m^3) (Petersell, 2008).

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) (Finestum).

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.

Kui hoone rajatakse madala või normaalse radoonisisaldusega pinnasele aitab kõrgeenenud radoonisisaldust ruumis vältida enamasti hea ehituskvaliteet. Ehitusmaterjalina on radoonitõkkeks näiteks betoon (tabel 4). Ehituskvaliteet peaks tagama, et betooni ei tekiks praod, mille vältimine on radooni sisseimbumise seisukohalt väga oluline.

Tabel 4. Erinevate ehitusmaterjalide raadiumisisaldused ja radooni ekshalatsioonid.

Materjal	Raadiumisisaldus (Bq/kg)	Radooni ekshalatsioon (Bq/m²)
Betoon	20-200	2-20
Telliskivi	40-150	1-10
Liivapõhine betoon või kergplokk	10-130	1-3
Kaevanduse jääkidest ning tuhast või raadiumirikkast savist valmistatud kergplokkid või betoon	600-2600	50-200

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 (Finestum).

4.3. Radoonitõkke meetmed

4.3.1. Radooniohutu elamu ehitamise üldnõuded

Elamu tarindites tuleb vältida selliste ehitusmaterjalide kasutamist, mille radioaktiivsete ainete sisaldus on suur.

Olmevee radoonisisaldus ei tohi olla suurem, kui Eesti Standardiga EVS 663:1995 “Joogivesi. Üldnõuded” kehtestatud norm. Kõrgema radoonisisaldusega olmevee tarbimise korral tuleb kasutada eriseadmeid veest õhu eemaldamiseks. Parimate veest õhu eemaldamise seadmetega on võimalik vähendada vee radoonisisaldust 75-95% (Jõgioja, 2004).

Radooni hoonealusest pinnasest eluruumi sattumise vältimiseks tuleb elamu projekteerimisel ja ehitamisel silmas pidada järgmist (Ehitusteave, 2006):

- poorsetest materjalidest (näiteks väikeplokkidest) ehitatud vundamendid peavad olema ehitatud selliselt, et radoon ei satuks pooride ja plokkidevaheliste vuukide kaudu keldrisse ja välisseina, kust see võib edasi tungida eluruumidesse;

- elamu esimese korruse põrand ja vundament peavad moodustama ühtse õhutiheda radoonitõkke;
- radoonitõkke kihte läbivate tarindite ning kommunikatsioonitorude ja –juhtmete liitekohad peavad olema õhutihedad;
- tuleb vältida võimalike pragude (temperatuurikahanemisest jm põhjustest tingitud) tekkimist radoonitõkkes.

4.3.2. Radooniohutu elamu ventileerimine

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 (Finestum).

Normaalse radoonisisaldusega pinnasel maapinnast kõrgemal asuva põrandaga keldrita hoones võib põrandaalust tuuluda soklis paiknevate õhutusavade kaudu, kasutada ventileerimist loomulikul tõmbel või ventilaatorite abil.

Radooniohtlikel aladel tuleb esimesel korrusel eelistada raudbetoonpõrandaid, mis erilise radoonimembraani kasutamise ning liitekohtade ja läbiviikude hoolika tihendamise ning hea töö kvaliteedi korral väldib radooni maapinnast hoonesse sattumist (Jõgioja, 2004).

4.3.2.1. Keldriga elamu ventileerimine

Keldriga elamu ventileerimisel radooni keldrist eluruumidesse sattumise vältimiseks on vajalik välja ehitada tõhus loomulikul rõhkude vahel või mehhaanilisel tõmbel töötav keldri ventilatsioonisüsteem. Keldrikorrusel tuleb tagada suurem alarõhk ülalpool asuvate korrustega võrreldes. Et tagada keldrikorrusel suuremat alarõhku, tuleb eelistada mehaanilise väljatõmbega ventilatsioonisüsteemi (Jõgioja, 2004).

4.3.2.2. Hoonealuse ventileerimine

4.3.2.2.1. Alarõhumeetod

Sellisel juhul imatakse maja alt radoonirikas õhk ära ning tekitatakse maja alla alarõhk. Ventilaatori võib paigaldada majast väljapoole või keldrisse. Tarindeid läbivate torude läbiviigud ja torude ühendused tuleb hoolikalt tihendada. Torude pinnal kastevee tekkimise õhu korral tuleb torud soojustada (Jõgioja, 2004).

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).

4.3.2.2.2. Õhkpadjameetod

Selle meetodi puhul pumbatakse hoonest võetav õhk maja alla, et tekitada sinna nii nimetatud 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 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 (Finestum).

4.3.2.2.3. Põrandaalused ventilatsioonitorud

Majaalusest pinnasest radooni eemaldamise tõhusamaid mooduseid on põrandaaluse ventileerimine põranda all paiknevate ventilatsioonitorude kaudu. Põranda alla poorsesse täitepinnase kihti paigutatakse ventilatsioonitorude süsteem, mis on ühendatud kas hoones või väljaspool hoonet paikneva põstikuga. Püstik varustatakse ventilaatoriga (Jõgioja, 2004).

Põrandaaluse ventileerimine loomulikul tõmbel on rakendatav keldrita hoone puhul. Hoonesse paigaldatakse toru, mille kaudu maja alune õhk juhitakse välja.

Põrandaaluse ventileerimine mehhaanilisel tõmbel- sellisel juhul ühendatakse imamistorudega maja alla paigaldatavad drenaaztorud. Ventilaatori abil tõmmatakse radoonirikas õhk välja ühest või mitmest kohast hoone alt. Torude paigaldus sõltub konkreetsest ehitisest ja pinnasetüübist.

Lisaks neile meetoditele on olemas ka põrandaaluse tuulutus loomuliku õhuvahetuse abil, kuid see on efektiivne juhul, kui radoonisisaldus pinnases ei ole väga kõrge. Põrandaalust ventileerimist saab kasutada siis, kui radoon pärineb pinnasest. Kuna see ei muuda õhuvahetust ruumi sees pole otstarbekas kasutada juhul, kui radoon pärineb ehitusmaterjalist (Finestum).

4.3.3. Radoonitõkkekile

Radoonitõkke paigaldatakse hoone alla kogu ulatuses nii, et oleks täielikult välistatud radooni tungimine hoonesse (joonis 4)



Joonis 4. Radoonitõkkekile paigaldamine (Ehitusteave, 2006).

Kile alla tuleb tasanduseks teha vähemalt 50 mm paksune liivapadi. Peale paigaldamist tuleb radoonitõkkekile UV-kiirguse ja mehaaniliste vigastuste kaitseks katta võimalikult kiiresti näiteks soojusisolatsiooniga (Ehitusteave, 2006).

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 (Finestum).

4.3.4. 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 (Finestum).

4.3.5. Radoonikaev

Radoonikaevu kasutatakse radooni hoonealusest pinnasest eelmaldamiseks eelkõige õhku hästi läbilaskvate pinnaste korral, näiteks kruus ja liiv (Jõgioja, 2004). 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 (Finestum):

- 1) pinnase läbilaskvus;
- 2) maja asukoht - saab paigaldada ka näiteks kahe maja vahele, siis saavad kasu mitu naabrit;
- 3) ka ümbritsevaga, näiteks 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.

4.4. Radoonitaseme alandamine olemasolevates elamutes

Kui elamu asub radooniohtlikus piirkonnas, tuleks mõõtmistega välja selgitada radooni tase ruumides ja radooni ruumi sattumise võimalikud kohad. Seejärel koostada remonttööde detailne projekt (Jõgioja, 2004).

4.4.1. 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. 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 (Finestum).

4.4.2. 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 lahti kaevamine 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 katmise 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, näiteks seinade katmisel tehtud kihiga on radoonisisaldus vähenenud kuni 65% (Finestum).

4.4.3. 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).

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

4.4.4.1. Põrandaaluse ventileerimine

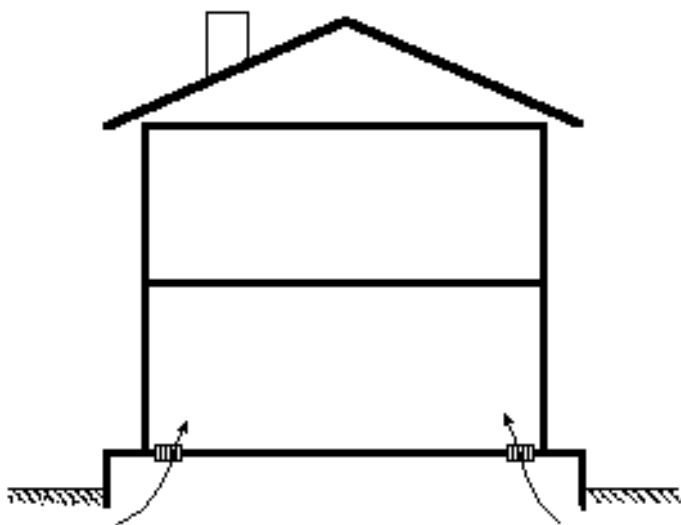
Ilma põrandapinda ülevõtmata on ventileerimine võimalik ainult siis, kui on vaba ligipääs põranda alla. Vastasel juhul tuleb põrandapind üles võtta, et sinna torud paigaldada. Kui põranda kvaliteet on halb, ei ole see meetod efektiivne ja selle abil ei saa oluliselt radoonisisaldust vähendada. Mõnel juhul on olnud vajadus põrandaaluste ning radooni hoonest väljajuhtivate torude arvu suurendada. Torude vale paigaldusega ja tihendamata jätmiseta võib radoonisisaldus aga hoopis suurenedada.

4.4.5. Väljaspool hoonet tehtavad tööd

Kuna 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 ehitustel on isolatsioonisüsteemi paigaldamise tunduvalt keerukam, kuna lisanduvad kaevetööd ja olemasolevate põrandate ja seinte viimistluskihtide lammutustööd ehk isolatsioonitöödega kaasnevad teised ja tihti mahukamad tööd kui isolatsioonitööd ise ongi (Finestum).

Radoonitaseme alandamiseks meetmete valimisel tuleks juba projekteerimisel arvesse võtta, kas hoone rajatakse madala, normaalse või kõrge radoonisisaldusega pinnasele. Kui tegemist on radooniohu alaga, siis tuleks pinnase radooni mõõtmisi läbi viia ning selgeks teha kui kõrged radoonisisaldused võiksid olla ehitatud hoones ning milliseid radoonikaitse meetmeid sobiksid sel juhul. Iga juhtum on unikalne, radooni tungimine hoonesse sõltub nii maapinnast, millele on hoone ehitatud, kui ka ehitusmaterjalidest, millest on hoone ehitatud, ehitamiskvaliteedist, ventilatsioonist, mis mängib olulist rolli. Kuigi ventilatsioon on enamikul juhtudest radoonisisalduse vähendamise meetmeks, võib see teatud tingimustel kujuneda ka radooni kontsentratsiooni suurendavaks meetmeks, muutes hoone radooniohtlikuks (joonis 5).



Joonis 5. Radooniohtlik hoone

Radooni vähendamiseks hoonetes on mitu meetodit ja sobivaim sõltub reaalsest olukorrast. Radoonisisalduse vähendamiseks saab teha nii hoone sees radooni alandamise tööd, kui ka väljaspool hoonet.

KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös mõõdeti radoonisisaldust ruumide siseõhus rahvusvaheliselt tunnustatud passiivse meetodiga.

Uuringus oli vaatluse all 34 Tallinna lasteaeda, millest 28 andmed on saadud ja analüüsitud.

Keskmine radoonisisaldus oli 77 Bq/m^3 . Kõige madalam mõõdetud tulemus oli 13 Bq/m^3 Kadrioru lasteaias. Üksikutes ruumides kahes lasteaias saadud tulemused ületavad 200 Bq/m^3 . Üks neist tulemustest saadi Mustamäe lasteaiast, kus radoonisisaldus ühes ruumis oli 264 Bq/m^3 , teine lasteaiast Lasnamäel, mille ühes ruumis radooni kontsentratsioon oli 251 Bq/m^3 . Ülejäänud lasteasutuste radoonisisaldused vastavad kehtestatud normile, mis kinnitab esimest tööhüpoteesi: enamustes uuritavates lasteasutustes radoonitasemed vastavad kehtestatud 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. Arvutustest selgus, et aastas radooni poolt põhjustatud keskmise efektiivdoosi väärtus 1 mSv/a vastas kehtestatud normile. Saadud lasteasutuste efektiivdoosid jäid vahemikku $0,8\text{-}0,1 \text{ mSv}$ aastas. Järelikult lasteasutustes saadavad efektiivdoosid ei ületa keskmise radoonist saadava efektiivdoosi. Seega teine tööhüpotees, et ainuüksi lasteasutustes saadavad efektiivdoosid võivad ületada keskmise radoonist saadava efektiivdoosi, ei leidnud kinnitust. Uuringu käigus ei leitud lasteasutust, kus efektiivdoos ületas 1 mSv/a .

Viimaseks uuriti meetmeid radoonitaseme alandamiseks, mis on kasutusel tänapäeval. Selgus, et radooni kontsentratsiooni saab vähendada nii hoone projekteerimisel ja ehitamisel, kui ka leida erinevaid meetmeid radoonisisalduse vähendamiseks juba olemasolevates hoonetes. Seega leidis kolmas tööhüpotees oma kinnituse, et radoonitaseme alandamiseks on olemas erinevaid meetmeid, millest saab valida iga juhtumi jaoks sobivaim.

Järeldused ja soovitused.

- Kuna kahes lasteaia leiti radooni kontsentratsiooni suurem kui 200 Bq/m³, siis neis tuleks uurida täpsemalt: leida radoonitaseme tõusu põhjused ning võimalusel valida meetmed selle alandamiseks.
- Saadud tulemuste alusel saab hinnata radoonist tulenevat terviseriski mõõdetud lasteasutustes.
- Selle lõputöö raames osales ainult 34 lasteaeda, kuid Tallinnas neid rohkem kui 200. Edaspidi tuleks leida võimalusi uurida ülejäänud lasteasutusi, selgitamaks kas radoonisisaldused nendes vastavad kehtestatud normile või tuleks rakendada radooni alandamise meetmeid.
- Antud uuringu käigus saadud tulemuste alusel võib väita, et radooni seisukohalt on enamustes Tallinna uuritud lasteasutustes tervislik keskkond, kuna keskmised radoonisisaldused vastasid kehtivale piirnormile.

KASUTATUD KIRJANDUS

Eesti Ehitusteave OÜ, 2006.

EUROATOM. 1996. EC European Commission. Basic Safety Standards Directive.

EVS Eesti standart 839:2003. 2003. Sisekliima. Eesti Standardikeskus.

EVS Eesti standard 840:2009. 2009. Radooniohutu hoone projekteerimine. Eesti Standardikeskus.

Finestum. Radooni mõõtmise. Finestum OÜ.

Finestum. Radooni vähendamise võimalused. Finestum OÜ.

IAEA. 2003. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines. No. 33.

Indoor Air Health Advisor. Radon health advisory. www.indoor-air-health-advisor.com

Jõgioja E. 2004. Radooniohutu elamu. OÜ Ehitusteave. Tallinn.

Karik H., Truus K. 2003. Elementide keemia. Tallinn.

Kiirguskeskuse teabematerjal. Radoon – looduslik risk sinu tervisele. Kiirguskeskus

Kiirguskeskuse teabematerjal. Radooniohu arvestamine ehitusplaneeringutes ning olemasolevates hoonetes. Keskkonnainvesteeringute Keskus. Kiirguskeskus

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

Indoor Radon in Kindergardens on the Higher Radon Area (South-Western Poland). Healthy Buildings.

Lust M. 2006. Radooniuringud Eestis. Kiirguskeskus.

Martin, J, E. 2004. Physics for Radiation. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.

Miles J. 1999. National Radiological Protection Board. Environmental radon newsletter. UK, Sheffield.

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

Pahapill L. 2004. Radoon hoonetes ja sellest tulenev tervise risk. Tallinn.

Pahapill L., Rulkov A., Rajamäe R., Akerblom R. 2001 .Radoon Eestimaa elamutes. Kiirguskeskus, Eesti. Rootsi Kiirguskaitse Instituut.

Pesur E. 2006. Radoon radooniohlik alade lasteasutustes. Magistritöö. Tallinn.

Petersell, V., Åkerblom, G., Ek, B.-M., Enel, M., Möttus, V., Täht, K. 2004. Eesti radooniriski kaart.

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

Realo, E., Viik, T. 1997. Kiirguskeskuse sõnastik, Tallinn, EKK.

Sotsiaalministeeriumi info. www.sm.ee

Tänavsuu K. Radoon hoonetes, Eestis läbiviidud projektid. Kiirguskeskus.

Tänavsuu K., Lust M. 2008. Radooni kaardi lõpetamine – radoon hoonete siseõhus piirkondades, kus andmed radoonitasemete kohta puuduvad. Kiirguskeskus. Tallinn.

WHO. Maailma Tervishoiuorganisatsiooni Euroopa Regionaalbüroo. 1997 Radoon.

WHO World Health Organisation. 2005. Geneva Congress. www.who.org/geneva/ .

LISAD

Uraan-238 radioaktiivse lagunemise rida

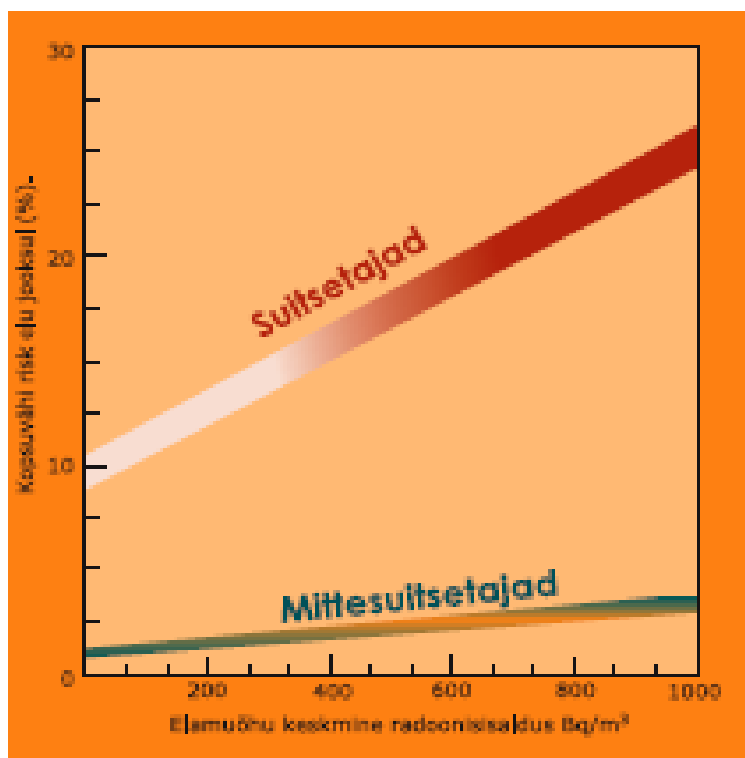
Isotoop	Poolestusaeg	Radiatsiooni tüüp	Märkused
Uraan-238 (U)	4.5×10^9 aastat	α	Metall
Toorium-234 (Th)	24.1 päeva	β	Metall
Proktaanium-234 (Pa)	1.17 minutit	β	Metall
Uraan-234 (U)	2.24×10^5 aastat	α	Metall
Toorium-230 (Th)	8.0×10^4 aastat	α	Metall
Raadium-226 (Ra)	1620 aastat	α	Metall
Radoon-222 (Rn)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

Toorium-232 radioaktiivse lagunemise rida

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

Lisa 2.

Allikas: Kiirguskeskuse teabematerjal.



Joonis. Kopsuvähirisk suitsetajatele ja mittersuitsetajatele.

Asunduse Lasteaed
Kajakas Lasteaed
Kaseke Lasteaed
Kirsike Lasteaed
Kivimurru Lasteaed
Komeedi Lasteaed
Laagna Rukilill Lasteaed
Lauliku Lasteaed
Lepatriinu Lasteaed
Liikuri Lasteaed
Liivalaia Lasteaed
Lindakivi Lasteaed
Linnamäe Lasteaed
Loitsu Lasteaed
Mahtra Lasteaed
Merivälja Lasteaed
Mustakivi Lasteaed
Ojake Lasteae
Padriku Lasteaed
Pae Lasteaed
Paekaare Lasteaed
Pallasti Lasteaed
Pallipõnn Lasteaed
Pirita Lasteaed
Pirita Kose Lasteaed
Priisle Lasteaed
Siisikese Lasteaed
Sikupilli Lasteaed
Sipsik Lasteaed
Tallinna 22.Lasteaed
Tihase Lasteaed
Unistuse Lasteaed
Vormsi Lasteaed

Uuring „Radoon Tallinna lasteaedade siseõhus”

Austatud lasteaja juhataja,

Teie lasteaed on kaasatud Keskkonnaameti kiirgusosakonna poolt läbi viidavasse uuringusse „Radoon Tallinna lasteaedade siseõhus”. Uuring on kooskõlastatud Tallinna Haridusametis.

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.

Töökohtadest on erilise tähelepanu all lasteasutused, sest laste organism on kiirituse suhtes tundlikum, kui täiskasvanu oma.

Käimasoleva uuringuga on hõlmatud 34 lasteaeda Tallinnas ja see vältab 2 kuud (märtsist – maini).

Uuringu läbiviimiseks palume Teie heatahtlikku kaasabi.

Selleks palume Teil määrata personali hulgast üks kontaktisik, kes vastutab Teie asutusse postipakiga saadetavate radoonidetektorite paigaldamise ja pärast postiga Keskkonnaameti kiirgusosakonda tagasi saatmise eest.

Lähapäevil tuleb Teile väike postisaadetis, mis sisaldab fooliumpakikeses 4 radoonidetektorit, ankeeti mõõdetava lasteasutuse ehituslike andmete kohta ja juhendit detektorite paigaldamiseks ning infovoldikut radooni kohta.

Palume kohe kättesaamise päeval panna fooliumkotikestest vabastatud detektorid tubadesse (1 mõõdik ühte ruumi), kus viibivad lapsed (mitte koridori, WC, pesuruumi). Need detektorid ise ei erita õhku mingeid gaase, nad on nn passiivsed mõõdikud, mis salvestavad oma pinnale radioaktiivsete osakeste jäljed. Seepärast on oluline **mitte** panna neid aknalauale või ventilatsioonitava vahetusse lähedusse, detektor võiks olla näiteks riivilil või kapil (kindlasti **mitte** kapis) ja **lastele kättesaamatus kohas**. Detektorid sulgeda pärast eksponeerimist **õhu kindlalt** esialgsesse fooliumpakendisse, mis tuleks õhu kindlalt teipida. Detektori nr palume kohe märkida kaasas olevasse ankeeti. Detektorid jäävad oma kohale 2 kuuks ja saadetakse pärast tagasi kiirgusosakonda aadressil: Kopli 76, 10416 TALLINN.

Palume teatada meilitsi radoon.lasteasutustes@gmail.com detektorite kättesaamisest.

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

Lia Pahapill 5121090, lia.pahapill@gmail.com

Olga Preiman. 58110079 olga.preiman@gmail.com

Meeldivale koostööle lootma jäädes,

Olga Preiman

Radoonidetektori kasutamine lasteasutustes

1. Täida detektoritega kaasasolev **ankeet** ja **märgi detektoritele** pakendist välja võtmise kuupäev. (Ühes pakendis on 1 detektor). **Detektor võta kotist välja alles ruumis, kuhu see mõõtma jääb!** Jäta kott alles.
2. Pane detektorid enim kasutatavatesse klassiruumidesse esimesel korrusel ja/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, kus ta **on lastele kättesaamatu.** 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. 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 koti kadumisel kahekordsesse kilekotti, **sulge õhutihedalt** (nt kleplindiga) ning saada koos täidetud ankeediga tagasi Keskkonnameti kiirgusosakonda, Kopli 76, 10416 TALLINN.

Suur tänu!

Ankeet

Objekti nimi ja aadress:.....
 (maakond, vald, linn/alev/küla, aadress, indeks)

Kontaktisik:.....
 (nimi, telefon, e-mail)

Valmimisaasta:.....

Valikust sobiv vastus märkige ära!

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^2

Mõõtmise: **keldris, esimesel korrusel**

Detektori nr	Asukoht	Mõõtmisperiood	Detektori nr	Asukoht	Mõõtmisperiood

Lisa 7.

Lasteaed	Radoonisisaldus, Bq/m ³	Keskmine radoonisisaldus, Bq/m ³	Valmimisaasta
Tallinna 22.lasteaed	14		
Tallinna 22.lasteaed	13		
Tallinna 22.lasteaed	17		
Tallinna 22.lasteaed	19	16	1911
Lasteaed Kajakas	90		
Lasteaed Kajakas	98		
Lasteaed Kajakas	162		
Lasteaed Kajakas	105	114	1988
Lasteaed Kaseke	27		
Lasteaed Kaseke	28		
Lasteaed Kaseke	22		
Lasteaed Kaseke	26	26	2008
Kivimurru lasteaed	137		
Kivimurru lasteaed	46		
Kivimurru lasteaed	24		
Kivimurru lasteaed	120	82	1959
Komeedi lasteaed	46		
Komeedi lasteaed	57		
Komeedi lasteaed	96		
Komeedi lasteaed	89	72	1965
Laagna lasteaed Rukilill	66		
Laagna lasteaed Rukilill	41		
Laagna lasteaed Rukilill	54		
Laagna lasteaed Rukilill	48	52	1982
Lauliku lasteaed	36		
Lauliku lasteaed	75		
Lauliku lasteaed	27		
Lauliku lasteaed	51	47	2005
Lasteaed Lepatriinu	42		
Lasteaed Lepatriinu	22		
Lasteaed Lepatriinu	32		
Lasteaed Lepatriinu	20	29	1977
Liikuri lasteaed	147		
Liikuri lasteaed	123		
Liikuri lasteaed	123		
Liikuri lasteaed	114	127	1989
Liivalaia lasteaed	82		
Liivalaia lasteaed	40		
Liivalaia lasteaed	96		
Liivalaia lasteaed	35	63	andm. puuduvad
Lindakivi lasteaed	121		
Lindakivi lasteaed	119		
Lindakivi lasteaed	184		
Lindakivi lasteaed	100	131	1980
Mahtra lasteaed	51		
Mahtra lasteaed	70		
Mahtra lasteaed	58		
Mahtra lasteaed	35	53	1984

Lisa 7. järg

Lasteaed	Radoonisisaldus, Bq/m ³	Keskmine radoonisisaldus, Bq/m ³	Valmimisaasta
Merivälja lasteaed	44		
Merivälja lasteaed	36		
Merivälja lasteaed	35		
Merivälja lasteaed	97	53	1967
Mustakivi lasteaed	42		
Mustakivi lasteaed	251		
Mustakivi lasteaed	88		
Mustakivi lasteaed	109	123	1986
Lasteaed Ojake	45		
Lasteaed Ojake	49		
Lasteaed Ojake	26		
Lasteaed Ojake	34	38	1965
Padriku lasteaed	112		
Padriku lasteaed	41		
Padriku lasteaed	76		
Padriku lasteaed	61	73	2008
Pae lasteaed	57		
Pae lasteaed	91		
Pae lasteaed	51		
Pae lasteaed	20	55	andm. puuduvad
Paekaare lasteaed	34		
Paekaare lasteaed	32		
Paekaare lasteaed	45		
Paekaare lasteaed	57	42	1980
Lasteaed Pallipõnn	65		
Lasteaed Pallipõnn	151		
Lasteaed Pallipõnn	53		
Lasteaed Pallipõnn	264	133	1965
Pirita lasteaed	19		
Pirita lasteaed	26		
Pirita lasteaed	117		
Pirita lasteaed	30	48	1957
Priisle lasteaed	42		
Priisle lasteaed	174		
Priisle lasteaed	46		
Priisle lasteaed	50	78	1990
Siisikese lasteaed (Vase tn)	81		
Siisikese lasteaed (Vase tn)	87	84	1953
Siisikese lasteaed (Narva mnt)	53		
Siisikese lasteaed (Narva mnt)	43	48	1953
Sikupilli lasteaed	55		
Sikupilli lasteaed	187		
Sikupilli lasteaed	159		
Sikupilli lasteaed	46	112	1968
Lasteaed Sipsik	34		
Lasteaed Sipsik	78		
Lasteaed Sipsik	171		
Lasteaed Sipsik	46	82	2004

Lisa 7. järg

Lasteaed	Radoonisisaldus, Bq/m ³	Keskmine radoonisisaldus, Bq/m ³	Valmimisaasta
Tihase lasteaed	36		
Tihase lasteaed	32		
Tihase lasteaed	19		
Tihase lasteaed	39	31	1961
Unistuse lasteaed	395		
Unistuse lasteaed	144		
Unistuse lasteaed	58		
Unistuse lasteaed	259	214	1976
Vormsi lasteaed	126		
Vormsi lasteaed	108		
Vormsi lasteaed	73		
Vormsi lasteaed	182	122	1993