

Maapõue programmi projekti
RADOON MAJADES
aruanne

Aruande koostasid

Lia Pahapill
Anne Rulkov

Tallinn, 2004

SISUKORD

| | |
|---|----|
| Sissejuhatus | 3 |
| Radoonitasemete normeerimisest | 5 |
| Mõõtmismetoodika | 6 |
| Mõõtmispiirkondade valik | 8 |
| Mõõtmistulemused | 9 |
| Mõõtmistulemused üleminekukoefitsientide leidmiseks | 17 |
| Kokkuvõte | 18 |
| Kasutatud kirjandus | 19 |
| Kaardid | |

SISSEJUHATUS

1999. aastal koostatud Eesti Keskkonnatervise Riikliku Tegevusplaani (NEHAP) järgi kuulub radoon meil enam levinud tervisele ohtlike keskkonna tegurite hulka. Ka Maailma Tervishoiuorganisatsioon (WHO) on määratlenud radooni, kui ühe olulise elanikkonna ioniseeriva kiirguse allika, mis suurendab vähki haigestumise riski. Nii Rahvusvaheline Radioloogilise Kaitse Komisjon (ICRP) kui ka Rahvusvaheline Aatomienergia Agentuur (IAEA) pööravad oma soovitustes tähelepanu radoonist tuleneva terviseriski vähendamisele. Eelpoolnimetatud rahvusvahelised organisatsioonid soovivad riikidel läbi viia spetsiaalseid radooniuuringute programme, mis koosnevad tervest kompleksist üritustest alates laiaulatuslikest mõõtmiskampaaniatest kuni elanikkonna informeerimiseni radooniga seonduvatest ohtudest ja nende vältimise võimalustest. Ühe abinõuna soovitatakse piiritleda radooniohtlikud alad.

Radoonist kui ohutegurist rääkides peetakse silmas peamiselt hoonete siseõhu radooni. Välisõhus hajub radoon kiiresti ja tema kontsentratsioonid on väikesed. Jaheda kliimaga aladel veedab inimene ligikaudu 80% ajast siseõhus ning hooned ehitatakse soojakadude vältimiseks õhutihedad. Seetõttu koguneb hoonealusest pinnasest, ehitusmaterjalidest ja kraaniveest eralduv gaasiline radoon ruumidesse. Radoon ongi probleemiks just külma ja parasvöötme kliimaga aladel.

Eestis tõusis radooniprobleem avalikkuse huviorbiiti 1988. aastal seoses nn. „Sillamäe juhtumiga“, kus lasteajalastel ilmnenud juuste väljalangemise ühe põhjusena kahtlustati uraanirikast pinnasest pärinevat radooni. Selleks ajaks oli hoonete siseõhukvaliteediga tegelevatel uurijatel juba olemas mõningane ülevaade radooniprobleemidest Soomes, Rootsis ja USA-s. Tollases Nõukogude Liidus kehtisid alates 1990. a. ajutised sanitaarnormid radoonikontsentratsioonidele elamutes (uutes majades 100 Bq/m^3 ja 200 Bq/m^3 olemasolevates majades). Radooni mõõtmisi küll vähesel määral tehti, kuid tulemustest ei teadnud üldsus midagi, sest kogu ioniseerivat kiirgust puudutav teave oli vaid rangelt ametkondlikuks kasutamiseks. 1988. aastast alustati Eestis radooniuuringuid hoonetes, mille tulemused olid avalikkusele kättesaadavad. Järgnevalt lühiülevaade tänaseks 15. aasta vältel tehtud mõõtmistest.

Aastail 1989-1991 tegeldi siseõhu radooniprobleemidega tollase Ehituse Teadusliku Uurimise Instituudi ehitusfüüsika osakonnas. Mõõtmised enam kui 400 majas, millest 90% olid elamu ja 10% lasteasutused, viitasid radooniprobleemi olemasolule meie hoonetes (4% mõõtmistest ületas radoonitase 800, maksimaalne mõõtmistulemus 6700 Bq/m^3). Sai selgeks, et põhiline radooniallikas majas on pinnas hoone all ja ümber. Norme ületavaid radoonieraldusi Eestis toodetud ehitusmaterjalidest, ka tuhaplokist, ei tuvastatud, samuti ei esinenud kõrgeenenud siseõhu radoonitasemeid, mis võisid olla põhjustatud kraaniveest [1].

Iseseisva Eesti esimestest aastatest algas Eesti-Rootsi koostöö ioniseeriva kiirguse valdkonnas, kus ühe projektina käivitus ka Eesti-Rootsi radooniuuringute programm. See võimaldas, tänu Rootsi-poolsele abiprogrammile, Eestil osta siseõhu radoonikontsentratsioonide määramiseks mõõtekompleksi, mis kasutab Euroopas tunnustatud ja laialdaselt levinud meetodikat.

Aastail 1994-1998 läbi viidud radoonimonitooringus (Riikliku Keskkonnaseire Programmi alamprogramm) tehti uuringuid 700 majas, peamiselt elamutes. Nende mõõtmistulemuste aritmeetiline keskmine oli 102 Bq/m^3 , 65% majadest jäi radoonitase alla 100 Bq/m^3 ja 3%

ületas 800 Bq/m^3 , suurim mõõtmistulemus saadi Kundast - 12000 Bq/m^3 [2,3].

Toetudes neile uurimistulemustele ja Põhjamaade praktikale, on 1999.aastal esitatud Eesti Projekteerimisnormis EPN 12.2 "Sisekliima" elu-, puhke- ja tööruumides õhu radoonisisalduse normväärtuseks 200 Bq/m^3 .

Selgitamaks siseõhu radoonist tulenevat terviseriski meie elanikele toimus aastail 1998-2001 riiklik radooniuuring 515 juhuslikult valitud majas üle Eesti. Vastavalt sellele on keskmine radoonitase meie ühepere-elamus 103 Bq/m^3 , korrusmaja alumisel korrusel 78 Bq/m^3 .

Kasutades ICRP riskihinnanguid ja Eesti Vähiregistri andmeid ning riikliku uuringu tulemusi leiti, et radoon meie elamutes põhjustab igal aastal umbes 90 uut kopsuvähijuhtu [4,5].

Käesolev projekt lõpetab aastal 1992 alanud Eesti-Rootsi koostöö radooniuuringute vallas, kus põhilisteks koostööpartneriteks olid Rootsi Kiirguskaitse Instituut (RKI) ja Kiirguskeskus.

Viimase, aastaks 2002-2004 planeeritud Eesti-Rootsi ühisuuringu pea-eesmärk oli Eesti alade radooniriski kaardi koostamine. Lisaks RKI-le ja Kiirguskeskusele osalesid selles töös eraldi projektidega ka OÜ Eesti Geoloogiakeskus ja Rootsi Geoloogiateenistus. Uuringu Eesti-poolne rahastaja oli Keskkonnainvesteeringute Keskus. KIK-i poolse toetusega viidi Kiirguskeskuse poolt läbi projekt "Radoon majades".

Projektil oli kaks põhilist eesmärki:

- mõõtmistega majades tagada vajalik algmaterjal Eesti radooniriski kaardi tarvis, mis baseerub nii neile mõõtmistele kui ka geoloogilisele informatsioonile;
- elanikonna, omavalitsuste, tervisekaitsjate ja projekteerijate teavitamine radooniga seonduvatest probleemidest.

Käesolev ülevaade kajastab projekti „Radoon majades“ raames tehtud mõõtmisi.

RADOONITASEMETE NORMEERIMISEST

ICRP ja Euroopa Nõukogu soovivad võtta tarvitusele meetmed radooni vastu nii elu- kui ka töökohtades. Euroopa Liidu direktiiv 96/29/EURATOM (EU BSS) [6] kehtestab põhilised standardid elanike ja kiirgustöötajate tervise kaitsmiseks ioniseeriva kiirguse eest, kusjuures selles dokumendis on tähelepanu pööratud peamiselt radoonitasemetele töökohtades. Elamuõhu radooni käsitleb Euroopa Komisjoni spetsiaalne soovitus [7], mis põhineb ICRP poolt soovitatud tasemetel: aktsioonitase olemasolevatele ehitistele 400 Bq/m^3 ning planeeritavalt 200 Bq/m^3 uutele majadele [8].

Enamik Euroopa riike on kehtestanud oma riigi jaoks kehtivad radooni piinormid elamutele ja töökohtadele. Normid on eri riikides erinevad, jäädes $150\text{--}1000 \text{ Bq/m}^3$ vahemikku sõltuvalt sellest, kas on tegu olemasolevate või planeeritavate majadega, elu- või töökohtadega. Põhjamaad (Taani, Soome, Island, Norra ja Rootsi) soovivad aktsioonitasemeks nii olemasolevates elamutes kui ka maapealsetes töökohtades 400 Bq/m^3 , 200 Bq/m^3 uurimistasemena olemasolevatele ja soovitava ülemise piirtasemena uutele hoonetele [9].

Vastavalt Eesti Standardile EVS 839:2003 „Sisekliima“ peab meil hoonete elu-, puhke- ja tööruumides aasta keskmine radoonisisaldus olema väiksem kui 200 Bq/m^3 . Tuginedes rahvusvahelisele praktikale soovib Kiirguskeskus elanikele radooniprobleeme tutvustavas infovoldikus olemasolevate elamute puhul lähtuda aasta keskmisest 400 Bq/m^3 .

Nagu eespool öeldud, satub radoon majja peamiselt hoonelusest 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 chituslikud meetmed. Eestis on vastavad soovitused olemas aastast 2000 kehtivas EPN 12.3 „Radooniohutu hoone projekteerimine“, sama on 2003. aastast Eesti Standard EVS 840:2003. Dokument annab pinnaste liigituse radooni emissiooni põhjal ja esitab vastavad ehituslikud meetmed radooniohu vältimiseks.

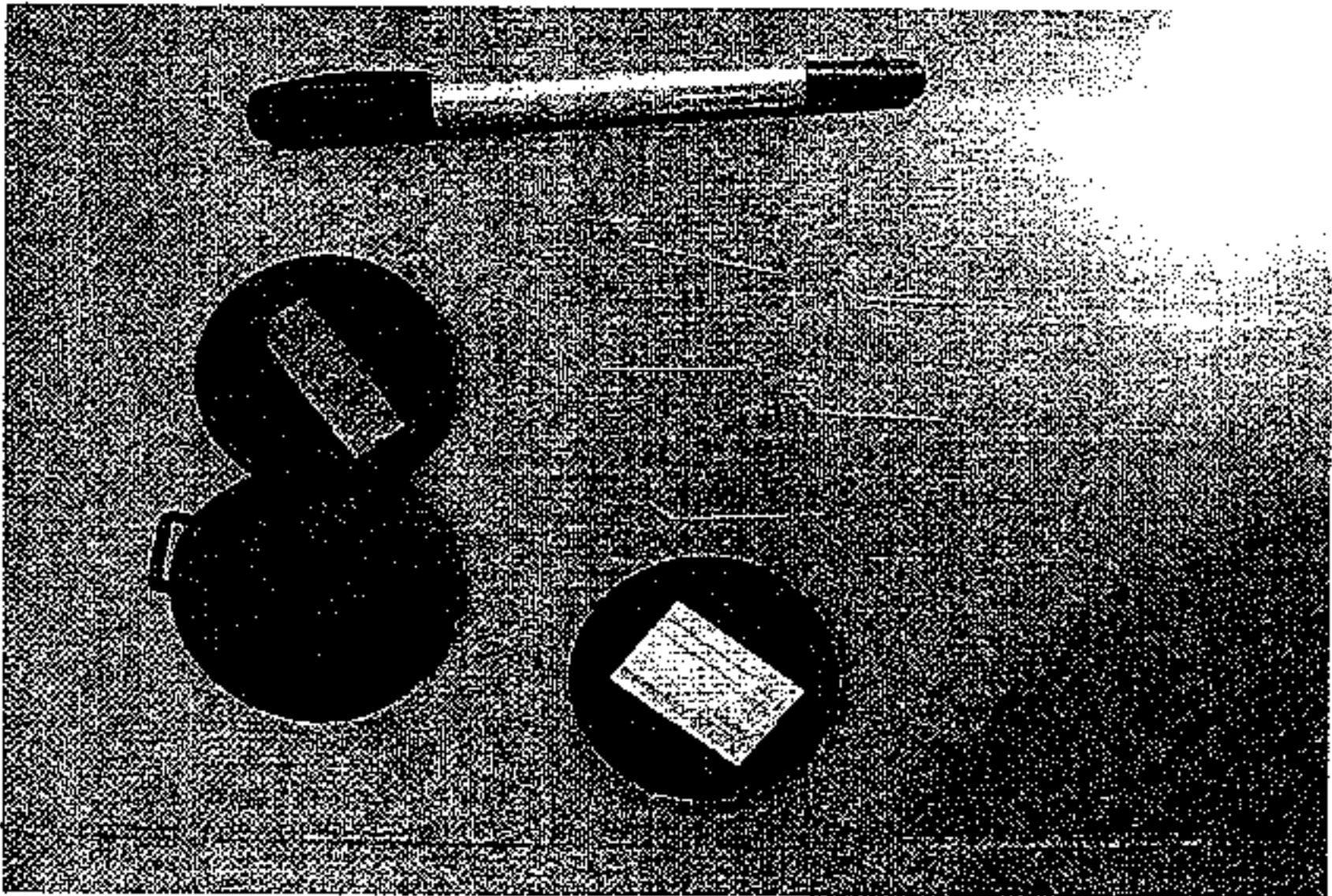
Selles jaotatakse pinnased:

- madala radoonisisaldusega pinnasteks, kui 1 m sügavusel pinnaseõhus on radoonisisaldus alla 10 kBq/m^3 ;
- normaalse radoonisisaldusega pinnasteks, kui 1 m sügavusel pinnaseõhus on radoonisisaldus $10\text{--}50 \text{ kBq/m}^3$;
- kõrge radoonisisaldusega pinnasteks, kui 1 m sügavusel pinnaseõhus on radoonisisaldus $50\text{--}250 \text{ kBq/m}^3$;
- ülikõrge radoonisisaldusega pinnasteks, kui 1 m sügavusel pinnaseõhus on radoonisisaldus üle 250 kBq/m^3 .

Eelpooltoodud klassifikatsioonil baseerub ka Eesti Geoloogiakeskuse poolt koostatud pinnaseõhu radoonisisalduste kaart, mida kasutatakse käesolevas töös aluskaardina mõõtmistulemuste esitamisel.

MÕÕTMISMETOODIKA

Radooni aktiivsuskontsentratsioonide mõõtmiseks on mitmeid erinevaid meetodeid. Kuna radoon ja tema radioaktiivsel lagunemisel tekkivad laguproduktid ehk nn. tütarproduktid emiteerivad peamiselt alfa-kiirgust, põhineb enamik mõõtmismeetodeid mingile pinnale sattunud alfa-osakeste loendamisel teatud aja vältel. Kasutatakse ka ionisatsioonikambriga mõõteriistu. Radoon on gaas ja tema eritumine maapinnast allub mitmesugustele ilmastikutingimuste muutustele, seepärast on enamikul juhtudel vajalik küllalt pikk mõõtmisperiood. Käesolevas töös kasutatav mõõtmismetoodika on välja töötatud Suurbritannias. Kiirguskeskus kasutab Rootsis RKI poolt kohandatud metoodikat, mis põhineb alfa-tundliku filmi detektoritele (joon. 1).



Joon.1. Mõõtmistel kasutatavad alfa-tundlikust plastikust (CR 39) detektorid

Detektorite eksponeerimisaeg mõõdetaval objektil on 2-3 kuud kütteperioodil. Tavaliselt pannakse samale objektile (majja) eri ruumidesse 2 mõõdikut, korteris näiteks elu- ja magamistuppa. Lähtudes eeldusest, et radooni peamine allikas on maapind, pannakse detektorid I korruste elu- ja tööruumidesse või ka keldrikorruste elu-, magamis- ja tööruumidesse kui neid esineb. Radooni radioaktiivsel lagunemisel jätavad alfa-osakesed plastikule (filmile) (CR-39) jäljed. Pärast söövitamist (2,5 tundi 20% NaOH lahuses temperatuuril 90 °C) loetakse need jäljed mikroskoobi all. Jälgede arvuga detektori pinnaühikule määratakse ära alfa-osakeste hulk ruumiühikus õhus. Filmide tundlikkus määratakse Rootsis RKI kalibreerimislaboris spetsiaalses radoonikambris iga mõõtmisseeria jaoks eraldi. Alfa-osakeste jälgede lugemine mikroskoobi all toimub Taanis komplekteeritud lisaseadmetega personaalarvutil. Analüüsimiseks kasutatav arvutiprogramm GIPSRAD võimaldab lugeda ja analüüsida alfa-osakeste poolt plastikule tekitatud jälgi. Programmi on välja töötanud Image House Inc., Taanis Risøs. Detektorid valmistatakse Inglismaal (Bristol, TASL Ltd). RKI andmetel on kõnealuse meetodi määramatus lugemile alla 200 Bq/m³ 5-15%, üle 800

Bq/m³ lugemife 5-10% [10]. Radooni aktiivsuskontsentratsiooni ühikuks on Bq/m³. Kasutatav mõõtmismetoodika on Euroopas laialdaselt kasutatav, mis teeb andmed võrreldavaks teiste Euroopa riikidega.

MÕÖTMISPIIRKONDADE VALIK

Mõõtmispiirkondade valikul lähtuti järgmistest kriteeriumitest:

- perspektiivne elamuehituse piirkond;
- karsti esinemine, sest rahvusvahelises praktikas peetakse karsti potentsiaalseks radooniohu faktoriks ja vastavatel kaartidel eristatakse karstialad võimalike riskialadena;
- allmaakaevanduse piirkond, mis potentsiaalse radooniohu seisukohalt võiks olla analoogne karstile;
- ala on määratletud radooniohtlikuna EPN 12.3 punktis 5 (Radooniohtlikud alad Eestis);
- geoloogiakeskuse mõõtmistulemustel on piirkonnas pinnase radoonisisaldus kõrge (üle 50 kBq /m³).

Mõõtmised viidi läbi peamiselt koostöös vallavalitsustega. Esimesel mõõtmisperioodil (2002/03 kütteperiood) kasutati detektorite laialijagamiseks majadesse ka tervisekaitse töötajate abi, kes jagasid mõõdikud laiali vastavalt meie koostatud nimekirjadele (Raplamaal, Lääne- ja Ida-Virumaal).

Harjumaal tehti mõõtmisi ainult koostöös vallavalitsustega, siin olid valiku põhikriteeriumiteks perspektiivne elamuehituspiirkond ja ala määratlus radooniohtlikuna, Jõelähtme vallas ka karst. Raplamaa eraldus riikliku uuringu käigus suhteliselt kõrgete radoonitasemetega, mille üheks võimalikuks põhjuseks pidašime karsti. Käesoleva projekti tarbeks sõitsime koos Raplamaa keskkonkaitsespetsialistiga läbi peamised karstipiirkonnad ja leppisime sealsetes elumajades kokku mõõtmiste tegemise. Lisaks jagasid detektoreid maakonna majadesse ka kohalikud tervisekaitsetöötajad meie nimekirjade põhjal (mis tuginesid KM Info- ja Tehnokeskusest saadud karstialade kaartidele). Lääne- ja Ida-Virumaal oli piirkondade valiku peamiseks kriteeriumiks piiritlemine radooniohtlike aladena EPN 12.3 alusel ja pinnaste radoonisisaldus geoloogiakeskuse mõõtmiste põhjal. Kõhtla-Järve esindab allmaakaevanduste ala.

Teisel mõõtmisperioodil (kütteperiood 2003/04) lähtuti peamiselt geoloogiakeskuse radoonisisalduse määrangutest pinnases, mille alusel jagasid detektorid laiali vallavalitsuste töötajad (Tartumaal, Viljandimaal, samuti ka Helme ja Kabala vallas). Kusjuures konkreetse maja valiku määras alati ära majaomaniku nõusolek mõõtmiste tegemiseks.

Tänu omavalitsuste initsiatiivile korraldati laiaulatuslik mõõtmiskampanja kahes radooniohtlikul alal paiknevas linnas – Sillamäel ja Maardus.

Mõõtmistulemuste esitamiseks radooniriski kaartide tarvis tuli leida mõõdetud majade koordinaadid. Selleks on kasutatud Maa-ameti avaliku teenuse interneti lehekülge ja valdades olevaid digitaalseid kaarte, osa elamute koordinaatidest saadi tellimustööna Statistikaameti geoinfosüsteemide sektorilt rahvaloenduse andmebaasist.

MÕÕTMISTULEMUSED

Nagu eelpool nimetatud, viidi mõõtmised läbi kahel kütteperioodil – 2002/03 ja 2003/04, kusjuures teisel mõõtmiste etapil toimus mõõtmispiirkondade valik peamiselt vastavalt geoloogiakeskuse poolt saadud pinnaseõhu radoonisisalduste mõõtmistulemustele.

Mõõtmistulemused on esitatud punktvaartustena kaardil "Radoon majade siseõhus"(leht I.1), kus aluskaardina on kasutatud Eesti Geoloogiakeskuse poolt koostatud "Eesti pinnaseõhu Rn-222 sisalduse kaarti". Seega on antud kaardilehel koos oluline teave koostamisele tuleva radooniriski kaardi tarvis. Kaardilehe ülemises vasakus nurgas on majades mõõdetud radoonisisalduste esinemissageduste diagramm. Nagu süngi, iseloomustab siseõhu radooni esinemissagedust üldiselt loognormaalne jaotus. Maksimaalne esinemissagedus on vahemikus 100-200 Bq/m³ (33% mõõtmistest). Kaardilt selgub, et:

- väga kõrged (üle 800 Bq/m³) radoonitasemed majades esinevad enamikus ka kõrge või väga kõrge radoonisisaldusega pinnastel;
- väga kõrged (üle 800 Bq/m³) radoonitasemed majades on kõige sagadaminuti seotud diktioneemakilda avamusaladega;
- samas võib ka väga kõrge radoonisisaldusega pinnastel olla maju, kus radoonitase jääb allapoole 100 Bq/m³. Selline tulemus on ootuspärane, sest maja konstruktsioon mängib olulist rolli siseõhu radoonitase kujunemises, seetõttu võib samasuguse pinnase radoonisisaldusega alal olla kõrvuti väga erineva radoonitasega maju;
- aladel, mis on pinnase radoonisisalduse järgi piiritletud normaalsena, esineb maju, kus radoonitase ületab 400 Bq/m³;
- oluline puudus, mis hakkab kohe silma, on majades tehtud mõõtmiste puudumine mitmes Lõuna-Eesti piirkonnas, kus pinnase radoonisisaldus on kõrge. Põhjuseks asjaolu, et neid kaarte tehti samaaegselt ning selleks ajaks kui saadi lõplikud andmed pinnaseõhu radoonisisalduste kohta, olid detektorid jaotatud juba varem teada olnud kõrgema riski piirkondadesse, sest mõõtmine majades võtab vähemalt 2 kuud;
- kuna majades tehtavate mõõtmiste puhul sai esialgu lähtuda vaid üksikmõõtmistest pinnases, siis jäävad majade mõõtmised nii mõnigi kord pinnaseõhu radooni alusel hiljem eraldatud areali piirialadele või isegi sellest välja.

Viimast kaht puudust oleks saanud vältida, kui pinnaste radoonikaart oleks olnud olemas enne mõõtmisi majades.

Edaspidi tuleks leida võimalusi teha siseõhu radooni mõõtmisi ka neis valdades, mis jäävad kõrge pinnaseõhu radooniga aladele ja eralduvad Eesti esialgsel radooniriski kaardil potentsiaalselt radooniohtlikeks.

Üldistatud mõõtmistulemused on esitatud ka tabelis (tabel 1), milles administratiivüksuste kaupa tuakse ära mõõdetud majade arv, mõõtmistulemuste aritmeetiline (AM) ja geometriline keskmine (GM), maksimaalne mõõdetud väärtus (Max) ja standardhälve (ST). Tabeli teine pool, esinemissageduste tabel (jaotustabel) annab ülevaate sellest, mitu protsenti mõõtmistest jäi mingisse radoonisisalduse vahemikku või ületab mingit väärtust.

Kuna käesolev uuring keskendub radooniohtlikele piirkondadele, on ka saadud mõõtmistulemused suhteliselt kõrged. Eelmise, riikliku radooniuuringu [4] käigus selgus, et Eestis on hinnanguliselt 1% majadest sellised, kus radoonikontsentratsioon on suurem kui 400 Bq/m³, see on umbes 2000 maja. Nüüd tundub see statistikal põhinev oletus vägagi tõenäone. Siseõhu radoon sõltub paljudest faktoritest, millest olulisem meil Eestis on maapinna radoonieraldus, kuid oma osa mängib ka maja konstruktsioon, mis, kas soodustab radooni sattumist ruumidesse või takistab seda. Kui võrrelda radoonitaseid korrusmajades ja ühepere-elamutes, on viimastes reeglina radoonikontsentratsioonid suuremad. Siin on mitmeid põhjusi, millest olulisemad on ühepere-elamute suhteliselt suurem kokkupuutepind maapinnaga aga ka asjaolu, et neis on tavaliselt õhuvahetus väiksem kui nõukogudeaegse odava energia perioodil projekteeritud korrusmajades. Reeglina on ühepere-elamud kõige radoonitundlikumad. Kuid

Tabel 1

Radooni aktiivsuskontsentratsioonid majades

| Jrk | Vald | Majade Arv | Siseõhu radon, Bq/m ³ | | | | Radoonisalduste esinemissagedus, % | | | | | |
|-----------------|------------|------------|----------------------------------|------|------|------|------------------------------------|---------|---------|---------|----------|-------|
| | | | AM | GM | Max | ST | < 100 | 101-200 | 201-400 | 401-800 | 801-1000 | >1001 |
| LINNAD | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Maardu | 122 | 367 | 275 | 1806 | 300 | 10 | 23 | 37 | 22 | 3 | 5 |
| 2 | Sillamäe | 232 | 253 | 165 | 3829 | 333 | 28 | 34 | 22 | 12 | 2 | 2 |
| 3 | Kunda linn | 7 | 2349 | 1145 | 9450 | 3103 | - | - | 29 | 14 | - | 57 |
| HARJUMAA | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Keila | 19 | 99 | 83 | 373 | 66 | 58 | 39 | 3 | - | - | - |
| 2 | Saku | 46 | 84 | 71 | 446 | 59 | 80 | 16 | 3 | 1 | - | - |
| 3 | Viimsi | 49 | 111 | 88 | 549 | 100 | 64 | 27 | 5 | 4 | - | - |
| 4 | Saue | 14 | 164 | 125 | 700 | 140 | 29 | 50 | 14 | 7 | - | - |
| 5 | Jõeähtme | 48 | 163 | 114 | 827 | 151 | 45 | 27 | 22 | 5 | 1 | - |
| 6 | Harku | 77 | 265 | 162 | 3322 | 384 | 30 | 32 | 24 | 6 | 4 | 4 |
| 7 | Kuusalu | 93 | 206 | 120 | 2446 | 299 | 48 | 23 | 20 | 5 | 2 | 2 |
| JÄRVAMAA | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Kabala | 20 | 174 | 157 | 382 | 75 | 12 | 50 | 38 | - | - | - |
| RAPLAMAA | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Käru | 5 | 94 | 90 | 126 | 28 | 50 | 50 | - | - | - | - |
| 2 | Vigala | 15 | 65 | 57 | 136 | 33 | 82 | 18 | - | - | - | - |
| 3 | Juuru | 5 | 66 | 50 | 164 | 52 | 70 | 30 | - | - | - | - |
| 4 | Kehtna | 10 | 93 | 80 | 215 | 49 | 55 | 40 | 5 | - | - | - |
| 5 | Rapla | 16 | 104 | 88 | 240 | 55 | 53 | 41 | 6 | - | - | - |
| 6 | Kohila | 13 | 113 | 98 | 343 | 70 | 57 | 35 | 8 | - | - | - |
| 7 | Raikküla | 8 | 128 | 107 | 348 | 89 | 38 | 50 | 12 | - | - | - |
| 8 | Kaiu | 8 | 256 | 194 | 538 | 178 | 20 | 33 | 20 | 27 | - | - |
| 9 | Märjamaa | 19 | 137 | 100 | 641 | 143 | 61 | 26 | 5 | 8 | - | - |

Tabel 1 järg

Radooni aktiivsuskontsentratsioonid majades

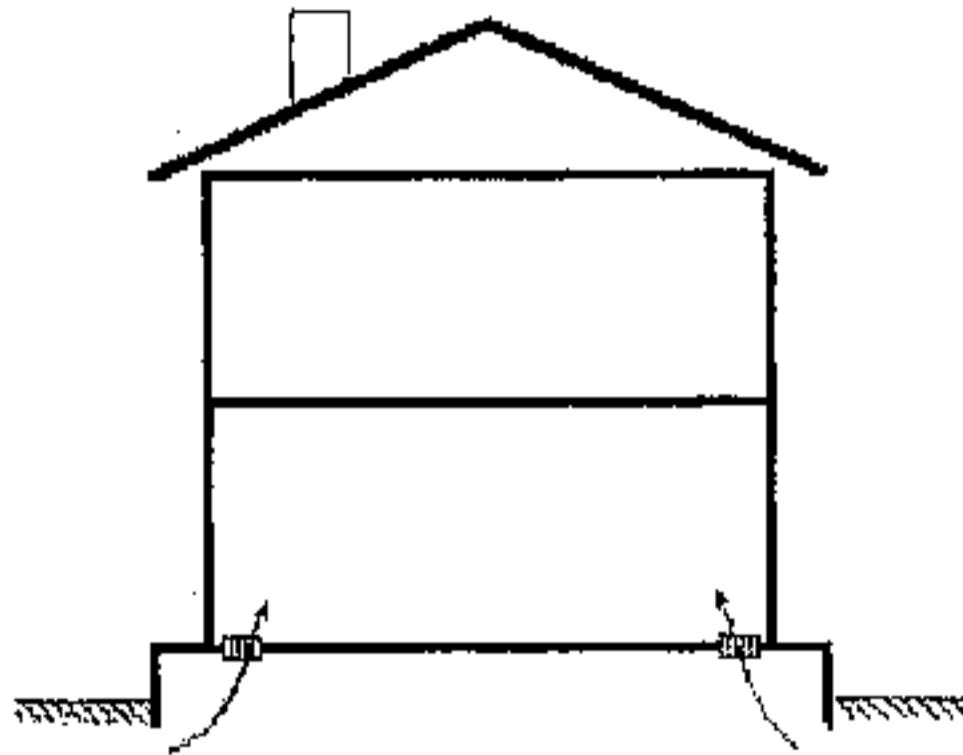
| Jrk | Vald | Majade Arv | Siseõhu radon, Bq/m ³ | | | | Radoonisisalduste esinemissagedus, % | | | | | |
|--------------------|-------------|---------------|----------------------------------|-----|-----|----|--------------------------------------|---------|---------|---------|----------|-------|
| | | | AM | GM | Max | ST | < 100 | 101-200 | 201-400 | 401-800 | 801-1000 | >1001 |
| TARTUMAA | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Tartu | 17 | 142 | 109 | 337 | 84 | 38 | 35 | 27 | - | - | - |
| 2 | Rannu | 14 | 138 | 124 | 340 | 75 | 32 | 54 | 14 | - | - | - |
| 3 | Kambja | 13 | 218 | 203 | 404 | 84 | - | 38 | 58 | 4 | - | - |
| 4 | Luunja | 16 | 179 | 162 | 408 | 82 | 13 | 59 | 22 | 6 | - | - |
| VALGAMAA | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Helme | 20 | 165 | 152 | 286 | 61 | 18 | 50 | 32 | - | - | - |
| VILJANDIMAA | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Paistu | 9 | 94 | 80 | 176 | 52 | 61 | 39 | - | - | - | - |
| 2 | Tarvastu | 14 | 91 | 82 | 207 | 43 | 73 | 23 | 4 | - | - | - |
| 3 | Saarepeedi | 10 | 181 | 170 | 291 | 66 | 10 | 55 | 35 | - | - | - |
| 4 | Pärsti | 15 | 132 | 107 | 384 | 91 | 48 | 31 | 21 | - | - | - |
| 5 | Suure-Jaani | 18 | 186 | 173 | 441 | 73 | 5 | 64 | 28 | 3 | - | - |
| 6 | Vastemõisa | 16 | 151 | 134 | 359 | 76 | 25 | 50 | 25 | - | - | - |

Radooni aktiivsuskontsentratsioonid majades

| Jrk | Vald | Majade Arv | Siseõhu radon, Bq/m ³ | | | | Radoonisisalduste esinemissagedus, % | | | | | |
|----------------------|--------------|------------|----------------------------------|-----|------|-----|--------------------------------------|---------|---------|---------|----------|-------|
| | | | AM | GM | Max | ST | < 100 | 101-200 | 201-400 | 401-800 | 801-1000 | >1001 |
| IDA-VIRUMAA | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Narva-Jõesuu | 7 | 58 | 50 | 116 | 32 | 86 | 14 | - | - | - | - |
| 2 | Kiviõli | 6 | 86 | 75 | 161 | 42 | 58 | 42 | - | - | - | - |
| 3 | Illuka | 6 | 168 | 133 | 316 | 103 | 34 | 33 | 33 | - | - | - |
| 4 | Sonda | 13 | 168 | 109 | 394 | 120 | 35 | 30 | 35 | - | - | - |
| 5 | Maidla | 4 | 225 | 153 | 516 | 189 | 50 | - | 25 | 25 | - | - |
| 6 | Mäetaguse | 22 | 186 | 144 | 651 | 163 | 39 | 32 | 18 | 11 | - | - |
| 7 | Jõhvi | 11 | 209 | 122 | 683 | 217 | 50 | 14 | 13 | 23 | - | - |
| 8 | Kohtla-Järve | 19 | 142 | 91 | 1054 | 237 | 59 | 31 | 5 | - | - | 5 |
| 9 | Vaivara | 46 | 468 | 384 | 1901 | 331 | 3 | 8 | 38 | 43 | - | 8 |
| 10 | Toila | 69 | 476 | 313 | 2006 | 439 | 12 | 23 | 24 | 20 | 9 | 12 |
| 11 | Aseri | 25 | 544 | 325 | 2455 | 583 | 13 | 17 | 26 | 23 | 6 | 15 |
| 12 | Kohtla | 47 | 347 | 194 | 2740 | 485 | 25 | 33 | 20 | 11 | 2 | 9 |
| 13 | Lüganuse | 47 | 641 | 390 | 3987 | 711 | 11 | 16 | 26 | 20 | 7 | 20 |
| LAANE-VIRUMAA | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Saksi | 4 | 71 | 65 | 110 | 31 | 75 | 25 | - | - | - | - |
| 2 | Vinni | 5 | 191 | 170 | 315 | 94 | 11 | 45 | 44 | - | - | - |
| 3 | Rägavere | 3 | 241 | 182 | 518 | 199 | 34 | 33 | - | 33 | - | - |
| 4 | Tamsalu | 16 | 178 | 151 | 534 | 114 | 16 | 59 | 19 | 6 | - | - |
| 5 | Sõmeru | 18 | 161 | 104 | 588 | 149 | 52 | 11 | 31 | 6 | - | - |
| 6 | Väike-Maarja | 11 | 236 | 151 | 865 | 234 | 40 | 18 | 22 | 16 | 4 | - |
| 7 | Viru-Nigula | 19 | 285 | 224 | 940 | 191 | 13 | 21 | 52 | 11 | 3 | - |
| 8 | Vihula | 55 | 238 | 155 | 2426 | 308 | 38 | 25 | 25 | 8 | 1 | 3 |
| 9 | Haljala | 37 | 441 | 211 | 6196 | 881 | 27 | 23 | 23 | 21 | 1 | 5 |

nagu ikka on ka sellel reeglil erandeid, millest tuleb juttu edaspidi.

Kuna kahes radooniohtlikus piirkonnas paiknevas linnas, Maardus ja Sillamäel toimus intensiivne mõõtmiskampaania, on nimetatud linnad tabelis 1 eraldi välja toodud. Siiä lisati ka mõõtmistulemused 7 Kunda maja kohta, millest 3 kuulusid varematal aastatel radooniseire käigus selgunud eriti radooniohtlikku hoone tüüpi. Sellises kortermajas on (tänu ventilatsioonirestidele I-korruse põrandas) tingimused pinnaseõhu radooni kogunemiseks tubadesse eriti head (joon 2). Kui niisuguse konstruktsiooniga maja satub uraanirikkaie pinnasele, on majas radoonitase väga kõrge. Kolmes mainitud Kunda majas on see hästi jälgitav, mille tõttu on tulemused ka ülikõrged ($1500-9000 \text{ Bq/m}^3$). Kasutades hooneregistri andmeid, püüdsime taolise konstruktsiooniga majades teha mõõtnisi ka teistes piirkondades, kus neid esines. Kuid ilmselt tänu hoonealuse maapinna vähesele radooniohtlikkusele jäid mõõtmistulemused mujal alla 200 Bq/m^3 .



Joon.2. Radooniohtlik 2-korruseline elamu ventilatsioonirestidega I korruse põrandas

Maardus, mis paikneb enamasti kõrge radoonitasega pinnasel, viidi läbi ulatuslik elamute mõõtmise kampaania. Mõõtmistulemused saadi 122 maja kohta, kuigi detektorid jagati 200 majja. Küllalt suure detektorite kao üheks põhjuseks võib pidada elanikonna vähest informeeritust radooniga seonduvast. Nagu selgub mõõtmistulemustest (tabel 1) oli vaid 1/3 mõõdetud majadest radoonitase alla 200 Bq/m^3 , 5% majadest ületas aga 1000 Bq/m^3 , kusjuures kõik sellesse jaotusvahemikku kuuluvad majad on ühesugust tüüpi: 1950-nendatel aastatel ehitatud 2-kordsed elamud, millel pole küll ventilatsioonireste I-korruse põrandas (nagu eelpooltoodud eriti radooniohtliku elamu puhul), kuid otse muldpõrandal on laudpõrand, kelder puudub. Seda sorti maju on Maardus küllalt palju ja enamikus neist olid radoonisisaldused üle 400 Bq/m^3 , maksimaalne mõõtmistulemus 1806 Bq/m^3 saadi samuti sellisest elamust. Pärast 1980-nendaid ehitatud suurpaneelmajades oli radoonitase alla 200 Bq/m^3 .

Sillamäel toimus samuti laiaulatuslik mõõtmine. Tänu elanikonna heale informeeritusele ioniseerivasse kiirgusesse puutuvasse ning väga heale linnavalitsusepoolsele organiseerimisele oli seal detektorite kadu minimaalne. Ka Sillamäel paistsid kõrgete radoonisisaldustega silma sama tüüpi 1950-nendatel ehitatud elamud, mis Maarduski. Sillamäe vanemas osas on neid küllalt palju, kuid neis elamutes ei esinenud 1000 Bq/m^3 ületavaid radoonikontsentratsioone. Pisteliselt mõõdeti Sillamäel radoonitaset ametiasutustes ning selgus, et mitmes neist oli tegemist väga kõrgete radoonikontsentratsioonidega (suurim mõõdetud tulemus 3829 Bq/m^3). Kusjuures mõõtmisi ei tehtud mitte keemjakombinaadis, kus töö eripärast tulenevalt võiks

eeldada suuremaid radoonisisaldusi. Üle 400 Bq/m³ oli radoonitase ka ühes Sillamäe lasteasutuses. Sillamäel on olemas juba 1991 aastal koostatud metoodiline juhend radoonist tuleneva elanikonna kiirgustaseme alandamiseks [11], millest linnavalitsus võiks esialgu lähtuda.

Kui linnades tehti enamik mõõtmisi korrusmajades, siis valdades oli suurem osa mõõdetud majadest ühepere-alamud.

Harjumaal mõõdetud 7 valla tulemustest selgub, et ainult Keilas ei olnud 400 Bq/m³ ületavaid siseõhu radoonisisaldusi. Nagu tabelist näha on ülejäänud valdades tegu küllalt suurte siseõhu radoonikontsentratsioonidega, seega ka küllalt olulise radooniriskiga, millega tuleks kindlasti arvestada edaspidises ehitustegevuses (nii uute majade rajamisel kui ka vanade renoveerimisel). Harkus ja Kuusalus mõõdetud suurimad sisaldused olid elamutes diktüoneemakilda avamusaladel.

Järvamaal Kabala vallas toimus mõõtmine geoloogiakeskuse pinnaseõhu mõõtmiste põhjal, kuid siin ei tuvastatud 400 Bq/m³ ületavaid radoonisisaldusi, kuigi üle 200 Bq/m³ radooni oli 38% mõõdetud majadest.

Raplamaal püüti mõõtmistega tabada karstist tulenevat mõju radoonitasemetele, kuid 400 Bq/m³ ületavaid tulemusi saadi vaid Kaiu ja Märjamaa vallast. Käru, Vigala ja Juuru vallas jäid kõik mõõtmised allapoole 200 Bq/m³.

Tartumaal, Valgamaal ja Viljandimaal tehti mõõtmisi vastavalt pinnaseõhu radoonisisalduste määrangule. Võrreldes Põhja-Eesti piirkondadega on radoonisisaldused siin tunduvalt väiksemad, kuid 400 Bq/m³ ületavaid tasemeid esines Kambja, Luunja ja Suure-Jaani vallas.

Ida-Virumaal oli mõõtmispiirkondade valikul aluseks: määratlus radooniohtlikuna EPN 12.3 punktis 5, karsti esinemine, allmaakaevanduse piirkond ning geoloogiakeskuse mõõtmistulemused. Esimesel mõõtmisperioodil tervisekaitse spetsialistide abiga läbi viidud uuringu käigus ilmnenud kõrgemate radoonitasemetega piirkondades tehti järgmisel kütteperioodil vallavalitsuse abiga põhjalikum uuring, kus kasutati ka geoloogiakeskusest saadud diktüoneemakilda avamusalade kaarte. Nagu tabelist näha, on enamikus valdadest, kus mõõtmisi tehti, tegu väga kõrgete siseõhu radoonitasemetega. Paljud sellistest majadest paiknesid diktüoneemakilda avamusaladel.

Lääne-Virumaal olid piirkondade valiku kriteeriumiks määratlus radooniohtlikuna EPN 12.3, geoloogiakeskuse mõõtmised ja karsti esinemine (Väike-Maarja ja Tamsalu). Nagu eeldada võis, on ka selles maakonnas tegemist küllalt radooniohtlike piirkondadega, millest annavad tunnistust suured radoonikontsentratsioonid majades. Suurimad mõõtmistulemused Haljalast (6196 Bq/m³) ja Vihulast (2326 Bq/m³) saadi elamutest diktüoneemakilda avamusel.

Nagu eelnevalt mainitud, on ühepere-alamud üldiselt radoonitundlikumad, suuremad radoonisisaldused esinevad tavaliselt just neis. Tabelis 2 esitatakse käesoleva uuringu põhjal statistilised andmed radoonikontsentratsioonide kohta kõigis majades ning eraldi tulemused korrusmajade ja ühepere-alamute kohta. Selgub, et radooniohu seisukohalt ei olegi nende kahe majatüübi vahel suuri erinevusi: statistilised väärtused on küllalt sarnased. Arvatavalt on siin üheks põhjuseks asjaolu, et uuringusse oli haaratud suhteliselt palju 1950-ndatel ehitatud 2-korruselisi kortermaju, mis on ilmselt ka väga radoonitundlikud.

Käesolev uuring peaks andma lähtematerjali tulevasele radooniriskialade kaardile, kus kasutatakse alusmaterjalina geoloogilist informatsiooni. Samas on paljud riigid koostanud ka radooniohu kaarte, mis baseeruvad ainult majades tehtud mõõtmistele. Ühe sellise võimalusena radooniohtlike piirkondade määratlemiseks esitame keskmiste siseõhu radoonisisalduste kaardi (leht 1.2), mis saadi Map-info programmis IDW (Inverse Distance Weighed) meetodil. Kuid kuna mõõtmised ei jaotu Eesti alal ühtlaselt ja neid on suhteliselt vähe selle meetodi jaoks, pole tulemus just parim.

Teise võimalusena esitame radooniriski kaardi mõõdetud valdadele (leht 1.3), kusjuures siin on riskipiirkondade väljaeraldamisel aluseks Norras kasutusel olev klassifikatsioon [12], mille eralduskriteeriumid on esitatud tabelis 3.

Tabel 2

Radooni aktiivsuskontsentratsioonid kõikides majades

| Siseõhu radoon, Bq/m ³ | | | | Radoonisisalduste esinemissagedus, % | | | | | |
|-----------------------------------|-----|------|-----|--------------------------------------|---------|---------|---------|----------|-------|
| AM | GM | Max | ST | < 100 | 101-200 | 201-400 | 401-800 | 801-1000 | >1001 |
| 268 | 159 | 9450 | 438 | 32 | 30 | 22 | 10 | 2 | 4 |

Radooni aktiivsuskontsentratsioonid ühepere-elamutes

| Siseõhu radoon, Bq/m ³ | | | | Radoonisisalduste esinemissagedus, % | | | | | |
|-----------------------------------|-----|------|-----|--------------------------------------|---------|---------|---------|----------|-------|
| AM | GM | Max | ST | < 100 | 101-200 | 201-400 | 401-800 | 801-1000 | >1001 |
| 265 | 162 | 6196 | 383 | 33 | 29 | 23 | 9 | 2 | 4 |

Radooni aktiivsuskontsentratsioonid korrusmajades

| Siseõhu radoon, Bq/m ³ | | | | Radoonisisalduste esinemissagedus, % | | | | | |
|-----------------------------------|-----|------|-----|--------------------------------------|---------|---------|---------|----------|-------|
| AM | GM | Max | ST | < 100 | 101-200 | 201-400 | 401-800 | 801-1000 | >1001 |
| 267 | 151 | 9450 | 521 | 34 | 31 | 19 | 11 | 2 | 3 |

Tabel 3. Radooniriskialade klassifikatsioon

| <i>Riski kategooria</i> | <i>% mõõtmistest üle 200 Bq/m³</i> |
|-------------------------|---|
| Kõrge riski ala | >20 % |
| Mõõduka riski ala | 5 – 20 % |
| Madala riski ala | <5 %, mitte ühtki tulemust >400 Bq/m ³ |

Norras kasutatakse eelpooltoodud klassifikatsiooni edasiste radooniuuringute planeerimiseks: kõrge riskiga piirkondades soovitatakse teha mõõtmised kõigis elanutes, mõõduka riski aladel on soovitatav käsitleda edaspidi põhiliselt radoonitundlikke elamuid (sõltuvalt ehitusmaterjalist, ehituse aastast jne.) ja madala riskiga aladel ei ole vaja rohkem mõõtmisi teha.

Meie poolt esitatud riskikaart võiks aidata valdadel otsustada, kas ja milliseid radooniuuringuid nad edaspidi vajavad.

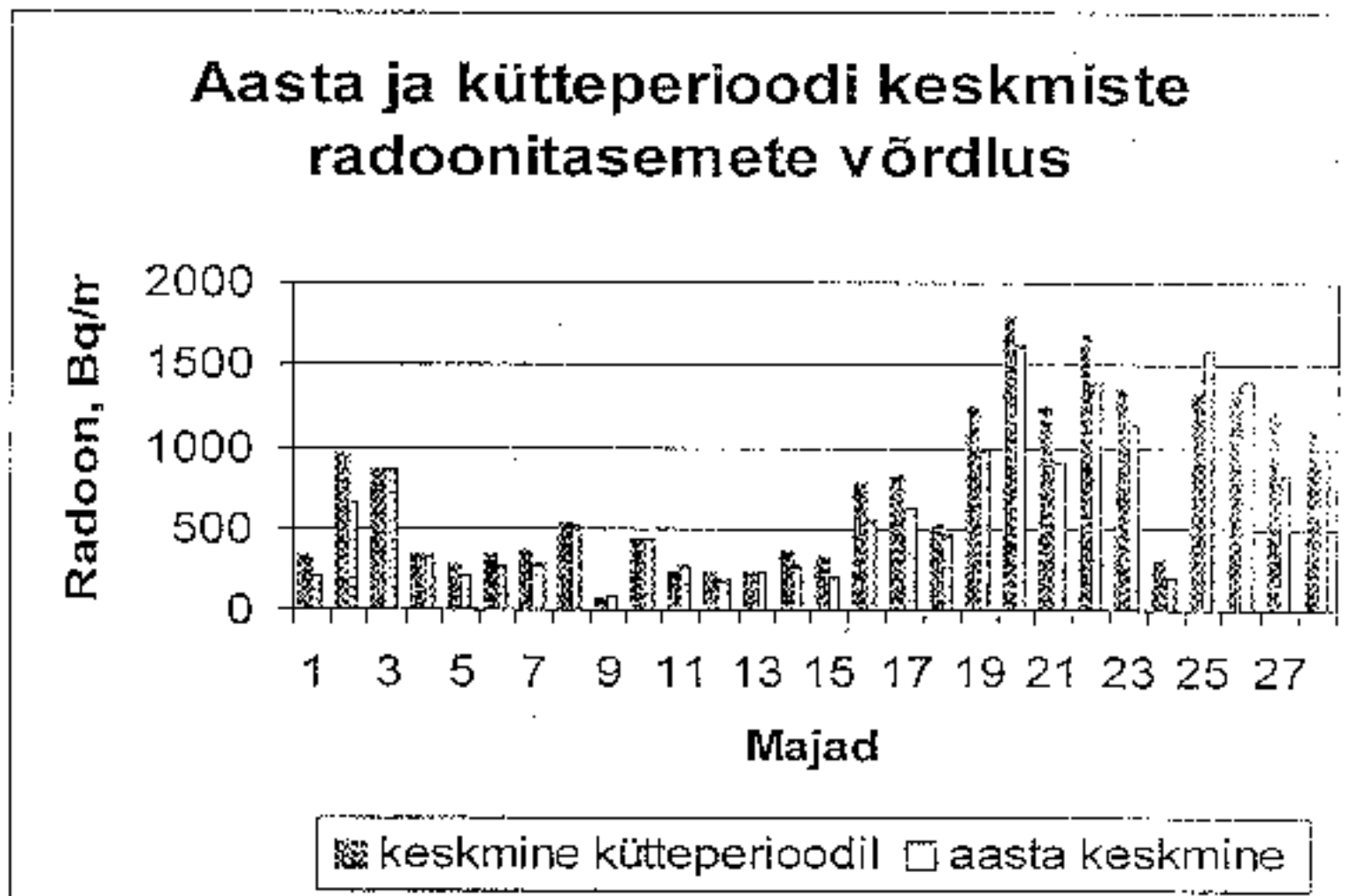
MÕÕTMISTULEMUSED ÜLEMINEKUKOEFITSIENDI LEIDMISEKS

Vastavalt mõõtmismetoodikale toimuvad radoonikontsentratsioonide mõõtmised 2-3 kuu jooksul kütteperioodil. Tavaliselt on siis radoonitasemed majades kõige kõrgemad.

Soovitavad piirnormid käsitlevad aga aasta keskmisi väärtusi. Selleks, et minna üle lühema-ajalistelt mõõtmistelt aasta keskmistele tulemustele soovitatakse leida vastavad üleminekukoefitsiendid tehes aastaringseid mõõtmisi teatud hulgas majades.

Käesoleva projekti käigus planeeriti selle tarbeks aastaringseid mõõtmisi 28 majas. Saadud tulemusi illustreerib järgnev joonis, kus tulpadena on toodud aasta keskmisena ja kütteperioodil 2-3 kuu keskmisena mõõdetud radoonisaldused elamutes Eestimaa eri paigus. Enamikus majades olidki kütteperioodil mõõdetud väärtused suurimad, ainult 4 majas 28-st olid suvised mõõtmistulemused mõnevõrra kõrgemad. Keskmiseks üleminekukoefitsiendiks saadi 0,85 see tähendab, et aasta keskmise väärtuse saamiseks tuleks kütteperioodil tehtud mõõtmise tulemust korrutada 0,85. Samas kõikus üleminekukoefitsiendi väärtus erinevates majades vahemikus 0,48 – 1,32 seega küllalt suurtes piirides.

Vältimaks sellest tulenevat ebamäärasust on mõned riigid, näiteks Rootsi kehtestanud normid mõõdetuna kütteperioodil, võib-olla oleks ka meil otstebekas minna seda teed.



Joon.3. Aasta keskmise ja kütteperioodi keskmise radoonitase 28 majas.

KOKKUVÕTE

Käesolev uuring tõi välja uusi piirkondi, kus on tegu küllat kõrgete siseõhu radoonitasemetega (Harku, Jõelähtme, Kuusalu, Haljala, Aseri, Kohtla ja Läänuse vald). Kui võrrelda nimetatud valdade keskmisi väärtusi, mis saadi 2001. aastal lõppenud riikliku radooniuuringu käigus, käesolevas töös esitatud tulemustega, on erinevused küllalt suured. Põhjuseks on tööde erinevad eesmärgid. Riikliku uuringu käigus tehti mõõtmisi valla tasemel 2-3 juhuslikult valitud majas, eesmärgiga arvutada nende andmete alusel elamuõhu radoonist saadav keskmine elanike efektiivne kiiritusdoos. Käesolevas töös lähtuti mõõtepiirkondade valikul geoloogilistest eeldustest radooniohuks ning mõõdetavate majade arv oli tunduvalt suurem. Tulemuseks on suhteliselt suur majade hulk, kus radoonisisaldused on väga kõrged. Mis omakorda tõestab valikute õigsust ja kriipsutab alla radooniprobleemi olemasolu meie majades.

Uuringu tulemused viitavad selgelt asjaolule, et Eesti kuulub kõrgete siseõhu radoonitasemetega riikide hulka ning meil tuleks planeerimis- ja ehitustegevuses arvestada radooniohuga ja võib eeldada kõrgeid radoonikontsentratsioone juba olemasolevates elamutes. Seega vajab radooniohuga seonduv edasist selgitamist nii elanikkonna kui ka omavalitsuste tasemel.

Mõõtmistulemused on edastatud uuringus osalenud valdade omavalitsustele, selleks et nendega arvestataks detailplaneeringute tegemisel.

Praeguseks on juba trükitud Eesti-Rootsi koostööna valminud „Eesti radooniriski kaart“, kus üheks olulisemaks leheks võib pidada Rootsi Geoloogiateenistuses koostatud „Esialgset Eesti radooniriski levilate kaarti“. Nimetatud kaardikomplekti valmimine oli väga vajalik samm radooniprobleemide teadvustamisel ja lahendamisel Eestis. Radooniriski kaardist tuleks lähtuda nii uute majade ehitamisel kuid kindlasti ka vanade renoveerimisel. Uuringus selgus, et tänu valedete ehituslikele võtetele vanade majade renoveerimisel on võimalik siseõhu radoonikontsentratsioonide oluline suurenemine.

Edaspidi tuleks:

- jätkata elamutes tehtavaid mõõtmisi radooniriski aladel, kus andmed majade radoonitasemete kohta puuduvad;
- viia läbi radoonikontsentratsioonide mõõtmised kõigis lasteasutustes;
- pöörata tähelepanu radoonisisaldustele tööruumides;
- pidada oluliseks leevendusmeetmete välja töötamist ja propageerimist radoonitasemete alandamiseks olemasolevates elamutes;
- jätkata elanikkonna informeerimist radooniga seonduvast.

Lõpuks võib märkida, et vähemalt neljas uuringu käigus kõrge radoonitasemega majas on tehtud ümberehitusi seal radoonisisalduse vähendamiseks ja tulemuslikult.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Pahapill, L., Jõgioja, E., Rohumäe, T.: Indoor radon in Estonia. Proc. of the 6th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Vol. 4, pp 471-474, 1993.
2. Pahapill, L., Dambis, M., Morkunas, G., Åkerblom, G.: Radon in the Baltic States. In (Editors Søgaard-Hansen J., Damkjær A.): Radiation Protection Issues in the Baltic Region with Emphasis on Co-operative Projects with Estonia, Latvia and Lithuania. Proc. of the Regional IRPA Congress held in Stockholm June 12-13, 1998. Risø National Laboratory, Denmark, 1998.
3. Pahapill, L., Nõmtak, S.: Siseõhu radoonist Virumaal.Eesti Tervisekaitse Seltsi 45. konverentsi ettekannete kogumik. Tallinn, 1999.
4. Pahapill, L., Rulkov, A., Rajamäe, R. and Åkerblom, G. Radon in Estonian Dwellings. Results from a National Radon Survey. SSI report 2003:16. 2003.
5. Pahapill, L., Falk, R.: Radoonist tulenev terviserisk. Keskkonnatehnika 3/03. 2003.
6. EC, 1996: "Council Directive 96/29/EUROATOM of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation. Legislation". Official Journal of the European Communities. L159, Vol.39.1996.
7. EC, 1990: "Commission Recommendation of 21 February 1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon". European Communities. 90/143/Euroatom.1990.
8. ICRP 60: "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection". ICRP Publication 60. Annals of the ICRP 21(13). 1991.
9. Nordic, 2000: "Naturally Occuring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations" The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden. 2000.
10. Mellander H., Enflo A.: The alpha track method used in the Swedish radon epidemiological study. Radiation Protection Dosimetry. Vol. 45, No. 1/4, pp 65-71. 1992.
11. Методические рекомендации по снижению облучения населения за счёт радона в г. Силламяе ЭССР. Ленинград, 1991. (käsitäsi).
12. Jensen, C.L., Strand, T., Ramberg, G., Ruden, L., Ånestad, K.: The Norwegian Radon Mapping and Remediation Program. Proc. of the IRPA Congress held in Madrid. 2004.