



Liisbeth-Johanna Trei

SISERUUMIDE RADOONI AKTIIVSUSKONTSENTRATSIOONI UURIMINE SAAREMAAL PÄRSAMA KÜLAS

LÕPUTÖÖ

Tehnoloogia ja ringmajanduse instituut
Keskkonnatehnoloogia ja -juhtimise õppekava

Juhendaja: Rein Koch

Kaasjuhendaja: Monica Vilms

Tallinn 2023

Mina, Liisbeth-Johanna Trei, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja, teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Rein Koch (allkirjastatud digitaalselt)

Kaasjuhendaja Monica Vilms (allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud tehnoloogia ja ringmajanduse instituudi direktori korraldusega.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Liisbeth-Johanna Trei,

sünnikuupäevaga: 24.01.1999

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Siseruumide radooni aktiivsuskontsentratsiooni uurimine Saaremaal Pärsama külas

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

SISUKORD

SISUKORD.....	3
SISSEJUHATUS.....	5
1 RADOON.....	6
1.1 Kiirgusallikas	6
1.2 Radoon kui keemiline element.....	7
1.3 Terviserisk.....	8
1.3.1 Efektiivdoos	8
2 RADOON EESTIS.....	10
3 RADOON SISERUUMIDES.....	12
4 MÕÕTMINE SISERUUMIDES.....	15
5 METOODIKA.....	16
5.1 Asukoht	16
5.2 Uuritavad objektid.....	18
5.3 RadonEye Plus 2	19
6 MÕÕTMISTULEMUSED.....	21
6.1 Objekt 1	21
6.2 Objekt 2	22
6.3 Objekt 3.....	23
6.4 Objekt 4.....	24
6.5 Objekt 5.....	26
7 MÕÕTMISTULEMUSTE ANALÜÜS	28
7.1 Kahe kuu keskmine radooni aktiivsuskontsentratsioon	31
7.2 Kõrgeim ja madalaim radooni aktiivsuskontsentratsioon	32
7.3 Aastased efektiivdoosid.....	34
KOKKUVÕTE.....	35
SUMMARY	37
VIIDATUD ALLIKAD.....	39
LISAD	41
Lisa 1. Objekti 1 mõõtmistulemused.....	41
Lisa 2. Objekti 2 mõõtmistulemused.....	42
Lisa 3. Objekti 3 mõõtmistulemused.....	43
Lisa 4. Objekti 4 mõõtmistulemused.....	44

Lisa 5. Objekti 5 mõõtmistulemused.....	45
Lisa 6. Mõõtmisperioodi ilmaandmed	46

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli uurida siseruumide radooni aktiivsuskontsentratsiooni Saaremaal Pärsama külas, mis on ühtlasi ka töö autori koduküla. Lisaks sellele antakse ülevaade radoonist ning analüüsitakse uurimise käigus tehtud mõõtmistulemusi.

Radoon on radioaktiivne väärisgaas, mis on suurtes kogustes tervisele ohtlik, seetõttu on oluline, et seda siseruumide õhku liiga palju ei satuks. Suurtes kogustes on radoon kantserogeenne ning suurendab ka muude terviseprobleemide riski.

Radooni aktiivsuskontsentratsiooni uurimiseks paigutati iga hoone keldri- ja esimesele korrusele RadonEye Plus 2 radoonimonitor. Täpsema ülevaate saamiseks on oluline, et mõõteperioodi pikkus oleks vähemalt kaks kuud ning mõõtmised teostatakse kütteperioodil - sel ajal toimub vähem ruumide õhutamist. Monitorid paigutati hoonetesse kaheks kuuks – 2023. aasta veebruarist kuni aprillini.

Töö jaguneb seitsmeks peatükiks, millest esimene tutvustab radooni. Peatükk jaguneb kolmeks alapeatükiks, millest esimene tutvustab radooni kiirgusallikana, teine radooni keemilise elemendina ning kolmas radooni poolt tekikatud negatiivset mõju organismidele.

Teine peatükk annab ülevaate radooni esinemisest Eestis ja kolmas peatükk tema esinemisest ruumide siseõhus. Neljas peatükk tutvustab põgusalt radoonitaseme mõõtmise meetodeid siseruumides, milleks on pidev-, punkt- ning integreeritud mõõtmine.

Viies peatükk kirjeldab töö raames radooni aktiivsuskontsentratsiooni uurimise meetodit – asukoha ja objektide valikut ning mõõtmiseks kasutatavaid seadmeid. Kuuendas peatükis on välja toodud radooni aktiivsuskontsentratsiooni uurimisel saadud mõõtmistulemused ning seitsmendas neid analüüsitakse põhjalikumalt.

Lõputöö raames teostatud mõõtmiste põhjal saavad ka hoonete elanikud teadlikumaks ning suurte radooni aktiivsuskontsentratsioonidega hoonete elanikud saavad liikuda probleemi lahendamise suunas.

1 RADOON

Elusorganismid on pidevalt ioniseeriva kiirguse mõju all, mille allikas võib olla nii tehisk kui ka looduslik.

Tehislikeks kiirgusallikateks on näiteks meditsiinilised röntgenseadmed ning tuumatööstuse tagajärjel tekkiv radioaktiivne saaste [1]. Looduslikeks allikateks on aga maapinnas leiduvate radioaktiivsete elementide gammakiirgus ning kosmilisest ruumist pärinev kiirgus [1]. Üheks loodusliku kiirguse allikaks on ka radoon.

Radoon on looduslik väärisgaas, millel puudub nii lõhn, maitse kui ka värv [2]. Tegemist on radioaktiivse väärisgaasiga, mis tekib uraani lagunemisreas oleva raadiumi lagunemise tagajärjel [2], [3]. Radooni tihedus on $9,73 \text{ kg/m}^3$ [4]. Õhust on radoon ligi 7,7 korda raskem, kuid levib õhus konvektsiooni teel [3]. Looduses leidub radoonil kolm isotoopi, milleks on uraan-238 rea lagunemisel tekkinud radoon-222, toorium-232 lagunemisel tekkinud radoon-220 ehk toroon ning uraan-235 lagunemisel tekkinud radoon-219 ehk aktinoon [3].

Kuna radoon-222 mõju kiirgusdoosi tekitajana on üldiselt üle 90%, siis on kokku lepitud radoonist rääkides mõista selle termini all radoon-222 isotoopi [5].

1.1 Kiirgusallikas

Radoon on looduslik kiirgusallikas, mis kiirgab elusorganismidele organismi sattudes ohtlikku ioniseerivat kiirgust [1].

Ioniseerivaks kiirguseks olevad elektromagnetlained ning -osakesed on, sõltuvalt nende energiast, võimelised ümbritseva keskkonna aatomeid ioniseerima [5]. Gamma- ja röntgenkiirgus on elektromagnetkiirguse lühilaineline osa ning laetud osakesed moodustavad alfa- ja beetakiirguse [5]. Ioniseeriv kiirgus on võimeline organismi kudedes tekitama ioonpaare ning lõhkuma rakusiseseid sidemeid [1]. Ionisatsiooni käigus saavad elusorganismide molekulid ning seeläbi nende rakud kahjustada [5].

Organismid ioniseerivat kiirgust meeltega ei taju, kuid selle olemasolu ning intensiivsust on võimalik mõõta spetsiaalsete mõõteaparaatidega [1].

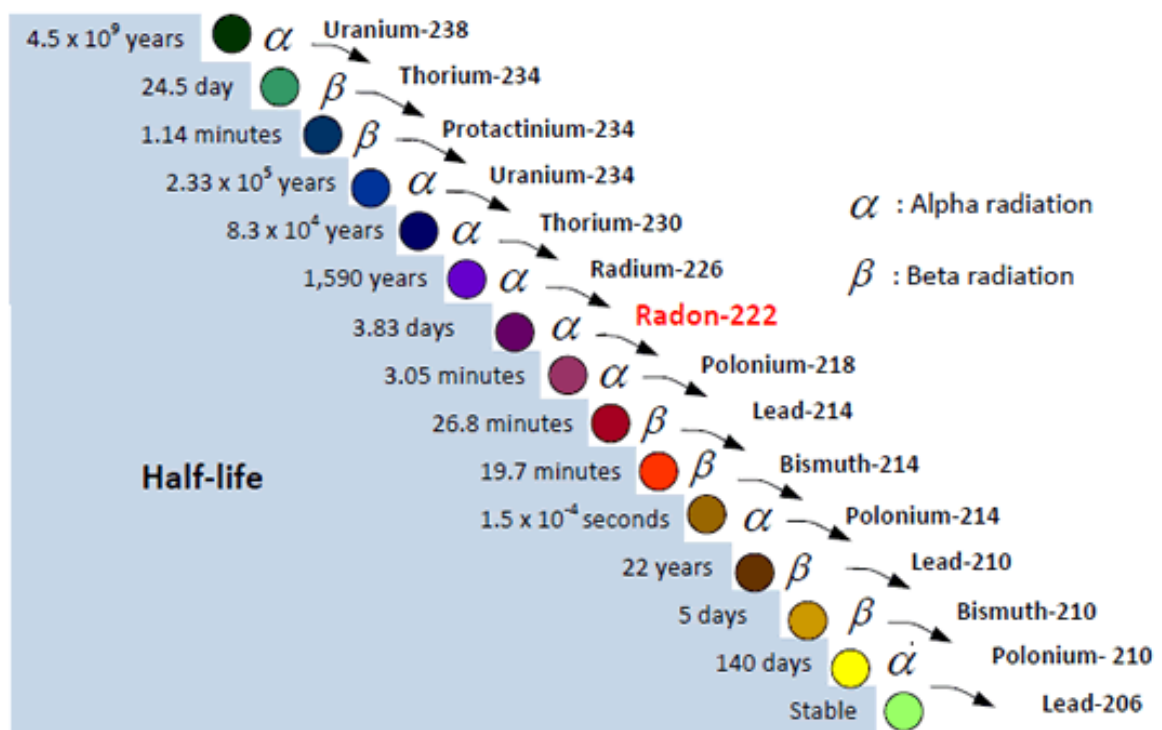
Radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtühikuks õhus on bekerelli kuupmeetri kohta (Bq/m^3). Bekerelli ühikut kasutatakse radionukliidide aktiivsuse hindamiseks SI-süsteemis, kus üks

tuumalagunemine sekundis on võetud võrdseks ühe bekerelliga [3]. Õhus leiduva radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmiseks kasutatakse ühikut Bq/m³ ning pinnaseõhus tuleb kasutada ühikut kBq/m³ [3].

Radoonisisalduse käitumine pinnaseõhus ei sõltu ainult pinnase uraanisisaldusest, vaid ka pinnase litoloogiast, kasvukihi niiskusest, temperatuurist ning teistest meteoroloogilistest tingimustest [3]. Lisaks eelnevale on oluline roll ka sügavamalt migreeruval radoonil [3]. Kõige lihtsamini liigub radoon läbi kuiva ning poorse pinnase, nagu näiteks liiva või kruusa [6].

1.2 Radoon kui keemiline element

Maakoorest leiduva uraan-238 radioaktiivse lagunemisrea vaheprodukti radium-226 lagunemisel tekib radoon-222 (Joonis 1) [2]. Radoon omakorda laguneb seitsmeks kõrgradioaktiivseks ning metalseks tütarelemendiks [2]. Lagunemisrea lõppisotoobiks on stabiilne plii-206 isotoop [2].



Joonis 1. Uraani lagunemisrida [7]

Radooni poolestusaeg ehk aeg, mille vältel radoon kahaneb poole võrra, on 3,82 ööpäeva [2]. Radooni tütarelementide summaarne poolestusaeg on pea 22 aastat, millest pikima elueaga on Pb-210 [2], [8]. Radoon on uraanirea ainus gaasiline element ning seetõttu on tal võime pinnasest migreeruda [8]. Õhus võivad lagunened radooni tütarisotoobid kleepuda seal olevatele aerosooliosakestele ning nendega koos jõuda sissehingamisel meie kopsutrakti.

1.3 Terviserisk

Radoon on niisiis kantserogeenne ning võib organismis tekitada mutatsioone [3]. Radoon on suitsetamise järel teine oluline kopsuvähi tekitaja, mis satub inimorganismi hingamisteede kaudu [3]. Koos õhus oleva radooniga satuvad hingamisel organismi aerosoolidele ja tolmuosakestele kleepunud radooni tütarisotoobid, mis tänu oma lühemale elueale moodustavad organismile radoonist endast suurema terviseriski [3], [9]. Radooni lagunemissaaduste omakordsel lagunemisel kiiratakse ümbritsevasse keskkonda ioniseerivad alfaosakesed, mis võivad põhjustada kokkupuutel kopsu epiteelkoega rakkudes mutatsioone [9].

Pikaealisemad radooni tütarisotoobid võivad organismi sattuda ka vee ja toidu kaudu [3]. Radooni lagunemisel kaasnev kiirgusdoos moodustab organismile mõjuvast kiirgusdoosist ligi 52,1% [3]. Samuti suurendab radoon ka valgeveresuse, luukoe hõrenemise ning muude tervisehäirete riski [3].

Üle poole inimese poolt saadavast aastasest looduslikust kiiritusdoosist tekitabki sissehingatav radoon [10].

Üldiselt on radoonisisaldus õhus väike ning oht tervisele samuti, kuid suletud ruumides võib radooni aktiivsuskontsentratsioon tõusta kordades, mis pikaajaliselt nendes ruumides viibijatele suurendab oluliselt terviseriski.

1.3.1 Efektiivdoos

Iseloomustamaks kiirguse mõju inimorganismile, on vaja välja arvutada efektiivdoosi väärtus. Efektiivdoos näitab kiiritusdoosi suurust, mis saadakse inimkeha kudede ja elundite erinevat kiirgustundlikkust iseloomustavate koefaktoritega korrutatud ekvivalentdooside liitmisel [11]. Ekvivalentdoos saadakse inimkeha koe või siis elundi neeldumisdoosi ning toimiva kiirguse kiirgusfaktori korrutamisel [11].

Efektiivdoosi mõõtühikuks on millisiivert ehk mSv. Elaniku aasta keskmiseks efektiivdoosi piirmääraks on 1 mSv [12]. Tegelikuses on see aga ligi 2,8 mSv, millest looduslikest kiirguse allikatest pärineb umbes 2,4 mSv [13]. Efektiivdoosi suurus on väga varieeruv – umbes 25% maailma elanikest jääb aastane efektiivdoosi suurus alla 1 mSv, 65% 1 – 3 mSv vahele ning 10% ületab efektiivdoos 3 mSv [5]. Eesti tingimustes ületab majade siseõhu radooni poolt põhjustatud kiirgusdoos sageli 10 mSv aastas [3].

Aastase efektiivdoosi E (mSv) arvutamiseks võib kasutada valemit (1) [14], [15]:

$$E = 6,9 \cdot 10^{-6} \cdot R_M \cdot t, \quad (1)$$

kus R_M – õhu mõõdetud radoonisisaldus, Bq/m³;

t – ruumis viibitud aeg aastas, h.

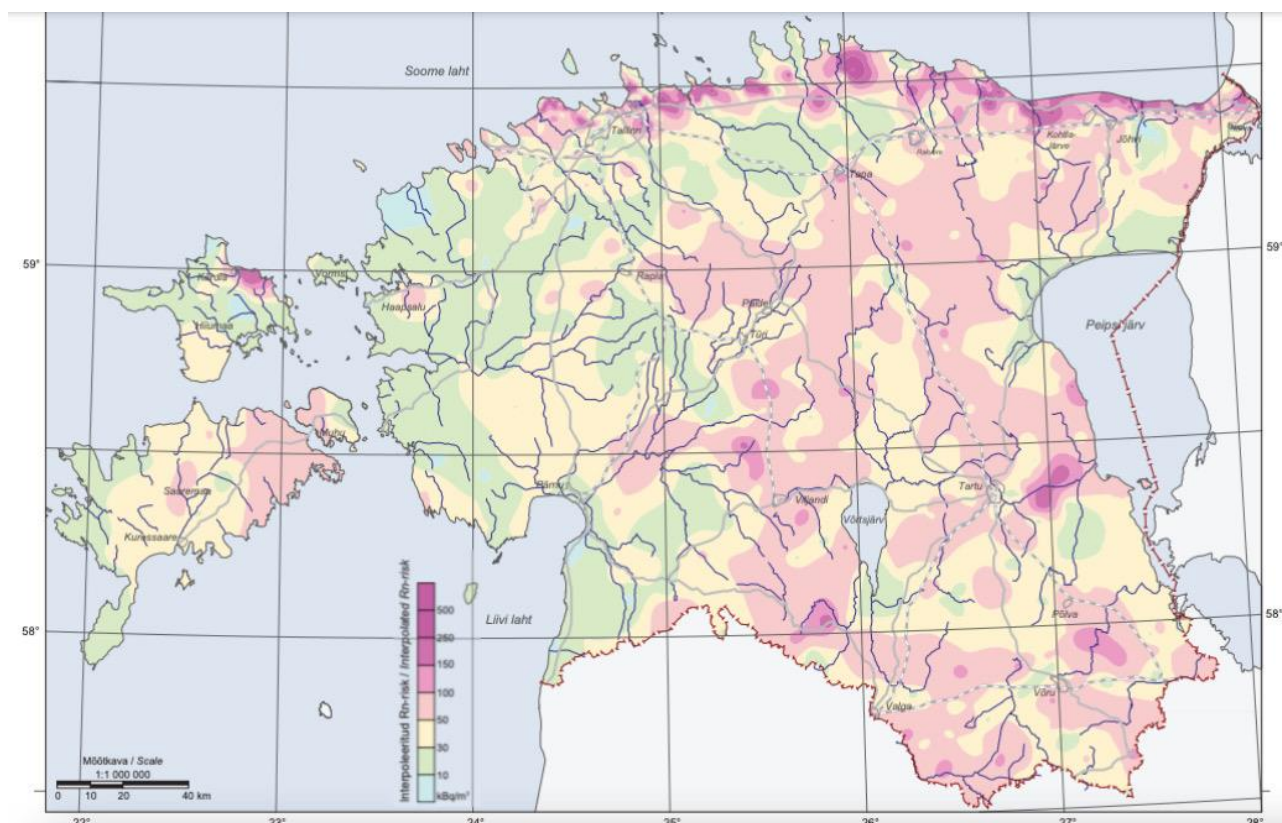
2 RADOON EESTIS

Läänemere idakaldal asuv Eesti kuulub Euroopa Liidu viie kõrgema radooniriski tasemega riigi - Tšehhi, Belgia, Rootsi ja Soome hulka. Euroopa põhjaosa riikidest on Eesti pärast Soomet teisel kohal [3], [5]. Eestis haigestub ühes aastas umbes 100 - 150 inimest radooni tõttu kopsuvähki [16]. Põhiliseks looduslikuks kiirguse allikaks Eestis on just radoon [3].

Eestis pärineb radoon peamiselt uraanirikastest aluskivimitest, graptoliitargilliidist ja oobolusfosforiiti sisaldavast liivakivist [8]. Radoonisisaldus Eesti pinnaseõhus on varieeruv ning sõltub piirkonna geoloogilisest ehitusest [8]. Kolmandik Eestimaa pinnasest on radooniohtlik (Joonis 2) [3]. Eesti pinnaseõhus jääb radoonisisaldus enamasti 23 - 75 kBq/m³ piiridesse [3].

Olulisemate radooniallikate hulka kuuluvad [3]:

- klindil paljanduv uraanirikas graptoliitargilliit ning fosforiit;
- kõrge uraanisisaldusega Devoni settekivimite mõningad erimid;
- kõrge uraanisisaldusega kristalse aluskorra avamustel pärinev granitoidne materjal;
- võimalikud uraani mineraalistumise nähted;
- pinnakattes mandriliustike ning mere poolt purustatud uraanirikaste kivimite purd ja peenes.



Joonis 2. Eesti pinnaseõhu maksimaalse radoonisisalduse kaart [8]

Eestis on kõrge radooniriskiga alad Põhja-Eestis, kus radoonisisaldus pinnaseõhus võib ületada 500 kBq/m^3 piiri [8]. Ala ulatub mööda klindivööndit Narvast Pakri saareni [8]. Klindil paljanduvad graptoliitargilliit ja oobolusliivakivi [3]. Lisaks Põhja-Eestile on kõrge radooniriskiga aladeks ka Ida-Eesti ja Lõuna-Eestis Devoni kivimite leviala [3], [8]. Muul Eestis leidub radooni harvemini ning hajutatult [8].

Normaalse radoonisisaldusega alad, kus radooni sisaldus pinnaseõhus on $10 - 50 \text{ kBq/m}^3$, asuvad valdavalt Lääne-Eestis ja Lääne-Eesti saartel, kuid ka seal on üksikuid punkte, kus radoonisisaldus pinnaseõhus ületab normaalset taset [3].

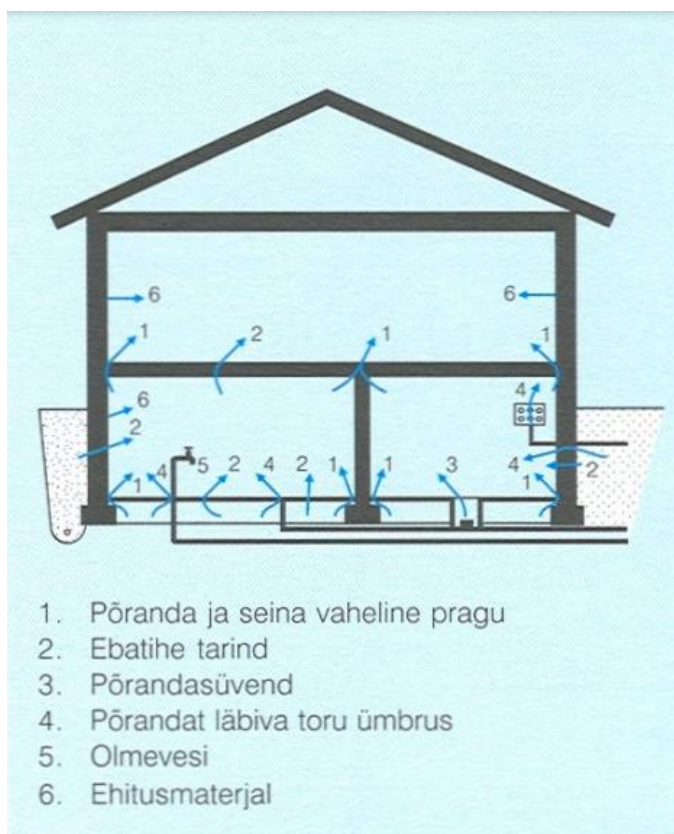
Eestis on siseõhu radoonisisaldust mõõdetud eelkõige Harjumaal ning Põhja-Eestis, kus 14% juhtudel ületab radoonisisaldus siseõhus 300 Bq/m^3 ning 2% lausa 1000 Bq/m^3 [3].

3 RADOON SISERUUMIDES

Radooni pika poolestuaja tõttu on oht, et siseruumidesse võib akumuleeruda üsna arvestatav kogus radioaktiivset vääriskaasi [17]. Kõrge pinnaseõhu radoonisisaldus on kõrge radoonisisalduse põhjuseks neile pinnastele ehitatud hoonete siseõhus [8].

Radoon satub siseruumidesse peamiselt hoone aluses pinnases olevatest uraani sisaldavatest mineraalidest [3]. Eesti majade siseõhu radooniallikaks on pinnases leiduva uraani lagunemisreas olev raadium, mille lagunemisel tekkiv radoon jõuab ehitistesse koos pinnaseõhus leiduvate teiste gaasidega [3]. Radoon võib hoonesse sattuda ka radoonirikkast tarbeveest või torujuhtmeid pidi maagaasiga.

Lisaks looduslikele tingimustele sõltub summaarne radoonisisaldus ruumides olulisel määral ka ehitiste kvaliteedist (Joonis 3), ehitusmaterjalidest ning radooniriski minimeerivatest meetmetest [3]. Hoone vundamendis olevate pragude ning kommunikatsioonide sisendite avauste kaudu pääseb radoon siseruumidesse ning soojuskadude vältimiseks tehtavate hoonete korraliku tihendamise tõttu pääseb radoon sealt raskesti välja [8]. Hästi isoleeritud keldritega ühepereelamutel on soodumus kõrgemaks radoonisisalduseks [18].

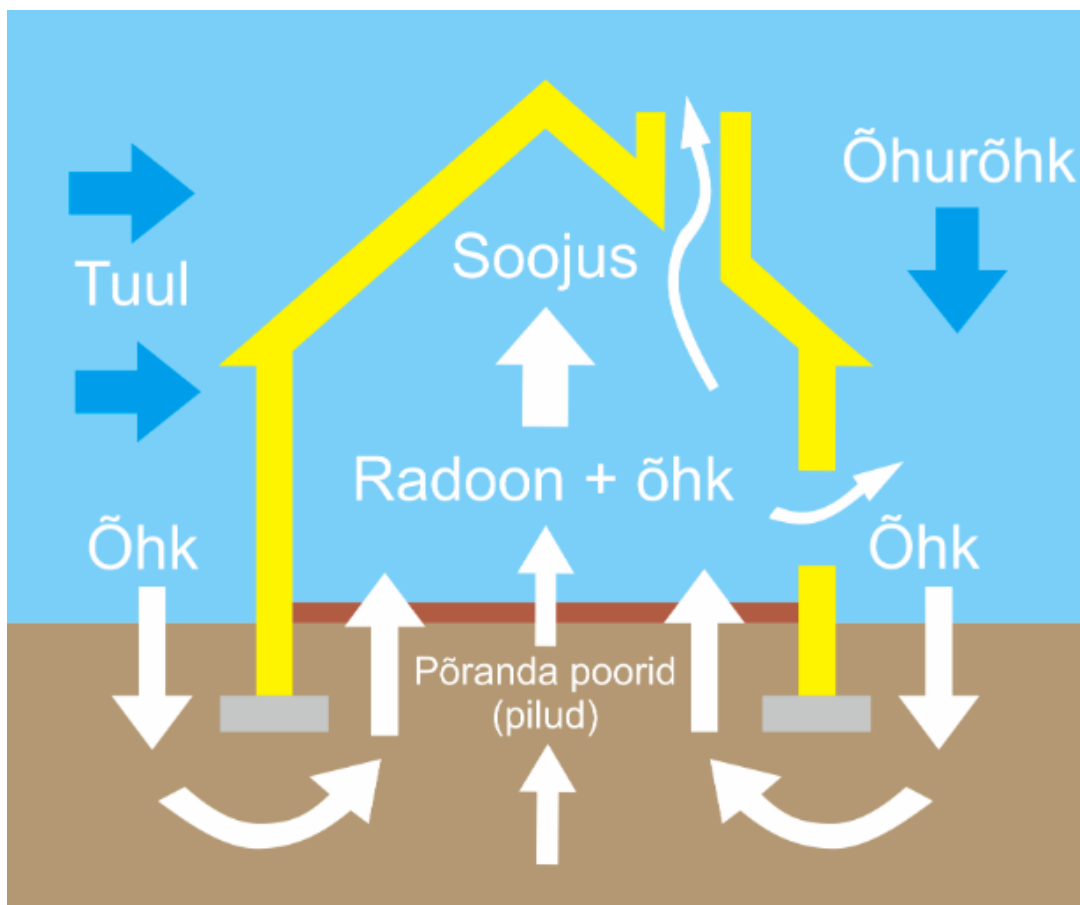


Joonis 3. Radooni elamusse sattumise peamised teed [10]

Radoonisisaldus ruumide õhus on väga varieeruv ning sõltub oluliselt ventilatsiooni iseärasustest [3]. Lisaks sõltub radoonisisaldus ka aastaajast, kuna kütteperioodidel toimub suveperioodiga võrreldes vähem ruumide õhutamist ning ruumide õhus tekkiva termilise alarõhu tõttu imetakse hoonesse enam pinnaseõhku [3].

Siseruumides kontsentreerub radoon keldrites ja majade esimestel korrustel, eriti vale režiimiga töötava ventilatsiooniga kaasneva alarõhu tingimustes [17]. Keskkonnaministeeriumi poolt soovitatav radooni aktiivsuskontsentratsiooni piirnorm hoonetes on 200 Bq/m^3 [19]. Eestis ületab siseruumide õhus radoonisisaldus 51% ruumidest WHO poolt soovitatava 100 Bq/m^3 ja 16% Eestis kehtestatud 300 Bq/m^3 viitetaset [3].

Radoonitase hoones sõltub lisaks veel ka ilmastikust, näiteks õhurõhust, tuulesuunast ning maapinna niiskusprotsendist (Joonis 4) [16]. Tuuliste ning vihmaste ilmadega radoonisisaldus langeb [18].



Joonis 4. Radooni liikumine hoonetes [13]

Selleks, et eluhoones oleks radoonioht väike, on oluline valida ehitamiseks sellised materjalid, mille radioaktiivsete ainete sisaldus ning ekshalatsioon oleks võimalikult väike [10]. Hoonealusest pinnasest radooni ruumi sattumise vältimiseks tuleb hoone pinnasega kokkupuutuv osa ehitada

võimalikult õhutihedalt [10]. Lisaks sellele on oluline ka ventilatsioonisüsteem, mis tuleb projekteerida nii, et pinnasest ei imetaks pinnaseõhku eluruumidesse [10].

4 MÕÕTMINE SISERUUMIDES

Kuigi radoon ei ole meil meeltega tajutav, on seda võimalik mõõteriistadega mõõta. Nii pinnaseõhu kui ka siseruumide radoonitaseme mõõtmisel on oluline õige mõõtemetodi kasutamine [17].

Radooni aktiivsuskontsentratsiooni määramise eesmärk on välja selgitada ruumiõhu aasta keskmine radoonisisaldus [2]. Minimaalne mõõteperiood on kaks kuud ning vähemalt pool mõõtmist peab toimuma kütteperioodil [2].

Mõõtmiseks kasutatakse kas pidev-, punkt- või integreeritud mõõtemetodeid [2].

Pidevmõõtmise puhul kasutatakse elektroonilisi mõõteseadeid ehk radoonimonitore, millel on olemas tabloo tulemuse kuvamiseks [2]. Gaasiline radoon koguneb detektoris asuvasse mõõtekambrisse, kus määratakse kindlaks aatomite lagunemisel tekkiv alfakiirgus [2]. Seade registreerib kindlaks määratud ajavahemikes keskmised tulemused kogu mõõteperioodi vältel [2].

Punktmõõtmist kasutatakse õhus oleva radooni aktiivsuskontsentratsiooni kiireks hindamiseks [2]. Mõõtmise teostamiseks võidakse kasutada ka pidevmõõtmisteks kasutatavaid seadmeid [2].

Integreeritud mõõtmise korral eksponeeritakse radoonitundlikku materjali, milleks võib olla aktiivsüsi, plastsensor või laetud ionisatsioonikamber, uuritavas ruumis ning millede registreeritud mõõtetulemus saadakse hiljem laboris tehtud eksponeeritud sensori mõõtmisel [2]. Plastdetektoris alfaosakesed jätavad materjali sisse sellega põrkudes jälje, mis keemilise töötlemise abil tehakse nähtavaks ja neid saab mikroskoobi abil hiljem loendada [2]. Radooni aktiivsuskontsentratsioon uuritavas ruumis ja sensoril tekkinud jälgede tihedus on omavahel lineaarselt seotud [2].

5 METOODIKA

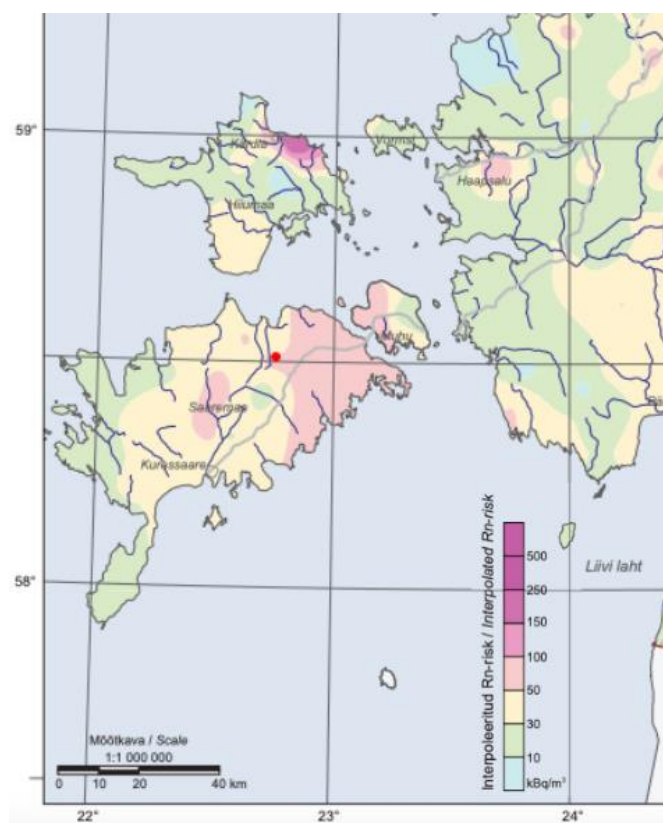
Käesoleva töö raames teostatud siseruumide radooni aktiivsuskontsentratsiooni uurimiseks Saaremaal Pärsama külas kasutati RadonEye Plus 2 radoonimonitore. Kokku teostati mõõtmisi viies eluhoones nii keldri- kui ka esimesel korrusel, seega igas hoones oli kaks detektorit. Mõõteperioodi pikkuseks oli kaks kuud ehk kokku 60 päeva – 14. veebruarist kuni 14. aprillini.

Monitoride paigutamisel ruumidesse oli vaja järgida erinevaid nõudeid. Oluline oli, et monitorid oleksid vähemalt 50 cm kaugusel nii seintest, põrandast kui ka akendest. Lisaks ei tohtinud mõõtmist katkestada ning asukoht pidi kogu mõõteperioodi vältel olema sama. Täpsemate mõõtmistulemuste saamiseks oli oluline valida monitoride asukohaks võimalikult ventileerimata ruumid.

Mõõtmistulemuste analüüsimiseks uuriti ka mõõteperioodi ajal olevat ilma. Andmed ilma kohta pärinevad internetileheküljelt Wunderground [20].

5.1 Asukoht

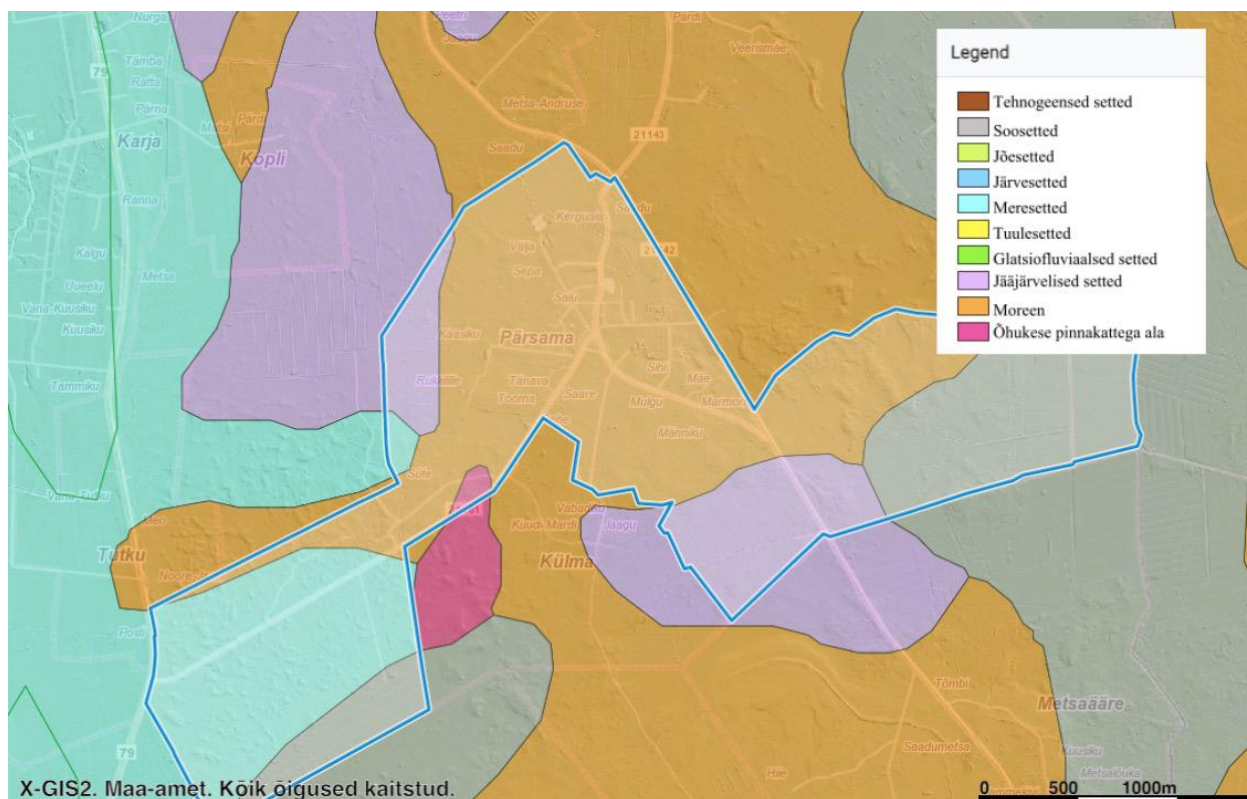
Mõõtmised teostati töö autori kodukülas – Saaremaal Pärsama külas (Joonis 5). Tegemist on Kirde-Saaremaal asuva küla, kus elab umbes 200 inimest.



Joonis 5. Saaremaa pinnaseõhu maksimaalse radoonisisalduse kaart [3]

Joonisel märgitud punase punktiga Pärsama küla jääb piirkonda, kus pinnaseõhu maksimaalne radoonisisaldus võib olla kuni 150 kBq/m³.

Lääne-Eesti saartel on valdavalt normaalse radoonisisaldusega alad, kus levivad karbonaatsete kivimite rikas moreen ning liustikuveetekkkelised liivad ja kruusad [3]. Kõrge radoonisisaldus esineb tihedamini moreenis ja järvejäätekkeliste aleuriitide ja savide levialadel [3]. Joonisel on näha, et Pärsama küla asub alal, kus valdavaks pinnakatte settetüübiks on just moreen (Joonis 6).



Joonis 6. Pärsama küla pinnakatte settetüübid [21]

5.2 Uuritavad objektid

Mõõtmised teostati töö autori sugulaste ning tuttavate kodudes ehk viies erinevas elumajas (Joonis 7) nii keldri- kui ka esimesel korrusel.



Joonis 7. Mõõtmispunktid Pärsuma külas [22]

Lõputöö raames uuritavad objektid olid:

- Objekt 1, mis on ühtlasi ka töö autori kodu, milleks on kahekorruseline ridaelamuboks koos keldriga. Ridaelamu ehitati 1988. aastal ning renoveeriti 2008. aastal. Esimene korrus on avatud planeeringuga. Kelder on 2/3 ulatuses maa all ning mõlemal pool hoonet on väike aken. Keldrikorrus on kogu hoone aluse ulatuses samuti avatud planeeringuga. Hoonet köetakse keldriruumides asuva keskküttesüsteemiga. Mõõtmisperioodil elas hoones igapäevaselt üks inimene.
- Objekt 2, mis on objekti 1 naabermaja, milleks on samuti kahekorruseline ridaelamuboks koos keldriga. Kuna tegemist on naaberboksiga, on hoone ehitusaasta eelnevaga sama ning ka renoveerimine toimus objekt 1-ga samal aastal. Boksi esimene korrus on sarnaselt objekt 1-le avatud planeeringuga. Keldrikorrus asub 2/3 ulatuses maa all ning mõlemal pool hoonet on üks väike aken. Keldrikorrus jaguneb kaheks eraldi kinniseks ruumiks. Hoone kütmiseks

kasutatakse keldris olevat keskküttesüsteemi. Mõõtmisperioodi ajal elas hoones igapäevaselt kolm inimest.

- Objekt 3 ehk ühekorruseline keldriga elumaja. Hoone on ehitatud 1984. aastal ning renoveeriti 2004. aastal. Esimesel korrusel on 7 eraldiseisvat eluruumi. Kelder asub 2/3 ulatuses maa all ning mõlemal pool maja on väike aken. Keldrikorrus jaguneb kolmeks ruumiks. Kelder on eluhoonest poole väiksem, seega pool elumaja asub otse maapinnal. Esimese korruse mõõtmine teostati ruumis, mille all keldrit ei ole. Hoonet köetakse keldris asuva keskküttesüsteemiga. Mõõtmisperioodil elas elumajas igapäevaselt 4 inimest.
- Objekt 4 ehk kahekorruseline keldriga elumaja. Hoone ehitusaasta on 1984 ning renoveerimisaasta 2021. Esimene korrus jaguneb neljaks eluruumiks. Kelder asub 2/3 ulatuses maa all ning ühel pool maja on kaks väikest akent. Kelder on avatud planeeringuga. Hoone kütmiseks kasutatakse taas keldriruumis asuvat keskküttesüsteemi. Igapäevaselt elas mõõteperioodi ajal hoones 2 inimest.
- Objekt 5, mis on kahekorruseline keldriga elumaja. Hoone ehitati 1982. aastal. Esimene korrus jaguneb neljaks eraldiseisvaks eluruumiks. Keldril aknaid ei ole, kuna ta asub täielikult maa all. Kelder jaguneb kaheks ruumiks. Hoonet köetakse ahiküttega. Igapäevaselt elas majas 2 inimest.

5.3 RadonEye Plus 2

RadonEye Plus 2 radoonimõõteseadet (Joonis 8) kasutatakse siseruumide radoonisisalduse mõõtmiseks [23]. Seade koosneb ionisatsioonikambrist, kus registreeritakse radioaktiivsel lagunemisel tekkinud laetud osakeste ionisatsioonivoolu [24]. Mõõteseadme mõõtmispiirkond on $7 - 9435 \text{ Bq/m}^3$ [23].

Lisaks registreerib RadonEye Plus 2 samaaegselt radooni aktiivsuskontsentratsiooni registreerimisega ka ümbritseva õhu temperatuuri ja niiskuse.

RadonEye Plus 2 mõõtmistulemusi on võimalik läbi nutiseadme jälgida. Selleks on olemas mobiilirakendus RadonEye⁺². Mõõtmistulemused salvestatakse iga tunni tagant ning mõõtmiste täpsuse viga on tootja andmetel maksimaalselt $\pm 10\%$ [19].

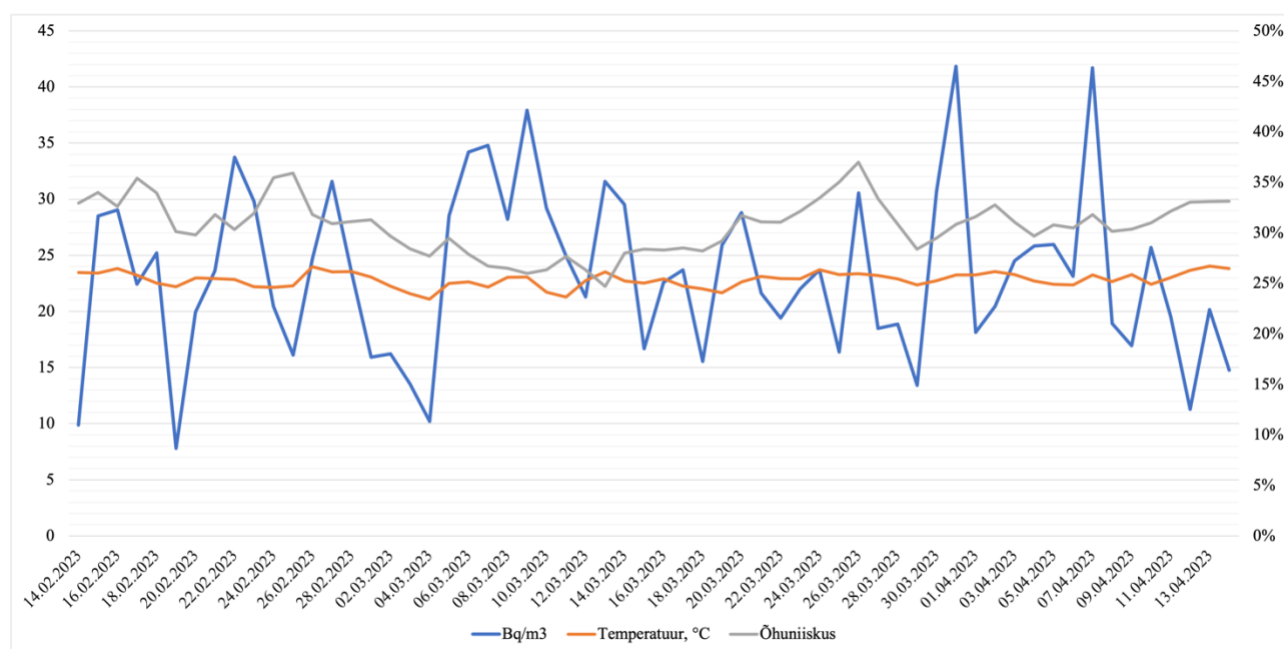


Joonis 8. RadonEye Plus 2 radoonimõõteseade [23]

6 MÕÕTMISTULEMUSED

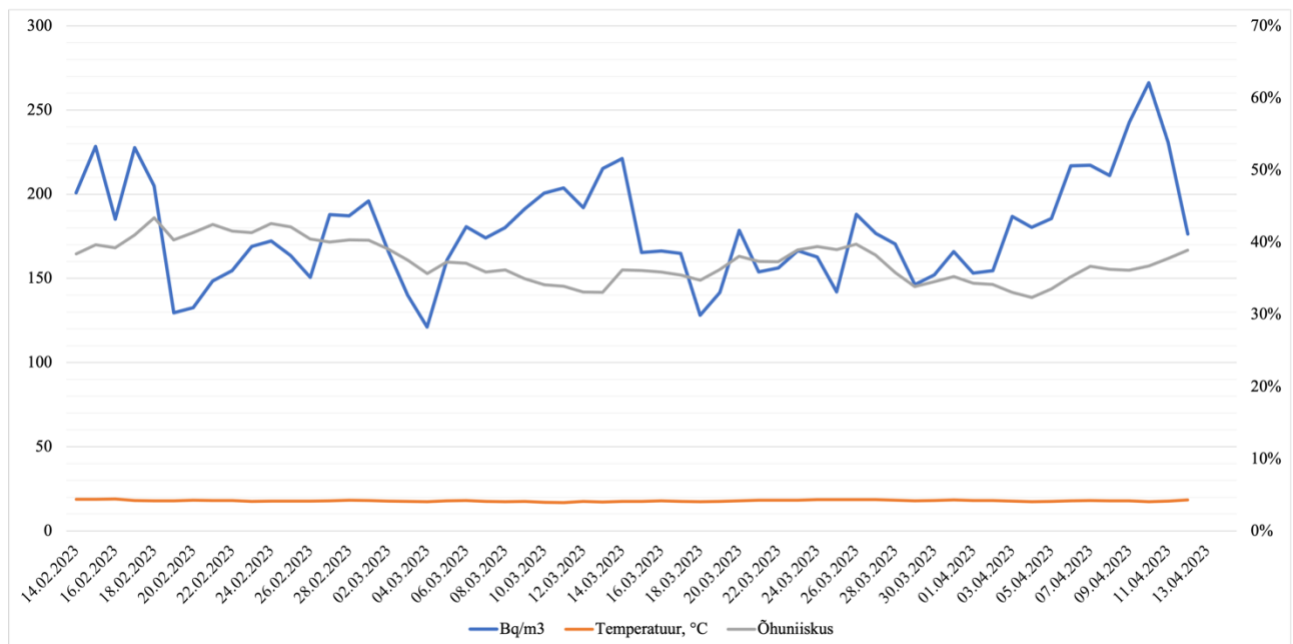
6.1 Objekt 1

Autori koduks oleva ridaelamuboksi esimese korruse kahe kuu keskmine radooni aktiivsuskontsentratsioon oli 23 Bq/m³. Kõige kõrgemad mõõdetud tulemused olid 31. märtsil ning 7. aprillil, mil kontsentratsiooni väärtused olid mõlemal päeval 42 Bq/m³ ning kõige madalam 19. veebruaril väärtusega 8 Bq/m³ (Joonis 9). Mõõteperioodi keskmine siseruumi õhu temperatuur oli 22,8°C ning õhuniiskus 31%. Radooni aktiivsuskontsentratsioon ei ületanud kordagi soovitatavat 200 Bq/m³ taset.



Joonis 9. Objekti 1 esimene korrus

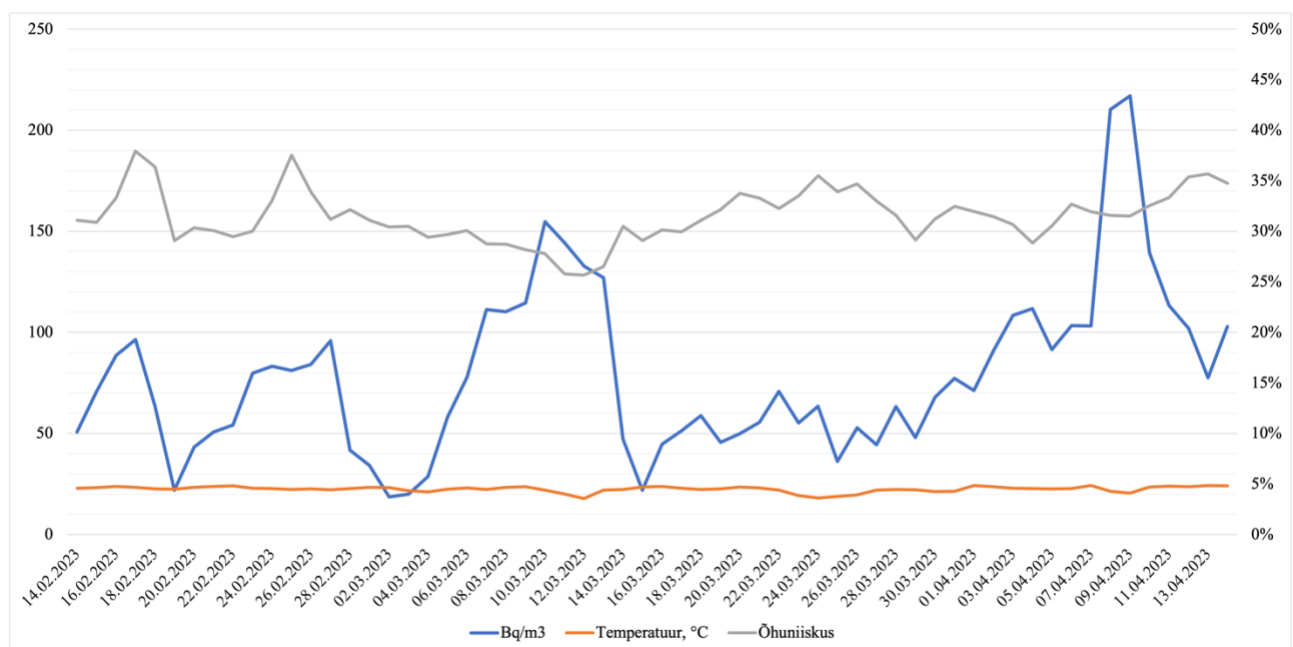
Keldrikorruse keskmine radooni aktiivsuskontsentratsioon oli 179 Bq/m³. Kõrgeim tulemus oli 10. aprillil väärtusega 266 Bq/m³ ning madalaim 4. märtsil, mil mõõdetud kontsentratsioon oli 121 Bq/m³ (Joonis 10). Keldrikorruse keskmine õhutemperatuur oli 17,9°C ning õhuniiskus 37%. Kokku ületas radooni aktiivsuskontsentratsioon soovitatavat piirnormi 15 päeval 60-st.



Joonis 10. Objekti 1 keldrikorrus

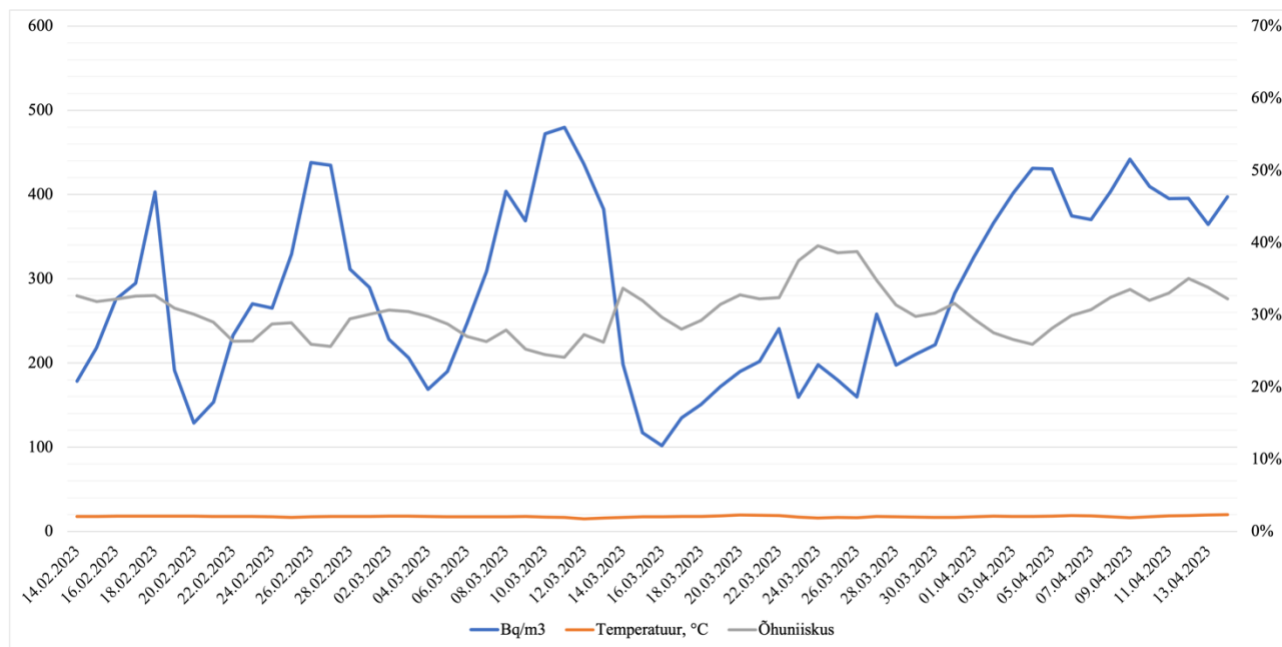
6.2 Objekt 2

Autori kodu naaberboksi esimese korruse kahe kuu keskmine radooni aktiivsuskontsentratsioon oli 79 Bq/m^3 . Kõige kõrgem tulemus oli 217 Bq/m^3 , mis mõõdeti 9. aprillil ning kõige madalam 19 Bq/m^3 2. märtsil (Joonis 11). Kahel päeval 60-st ületas aktiivsuskontsentratsioon ka piirnormi taset. Mõõteperioodi keskmine siseruumi õhu temperatuur oli $22,4^\circ\text{C}$ ning niiskus õhus 31%.



Joonis 11. Objekti 2 esimene korrus

Keldrikorrusel oli aga keskmine aktiivsuskonsentratsioon 286 Bq/m^3 , mis ületab soovitatavat piirnormi 86 Bq/m^3 võrra. Lausa 40 päeval ületas mõõdetud aktiivsuskonsentratsioon 200 Bq/m^3 taset. Kõige kõrgem tulemus mõõdeti 11. märtsil, milleks oli 480 Bq/m^3 , ning kõige madalam 16. märtsil - 102 Bq/m^3 (Joonis 12). Keskmine õhutemperatuur keldrikorrusel oli $17,6^\circ\text{C}$ ning õhuniiskus 30%.



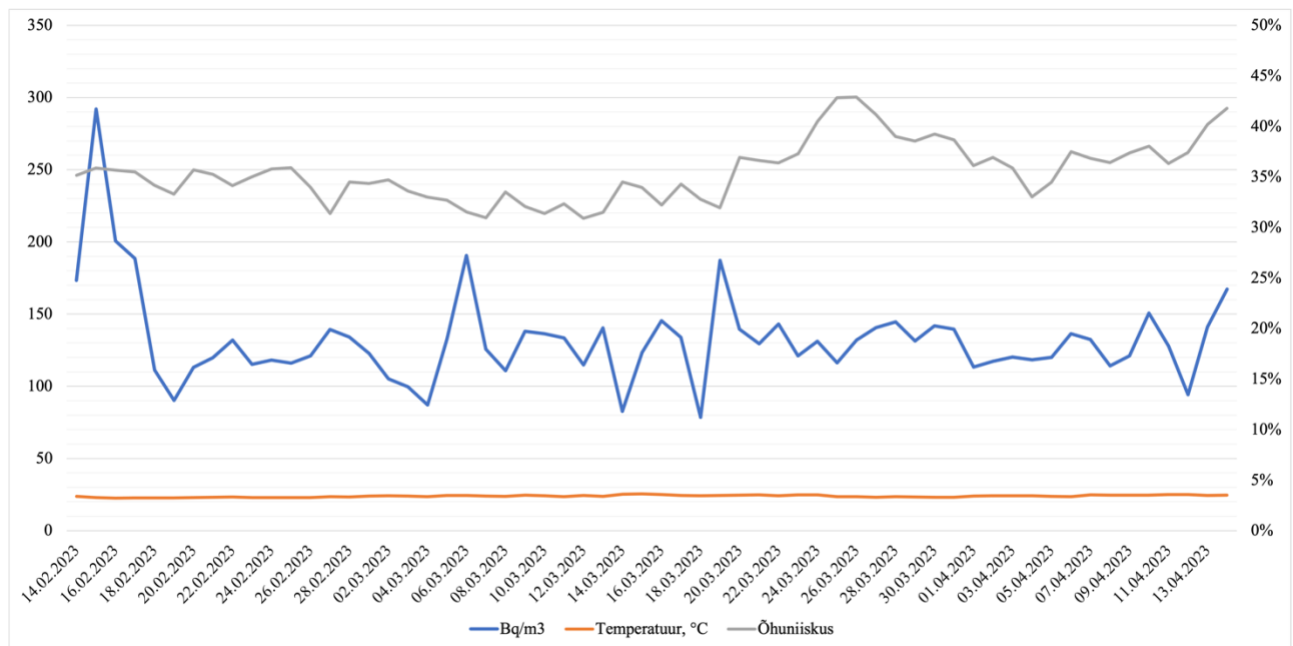
Joonis 12. Objekti 2 keldrikorrus

Esimese korruse keskmine radooni aktiivsuskonsentratsioon on võrreldes keldrikorruksiga tunduvalt madalam.

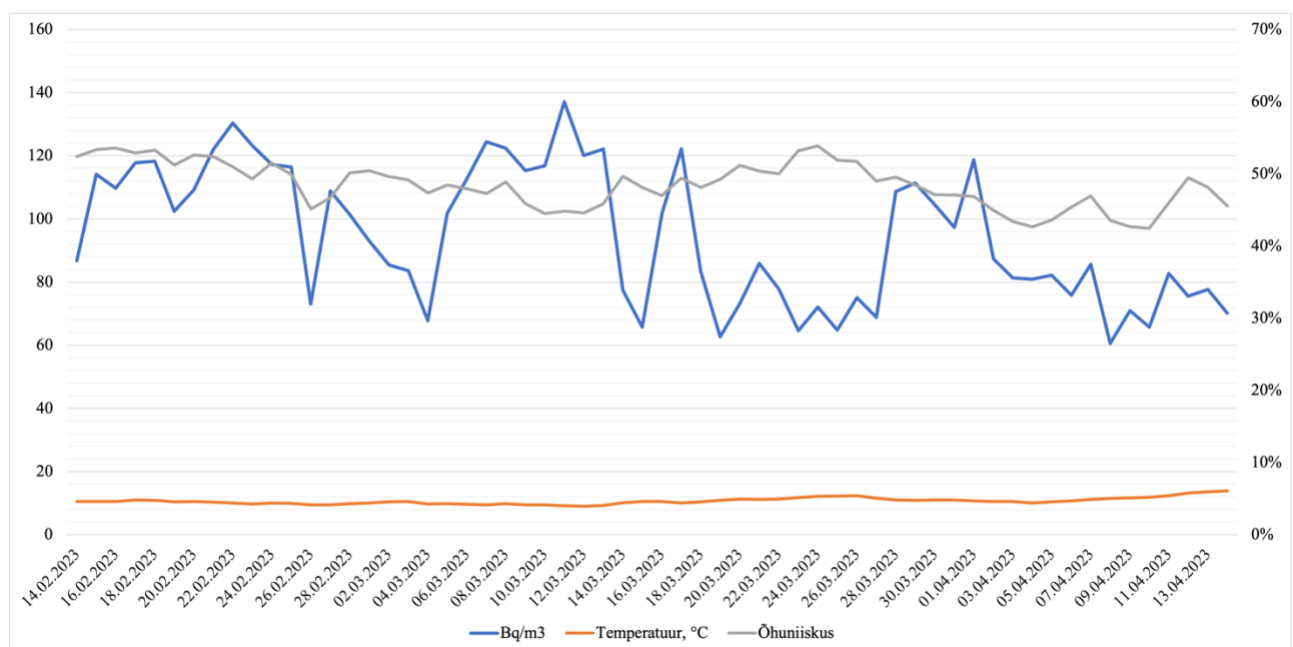
6.3 Objekt 3

Kolmanda objekti, milleks on ühekorruseline elumaja, oli kahe kuu keskmine radooni aktiivsuskonsentratsioon 132 Bq/m^3 . Kõige kõrgem oli tase 15. veebruaril 292 Bq/m^3 ning kõige madalam 18. märtsil - 79 Bq/m^3 (Joonis 13). Siseruumi õhu temperatuur oli keskmiselt $23,9^\circ\text{C}$ ning õhuniiskus 36%. Mõõteperioodi kahel päeval ületas tase ka soovitatavat piirnormi.

Objekti 3 keldrikorruks keskmine aktiivsuskonsentratsioon oli võrreldes esimese korrusega madalam. Keskmiseks väärtuseks oli 95 Bq/m^3 . Kõige kõrgem oli kontsentratsioon 11. märtsil - 137 Bq/m^3 ning madalaim 8. aprillil - 61 Bq/m^3 (Joonis 14). Soovitatavat piirnormi mitte ühelgi päeval tase ei ületanud. Mõõteperioodi keskmine õhutemperatuur keldris oli $10,7^\circ\text{C}$ ning õhuniiskus 48%.



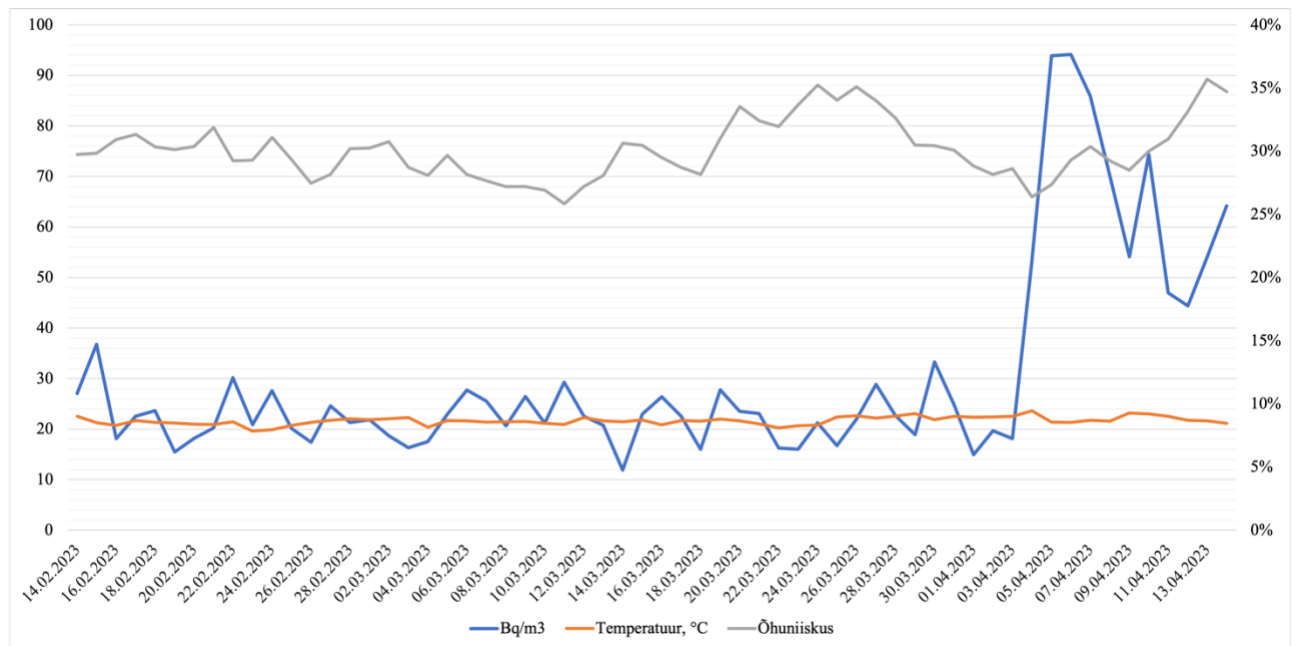
Joonis 13. Objekti 3 esimene korrus



Joonis 14. Objekti 3 keldrikorrus

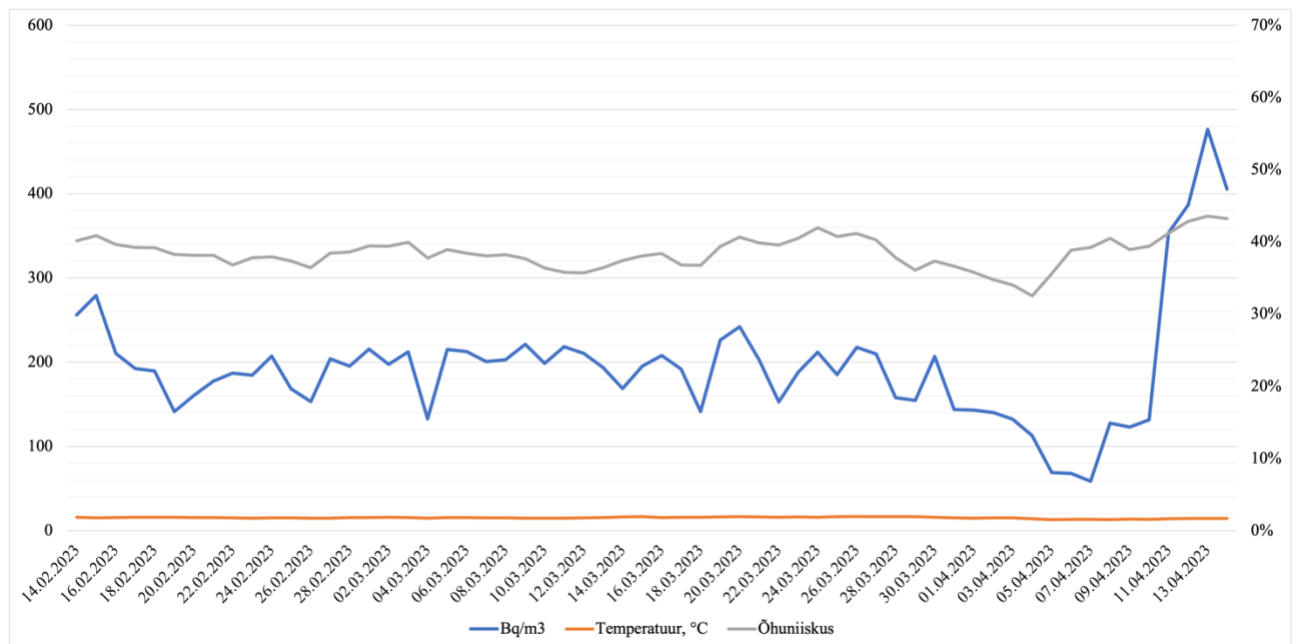
6.4 Objekt 4

Kahekorruselise elumaja kahe kuu keskmine radooni aktiivsuskontsentratsioon oli 30 Bq/m^3 . Kõrgeim tulemus mõõdeti 6. aprillil, milleks oli 94 Bq/m^3 ning madalaim 12 Bq/m^3 14. märtsil (Joonis 15). Kõikide mõõtmispäevade tulemused jäid alla soovitatavat piirnormi. Keskmine õhutemperatuur oli $21,6^\circ\text{C}$ ning õhuniiskus 30%.



Joonis 15. Objekti 4 esimene korrus

Keldrikorruse keskmine aktiivsuskontsentratsioon oli 194 Bq/m^2 . Kõige kõrgem tulemus mõõdeti 13. aprillil väärtusega 476 Bq/m^3 ning madalaim 7. aprillil väärtusega 58 Bq/m^3 (Joonis 16). Soovitavat 200 Bq/m^3 taset ületas aktiivsuskontsentratsioon 26 päeval 60-st. Mõõdetud keskmine õhutemperatuur oli mõõteperioodil $15,2^\circ\text{C}$ ning õhuniiskus 38%.

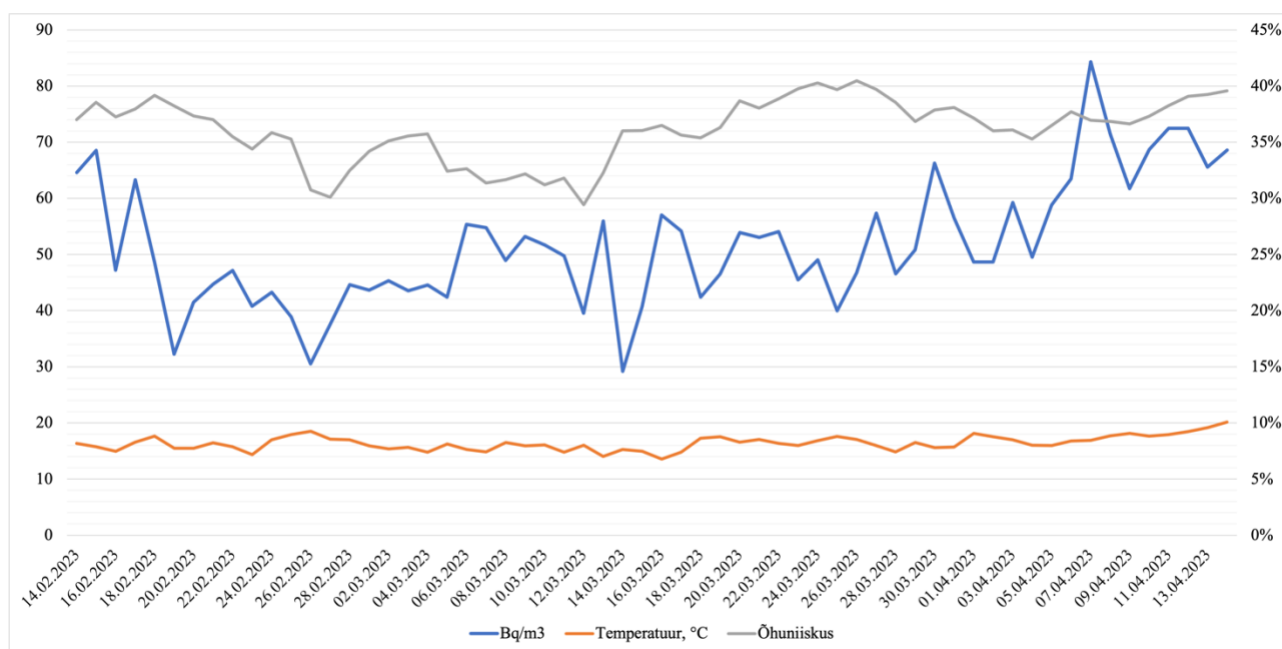


Joonis 16. Objekti 4 keldrikorrus

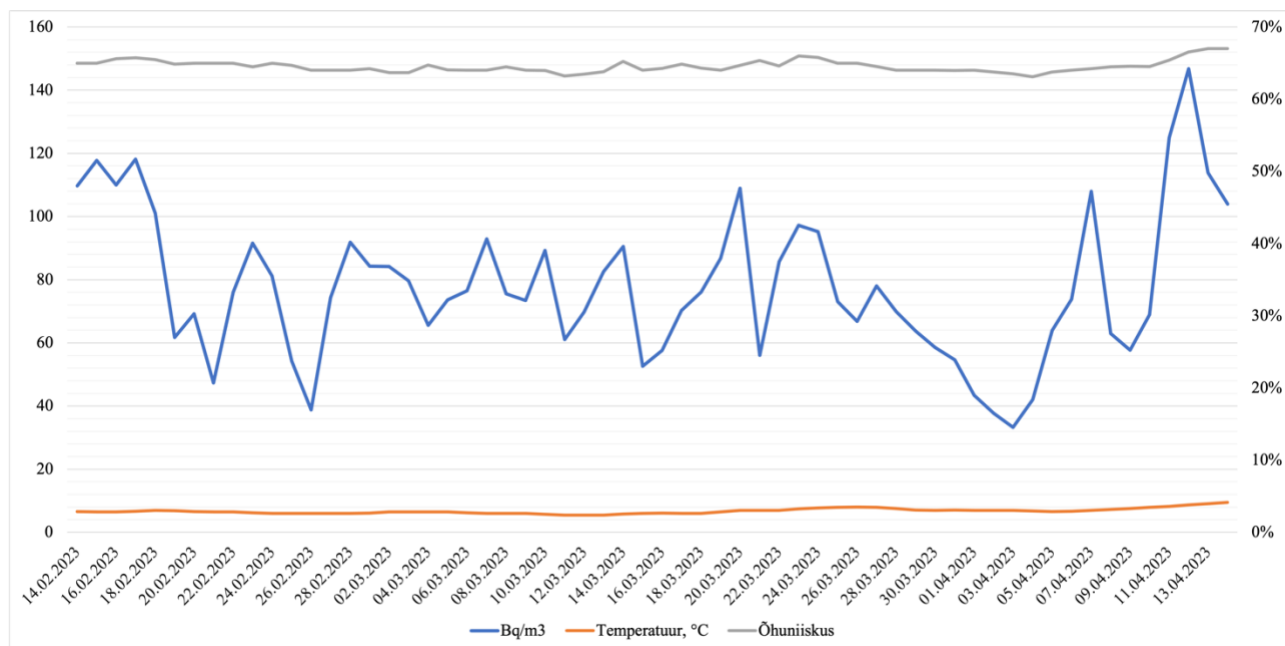
6.5 Objekt 5

Objekti 5 kahe kuu esimese korruse keskmine aktiivsuskontsentratsiooni tase oli 52 Bq/m^3 . 7. aprillil oli mõõtetulemus 84 Bq/m^3 , mis oli mõõteperioodi kõige kõrgem tulemus (Joonis 17). Madalaim oli tase aga 14. märtsil - 29 Bq/m^3 . Keskmine õhutemperatuur oli $16,4^\circ\text{C}$ ning -niiskus 36%.

Keldrikorruse kahe kuu keskmine oli veidi kõrgem kui esimese korruse oma, keskmine tulemus oli 78 Bq/m^3 . Kõrgeim oli väärtus 12. aprillil - 147 Bq/m^3 ning madalaim 3. aprillil - 33 Bq/m^3 (Joonis 18). Keskmine õhutemperatuur oli mõõteperioodil $6,8^\circ\text{C}$ ning õhuniiskus 65%.



Joonis 17. Objekti 5 esimene korrus

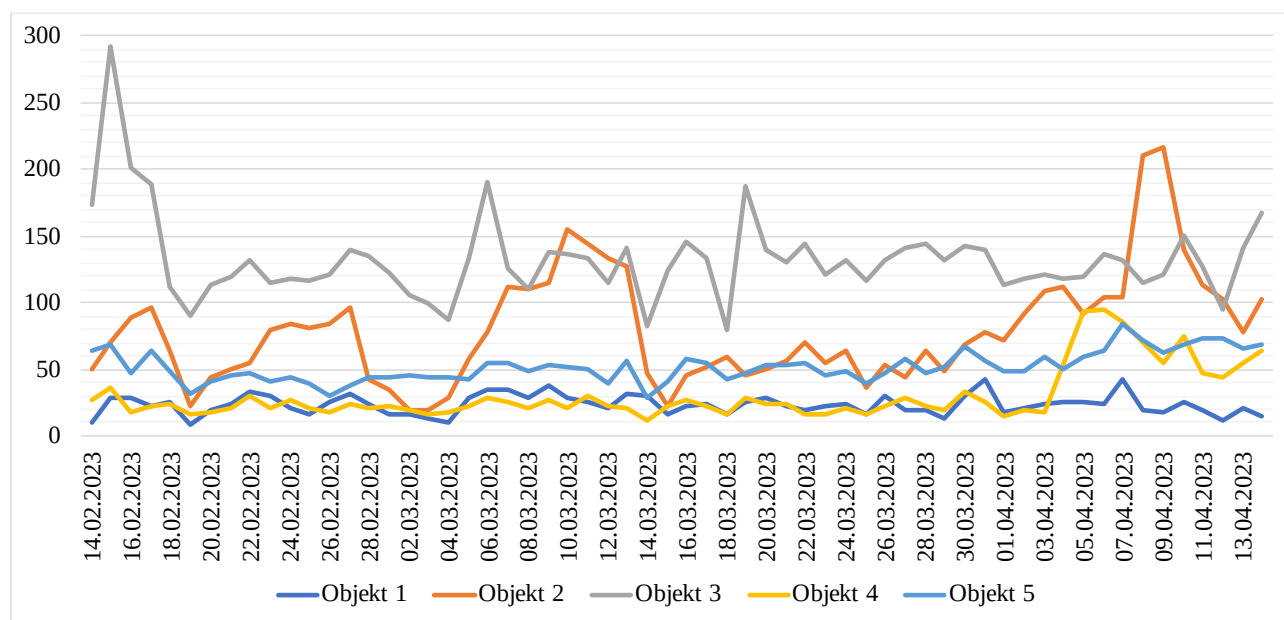


Joonis 18. Objekti 5 keldrikorrus

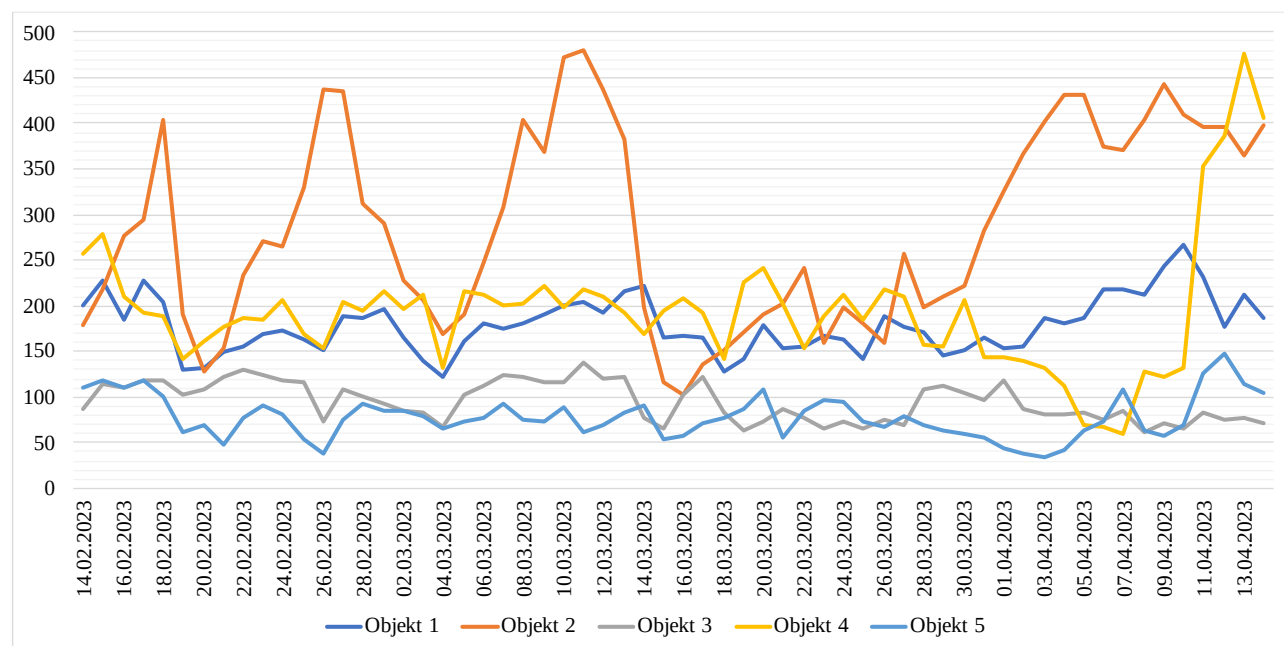
7 MÕÕTMISTULEMUSTE ANALÜÜS

Töö käigus teostatud mõõtmiste tulemused on välja toodud eraldi graafikutel (Joonis 19, Joonis 20). Töös analüüsitavad mõõtmistulemused asuvad lisades (Lisa 1, Lisa 2, Lisa 3, Lisa 4, Lisa 5).

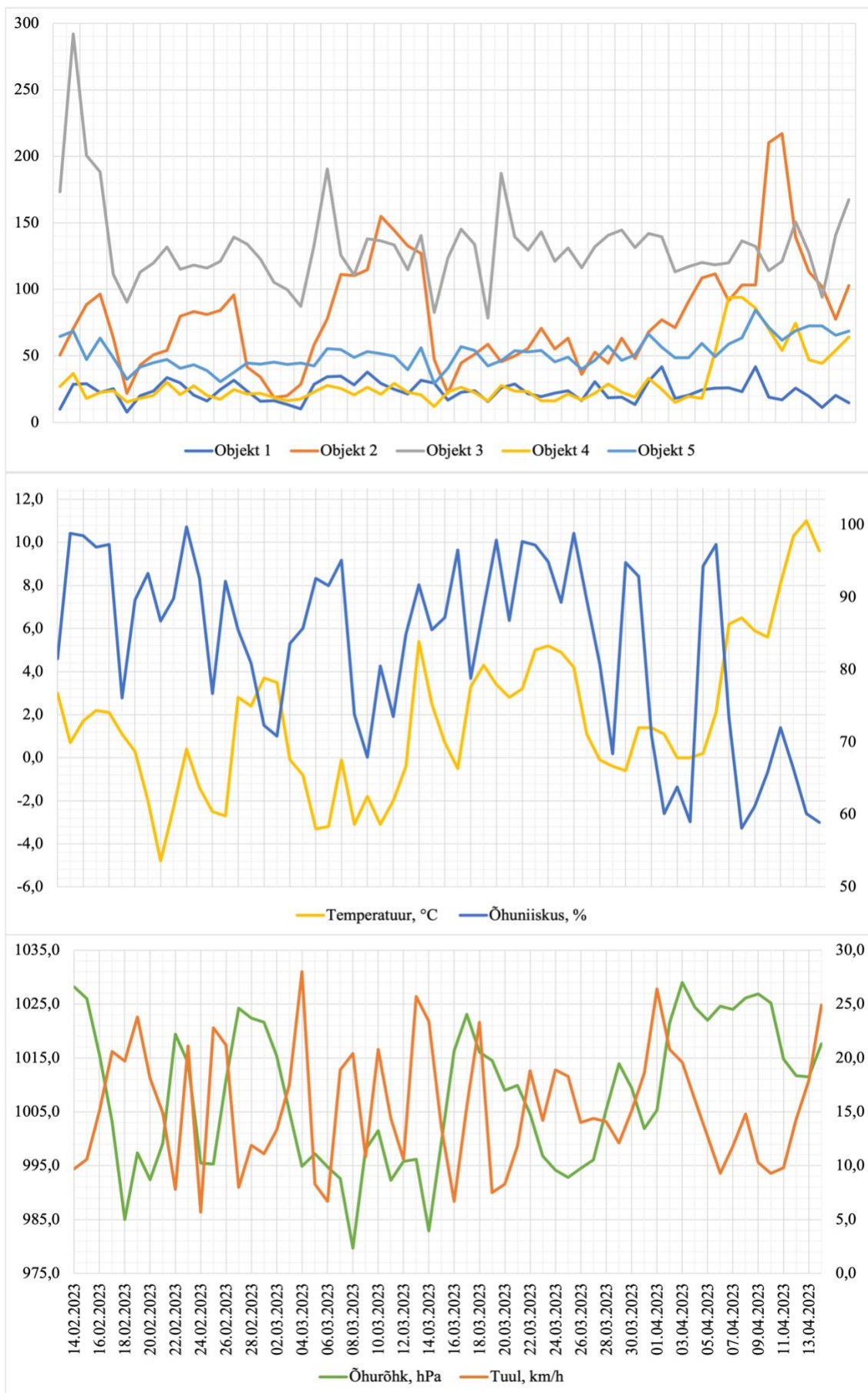
Lisaks koostas töö autor siseõhu radooni aktiivsuskontsentratsiooni sõltuvust ilmastikutingimustest iseloomustavad graafikud (Joonis 21, Joonis 22). Täpsema ülevaate ilmaandmetest leiab töö lõpus olevast lisast (Lisa 6).



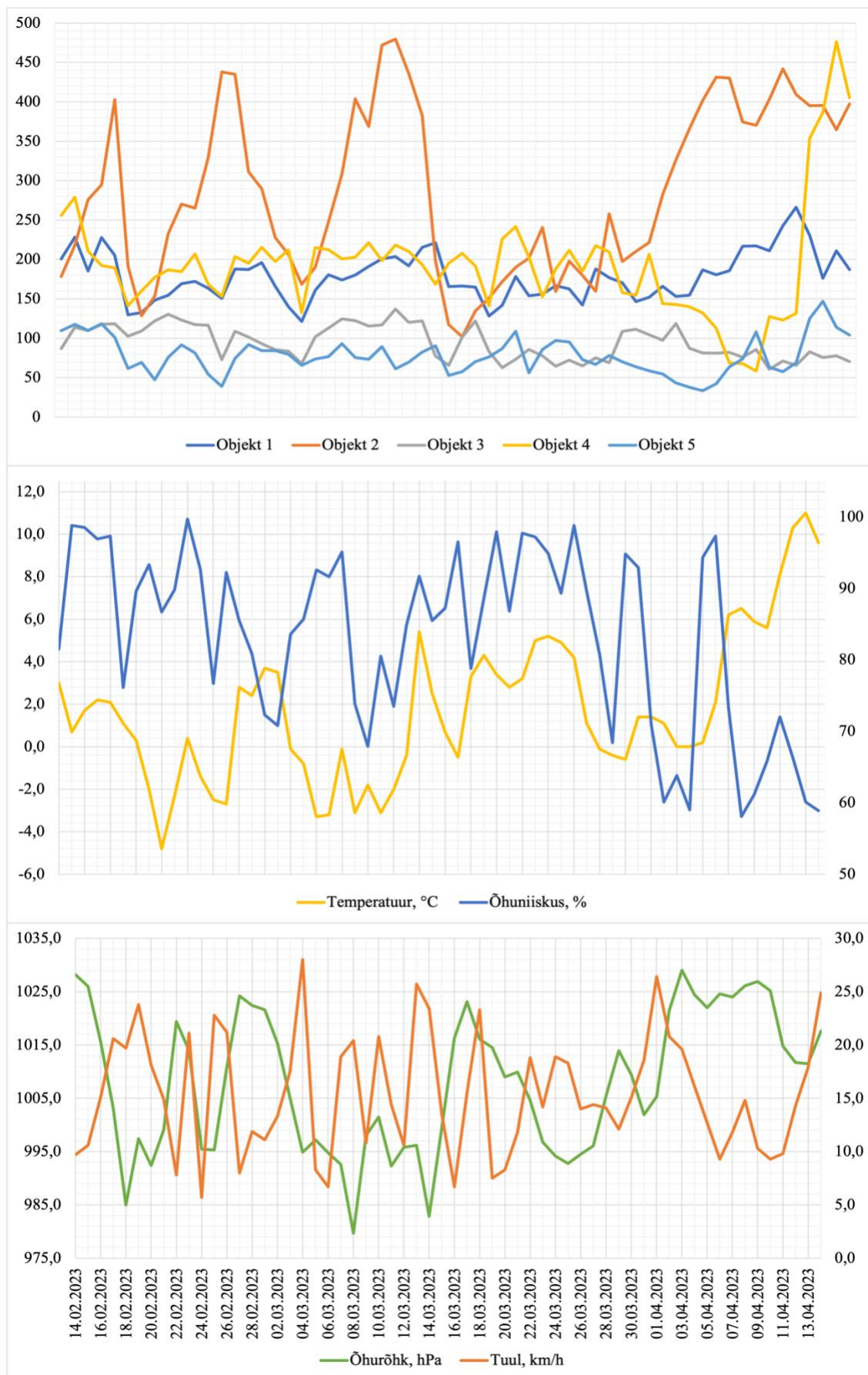
Joonis 19. Esimeste korruste radooni aktiivsuskontsentratsioon



Joonis 20. Keldrikorruste radooni aktiivsuskontsentratsioon



Joonis 21. Esimeste korruse aktiivsuskontsentratsiooni sõltuvus ilmast



Joonis 22. Keldrikorruste aktiivsuskontsentratsiooni sõltuvus ilmast

Uuritavate hoonete siseõhu radooni aktiivsuskontsentratsioonides on näha ka mõningaid sarnasusi. 10. aprillil on kõigi viie objekti esimese korruse radooni aktiivsuskontsentratsioon kõrgem oma kahe kuu keskmisest tasemest – graafikutelt on näha, et sel ajal oli õhurõhk üsna kõrge, tuul oli nõrk ning hooneväline temperatuur hakkas tõusma. 15. veebruaril, 9., 13. ja 30. märtsil ning 5., 6. ja 14. aprillil ületas nelja hoone esimese korruse radooni aktiivsuskontsentratsioon oma kahe kuu keskmist taset.

10. märtsil ületas kõigi viie hoone keldrikorruse aktiivsuskontsentratsioon keskmist taset. Lisaks veel mitmel erineval kuupäeval, 15. – 18. veebruaril, 27. veebruaril – 1. märtsil, 7. – 13. märtsil, 11. märtsil ning 13. – 14. märtsil, ületas nelja hoone keldrikorruse aktiivsuskontsentratsioon oma kahe kuu keskmist taset.

7.1 Kahe kuu keskmine radooni aktiivsuskontsentratsioon

Kõigist viiest objektist ületas soovitatavat 200 Bq/m³ piirnормi vaid 2. objekti keldrikorruse keskmine tulemus (Tabel 1), milleks oli 286 Bq/m³. Ülejäänud nelja mõõtmiskoha keskmised aktiivsuskontsentratsioonid, nii keldri- kui ka esimesel korrusel, jäid alla soovitatava piirnормi taseme.

Tabel 1. Kahe kuu keskmine radooni aktiivsuskontsentratsioon, piirnорм 200 Bq/m³

Mõõtmispunkt	Esimene korrus, Bq/m ³	Keldrikorrus, Bq/m ³
Objekt 1	23	179
Objekt 2	79	286
Objekt 3	132	95
Objekt 4	30	194
Objekt 5	52	78

Objekti 2 keldrikorruse kõrge aktiivsuskontsentratsiooni taseme põhjuseks võib olla halb ruumi ventileeritus ning keskkütteahju poolt tekitatav alarõhk keldris, mille tõttu pinnasest rohkem radoonirikast õhku välja imetakse. Tegemist on ka ruumiga, millel mõõteperioodi jooksul hoiti ust enamuse ajast kinni ja inimesi sinna väga tihti ei sattunud - seetõttu toimus vähe õhu liikumist ning radoon ei pääsenud ruumist lihtsasti välja.

Objekti 3 esimese korruse kõrget radooni aktiivsuskontsentratsiooni põhjustab asjaolu, et vaid poole maja all on kelder. Võrreldes teiste uuritavate objektidega on objekt 3 ühekorruselise keldriga elumaja ehk kui teistel objektidel on sooja õhu korral radoonil võimalik liikuda keldrist esimesele

korrusele ning sealt edasi ka teisele ning tänu õhus laiali hajumisele on aktiivsuskontsentratsioonid väiksemad, siis objektil 3 jääb aga kogu üles liikuv radoon esimesele korrusele kinni. Lisaks sellele asus ruum, kus radoonimonitoriga esimese korruse mõõtmised teostati majapoolel, mille alla kelder enam ei ulatunud. Seega asus ruum otse maapinnal ning radoon sai liikuda otse maapinnast esimesele korrusele - see on põhjuseks, miks keskmine radooni aktiivsuskontsentratsioon oli esimesel korrusel kõrgem kui keldrikorrusel.

Kuna esimese nelja objekti hoone kütmine toimub keldris asuva keskkütteahju abil, on õhutemperatuur keldris suhteliselt kõrge ning radoonil on soodsad tingimused konvektsiooni teel liikumiseks. Objekti 5 kütmine toimub esimesel korrusel oleva ahjuga. Keldris on seetõttu üsna niiske ning madal temperatuur. Tänu suurele niiskussprotsendile ning jahedale õhule püsib radoon maapinnale lähemal.

7.2 Kõrgeim ja madalaim radooni aktiivsuskontsentratsioon

Tabel 2. Kahe kuu esimeste korruste kõrgeim ja madalaim tulemus

Mõõtmispunkt	Kõrgeim tulemus, Bq/m ³	Kuupäev	Madalaim tulemus, Bq/m ³	Kuupäev
Objekt 1	42	31. märts, 7. aprill	8	19. veebruar
Objekt 2	217	9. aprill	19	2. märts
Objekt 3	292	15. veebruar	79	18. märts
Objekt 4	94	6. aprill	12	14. märts
Objekt 5	84	7. aprill	29	14. märts

Kõrgeim mõõdetud tulemus jäi neljal objektil vahemikku 6. – 9. aprill (Tabel 2). Keskmine õhurõhk püsis 6. – 9. aprillil vahemikus 1024,0 - 1026,9 hPa. Tuule kiirus oli sel perioodil 9,3 kuni 14,8 km/h vahel. Objekti 3 esimese korruse kõrgeim tulemus mõõdeti 15. veebruaril, mil keskmine õhurõhk oli 1026,0 hPa. Objekti 1 esimese korruse üks kõrgeim tulemus mõõdeti 31. märtsil, mil hooneväline õhurõhk oli 1001,9 hPa ja tuule kiirus 18,6 km/h.

Kolmel objektil jäi madalaim tulemus vahemikku 14. - 18. märts. 14. märtsil oli keskmiseks õhurõhu väärtuseks 982,9 hPa ning 18. märtsil 1016,1 hPa. Keskmine tuule kiirus 23,4 km/h ning 23,3 km/h, 19. veebruaril, mil mõõdeti objekti 1 esimese korruse madalaim tulemus, oli õhurõhk 997,4 hPa ning

keskmise tuule kiirus 23,8 km/h. 2. märtsil oli õhurõhu väärtuseks 1015,4 hPa ning tuule kiirus 13,3 km/h.

Tabel 3. Kahe kuu keldrikorruse kõrgeim ja madalaim tulemus

Mõõtmispunkt	Kõrgeim tulemus, Bq/m³	Kuupäev	Madalaim tulemus, Bq/m³	Kuupäev
Objekt 1	266	10. aprill	121	4. märts
Objekt 2	480	11. märts	102	16. märts
Objekt 3	137	11. märts	61	8. aprill
Objekt 4	476	13. aprill	58	7. aprill
Objekt 5	147	12. aprill	33	3. aprill

Kolme hoone kõrgeim tulemus on mõõdetud ajavahemikul 10. - 13. aprillil ning kahel 11. märtsil (Tabel 3). 10. – 13. aprillil kõikus keskmine õhurõhk vahemikus 1011,5 - 1025,2 hPa ning keskmine tuule kiirus 9,3 kuni 17,9 km/h vahel. 11. märtsil oli rõhk õhus 992,3 hPa ning keskmine tuule kiirus 14,4 km/h.

Madalaim mõõtmistulemus saadi kolmel objektil vahemikus 3. - 8. aprill, mil õhurõhk kõikus vahemikus 1022,0 - 1029,0 hPa ning tuule kiirus 9,3 kuni 19,6 km/h vahel. 4. märtsil mõõdeti objekti 1 keldrikorruse madalaim tulemus ning valitsev keskmine õhurõhk oli tol päeval 994,9 hPa ning keskmine tuule kiirus 28,0 km/h. 16. märtsil oli rõhk 1016,3 hPa ning tuule kiirus 6,7 km/h, mil mõõdeti objekt 2 keldrikorruse madalaim tulemus.

Madal hooneväline õhurõhk soodustab radooni pinnasest väljumist, seega üldiselt kaasneb õhurõhu langusega radooni aktiivsuskontsentratsiooni tõus suletud ruumides. Välisõhu temperatuur ning tuulte poolt põhjustatud õhurõhu fluktuatsioonid võivad seda korrapära aga oluliselt mõjutada.

Tulemuste põhjal aga on näha, et töö raames teostatud mõõtmiste puhul on tegemist vastupidise dünaamilise ilminguga - õhurõhu tõustes ning väiksema tuule kiiruse korral on siseõhu radooni aktiivsuskontsentratsiooni tase üldjuhul kõrgem. See näitab, et lisaks õhurõhule on ka tuulel väga suur mõju siseõhu radoonitaseme kujundamisele.

Kõrgem õhurõhk takistab radooni pinnasest väljumist ning tugevamad tuuled aitavad radoonil õhus paremini laiali hajuda.

Võrreldes lõputöö raames teostatud mõõtmiste tulemusi 2004. aastal läbi viidud eluhoonete radooni aktiivsuskontsentratsioonide uuringutega võib öelda, et tulemused on üsna madalad. Projekti kõrgeim mõõdetud siseõhu radooni aktiivsuskontsentratsioon oli lausa 9450 Bq/m^3 [25]. See on käesoleva lõputöö kõrgeimast mõõdetud tulemusest ligi 20 korda suurem.

7.3 Aastased efektiivdoosid

Esimeste korruste keskmiste radooni aktiivsuskontsentratsioonide põhjal arvutas autor välja elaniku aastase efektiivdoosi kasutades selleks käesolevas töös varem mainitud valemit (1). Arvutamisel võeti ühe päeva keskmiseks kodus viibitud tundide arvuks 14 tundi. Aastas on 365 päeva, seega oletatavalt viibib inimene ühe aasta jooksul 5110 tundi kodus. Arvutatud tulemused on välja toodud tabelis (Tabel 4).

Tabel 4. Oletatavad aastased efektiivdoosid esimesel korrusel viibides

Objekt	Efektiivdoos, mSv
Objekt 1	0,8
Objekt 2	2,8
Objekt 3	4,7
Objekt 4	1,1
Objekt 5	1,8

Aasta efektiivdoosi piirmääraks olevat 1 millisiivertit ei ületa vaid ühe hoone tulemus. Normaalseks võib pidada ka neljanda hoone efektiivdoosi väärtust, milleks on 1,1 millisiivertit.

Objekti 3 hoones elavad inimesed saavad aastas kõige suurema kiirgusdoosi, milleks on 4,7 mSv. See on 4,7 korda suurem soovitatavast piirmäärast. Vaid 10% maailma elanikest saab aastas 3 millisiivertist suurema doosi.

Selleks, et aastane efektiivdoos jääks 1 mSv piiri, võib aasta keskmine siseõhu radooni aktiivsuskontsentratsioon olla maksimaalselt 28 Bq/m^3 . Seda eeldusel, et valitseb talvine kütteperiood. Suvisel ajal toimub ruumide tuulutamine avatud akende ja uste kaudu palju intensiivsemalt kui talvel, mistõttu võib eeldada sel perioodil eluruumides palju madalamaid radooni aktiivsuskontsentratsiooni väärtusi, millest tulenevalt on tõenäoliselt ka radoonist elanikele tulenev aastane kiirgusdoos väiksem kui talvise mõõteperioodi kestel radooni mõõtmiste tulemuste alusel arvutatu.

KOKKUVÕTE

Radoon on looduslik radioaktiivne väärisgaas, mis suurtes kontsentratsioonides on organismidele ohtlik. Seetõttu on oluline, et aasta keskmine aktiivsuskontsentratsiooni tase ruumide siseõhus jääks soovitatava piirnormi – 200 Bq/m³ piiridesse ning inimese aastane efektiivdoos alla 1 mSv. Oluline on jälgida radooni aktiivsuskontsentratsiooni talvisel kütteperioodil, mil toimub vähem ruumide õhutamist ning maapinnast eluhoonetesse liikuvat radooni koguneb rohkelt hoonete siseõhku.

Ruumide siseõhku satub radoon peamiselt hoone aluses pinnases olevatest uraani sisaldavatest mineraalidest, kuid ka radoonirikast tarbeveest või torujuhtmeid pidi maagaasiga.

Üldiselt imetakse madala õhurõhu korral maapinnast rohkem radoonirikast gaasi välja, kuid erinevad ilmastikutingimused võivad seda korrapära moonutada, mida on ka käesoleva lõputöö raames teostatud mõõtmistulemuste põhjal näha.

Tavaliselt teostatakse siseõhu radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmisi integraalsete meetoditega, kuid käesolevas töös teostatud mõõtmiste jaoks kasutati järjestikuseid punktmõõtmisi. Selline meetod võimaldab näha radooni aktiivsuskontsentratsioonide dünaamikat nii ööpäeva kui ka päevade lõikes. Selline lähenemine võimaldab täpsemalt hinnata erinevaid mõjureid radooni aktiivsuskontsentratsiooni väärtuste kujunemisel konkreetsete ruumide siseõhus.

Saaremaal Pärsama külas 2023. aasta veebruarist kuni aprillini teostatud mõõtmised näitavad, et radoonisisaldus hoonete siseõhus on väga varieeruv ning sõltub välja paljudest erinevatest faktoritest. Hoonete esimestel korrustel, mille all asub ka kelder, on radooni aktiivsuskontsentratsioon madalam kui keldrikorrustel. Radoon peab esimesele korrusele jõudmiseks läbima keldrit ning suurem osa radioaktiivsest gaasist jääb keldrikorrusele püsima. Oluline roll on ka elumajade keskküttesüsteemidel. Keldris oleva keskkütteahjuga köetavatel elumajadel on soodsamad tingimused radoonirikka gaasi imemiseks pinnasest.

Lõputöö raames uuritud hoonetest võib probleemseks pidada objekte 2 ja 3. Objekti 2 keldrikorruse kahe kuu mõõtmiste põhjal leitud radooni aktiivsuskontsentratsiooni keskmine ületab soovitatavat siseõhu piirnormi. Objektil 3 on aga esimese korruse radooni aktiivsuskontsentratsiooni tase kõrgem kui keldrikorruksel ning oletatav aastane efektiivdoos on lausa 4,8 millisiivertit. Kõrge radoonitase on tingitud asjaolust, et kelder on vaid poole elumaja all ning ruum, kus esimese korruse mõõtmised teostati, asub otse maapinnal. Seetõttu liigub radoon ilma keldrit läbimata otse eluruumidesse.

Töös saadud tulemustele täpsema hinnangu andmiseks oleks vaja teostada Pärsama külas ka pinnaseõhu radoonisisalduse mõõtmisi, mida ajapuuduse tõttu seekord ei jõutud teostada. Töös uuritud elamute siseõhu radooni aktiivsuskontsentratsioonid on siiski suhteliselt tagasihoidlikud.

SUMMARY

Study of Indoor Radon Activity Concentration in Pärsama, Saaremaa

The aim of this thesis was to investigate the indoor radon activity concentration in Pärsama village on the island of Saaremaa, which is also the author's home village. In addition, an overview of radon is provided, and the measurement results obtained during the research are analyzed.

Radon is a natural radioactive gas that is dangerous to organisms. In high concentrations, radon is carcinogenic and increases the risk of other health problems. Therefore, it is important that the annual average activity concentration level of radon in indoor air stays within the recommended limit of 200 Bq/m³, and that the annual effective dose for humans remains below 1 mSv. It is important to monitor the activity concentration of radon during the winter heating season, when there is less ventilation in buildings and radon from the ground accumulates in indoor air.

Radon enters indoor air mainly from uranium-containing minerals in the soil beneath buildings, but it can also come from radon-rich tap water or from natural gas in pipes. Generally, more radon-rich gas is drawn out of the ground under low air pressure, but different weather conditions can distort this pattern, as can be seen from the measurements taken in this thesis.

Usually, the indoor radon activity concentration is measured using integral methods, but for the measurements carried out in this thesis, sequential point measurements were used. This method allows for the dynamics of radon activity concentrations to be seen over both 24-hour periods and days. This approach allows for a more precise assessment of the different factors that contribute to the development of radon activity concentrations in specific indoor spaces.

To investigate radon activity concentration, RadonEye Plus 2 radon monitors were placed on the basement and first floors of each building. For a more accurate overview, it is important that the measurement period is at least two months, and the measurements are carried out during the heating season, when rooms are less ventilated. The monitors were placed in buildings for two months - from February to April 2023.

Measurements taken in the village of Pärsama show that the radon content in indoor air of buildings is highly variable and depends on many different factors. The radon activity concentration on the buildings first floor is usually lower than on the basement floors. Radon must pass through the basement to reach the first floor, and most of the radioactive gas remains in the basement. Residential

buildings heated by a central heating furnace in the basement have more favorable conditions for drawing in radon-rich gas from the soil.

Of the buildings studied in this thesis, objects 2 and 3 may be problematic. Based on measurements taken over two months on the basement floor of object 2, the average radon activity concentration exceeded the recommended indoor air limit. On object 3, the radon activity concentration on the first floor is higher than on the basement floor, and the estimated annual effective dose is as high as 4.8 millisieverts. The high radon level is due to the fact that the basement is only half under the residential building, and the room where the first-floor measurements were taken is located directly on the ground. As a result, radon moves directly into living spaces without passing through the basement.

To provide a more accurate assessment of the results obtained in this thesis, measurements of radon content in soil air in Pärnasma would also need to be carried out, which could not be done due to lack of time. Nevertheless, the indoor radon activity concentrations in the residential buildings studied in this thesis are relatively modest.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Keskkonnaministeerium, „Kiirgus“, 2022. <https://envir.ee/keskkonnakasutus/kiirgus> (vaadatud 22. aprill 2023).
- [2] Keskkonnaministeerium, „Radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmine (RAM 2016)“. 2016.
- [3] V. Petersell *et al.*, *Eesti pinnase radooniriski ja looduskiirguse atlas*. Tallinn: Eesti Geoloogiakeskus, 2017.
- [4] V. Petersell, G. Akerblom, B.-M. Ek, M. Enel, V. Möttus, ja K. Täht, *Radon Risk Map of Estonia: Explanatory Text to the Radon Map Set of Estonia at Scale of 1:500 000*. Tallinn: Geological Survey of Estonia, 2005.
- [5] „Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR 2000 report to the General Assembly, with scientific annexes“, United Nations, New York, 2000.
- [6] Radon Systems of Connecticut, „What Types of Soil Contain the Highest Levels of Radon“. <http://www.connecticutradonsystems.com/news-articles/what-types-of-soil-contain-highest-radon-levels/> (vaadatud 3. mai 2023).
- [7] Canadian Nuclear Safety Commission, „Radon in Canada’s Uranium Industry“, 3. veebruar 2014. <https://nuclearsafety.gc.ca/eng/resources/fact-sheets/radon-fact-sheet.cfm> (vaadatud 22. aprill 2023).
- [8] Eesti Geoloogiakeskus, „Eesti pinnase radooniriski kaart“, 2020. <https://gis.egt.ee/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=f4363bc3bae34fe19e04458dc875375e> (vaadatud 11. aprill 2023).
- [9] World Health Organization, *WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective*. Šveits: World Health Organization, 2009.
- [10] E. Jõgioja, *Radooniohutu elamu*. Tallinn: OÜ Ehitusteave, 2004.
- [11] Tööinspektsioon, „Radoon“, 11. mai 2021. <https://www.tooelu.ee/et/127/radoon> (vaadatud 11. mai 2023).
- [12] Euroopa Liidu Nõukogu, „Nõukogu direktiiv 2013/59/Euratom, 5. detsember 2013“, 2013. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj?locale=et> (vaadatud 14. mai 2023).
- [13] M. Lust, „Radoon“. https://sisu.ut.ee/kiirgusest_tuumajaamani/radoon (vaadatud 3. mai 2023).
- [14] Riigi Teataja, „Tööruumide õhu radoonisisalduse viitetase, õhu radoonisisalduse mõõtmise kord ja tööandja kohustused kõrgendatud radooniriskiga töökohtadel“, 2018. <https://www.riigiteataja.ee/akt/109112021011?leiaKehtiv&fbclid=IwAR0wMjaVmuGpP-IdVymwQJ-4Nplu2UaAHb8Ny3MrfSUR8c8CH90HqAKLYfY> (vaadatud 11. mai 2023).

- [15] ICRPaedia, „Calculating Radon Doses“, 2019. http://icrpaedia.org/Calculating_Radon_Doses (vaadatud 13. mai 2023).
- [16] Tulelaev OÜ, „Mis on radoon?“ <https://radoonitorjakeskus.ee/mis-on-radoon/> (vaadatud 23. aprill 2023).
- [17] Eesti Keskkonnaministeerium, „Radooni riiklik tegevuskava“. 2019.
- [18] M. Lust, „Radoon elamutes“. https://sisu.ut.ee/kiirgusest_tuumajaamani/radoon-elamutes (vaadatud 3. mai 2023).
- [19] Keskkonnaministeerium, „Radoon“, 2021. <https://envir.ee/keskkonnakasutus/kiirgus/radoon#ehituslikud-meetmed> (vaadatud 12. aprill 2023).
- [20] The Weather Company, „Kuressaare, Estonia Weather History“, 2023. <https://www.wunderground.com/history/monthly/EEKE/date/2023-2> (vaadatud 13. mai 2023).
- [21] Maa-amet, „1:400000 geoloogilised kaardid“, 2023. <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/geoloogia400k> (vaadatud 2. mai 2023).
- [22] Maa-amet, „X-GIS 2.0 [maainfo]“. <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo> (vaadatud 23. aprill 2023).
- [23] RadonFTLab, „RadonEye Plus2 (BLE & Wi-Fi)“, 22. august 2017. <http://radonftlab.com/radon-sensor-product/radon-detector/new-rd200p-radon-detector/> (vaadatud 23. aprill 2023).
- [24] Y. Ishimori, K. Lange, P. Martin, Y. S. Mayya, ja M. Phaneuf, *Measurement and Calculation of Radon Releases from NORM Residues*, 103 kd. Austria: International Atomic Energy Agency, 2013.
- [25] L. Pahapill ja A. Rulkov, „Maapõue programmi projekti radoon majades aruanne“, Tallinn, 2004.

LISAD

Lisa 1. Objekti 1 mõõtmistulemused

1. korrus	Average of Unit: Bq/m3	Average of Temperature °C	Average of Humidity		kelder	Average of Unit: Bq/m3	Average of Temperature °C	Average of Humidity
☹ Feb	23	23,0	33%		☹ Feb	176	18,1	41%
14-Feb	10	23,5	33%		14-Feb	201	18,8	38%
15-Feb	29	23,4	34%		15-Feb	228	18,7	40%
16-Feb	29	23,8	33%		16-Feb	185	18,9	39%
17-Feb	22	23,2	35%		17-Feb	228	18,0	41%
18-Feb	25	22,5	34%		18-Feb	205	17,9	43%
19-Feb	8	22,2	30%		19-Feb	130	17,9	40%
20-Feb	20	23,0	30%		20-Feb	133	18,3	41%
21-Feb	24	22,9	32%		21-Feb	148	18,0	42%
22-Feb	34	22,9	30%		22-Feb	155	18,0	42%
23-Feb	30	22,2	32%		23-Feb	169	17,5	41%
24-Feb	20	22,1	35%		24-Feb	172	17,7	43%
25-Feb	16	22,3	36%		25-Feb	164	17,7	42%
26-Feb	25	24,0	32%		26-Feb	151	17,8	40%
27-Feb	32	23,5	31%		27-Feb	188	17,8	40%
28-Feb	24	23,6	31%		28-Feb	187	18,2	40%
☹ Mar	24	22,6	29%		☹ Mar	170	17,8	36%
01-Mar	16	23,1	31%		01-Mar	196	18,0	40%
02-Mar	16	22,3	30%		02-Mar	166	17,7	39%
03-Mar	14	21,6	28%		03-Mar	140	17,6	38%
04-Mar	10	21,1	28%		04-Mar	121	17,3	36%
05-Mar	29	22,5	29%		05-Mar	161	17,9	37%
06-Mar	34	22,6	28%		06-Mar	181	18,0	37%
07-Mar	35	22,2	27%		07-Mar	174	17,4	36%
08-Mar	28	23,0	27%		08-Mar	180	17,3	36%
09-Mar	38	23,1	26%		09-Mar	191	17,6	35%
10-Mar	29	21,7	26%		10-Mar	201	16,9	34%
11-Mar	25	21,3	28%		11-Mar	204	16,9	34%
12-Mar	21	22,8	26%		12-Mar	192	17,5	33%
13-Mar	32	23,5	25%		13-Mar	215	17,2	33%
14-Mar	30	22,7	28%		14-Mar	221	17,5	36%
15-Mar	17	22,5	28%		15-Mar	165	17,6	36%
16-Mar	23	22,9	28%		16-Mar	166	17,8	36%
17-Mar	24	22,3	29%		17-Mar	165	17,6	35%
18-Mar	16	22,0	28%		18-Mar	128	17,4	35%
19-Mar	26	21,7	29%		19-Mar	142	17,5	36%
20-Mar	29	22,6	32%		20-Mar	179	17,9	38%
21-Mar	22	23,1	31%		21-Mar	154	18,3	37%
22-Mar	19	22,9	31%		22-Mar	156	18,3	37%
23-Mar	22	22,9	32%		23-Mar	167	18,3	39%
24-Mar	24	23,7	33%		24-Mar	163	18,6	39%
25-Mar	16	23,3	35%		25-Mar	142	18,7	39%
26-Mar	31	23,4	37%		26-Mar	188	18,6	40%
27-Mar	19	23,2	33%		27-Mar	177	18,6	38%
28-Mar	19	22,9	31%		28-Mar	170	18,3	36%
29-Mar	13	22,4	28%		29-Mar	146	17,9	34%
30-Mar	31	22,8	30%		30-Mar	152	18,1	35%
31-Mar	42	23,3	31%		31-Mar	166	18,4	35%
☹ Apr	22	23,1	32%		☹ Apr	201	18,0	36%
01-Apr	18	23,3	32%		01-Apr	153	18,1	34%
02-Apr	20	23,5	33%		02-Apr	155	18,0	34%
03-Apr	25	23,3	31%		03-Apr	187	17,8	33%
04-Apr	26	22,7	30%		04-Apr	180	17,4	32%
05-Apr	26	22,4	31%		05-Apr	186	17,4	34%
06-Apr	23	22,4	31%		06-Apr	217	17,8	35%
07-Apr	42	23,3	32%		07-Apr	217	18,0	37%
08-Apr	19	22,7	30%		08-Apr	211	17,9	36%
09-Apr	17	23,3	30%		09-Apr	243	17,9	36%
10-Apr	26	22,4	31%		10-Apr	266	17,4	37%
11-Apr	20	23,0	32%		11-Apr	231	17,6	38%
12-Apr	11	23,7	33%		12-Apr	176	18,4	39%
13-Apr	20	24,0	33%		13-Apr	211	18,8	38%
14-Apr	15	23,8	33%		14-Apr	187	18,8	37%
Grand Total	23	22,8	31%		Grand Total	179	17,9	37%

Lisa 2. Objekti 2 mõõtmistulemused

1. korrus	Average of Unit: Bq/m ³	Average of Temperature °C	Average of Humidity		kelder	Average of Unit: Bq/m ³	Average of Temperature °C	Average of Humidity	
☼ Feb	67	23,0	32%		☼ Feb	275	17,7	30%	
14-Feb	51	22,9	31%		14-Feb	178	17,7	33%	
15-Feb	71	23,2	31%		15-Feb	218	17,7	32%	
16-Feb	89	23,7	33%		16-Feb	276	18,1	32%	
17-Feb	96	23,3	38%		17-Feb	295	18,1	33%	
18-Feb	64	22,6	36%		18-Feb	403	18,1	33%	
19-Feb	22	22,5	29%		19-Feb	191	18,2	31%	
20-Feb	43	23,4	30%		20-Feb	129	18,1	30%	
21-Feb	51	23,8	30%		21-Feb	153	17,8	29%	
22-Feb	54	24,0	29%		22-Feb	233	17,9	26%	
23-Feb	80	22,9	30%		23-Feb	270	17,6	26%	
24-Feb	83	22,8	33%		24-Feb	265	17,3	29%	
25-Feb	81	22,2	38%		25-Feb	329	16,8	29%	
26-Feb	84	22,6	34%		26-Feb	438	17,4	26%	
27-Feb	96	22,1	31%		27-Feb	435	17,7	26%	
28-Feb	42	22,7	32%		28-Feb	311	17,8	29%	
☼ Mar	68	21,8	31%		☼ Mar	244	17,3	31%	
01-Mar	34	23,3	31%		01-Mar	290	17,9	30%	
02-Mar	19	23,1	30%		02-Mar	228	18,1	31%	
03-Mar	20	21,6	31%		03-Mar	206	18,1	30%	
04-Mar	29	21,0	29%		04-Mar	169	17,8	30%	
05-Mar	58	22,4	30%		05-Mar	190	17,3	29%	
06-Mar	78	23,0	30%		06-Mar	247	17,4	27%	
07-Mar	111	22,2	29%		07-Mar	309	17,3	26%	
08-Mar	110	23,3	29%		08-Mar	404	17,4	28%	
09-Mar	115	23,6	28%		09-Mar	369	17,6	25%	
10-Mar	155	21,9	28%		10-Mar	472	16,9	25%	
11-Mar	144	20,1	26%		11-Mar	480	16,7	24%	
12-Mar	133	17,8	26%		12-Mar	436	14,8	27%	
13-Mar	127	21,9	27%		13-Mar	383	15,8	26%	
14-Mar	47	22,3	31%		14-Mar	198	16,5	34%	
15-Mar	22	23,5	29%		15-Mar	117	17,3	32%	
16-Mar	45	23,8	30%		16-Mar	102	17,5	30%	
17-Mar	51	22,9	30%		17-Mar	135	17,7	28%	
18-Mar	59	22,3	31%		18-Mar	151	17,6	29%	
19-Mar	46	22,6	32%		19-Mar	172	18,5	31%	
20-Mar	50	23,4	34%		20-Mar	190	19,4	33%	
21-Mar	56	23,0	33%		21-Mar	202	19,1	32%	
22-Mar	71	22,0	32%		22-Mar	241	18,8	32%	
23-Mar	55	19,2	34%		23-Mar	160	17,1	38%	
24-Mar	63	18,1	36%		24-Mar	198	15,9	40%	
25-Mar	36	18,8	34%		25-Mar	180	16,8	39%	
26-Mar	53	19,6	35%		26-Mar	160	16,3	39%	
27-Mar	44	22,0	33%		27-Mar	258	17,8	35%	
28-Mar	63	22,2	32%		28-Mar	197	17,4	31%	
29-Mar	48	22,2	29%		29-Mar	210	17,1	30%	
30-Mar	68	21,1	31%		30-Mar	222	16,6	30%	
31-Mar	77	21,4	32%		31-Mar	282	16,6	32%	
☼ Apr	117	23,1	32%		☼ Apr	393	18,1	31%	
01-Apr	71	24,2	32%		01-Apr	326	17,2	29%	
02-Apr	91	23,6	31%		02-Apr	366	17,9	28%	
03-Apr	109	22,9	31%		03-Apr	402	17,9	27%	
04-Apr	112	22,6	29%		04-Apr	431	17,8	26%	
05-Apr	91	22,6	31%		05-Apr	430	18,2	28%	
06-Apr	103	22,6	33%		06-Apr	375	18,6	30%	
07-Apr	103	24,3	32%		07-Apr	370	18,6	31%	
08-Apr	210	21,4	32%		08-Apr	403	17,2	32%	
09-Apr	217	20,4	32%		09-Apr	442	16,1	34%	
10-Apr	139	23,4	33%		10-Apr	409	17,3	32%	
11-Apr	113	24,0	33%		11-Apr	395	18,5	33%	
12-Apr	102	23,6	35%		12-Apr	395	19,0	35%	
13-Apr	78	24,2	36%		13-Apr	365	19,6	34%	
14-Apr	103	24,0	35%		14-Apr	397	19,8	32%	
Grand Total	79	22,4	31%		Grand Total	287	17,6	30%	

Lisa 3. Objekti 3 mõõtmistulemused

1. korrus	Average of Unit: Bq/m3	Average of Temperature �C	Average of Humidity		kelder	Average of Unit: Bq/m3	Average of Temperature �C	Average of Humidity
� Feb	144	23,0	35%		� Feb	110	10,2	51%
14-Feb	173	23,8	35%		14-Feb	87	10,5	52%
15-Feb	292	22,8	36%		15-Feb	114	10,5	53%
16-Feb	201	22,5	36%		16-Feb	110	10,6	54%
17-Feb	188	22,6	36%		17-Feb	118	11,0	53%
18-Feb	111	22,6	34%		18-Feb	118	10,9	53%
19-Feb	90	22,7	33%		19-Feb	102	10,4	51%
20-Feb	113	23,0	36%		20-Feb	109	10,5	53%
21-Feb	120	23,1	35%		21-Feb	122	10,4	52%
22-Feb	132	23,4	34%		22-Feb	130	10,0	51%
23-Feb	115	22,9	35%		23-Feb	123	9,8	49%
24-Feb	118	22,9	36%		24-Feb	117	10,0	52%
25-Feb	116	22,9	36%		25-Feb	116	9,9	50%
26-Feb	121	22,9	34%		26-Feb	73	9,5	45%
27-Feb	139	23,5	31%		27-Feb	109	9,5	47%
28-Feb	134	23,4	35%		28-Feb	101	9,9	50%
� Mar	129	24,1	35%		� Mar	94	10,5	49%
01-Mar	123	24,0	34%		01-Mar	93	10,0	50%
02-Mar	105	24,1	35%		02-Mar	85	10,4	50%
03-Mar	100	24,0	34%		03-Mar	84	10,5	49%
04-Mar	87	23,6	33%		04-Mar	68	9,8	47%
05-Mar	133	24,4	33%		05-Mar	102	9,9	48%
06-Mar	191	24,4	32%		06-Mar	113	9,6	48%
07-Mar	126	24,0	31%		07-Mar	124	9,5	47%
08-Mar	111	23,8	34%		08-Mar	122	9,8	49%
09-Mar	138	24,5	32%		09-Mar	115	9,5	46%
10-Mar	137	24,1	31%		10-Mar	117	9,5	45%
11-Mar	133	23,6	32%		11-Mar	137	9,2	45%
12-Mar	115	24,4	31%		12-Mar	120	9,0	45%
13-Mar	140	23,7	32%		13-Mar	122	9,3	46%
14-Mar	83	25,1	35%		14-Mar	77	10,2	50%
15-Mar	123	25,4	34%		15-Mar	66	10,5	48%
16-Mar	145	25,1	32%		16-Mar	102	10,5	47%
17-Mar	134	24,5	34%		17-Mar	122	10,1	49%
18-Mar	79	24,3	33%		18-Mar	83	10,4	48%
19-Mar	187	24,5	32%		19-Mar	63	10,9	49%
20-Mar	140	24,6	37%		20-Mar	73	11,3	51%
21-Mar	129	24,8	37%		21-Mar	86	11,1	50%
22-Mar	143	24,2	36%		22-Mar	78	11,3	50%
23-Mar	121	24,7	37%		23-Mar	65	11,8	53%
24-Mar	131	24,7	41%		24-Mar	72	12,1	54%
25-Mar	116	23,5	43%		25-Mar	65	12,2	52%
26-Mar	132	23,6	43%		26-Mar	75	12,3	52%
27-Mar	141	23,1	41%		27-Mar	69	11,5	49%
28-Mar	145	23,5	39%		28-Mar	109	11,0	50%
29-Mar	131	23,4	39%		29-Mar	111	10,9	48%
30-Mar	142	23,2	39%		30-Mar	104	11,0	47%
31-Mar	140	23,1	39%		31-Mar	97	11,0	47%
� Apr	127	24,4	37%		� Apr	80	11,6	45%
01-Apr	113	23,9	36%		01-Apr	119	10,7	47%
02-Apr	117	24,1	37%		02-Apr	87	10,5	45%
03-Apr	120	24,2	36%		03-Apr	81	10,5	43%
04-Apr	118	24,2	33%		04-Apr	81	10,0	43%
05-Apr	120	23,8	34%		05-Apr	82	10,4	44%
06-Apr	137	23,6	38%		06-Apr	76	10,7	45%
07-Apr	132	24,7	37%		07-Apr	86	11,2	47%
08-Apr	114	24,6	36%		08-Apr	61	11,4	44%
09-Apr	121	24,5	37%		09-Apr	71	11,6	43%
10-Apr	151	24,7	38%		10-Apr	66	11,9	42%
11-Apr	128	25,0	36%		11-Apr	83	12,4	46%
12-Apr	94	25,0	37%		12-Apr	76	13,2	49%
13-Apr	141	24,5	40%		13-Apr	78	13,6	48%
14-Apr	167	24,6	42%		14-Apr	70	13,9	46%
Grand Total	132	23,9	36%		Grand Total	95	10,7	48%

Lisa 4. Objekti 4 mõõtmistulemused

1. korrus	Average of Unit: Bq/m3	Average of Temperature �C	Average of Humidity		kelder	Average of Un	Average of Temperature �C	Average of Humidity
� Feb	23	21,2	30%		� Feb	194	15,2	38%
14-Feb	27	22,5	30%		14-Feb	256	15,9	40%
15-Feb	37	21,3	30%		15-Feb	279	15,2	41%
16-Feb	18	20,7	31%		16-Feb	210	15,6	40%
17-Feb	23	21,7	31%		17-Feb	192	15,7	39%
18-Feb	24	21,4	30%		18-Feb	189	15,6	39%
19-Feb	16	21,2	30%		19-Feb	141	15,6	38%
20-Feb	18	21,0	30%		20-Feb	160	15,5	38%
21-Feb	20	20,9	32%		21-Feb	177	15,5	38%
22-Feb	30	21,5	29%		22-Feb	187	15,0	37%
23-Feb	21	19,6	29%		23-Feb	185	14,6	38%
24-Feb	28	19,9	31%		24-Feb	207	15,0	38%
25-Feb	20	20,7	29%		25-Feb	168	15,0	37%
26-Feb	17	21,4	27%		26-Feb	153	14,6	36%
27-Feb	25	21,8	28%		27-Feb	204	14,6	38%
28-Feb	21	22,1	30%		28-Feb	195	15,3	39%
� Mar	22	21,7	30%		� Mar	195	15,7	38%
01-Mar	22	21,9	30%		01-Mar	215	15,3	39%
02-Mar	19	22,1	31%		02-Mar	197	15,7	39%
03-Mar	16	22,3	29%		03-Mar	212	15,5	40%
04-Mar	18	20,4	28%		04-Mar	133	14,6	38%
05-Mar	23	21,7	30%		05-Mar	215	15,4	39%
06-Mar	28	21,6	28%		06-Mar	212	15,4	38%
07-Mar	26	21,4	28%		07-Mar	201	15,1	38%
08-Mar	21	21,5	27%		08-Mar	203	15,1	38%
09-Mar	26	21,5	27%		09-Mar	221	14,6	38%
10-Mar	21	21,2	27%		10-Mar	198	14,8	36%
11-Mar	29	20,9	26%		11-Mar	218	14,6	36%
12-Mar	23	22,3	27%		12-Mar	210	15,1	36%
13-Mar	21	21,6	28%		13-Mar	193	15,4	36%
14-Mar	12	21,4	31%		14-Mar	168	16,1	37%
15-Mar	23	21,8	30%		15-Mar	195	16,4	38%
16-Mar	26	20,9	30%		16-Mar	208	15,6	38%
17-Mar	23	21,7	29%		17-Mar	191	15,8	37%
18-Mar	16	21,5	28%		18-Mar	141	15,9	37%
19-Mar	28	22,0	31%		19-Mar	226	16,2	39%
20-Mar	24	21,6	34%		20-Mar	242	16,3	41%
21-Mar	23	21,0	32%		21-Mar	203	16,2	40%
22-Mar	16	20,3	32%		22-Mar	153	15,6	40%
23-Mar	16	20,7	34%		23-Mar	188	16,0	40%
24-Mar	21	20,8	35%		24-Mar	212	15,8	42%
25-Mar	17	22,4	34%		25-Mar	185	16,4	41%
26-Mar	22	22,6	35%		26-Mar	218	16,6	41%
27-Mar	29	22,1	34%		27-Mar	210	16,5	40%
28-Mar	23	22,6	33%		28-Mar	158	16,5	38%
29-Mar	19	23,0	31%		29-Mar	155	16,4	36%
30-Mar	33	21,8	30%		30-Mar	207	15,8	37%
31-Mar	25	22,5	30%		31-Mar	144	14,9	37%
� Apr	56	22,2	30%		� Apr	195	13,9	39%
01-Apr	15	22,3	29%		01-Apr	143	14,8	36%
02-Apr	20	22,4	28%		02-Apr	140	15,0	35%
03-Apr	18	22,5	29%		03-Apr	132	15,1	34%
04-Apr	53	23,6	26%		04-Apr	113	14,0	33%
05-Apr	94	21,4	27%		05-Apr	69	13,1	36%
06-Apr	94	21,4	29%		06-Apr	68	13,2	39%
07-Apr	86	21,7	30%		07-Apr	58	13,3	39%
08-Apr	70	21,6	29%		08-Apr	127	13,0	40%
09-Apr	54	23,2	29%		09-Apr	123	13,6	39%
10-Apr	74	23,0	30%		10-Apr	131	13,1	39%
11-Apr	47	22,5	31%		11-Apr	354	13,9	41%
12-Apr	44	21,8	33%		12-Apr	387	14,2	43%
13-Apr	54	21,6	36%		13-Apr	476	14,5	44%
14-Apr	64	21,2	35%		14-Apr	405	14,5	43%
Grand Total	30	21,7	30%		Grand Total	195	15,2	38%

Lisa 5. Objekti 5 mõõtmistulemused

1. korrus	Average of Unit: Bq/m3	Average of Temperature °C	Average of Humidity		kelder	Average of Unit: Bq/m3	Average of Temperature °C	Average of Humidity
☉ Feb	46	16,4	36%		☉ Feb	83	6,4	65%
14-Feb	65	16,4	37%		14-Feb	110	6,5	65%
15-Feb	69	15,8	39%		15-Feb	118	6,5	65%
16-Feb	47	15,0	37%		16-Feb	110	6,5	66%
17-Feb	63	16,5	38%		17-Feb	118	6,6	66%
18-Feb	49	17,6	39%		18-Feb	101	7,0	66%
19-Feb	32	15,5	38%		19-Feb	62	6,9	65%
20-Feb	41	15,5	37%		20-Feb	69	6,5	65%
21-Feb	45	16,5	37%		21-Feb	47	6,5	65%
22-Feb	47	15,8	36%		22-Feb	76	6,5	65%
23-Feb	41	14,3	34%		23-Feb	92	6,1	64%
24-Feb	43	17,0	36%		24-Feb	81	6,0	65%
25-Feb	39	17,9	35%		25-Feb	54	6,0	65%
26-Feb	31	18,5	31%		26-Feb	39	6,0	64%
27-Feb	38	17,1	30%		27-Feb	74	6,0	64%
28-Feb	45	17,0	32%		28-Feb	92	6,0	64%
☉ Mar	49	15,8	36%		☉ Mar	76	6,6	64%
01-Mar	44	15,9	34%		01-Mar	84	6,1	64%
02-Mar	45	15,4	35%		02-Mar	84	6,5	64%
03-Mar	44	15,7	36%		03-Mar	80	6,5	64%
04-Mar	45	14,8	36%		04-Mar	66	6,5	65%
05-Mar	42	16,3	32%		05-Mar	74	6,5	64%
06-Mar	55	15,3	33%		06-Mar	77	6,2	64%
07-Mar	55	14,8	31%		07-Mar	93	6,0	64%
08-Mar	49	16,5	32%		08-Mar	76	6,0	64%
09-Mar	53	15,9	32%		09-Mar	73	6,0	64%
10-Mar	52	16,1	31%		10-Mar	89	5,7	64%
11-Mar	50	14,8	32%		11-Mar	61	5,5	63%
12-Mar	40	16,0	29%		12-Mar	70	5,5	63%
13-Mar	56	14,0	32%		13-Mar	83	5,5	64%
14-Mar	29	15,3	36%		14-Mar	91	5,8	65%
15-Mar	41	15,0	36%		15-Mar	53	6,0	64%
16-Mar	57	13,5	37%		16-Mar	58	6,1	64%
17-Mar	54	14,8	36%		17-Mar	70	6,0	65%
18-Mar	42	17,3	35%		18-Mar	76	6,0	64%
19-Mar	47	17,5	36%		19-Mar	87	6,5	64%
20-Mar	54	16,5	39%		20-Mar	109	7,0	65%
21-Mar	53	17,1	38%		21-Mar	56	7,0	65%
22-Mar	54	16,4	39%		22-Mar	86	7,0	65%
23-Mar	46	16,0	40%		23-Mar	97	7,5	66%
24-Mar	49	16,8	40%		24-Mar	95	7,7	66%
25-Mar	40	17,6	40%		25-Mar	73	7,9	65%
26-Mar	47	17,1	40%		26-Mar	67	8,0	65%
27-Mar	57	16,0	40%		27-Mar	78	7,9	65%
28-Mar	47	14,9	39%		28-Mar	70	7,5	64%
29-Mar	51	16,5	37%		29-Mar	64	7,1	64%
30-Mar	66	15,6	38%		30-Mar	59	7,0	64%
31-Mar	56	15,7	38%		31-Mar	55	7,0	64%
☉ Apr	64	17,7	37%		☉ Apr	77	7,6	65%
01-Apr	49	18,2	37%		01-Apr	43	7,0	64%
02-Apr	49	17,5	36%		02-Apr	38	7,0	64%
03-Apr	59	17,0	36%		03-Apr	33	7,0	64%
04-Apr	50	16,0	35%		04-Apr	42	6,7	63%
05-Apr	59	16,0	37%		05-Apr	64	6,6	64%
06-Apr	63	16,8	38%		06-Apr	74	6,7	64%
07-Apr	84	16,9	37%		07-Apr	108	7,0	64%
08-Apr	72	17,7	37%		08-Apr	63	7,2	65%
09-Apr	62	18,1	37%		09-Apr	58	7,6	65%
10-Apr	69	17,7	37%		10-Apr	69	7,9	65%
11-Apr	72	17,9	38%		11-Apr	125	8,2	65%
12-Apr	72	18,5	39%		12-Apr	147	8,7	67%
13-Apr	66	19,2	39%		13-Apr	114	9,1	67%
14-Apr	69	20,1	40%		14-Apr	104	9,5	67%
Grand Total	52	16,4	36%		Grand Total	78	6,8	65%

Lisa 6. Mõõtmisperioodi ilmaandmed

Kuupäev	Temperatuur, °C	Õhurõhk, hPa	Õhuniiskus, %	Tuul, km/h
14.02.2023	3,0	1028,2	82	9,7
15.02.2023	0,7	1026,0	99	10,6
16.02.2023	1,7	1015,6	99	15,1
17.02.2023	2,2	1003,1	97	20,6
18.02.2023	2,1	985,0	97	19,7
19.02.2023	1,1	997,4	76	23,8
20.02.2023	0,3	992,4	90	18,1
21.02.2023	-2,0	999,1	93	14,9
22.02.2023	-4,8	1019,4	87	7,8
23.02.2023	-2,3	1014,0	90	21,1
24.02.2023	0,4	995,5	100	5,7
25.02.2023	-1,4	995,3	93	22,8
26.02.2023	-2,5	1010,9	77	21,2
27.02.2023	-2,7	1024,2	92	8,0
28.02.2023	2,8	1022,4	86	11,9
01.03.2023	2,4	1021,6	81	11,1
02.03.2023	3,7	1015,4	72	13,3
03.03.2023	3,5	1005,1	71	17,5
04.03.2023	-0,1	994,9	84	28,0
05.03.2023	-0,8	997,2	86	8,3
06.03.2023	-3,3	994,8	93	6,7
07.03.2023	-3,2	992,6	92	18,9
08.03.2023	-0,1	979,7	95	20,4
09.03.2023	-3,1	998,0	74	10,8
10.03.2023	-1,8	1001,5	68	20,8
11.03.2023	-3,1	992,3	81	14,4
12.03.2023	-2,0	995,8	74	10,6
13.03.2023	-0,4	996,2	85	25,7
14.03.2023	5,4	982,9	92	23,4
15.03.2023	2,5	999,5	86	13,5
16.03.2023	0,7	1016,3	87	6,7
17.03.2023	-0,5	1023,1	97	15,5
18.03.2023	3,3	1016,1	79	23,3
19.03.2023	4,3	1014,5	89	7,5
20.03.2023	3,4	1009,0	98	8,3
21.03.2023	2,8	1009,9	87	11,8
22.03.2023	3,2	1004,6	98	18,8
23.03.2023	5,0	996,8	97	14,2
24.03.2023	5,2	994,2	95	18,9
25.03.2023	4,9	992,8	89	18,3
26.03.2023	4,2	994,5	99	14,0
27.03.2023	1,1	996,1	90	14,4
28.03.2023	-0,1	1005,3	81	14,1
29.03.2023	-0,4	1013,9	68	12,1
30.03.2023	-0,6	1009,4	95	15,1
31.03.2023	1,4	1001,9	93	18,6
01.04.2023	1,4	1005,3	71	26,4
02.04.2023	1,1	1021,5	60	20,8
03.04.2023	0,0	1029,0	64	19,6
04.04.2023	0,0	1024,4	59	16,1
05.04.2023	0,2	1022,0	94	12,7
06.04.2023	2,1	1024,6	97	9,3
07.04.2023	6,2	1024,0	73	11,8
08.04.2023	6,5	1026,1	58	14,8
09.04.2023	5,9	1026,9	61	10,3
10.04.2023	5,6	1025,2	66	9,3
11.04.2023	8,1	1014,8	72	9,8
12.04.2023	10,3	1011,7	66	14,3
13.04.2023	11,0	1011,5	60	17,9
14.04.2023	9,6	1017,6	59	24,9