



KESKKONNAMINISTEERIUM

RADOONI AKTIIVSUSKONTSENTRATSIOONI MÕÕTMINE (RAM 2016)



KESKKONNAINVESTEERINGUTE
KESKUS

EESSÕNA

„Radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmine (RAM 2016)“ on avaldatud Keskkonnaameti juhendmaterjalina Keskkonnaministeeriumi, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ja Sotsiaalministeeriumi kokkuleppe kohaselt.

Juhendmaterjali koostamist on korraldanud ja selle korrektsuse eest vastustab Keskkonnaministeerium. Juhendi koostamist toetas SA Keskkonnainvesteeringute Keskus. Juhendmaterjali on kättesaadavaks teinud Keskkonnaministeerium.

Juhend „Radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmine (RAM 2016)” on dokument, mis kirjeldab radoon-222 aktiivsuskontsentratsiooni pinnases ja siseruumides mõõtmise meetodeid ja nende kasutamisel saadud tulemusi, millest on asjakohane juhinduda ehitustegevuses.

RAM 2016 on koostatud Keskkonnaministeeriumi eestvedamisel ning kooskõlastatud radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmiste teostajate esindajatega.

Mõõtemetodid on kuni valdkondliku õigusakti jõustumiseni soovituslikud

RAM 2016 töötas välja töörühm, kuhu kuulusid:

Keskkonnaministeerium –	Evelyn Mürsepp, Krista Saarik
Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium –	Margus Sarmet, Margus Tali
Sotsiaalministeerium –	Ramon Nahkur
Keskkonnaamet –	Monika Lepasson, Alar Polt
Tartu Ülikooli Füüsika Instituut –	Rein Koch
Eesti Geoloogiakeskus –	Valter Petersell, Krista Täht-Kok, Mark Karimov
Tallinna Keskkonnaamet –	Triin Ristmets
Tehnilise Järelevalve Amet –	Priit Poschlin
TTÜ Eesti Mereakadeemia –	Lia Pahapill
Radoonitõrjekeskus (Tulelaev OÜ)–	Mait Saar
OÜ JÕGIOJA Ehitusfüüsika KB –	Endel Jõgioja

SISUKORD

SISSEJUHATUS	7
1. KÄSITLUSALA	9
2. TERMINID, MÄÄRATLUSED.....	9
3. RADOONI AKTIIVSUSKONTSENTRATSIOONI MÕÕTMINE SISERUUMIDES	11
3.1. Üldnõuded.....	12
3.2. Integreeritud mõõtmine.....	12
3.3. Pidevmõõtmine	15
3.4. Kohtmõõtmine	16
4. RADOONI AKTIIVSUSKONTSENTRATSIOONI MÄÄRAMINE PINNASES.....	18
4.1. Üldnõuded.....	18
4.2. Otsemõõtmine.....	19
4.3. Radooni aktiivsuskontsentratsiooni arvutamine Ra-226 järgi	21
LISA 1.....	18
LISA 2.....	27
LISA 3.....	29
LISA 4.....	30
Kirjandus.....	32

SISSEJUHATUS

Radoon-222 (edaspidi ka *radoon*, *Rn*) on lõhnatu, maitsetu ja värvitu looduslik inertne radioaktiivne vääriskaas, mis tekib raadium-226 (edaspidi ka *raadium*, *Ra*) lagunemisel. Radooni poolestusaeg on 3,8 ööpäeva. Radoon laguneb järjestikku seitsmeks radioaktiivseks, kuid erineva poolestusajaga tütar nukliidiks ja muutub lõpuks stabiilseks plii-206 isotoobiks (tabel 1).

Tabel 1. Uraan-238 radioaktiivse lagunemise rida

Element, isotoop	Poolestusaeg	Kiirguse liik	Märkused
Uraan-238 (U)	$4,5 \times 10^9$ aastat	α	Metall
Toorium-234 (Th)	24,1 päeva	β, γ	Metall
Protaktiinium-234 (Pa)	1,17 minutit	β, γ	Metall
Uraan-234 (U)	$2,24 \times 10^5$ aastat	α	Metall
Toorium-230 (Th)	$8,0 \times 10^4$ aastat	α	Metall
Raadium-226 (Ra)	1620 aastat	α, γ	Metall
Radoon-222 (Rn)	3,82 päeva	α	Gaas
Poloonium-218 (Po)	3,05 minutit	α	Metall
Plii-214 (Pb)	26,8 minutit	β, γ	Metall
Vismut-214 (Bi)	19,7 minutit	β, γ	Metall
Poloonium-214 (Po)	$1,6 \times 10^{-4}$ sekundit	α	Metall
Plii-210 (Pb)	21,3 aastat	β, γ	Metall
Vismut-210 (Bi)	5,01 päeva	β	Metall
Poloonium-210 (Po)	138,4 päeva	α	Metall
Plii-206 (Pb)	-	-	Metall

Radoon ja selle lagunemisel tekkivad tütar nukliidid suurendavad kopsuvähki haigestumise riski, seetõttu on oluline piirata nende sisaldust õhus, mida hingab sisse inimene. Radooni aktiivsuskontsentratsioon on välisõhus üldjuhul väike ega kujuta tervisele ohtu, kuid siseruumides võib see kordades ületada Maailma Terviseorganisatsiooni (WHO) poolt tunnustatud ohutu piiri 100 bekerelli kuupmeetri kohta (Bq/m^3) ja Euroopa Liidu direktiivis 2013/59/Euratom nimetatud viitetaseme 100 kuni $300 Bq/m^3$.

Radoon pääseb hoonesse peamiselt hoonealusest pinnasest (täiendavalt ka ehitusmaterjalidest ja põhjavee päritoluga olmeveest), mistõttu saab aktiivsuskontsentratsiooni optimaalsena hoida, kui hoonete projekteerimisel arvestatakse

radooniga. Enne projekteerimist tuleb välja selgitada, kas hoonealuse pinnase radooni aktiivsuskontsentratsioon võib põhjustada hilisemaid probleeme siseruumides. Kuigi Eesti pinnase kohta on koostatud mitu radooniriski levilate kaarti (näiteks üldine Eesti kaart, Harjumaa, Ida-Virumaa kaardid), on kõige kindlam mõõta pinnase radooni aktiivsuskontsentratsiooni. Nimelt varieerub pinnase radoonisisaldus ka üsna piiratud maa-alal, kuna seda mõjutavaid tegureid on palju. Kui hoone kasutusotstarbest lähtuvalt on siseõhu radooni aktiivsuskontsentratsioon õigusaktidega reglementeeritud, kuid mõõtmisi ei tehta või mõõtmiste tulemusena selgub, et pinnases on radooni aktiivsuskontsentratsioon üle 50 000 Bq/m³ (või raadiumi aktiivsuskontsentratsioon üle 45 Bq/kg), tuleb radooniohu vältimiseks kavandada radooniohtu minimeerivad meetmed (vt ka EVSi standardit 840:2017 „Juhised radoonikaitse meetmete kasutamiseks uutes ja olemasolevates hoonetes“). Kõrge radooniriski levialadel on radooni mõõtmine pinnases ja radooni vähendamismeetmete kavandamine tungivalt soovitatav ka siis, kui siseõhu radooni aktiivsuskontsentratsioon ei ole reglementeeritud. Kui radooni aktiivsuskontsentratsioon pinnases on vahemikus 10 000–50 000 Bq/m³, tuleb tagada tarindite radoonikindlad lahendused (vt EVS 840:2017). Kui hoonealune pinnas on väikese radoonisisaldusega (radooni aktiivsuskontsentratsioon <10 000 Bq/m³), tuleb tagada hoone ehitamisel / rekonstrueerimisel hea ehituskvaliteet (vt EVS 840:2017). Pärast hoone valmimist ja juba kasutusel olevas hoones tehakse radooni aktiivsuskontsentratsiooni kontrollmõõtmised siseruumides.

Nii pinnase kui ka siseruumide radoonitaseme mõõtmisel on oluline asjakohase mõõtemetodi kasutamine. Kõik osalised, sealhulgas mõõtmise tellija, tegija kui ka mõõtmiste järelevalve tegija peavad üheselt mõistma nii mõõtmisprotsessi kui ka selle tulemusi. Mõõteseaduse järgi peab mõõtetulemuste jälgitavus olema tagatud vähemalt riikliku järelevalve käigus, kui mõõtetulemuste alusel tehakse ettekirjutus, määratakse karistus väärteoasjas või piiratakse eriõigust, ning ekspertiisi tegemisel kriminaalasja kohtueelses menetluses, kohtu- ja vahekohtumenetluses või väärteo kohtuvälises menetluses. Mõõtetulemuse jälgitavuse tõendamiseks peab mõõtmised tegema pädev mõõtja, kes kasutab taadeldud või jälgitavalt kalibreeritud mõõtevahendit, järgides asjakohast mõõtemetoodikat. Käesolev juhend on koostatud eesmärgiga soovitada asjakohaseid mõõtemetoodikaid siseruumide ja pinnase radooni aktiivsuskontsentratsiooni määramiseks ja tulemuste tõlgendamiseks. Kuigi juhend on soovituslik, on selles esitatud siseruumide radooni aktiivsuskontsentratsiooni pikaajaline mõõtmine ainus sobilik viis radoonikontsentratsiooni aasta keskmise väärtuse hindamiseks. Radoonisisalduse hindamiseks pinnaseõhus on ainus sobilik mõõtemetod pinnase otsemõõtmine koos radooni arvutusliku määranguga raadium-226 kaudu. Neid meetodeid tuleks kasutada juhul, kui mõõtetulemuste jälgitavus ja mõõtemetodi eesmärgikohane valik peavad olema tõendatud.

1. KÄSITLUSALA

Juhend on koostatud eesmärgiga anda mõõtmiste tellijatele, tegijatele ja järelevalvajatele juhised pinnase ja siseruumide radoon-222 aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmiseks ning tulemuste esitamiseks. Juhendis esitatakse siseruumide ja pinnase radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtemetodid, sealhulgas meetodid, mida on võimalik kasutada mõõtetulemuste jälgitavuse tõendamiseks. Ühtlasi esitatakse nõuded mõõtmise ankeedi, protokollide ja aruande kohta.

Juhend ei käsitle radooni aktiivsuskontsentratsiooni viitetasemeid siseruumides ja pinnase liigitust radooni kontsentratsiooni alusel. Pinnase liigitus radooniohtlikkuse järgi on esitatud EVSi standardis „Juhised radoonikaitse meetmete kasutamiseks uutes ja olemasolevates hoonetes“.

2. TERMINID, MÄÄRATLUSED

Juhendis kasutatakse järgmisi termineid ja määratlusi.

Aktiivsus

mingis kindlas energiaseisundis oleva radionukliidi koguse aktiivsus (A) etteantud ajal on: $A = dN/dt$, kus, dN on selles energiaseisundis toimuvate spontaansete tuumasiirete arvu ooteväärtus ajavahemiku dt jooksul.

Bekerell (Bq)

radionukliidi aktiivsuse ühik, $1 \text{ Bq} = 1 \cdot \text{s}^{-1}$. Radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmisel õhus kasutatakse mõõtühikut Bq/m^3 . Aktiivsuskontsentratsiooni 1 Bq/m^3 korral laguneb radioaktiivselt ühe sekundi jooksul ühes kuupmeetris õhus üks radoonituum. Materjalide aktiivsuskontsentratsiooni mõõdetakse ühikutes Bq/kg .

eU

uraan-238 sisaldus pinnases, arvestatuna Ra-226 sisalduse põhjal, eeldades sekulaarset tasakaalu uraan-238 ja raadium-226 vahel.

Emanatsioonikoefitsient

kivimit (pinnast) moodustavates mineraaliterades sisalduva raadiumi lagunemisel väljuva (emaneeruva) radooni koguse suhe kogu tekkivasse radoonikogusesse.

Isotoobid

keemilise elemendi erineva neutronite arvuga (erineva massiarvuga) aatomid (keemilise elemendi teisendid).

Kompaktne mahukaal (erikaal)

poorideta pinnase erikaal.

Poolestusaeg

ajavahemik, mille jooksul radioaktiivse lagunemise protsessis vaadeldava radionukliidi aktiivsus väheneb kaks korda.

Radionukliid

Radioaktiivselt laguneva tuumaga aatom, mida tähistatakse keemilise elemendi sümboli ja konkreetse isotoobi aatommassiga, näiteks Rn-222, Ra-226.

Radoon

radoon-222 ja selle radioaktiivsel lagunemisel tekkinud lühiealised tütar nukliidid.

Tütarnukliidid

radionukliidi lagunemisel alaneva aatommassiga lagunemisreas tekkivad nukliidid.

Uraan (U)

uraani isotoopide looduslik segu vahekorras uraan-238 (99,28%) ja uraan-235 (0,72%).

Viitetase

siseruumide radooni aktiivsuskontsentratsioon, millest kõrgem püsiv tase ei ole soovitatav, samas see ei ole piirmäär, mida ei tohi ületada.

Metroloogiaalaseid mõisteid **jälgitavus, kalibreerimine, mõõtemeetod, mõõtetulemus, mõõtevahend, mõõtja, mõõtmine, mõõtühik, mõõtemääramatus** ja **taatlemine** kasutatakse mõõteseaduse tähenduses.

3. RADOONI AKTIIVSUSKONTSENTRATSIOONI MÕÕTMINE SISERUUMIDES

Radooni aktiivsuskontsentratsiooni siseruumides määratakse eesmärgiga välja selgitada ruumiõhu aasta keskmine radoonisisaldus (mõõtmise kestvus kaks või mitu kuud), radoonisisalduse ajaline dünaamika (mõõtmine ühest ööpäevast nädalani), radoonisisalduse jaotus hoone eri osades konkreetsel ajahetkel (hoone radooni kaardistamine), radooni levikuteed hoones ning lekkekohad (mõõtmise kestvus mõnest minutist ühe tunnini mõõtepunkti kohta). Mõõtmiseks kasutatakse pidev- (sh kohtmõõtmise) ja integreeritud mõõtemeetodeid. Esimesel juhul kasutatakse elektroonilist mõõteseadet (radoonimonitori), mis kuvab tulemuse iga teatud aja tagant seadme tabloole. Teisel juhul eksponeeritakse radoonitundlikku materjali (näiteks aktiivsüsi, plastsensoriga detektor) uuritavas ruumis ja mõõtmistulemus saadakse hiljem mõõtelaboris. Elektroonilise radoonimonitoriga mõõtes koguneb gaasiline radoon detektori mõõtekambrisse, kus tuvastatakse radooni aatomite lagunemisel tekkiv alfakiirgus. Integreeritud mõõtmistel kasutatakse enim plastdetektoreid, mida eksponeeritakse lühema või pikema aja jooksul mõõdetava ruumi õhus. Detektoris radooni lagunemisel tekkinud alfaosakesed neelduvad, jättes materjalisse jälje, mille saab keemilise töötlemisega mikroskoobis nähtavaks teha. Radooni aktiivsuskontsentratsiooni ja tekkinud jälgede tiheduse vahel on lineaarne seos (kui detektor ei lähene küllastusele nii et jäljed hakkavad kattuma).

Eestis kasutatakse kolme radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmise meetodit:

1. Integreeritud mõõtmine – mõõtmised annavad keskmise radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõdetava ajaperioodi kohta. Selleks kasutatakse näiteks tahkiselise tuumaosakeste jälje detektorit (SSNTD) või aktiivsöedetektorit;
2. Pidevmõõtmine – mõõtmised, mille ajal radooni aktiivsuskontsentratsioon salvestatakse lühikeste intervallide jooksul ning tulemuseks saadakse andmed kontsentratsiooni muutusest ajas. Selleks kasutatakse näiteks radoonimonitori;
3. Kohtmõõtmine – mõõtmine väljendab radooni kontsentratsiooni mõõdetaval ajahetkel. Selleks kasutatakse näiteks radoonimonitori.

Mõõtemeetod tuleb valida eesmärgi järgi. Siseõhu radoonikontsentratsiooni vähendamise ehituslike meetmete ulatuse kavandamiseks eluhoonetes tuleb pikaajalise integreeritud või pidevmõõtmisega kindlaks teha radooni aasta keskmine kontsentratsioon hoones. Pikaajaline meetod on ainus aktsepteeritav, sest ruumiõhu radooni aktiivsuskontsentratsioon kõigub tundide, päevade ja aastaaegade lõikes, sõltudes nii meteoroloogilistest tingimustest kui ka ruumide kasutusest. Lisaks soodustavad külmunud maapind ja lumikate hoone ümber radooni liikumist hoonesse hoonealuse külmumata pinnase kaudu. Kütteperioodil avatakse ka vähem uksi ning aknaid, mistõttu väiksema radoonisisaldusega välisõhu juurdevool on piiratud. Aasta keskmise kontsentratsiooni hindamiseks peab mõõtmine kestma vähemalt kaks kuud, kusjuures vähemalt pool mõõteperioodist peab langema talve- või kütteperioodile. Mõõtmise ajal peab ruumide kasutus olema tavapärane. Järjestikuste päevade arv, mille jooksul ruume ei kasutata, ei tohi ületada 20% valitud mõõteperioodist. Vastasel korral tuleb mõõteaega pikendada.

Radoonisisalduse ajalist dünaamikat saab uurida ainult pidevmeetodil. See on vajalik näiteks, kui uuritakse ventilatsioonisüsteemi töörežiimi või hoone ööpäevase kasutuskoormuse mõju õhu radoonisisaldusele. Radoonisisalduse dünaamika uurimiseks töökohtadel on vajalik vähemalt nädalapikkune mõõtmine, sest ruumide kasutamise ja ventilatsiooni töörežiimi

erinevus nädalavahetusel võib radooni kogunemist oluliselt mõjutada. Elamutes võib mõõtmise piirduda ööpäevaga.

Lühiajalisi integreeritud või pidevmõõtmisi kasutatakse hoone radoonitaseme kaardistamisel ning radoonivähendamisetööde käigus vähendamismeetme rakendamise efektiivsuse vahetuks kontrolliks. Vähendamismeetme tõhususe püsivuse üle otsustamiseks on siiski vajalik pikaajaline mõõtmine.

Radooni liikumisteede ja lekkekohtade otsimiseks on sobilik läbi viia kohtmõõtmine kasutades mõne minuti kuni ühe tunni jooksul tulemust näitavat elektroonilist pidevmõõteseadet.

Juhendmaterjali integreeritud mõõtmise peatükis kirjeldatakse kahte Eestis enimkasutatavat mõõtemetodit: pikaajalist tahkiselise tuumaosakeste jälje detektori (SSNTD) meetodit ja lühiajalist aktiivsõemeetodit. Pidevmõõtmise peatükis kirjeldatakse nii lühi- kui ka pikaajalist radoonimonitoriga mõõtmist.

3.1. Üldnõuded

Kui juhised ei kirjuta ette teisiti, tuleb kasutada mõõtevahendit, mis on jälgitavalt kalibreeritud mõõteseaduse tähenduses. Mõõtmised tuleb teha mõõtemetoodika ja seadme kasutusjuhendi järgi.

3.2. Integreeritud mõõtmine

Integreeritud mõõtmine toimub detektoriga, mis koosneb akumulatsioonikambrist ning selle sees asuvast sensorist. Õhk pääseb detektorisse loomuliku difusiooni teel. Mõõtemetodit kasutatakse juhul, kui õhuproovi radooni aktiivsuskontsentratsioon on suurem kui 10 Bq/m^3 .

3.2.1. Integreeritud mõõtmise lühikirjeldus

1. Integreeritud pikaajaline mõõtmine tahkiselise tuumaosakeste jälje detektori (SSNTD) meetodil tuleb teostada järgmiselt:

- a) mõõtja valib mõõtmiskoha ja paigaldab detektori. Kui mõõtja ei paigalda või ei eemalda detektorit ise, tuleb selleks anda juhised (vt lisa 1 punkte 4–7);
- b) mõõtmise ajal täidetakse ankeet (vt lisa 2);
- c) registreeritakse detektori asukoht ja paigaldamise aeg (kuupäev ja kellaaeg);
- d) detektor jäetakse mõõtma vähemalt kaheks kuuks, tagades, et detektorile ei satuks esemeid, mis võiksid takistada õhuvoolu vaba liikumist detektorisse ning välja;
- e) eksponeerimise lõppedes registreeritakse detektori eemaldamise aeg (kuupäev ja kellaaeg) ning detektor suletakse õhukindlasse pakendisse;
- f) detektor saadetakse mõõtelaborisse mõne päeva jooksul pärast eksponeerimise lõppemist;
- g) mõõtja töötleb sensorit esimesel võimalusel, selleks eemaldatakse detektor pakendist ning sensor akumulatsioonikambrist;
- h) sensorit töödeldakse sobiva keemilise söövitamisega, mille tulemusena radooni lagunemisel tekkinud alfaosakeste latentsed jäljed konverteeritakse nn söövitajajälgedeks;

- i) sensor skaneeritakse mõõteseadmes, kus loetakse kokku söövituspõljed;
- j) arvutatakse keskmine aktiivsuskontsentratsioon;
- k) koostatakse mõõtmisaruanne ja edastatakse see tellijale.

Mõõtmise ankeedis ja aruandes sisalduvate andmete loetelu on esitatud lisades 2 ja 3.

2. Integreeritud lühiajaline mõõtmine aktiivsõemeetodil (kasutades näiteks dosimeetrit-radiomeetrit DGM-1500 ja söekanistrit Radon-Box 10) tuleb teha järgmiselt:

- a) enne iga mõõtmise alustamist puhastatakse aktiivsõedetektor sinna kogunenud radoonist ja selle laguproduktidest ning veeaurust, hoides seda kuivatuskapis 12 tundi umbes 105 °C juures. Jahtunud söekanister suletakse õhukindlasse pakendisse (näiteks minigriipkotti) ning toimetatakse viivitusteta mõõdetavasse ruumi;
- b) mõõtja valib mõõtmiskoha, järgides juhist (vt detektoriga mõõtmise näidist, lisa 1 punktid 4–7);
- c) mõõtmiste ajal täidetakse ankeet (vt lisa 2);
- d) registreeritakse radooni mõõtmise asukoht ja aeg (kuupäev ja kellaaeg);
- e) mõõdetavas ruumis võetakse aktiivsõekanister pakendist välja ning asetatakse uuritavasse ruumi, milles on temperatuur vahemikus 18–25 °C ning suhteline niiskusesisaldus alla 80% (soovitavalt alla 50%), kolmeks kuni seitsmeks ööpäevaks;
- f) pärast eksponeerimist suletakse söekanister taas plastkotti ning toimetatakse võimalikult kiiresti mõõtelaborisse, kus alustatakse radooni mõõtmist kolme tunni jooksul;
- g) radooni kontsentratsiooni mõõdetakse eksponeeritud söekanistriga gammaspektromeetri või kalibreeritud dosimeetri / radiomeetriga mõõteriista kasutusjuhendi järgi;
- h) koostatakse mõõtmisaruanne ja edastatakse see tellijale.

Mõõtmise ankeedis ja aruandes sisalduvate andmete loetelu on esitatud lisades 2 ja 3.

3.2.2. Kasutatavad seadmed

1. SSNTD-meetodi korral kasutatakse järgmisi seadmeid:

- a) tahkiselise tuumaosakeste jälje detektori (SSNTD) kujul olevat sensorit, mida kasutatakse eraldi või koos plastist akumulaatorikambriga. Sensor on valmistatud alfaosakeste suhtes tundlikust polümeerist;
- b) sensori söövitamise seadmeid ja sobivaid keemilisi reaktiive;
- c) söövituspõlgede skaneerimiseks ja loendamiseks sobivaid seadmeid.

2. Aktiivsõemeetodi korral kasutatakse järgmisi seadmeid:

- a) aktiivsõega täidetud mõõtekanister;
- b) gammaspektromeeter või kalibreeritud dosimeeter / radiomeeter;
- c) kuivatuskapp, milles on võimalik saavutada 105 °C temperatuur aktiivsõe regenereerimiseks.

3.2.3. Kalibreerimine ja fooni mõõtmine

1. SSNTD-meetodi korral tuleb detektorite kalibreerimistegur või kalibreerimisvalem, kui see on asjakohane, saada tootjalt. Kalibreerimistegur on suurus, mis tuleb

radoonikontsentratsiooni (Bq/m^3) leidmiseks korrutada detektorile mõõtmise käigus tekkinud jälgede tihedusega (jälge/cm^2) ja jagada mõõteajaga (tundides) või kasutada ekspositsiooni leidmiseks kalibreerimisvalemit, kui see on asjakohane, ja jagada saadud tulemus mõõteajaga (tundides). Ühtlasi tuleb tootjalt teada saada, kas kalibreerimisteguri leidmisel on detektorite fooni arvestatud või mitte. Kui fooni ei ole arvestatud, tuleb detektorite partii saamisel foon mõõta. Selleks võetakse partiist juhuslikult 1% või vähemalt 10 detektorit, töödeldakse (söövitatakse) need ja leitakse algne jälgede tihedus, mis tuleb hiljem realsel mõõtmisel kasutatud detektoritel tekkinud jälgede tihedusest maha lahutada.

2. Aktiivsõemeetodi korral tuleb enne eksponeeritud söekanistri mõõtmist teha foonimõõtmine ilma söekanistriga gammaspetsimeetri või kalibreeritud dosimeetri / radiomeetri.

3.2.4. Mõõtmise protseduur

SSNTD-detektoreid turustatakse õhukindlas pakendis. Aktiivsõemeetodi korral tuleb enne kasutamist söekanister regenererida ja sulgeda pakendisse. NB! Enne mõõtmise alustamist veenduda pakendi hermeetilisuses! Detektor, mille pakend on hermeetilisuse kaotanud, ei ole mõõtmiseks kasutatav ja tuleb asendada teisega. Mõõtmine algab siis, kui detektor paigaldamiskohas pakendist välja võetakse. Mõõtmine lõpeb, kui detektor paigaldamiskohast eemaldatakse ja viivitamatult pakendisse suletakse. Aktiivsõemeetodi korral tuleb detektor toimetada laborisse ning alustada radoonisisalduse määramist hiljemalt kolme tunni jooksul.

Paigaldamise ja eemaldamise aeg tuleb registreerida (kuupäev ja kellaaeg). Mõõtmiste ajal tuleb jälgida, et detektorile ei satuks õhuringlust takistavaid esemeid, mis võivad kaasa tuua õhuringluse seiskumise akumulatsioonikambris. Mõõtmise ajal tuleb tagada võimalikult tavapärase ruumide kasutus: kütte- ja ventilatsioonisüsteemid töötagu tavapäraselt jne.

Mõõtmiskoht

Elukohas tuleb mõõtmine teha vähemalt kahes enamkasutatavas ruumis, näiteks magamistoas ja elutoas. Ei ole soovitatav teha mõõtmisi magamistubades, mille aken hoitakse öösel avatuna. Kui majal on mitu korrust, mille ruumid on pidevalt kasutuses töö- või eluruumidena, tuleb mõõtmine teha igal korrusel. Kui keldrikorrusel olevaid ruume kasutatakse töö- või eluruumidena, tuleb mõõta ka seal.

Töökohtadel ja avalikes hoonetes tuleb mõõtmised teha esimesel korrusel ja keldrikorrusel, kui seal paiknevad inimeste tööruumid. Mõõteseadet tuleb panna igasse ruumi, mille ventilatsioonisüsteem on erinev. Suurtesse ruumidesse tuleb panna üks seade iga 200 m^2 kohta.

Detektori paigaldamine

Siseruumide integreeritud mõõtmisel ei paigaldata detektorit põrandale, vaid vabale pinnale 1–2 m kõrgusele põrandast, arvestades järgmist:

- a) detektor tuleb paigutada vähemalt 25 cm seinast eemale;
- b) detektor tuleb paigutada eemale soojusallikatest (radiaator, ahi, elektriseadmed, televiisor, otsene päikesevalgus jne), veevärgi väljalaskevõrkudest (pritsmete oht) või kondensatsiooniallikast, rasva allikast ning aladest, kus toimub pidev liikumine, ustest ja akendest ning ventilatsiooniallikatest;
- c) mõõtmise asukoht peab olema kogu mõõtmise vältel sama, mõõtmist ei tohiks segada ega katkestada (raamatute jms esemete kukkumine detektorile, ehitustööd jne); elanikele tuleb anda juhiseid, et vältida mõõtmistingimuste muutumist;

d) tuleb vältida detektori kahjustamist.

Mõõtmise kestus

1. Mõõtmise kestus SSNTD-meetodi korral on vähemalt kaks kuud. Mõõtmise kestust ühe detektoriga tuleks kohandada radooni aktiivsuskontsentratsiooni eeldatava tasemega. Kui on põhjust eeldada väga suurt aktiivsuskontsentratsiooni, tuleks detektoreid mõõtmise jooksul vahetada, et vältida sensori küllastamist. Kui on aga põhjust eeldada väga väikest aktiivsuskontsentratsiooni, tuleks mõõtmise kestust pikendada, et vähendada sensori fooni mõju lõpptulemuse mõõtemääramatusele.

2. Aktiivsõemeetodi korral kestab mõõtmine 3–7 päeva.

Mõõtmist puudutavate isikute informeerimine

Mõõtja annab ruumide valdajale kirjaliku juhise detektorite paigaldamise ja ruumide tavapärase kasutamise jätkamise kohta mõõtmise ajal. Ruumide valdaja kinnitab oma allkirjaga, et ruumide kasutajad järgivad mõõtja juhiseid mõõtmise ajal. Juhis peab olema lihtne ja arusaadav ning sisaldama lisainformatsiooni saamiseks mõõtja kontaktandmeid. Juhise näidis on lisas 1.

3.2.5. Keskmise aktiivsuskontsentratsiooni leidmine

Radooni aasta keskmise kontsentratsiooni leidmiseks peab mõõtmine kestma vähemalt kaks kuud, kusjuures vähemalt pool mõõteperioodist peab langema talve- või kütteperioodile. Mõõtmise ajal peab ruumide kasutus olema tavapärane. Järjestikuste päevade arv, mille jooksul ruume ei kasutata, ei tohi ületada 20% valitud mõõteperioodist. Vastasel korral tuleb mõõteaja pikendada.

Hoonetes, kus kõik töö- või eluruumid on samal korrusel ja samades ventilatsioonitingimustes (näiteks ühepereelamus), võetakse radooni aasta keskmiseks aktiivsuskontsentratsiooniks mõõdetud ruumide radooni aktiivsuskontsentratsioonide aritmeetiline keskmine juhul, kui üksikute tulemuste erinevus ei ületa mõõtemääramatust. Vastasel juhul kas korratakse mõõtmist või võetakse suurim väärtus. Hoonetes, kus töö- või eluruumid on mitmel korrusel, esitatakse tulemus iga korruse kohta eraldi. Kortermajas tuleks mõõta eraldi kõik esimese korruse korterid (soklikorruse olemasolul soklikorruse korterid). Keskmise aktiivsuskontsentratsiooni leidmisel ei võeta arvesse tulemusi, mis jäävad allapoole määramispiiri.

3.3. Pidevmõõtmine

Pidevmõõtmine toimub elektroonilise mõõteseadmega (radoonimonitoriga). Mõõtemeetodit kasutatakse juhul, kui õhuproovi radooni aktiivsuskontsentratsioon on suurem kui 10 Bq/m^3 . Õhuproovi kogumine võib olla aktiivne (õhk pumbatakse seadmesse) või passiivne (õhk pääseb mõõtekambrisse ilma lisaseadmeid kasutamata).

3.3.1. Pidevmõõtmise lühikirjeldus

Mõõtmine tuleb teha järgmiselt:

- a) mõõtja valib mõõtmiskoha ja käivitab radoonimonitori. Kui mõõtja ei paigalda või ei eemalda monitori ise, antakse selleks juhiseid (vt lisa 1, punktid 4–7);

- b) mõõtmisel täidetakse ankeet;
- c) registreeritakse monitori asukoht ja sisselülitamise aeg (kuupäev ja kellaaeg);
- d) mõõtmise ajal tagatakse, et monitorile ei satuks esemeid, mis võiksid takistada õhuvoolu vaba liikumist monitori ning välja;
- e) monitori paigaldaja lülitab välja monitori ja registreerib väljalülitamise aja (kuupäev ja kellaaeg);
- f) mõõtja kannab andmed monitorist üle arvutisse;
- g) arvutatakse keskmine aktiivsuskontsentratsioon;
- h) koostatakse mõõtmisaruanne ja edastatakse tellijale.

Mõõtmise ankeedis ja aruandes sisalduvate andmete loetelu on esitatud lisades 2 ja 3.

3.3.2. Kasutatavad seadmed ja mõõtmise kestus

Pidevmõõtmisega radooni aktiivsuskontsentratsiooni määramiseks kasutatakse radoonimonitori, mis registreerib radooni aktiivsuskontsentratsiooni ajas. Seade registreerib kindlaks määratud ajavahemikes keskmised tulemused kogu mõõteperioodi vältel. Salvestatud mõõteandmete alusel on võimalik arvutiprogrammi abil esitada radooni kontsentratsiooni kõikumist iseloomustav graafik.

Pikaajalisel mõõtmisel jäetakse monitor mõõtma vähemalt kaheks kuuks.

Lühiajalisi mõõtmisi võib teha aasta ringi. Lühiajalisel mõõtmisel valitakse mõõteperioodi pikkus sõltuvalt mõõtmise eesmärgist ja kasutatavast mõõteseadmest. Lühiajalise mõõtmise alaliik, kohtmõõtmine, on kirjeldatud peatükis 3.4.

3.3.3. Mõõtmise protseduur

Pidevmõõtmise korral tuleb mõõtmiskoha valikul, mõõteseadme paigaldamisel, mõõtmist puudutavate isikute informeerimisel ning aastase keskmise aktiivsuskontsentratsiooni määramisel (pikaajalisel mõõtmisel) lähtuda samadest nõuetest nagu integreeritud mõõtmisel. Mõõtmine algab siis, kui monitor käivitatakse, ning lõpeb, kui see välja lülitatakse. Monitori käivitamise ja väljalülitamise aeg tuleb registreerida (kuupäev ja kellaaeg).

3. 4. Kohtmõõtmine

Peab silmas pidama, et kohtmõõtmine on ette nähtud õhus radooni aktiivsuskontsentratsiooni kiireks hindamiseks. Tulemust ei ole võimalik ekstrapoleerida radooni aktiivsuskontsentratsiooni aastasele hinnangule. Radooni aktiivsuskontsentratsiooni suure muutlikkuse tõttu ajas ja ruumis on mõõtetulemus esinduslik radooni aktiivsuskontsentratsiooni kohta üksnes konkreetse mõõtmise ajal ja konkreetsetes mõõtmiskohas.

3.4.1 . Mõõtesead

Kohtmõõtmine viiakse läbi ainult pidevmõõtmiseks kasutatavate seadmetega (vt mõõtmises kasutatavaid seadmeid peatükis 3.3.2). Seadmed peavad olema kalibreeritud.

3.4.2. Mõõtmiskoha valik

Kohtmõõtmisel sõltub iga mõõtmiskoha valik taotletavast eesmärgist - näiteks aktiivsuskontsentratsiooni homogeensuse tõendamine keskkonnas või anomaaliate (lekkekohtade) otsimine jne.

3.4.3. Kohtmõõtmise lühikirjeldus

Mõõtmine viiakse läbi vastavalt pidevmõõtmise (vt pidevmõõtmise lühikirjeldust peatükis 3.3.1).

3.4.4. Mõõtmise kestvus

Mõõtmine viiakse läbi lühikese aja jooksul. Mõõtmise kestvus peab olema vähem kui üks tund.

4. RADOONI AKTIIVSUSKONTSENTRATSIOONI MÄÄRAMINE PINNASES

Radooni aktiivsuskontsentratsioon pinnaseõhus iseloomustab projekteeritava hoone aluse pinnase radooniriski taset ja võimaldab projekteerida meetmed, et takistada radooni pääsu rajatava hoone siseõhku. Aktiivsuskontsentratsiooni määramiseks pinnases kasutatakse paralleelselt kahte meetodit – radooni otsemõõtmise ja pinnase Ra-226 (või eU) sisalduse alusel arvutamise meetodit.

Osa seadmeid mõõdavad pinnases Ra-226 kuid annavad tulemuse eU-na. Sel juhul tuleb radooni aktiivsuskontsentratsiooni määramisel teha ümberarvutus (vt ptk Pinnases Ra-226 sisalduse järgi kujuneva radooni aktiivsuskontsentratsiooni arvutamine).

Pinnase radooniriski tase selgitatakse pinnaseõhus raadiumist kujuneva ja aeratsioonist säilinud radooni sisalduse põhjal. Pinnase raadiumisisalduse järgi arvutatakse pinnaseõhus raadiumist tekkiva maksimaalse radoonisisalduse tase, pinnase aeratsiooni puudumise korral võetakse arvesse pinnasematerjali emanatsioonikoefitsient. See on lähedane tingimustele, mis kujunevad ehitiste all. Pinnaseõhus otsemõõdetav radooni sisaldus iseloomustab pinnases aeratsioonist säilinud radooni sisaldust. Üldjuhul on pinnaseõhus otsemõõdetud radooni sisaldus väiksem kontsentratsioonist, mis tekib pinnases raadiumist. Vastupidisel juhul toimub pinnasesse täiendav radooni juurdekanne pinnase või aluspõhja kivimite sügavamatest kihtidest.

Raadiumi lagunemisel tekkiva radooni säilimine pinnaseõhus ei ole looduslikes tingimustes tavapärane. Kõikjal toimuva pinnase aeratsiooni tulemusel toimub pinnasest pidev radooni migreerumine (emissioon) atmosfääri. Migratsiooni kiirus sõltub oluliselt atmosfääri õhurõhu muutustest. Teiselt poolt võib lisanduda pinnaseõhku sügavamates (>1,5–2 m) pinnakatte ja aluspõhja kivimites kujunev ja väiksema rõhu suunas migreeruv radoon. Protsessi soodustavad esmajärjekorras geogaasid. Selle tõttu tuleb pinnase (maa-ala) radooni aktiivsuskontsentratsioon määrata kahte mõõtmisviisi kasutades. Arvesse võetakse suurem mõõtetulemus.

4.1. Üldnõuded

Pinnase radooniriski taseme selgitamiseks tuleb kasutada mõõtevahendeid, mille määranagu tundlikkus on piisav, seadme korduslugemite dispersioon <10% ja taatluskohustus on täidetud või mis on jälgitavalt kalibreeritud mõõteseaduse tähenduses. Mõõtmised tuleb teha mõõtemetoodika ja -seadme kasutusjuhendi järgi.

Eesti geoloogilise ehituse tõttu on pinnase radooniriski taseme määramise riiklikult aktsepteeritud meetod uuringupunktis radooni aktiivsuskontsentratsiooni selgitamine paralleelselt kahel viisil: pinnaseõhus otsemõõtmine ning pinnase raadium-226 sisalduse järgi arvutamine. Radooni aktiivsuskontsentratsioon pinnaseõhus sõltub paljudest teguritest: uuringupunkti geoloogilisest läbilõikest, kasvukihi eripärast, läbilõike litoloogilisest iseloomust ja eU sisaldusest nendes litoloogilistes erimites, pinnasematerjali emanatsioonikoefitsendist, mis on püsivad tegurid, ning pidevalt muutlikest meteotingimustest (õhurõhu muutused, temperatuur, sademed, õhuniiskus, jm). Pinnase (maa-ala) radooniriski määramisel kahe mõõtmisviisiga võetakse arvesse suurem mõõtetulemus.

Pinnase radooni aktiivsuskontsentratsiooni määramine toimub 0,6–1,0 m sügavusel. Eestis on optimaalseks mõõtmise sügavuseks maapinnast 0,8 m. See on ühelt poolt tingitud vajadusest teha mõõtmised mulla lähtekivimis (C horisondis), kus murenemisega kaasnenud elementide migratsioon on olnud minimaalne, ja teisalt on mõõtmisi takistava pinnasevee tase maapinnast üldjuhul optimaalsel sügavusel. Soovitavalt tehakse uuringupunktide asukohtade löplik valik

pinnase gammakiirguse andmete põhjal. Uuringupunkti (punktide) asukohaks valitakse kõige kõrgema gammakiirgusega ala (alad). See välistab võimalike radooniohtlike maa-alade vahelejätmise.

4.1.1. Mõõtmiskoht (uuringupunkt)

Välimõõtmised tehakse kavandatava ehitise või kinnistu (uuritava maa-ala) piirides või laiemal alal ühes või mitmes mõõtekohas sõltuvalt lähteülesandest.

Uuringupunktide tihedus sõltub uuringu eesmärgist, piirkonna radooniriski tasemest ja ala geoloogilisest ehitusest. Hoone alla jäävale alale tuleb rajada vähemalt üks kompleksne uuringupunkt iga 200 m² kohta. Olenevalt geoloogilistest tingimustest võivad neile lisanduda täiendavalt pinnaseõhus leiduva radooni mõõtmised (otsemõõtmised).

Nii raadiumisisalduse (või eU) määramiseks vajalik pinnaseproov kui ka mõõtmine pinnases ning otsemõõtmine pinnaseõhus on soovitatav teha uuritaval alal mõnemeetrise ringi raadiuses ligilähedastes tingimustes. See aitab mõõtetulemusi korrektselt tõlgendada ja suurendab nende tõepärasust.

4.2. Otsemõõtmine

Pinnase radooni aktiivsuskontsentratsiooni otsemõõtmine tehakse emanomeetriga või pinnasesse paigutatud kalibreeritud mõõtehülsi meetodil soovitatavalt 0,8 m sügavusel. Mõõtetulemus väljendab radooni aktiivsuskontsentratsiooni selle suure muutlikkuse tõttu ajas ja ruumis ning sõltuvana valitsevatest meteotingimustest üksnes konkreetse proovivõtu aja ja konkreetse proovivõtu koha kohta.

4.2.1. Otsemõõtmise lühikirjeldus

Mõõtmine tuleb teha järgmiselt:

- a) valitakse sobiv mõõteseade;
- b) määratakse sobivad mõõtmispunktid;
- c) mõõtmise ajal koostatakse mõõtmisprotokoll;
- d) registreeritakse mõõtmispunkti asukoht ja mõõtmise aeg (kuupäev ja kellaaeg), ilmastikuolud: õhurõhk, õhutemperatuur, tuule kiirus, sademed;
- e) paigaldatakse mõõtmisseade, tehakse mõõtmine (hülsi korral tehakse mõõtmine 24...48 tunni möödudes);
- f) registreeritakse mõõtetulemus(ed);
- g) registreeritakse mõõtmis sügavus;
- h) mõõteandmete põhjal koostatakse mõõtmisaruanne;
- i) mõõtmisprotokoll ja -aruanne esitatakse tellijale.

Mõõtmisprotokollis ja -aruandes sisalduvate andmete loetelu on esitatud lisas 4.

4.2.1. Kasutatavad seadmed

Pinnase radooni aktiivsuskontsentratsiooni vahetuks mõõtmiseks võib kasutada eri tüüpi mõõteriistu (sh emanomeetreid, mõõtehülisiga ühendatud radoonimonitore), mis on varustatud spetsiaalse pumba ja toru(de)ga pinnasest õhu imemiseks mõõteriista mõõtekambrisse, milles mõõdetakse radooni aktiivsuskontsentratsioon mõõteühikutes kBq/m³.

4.2.2. Mõõtmise protseduur

Emanomeetriga mõõtmine on aktiivne. Emanomeeter töötab, pumbates pinnaseõhku läbi te-rastoru mõõtekambrisse. Seejärel mõõdab seade radooni tütarnukliidi poloonium-218 (Po-218) lagunemist ning väljundina kuvab tablool radooni aktiivsuskontsentratsiooni kBq/m³. On oluline jälgida, et seadme ühendused oleksid hermeetiliselt suletud ning välisõhk ei satuks pinnase ja toru vahelt mõõtekambrisse. Kõrge pinnasevee taseme korral võib pinnaseõhu imemine mõõtekambrisse toimuda kuni 0,6 m sügavuselt, erandjuhul kuni 0,5 m sügavuselt. On oluline jäl-gida, et koos õhuga ei imenduks mõõtekambrisse vett.

Kalibreeritud mõõtehülsi meetodil paigaldatakse perforeeritud mõõtehülss horisontaalsena pinnasesse, 0,8–1 m sügavusele. Hülssi sisestatakse kaks toru, mille maapinnale ulatuvad otsad on kinni korgitud. 24–48 tunni möödudes ühendatakse torud voolikute abil radoonimoni-toriga. Sisselülitatud tsirkulatsioonipumba abil ühtlustatakse selliselt suletud ruumala ulatuses radooni kontsentratsioon 1–2 minuti jooksul. Seejärel katkestatakse hülsi ja mõõtekambri va-heline ühendus ning alustatakse radoonimonitori mõõtekambris Rn-222 lagunemisel tekkinud Po-218 kontsentratsiooni mõõtmist. Tulemus saadakse 20 minuti pärast, mil Po-218 kontsent-ratsioon on saavutanud sekulaarse tasakaalu kambris oleva Rn-222 kontsentratsiooniga. Tu-lemuse alusel, võttes arvesse mõõtesüsteemi kogumahu suhet mõõtekambri ja mõõtehülsi mahuga, saadakse radooni keskmine sisaldus pinnaseõhus viimase 1–2 ööpäeva jooksul.

Mõõtmise kestus

Emanomeetriga mõõtmise kestus on aeg pumba väljalülitamist kuni tabloo vilkumise lõpuni. See aeg on sõltuvalt emanomeetrist 10–20 minutit.

Mõõtehülssimeetodil alustatakse mõõtmist, kui on katkestatud hülsi ja mõõtekambri vaheline ühendus. Tulemus saadakse 20 minuti pärast, mil Po-218 kontsentratsioon on saavutanud ta-sakaalu Rn-222 kontsentratsiooniga.

Otsemõõtmisega radoonisisalduse standardiseerimine

On seadmeid, mille korral tuleb otsemõõtmisel saadud väärtusi normeerida. Näiteks, kui kasu-tada seadet Markus 10, siis aeratsiooni (difusiooni) mõjuga arvestamiseks normeeritakse mõõ-detud radooni aktiivsuskontsentratsioonid standardsele 1 m sügavusele selleks kalkuleeritud teoreetiliste graafikute alusel (joonis 1), kasutades valemit

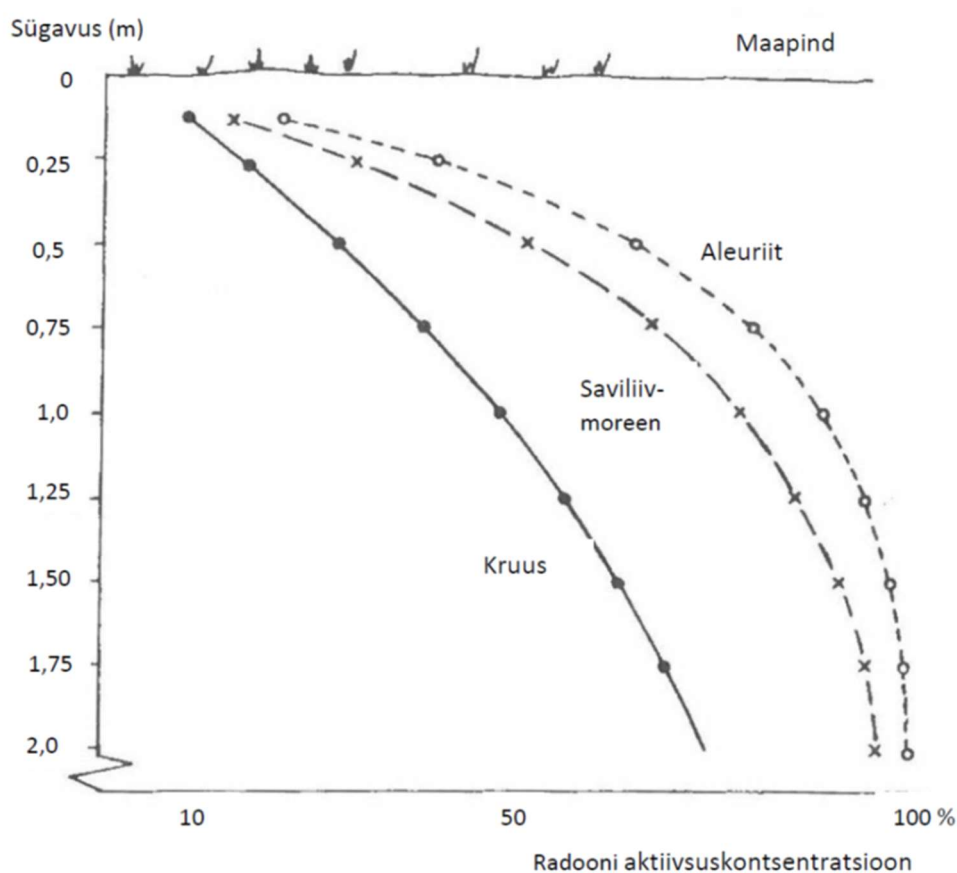
$$Rn_{norm} = \frac{Rn_{1m}}{Rn_{Xm}} \cdot Rn_m , \quad (\text{Valem 1})$$

kus Rn_{norm} – normeeritud radooni kontsentratsioon standardisel 1 m sügavusel;

Rn_{1m} – joonise 1 järgi määratud radooni kontsentratsiooni % 1 m sügavusel;

Rn_{Xm} – joonise 1 järgi määratud radooni kontsentratsiooni % mõõdetaval sügavusel;

Rn_m – Markus 10-ga otsemõõdetud radooni kontsentratsioon, kBq/m³.



Joonis 1. Aeratsiooni (difusiooni) mõju radooni sisaldusele pinnaseõhus erinevatel sügavustel – aleuriidis, saviliiv-moreenis, kruusas – teoreetiliste arvutuste järgi (Åkerblom et al., 1990).

4.3. Radooni aktiivsuskontsentratsiooni arvutamine Ra-226 järgi

Arvutatud pinnaseõhus kujunev radooni aktiivsuskontsentratsioon on pinnases sisalduva raadium-226-ga tasakaalus olev radooni aktiivsuskontsentratsioon tingimustes, kus pinnaseõhust ei toimu radooni ärakannet ega sügavamalt juurdekannet (raadiumist tekkiva ja radioaktiivselt laguneva jääkradooni sisaldus on võrdne).

Pinnases radooni aktiivsuskontsentratsiooni arvutamiseks raadiumi järgi mõõdetakse soovituslikult 0,8 meetri sügavusel Ra-226 (või eU) sisaldus gammaspektromeetriga (kalibreeritud raadium-226 järgi). Raadiumisisaldust võib ka täpsemalt välja selgitada, võttes pinnaseproovi teatud sügavuselt ning määrates akrediteeritud laboris proovis olev raadium-226 gammaspektromeetrilise analüüsi meetodil. Seejärel arvutatakse valemi järgi (vt Valem 3), pinnases kujunev maksimaalne võimalik raadiumiga tasakaalus olev radooni aktiivsuskontsentratsioon, lähtudes määratud emanatsioonikoefitsendist.

4.3.1. Ra-226 järgi radooni aktiivsuskontsentratsiooni määramise lühikirjeldus

Möödetud Ra-226 (või eU) järgi radooni aktiivsuskontsentratsioon tuleb selgitada järgmiselt:

- a) valida sobiv Ra-226 (või eU) mõõtmise mõõteseade;
- b) määrata kindlaks sobivad mõõtmispunktid;
- c) mõõtmiste ajal koostada mõõtmisprotokoll;
- d) registreerida mõõtmise asukoht ja aeg (kuupäev ja kellaaeg);
- e) paigaldada mõõtmisseade, teha mõõtmine, eemaldada mõõtmisseade;
- f) registreerida mõõtetulemus(ed);
- g) määrata kindlaks pinnase litotüüp;
- h) registreerida kaevandi sügavus;
- i) arvutada radooni aktiivsuskontsentratsioon;
- j) koostada saadud andmete põhjal mõõtmisaruanne;
- k) esitada mõõtmisprotokoll ja -aruanne tellijale.

Mõõtmisprotokollis ja -aruandes sisalduvate andmete loetelu on esitatud lisas 4.

Laboris määratud Ra-226 järgi tuleb radooni aktiivsuskontsentratsioon selgitada järgmiselt:

- a) määrata sobivad mõõtmispunktid;
- b) kooskõlastada proovivõtt analüüsi tegeva laboriga;
- c) registreerida pinnaseproovi võtmise asukoht ja aeg (kuupäev ja kellaaeg);
- d) registreerida kaevandi sügavus;
- e) võtta pinnaseproov ning toimetada laborisse;
- f) fikseerida võetud pinnaseproovi kihi paksus (intervalli pikkus), proovivao mõõtmed;
- g) määrata kindlaks pinnase litotüüp;
- h) proovi võtmisel koostada mõõtmisprotokoll;
- i) määrata laboris pinnasematerjali Ra-226 aktiivsuskontsentratsioon, kasutades gamma-spektromeetrilise analüüsi meetodit;
- j) soovitatavalt määrata laboris proovi emanatsioonikoefitsent;
- k) arvutada laboris määratud Ra-226 (ja emanatsioonikoefitsendi) järgi radooni aktiivsuskontsentratsioon;
- l) koostada saadud andmete põhjal aruanne ning esitada tellijale.

Mõõtmisprotokollis ja -aruandes sisalduvate andmete loetelu on esitatud lisas 4.

4.3.2. Kasutatavad seadmed

Ra-226 (või eU) järgi pinnase radooni aktiivsuskontsentratsiooni arvutamiseks mõõdetakse soovituslikult 0,8 meetri sügavusel Ra-226 (või eU) sisaldus gammaspektromeetriga (kalibreeritud radium-226 järgi) või mõne muu mõõteriistaga.

Laboris määratakse pinnaseproovi Ra-226 sisaldus ja emanatsioonikoefitsent gamma-spektromeetrilise analüüsiga.

4.3.3. Mõõtmise protseduur

Pinnases mõõdetakse Ra-226 (või eU) aktiivmõõtmise meetodil. Raadiumi sisaldus mõõdetakse pinnases gammaspektromeetriga 0,8 m sügavuses kaevandis. Kaevandi sügavus võib jääda looduslikest tingimustest tingituna madalamaks (nt kõrge pinnasevee tase) kui 0,8 m. Oluline on tagada, et mõõtmine toimuks mulla lähtekivimis (C horisondis), kus raadiumisisaldus pole veel oluliselt muutunud mullatekkeprotsesside tulemusel. Kõrge pinnasevee taseme korral (kõrgemal kui 0,6 m sügavusel pinnases) on soovitatav võtta pinnaseproov ning see analüüsida laboris gammaspektromeetriselt. Proov tuleb võtta vaomeetodil ja selle maht peab olema vähemalt 1 liiter. Vaomeetodil võetakse proov (tavaliselt plastkühvliga) ühtlase laiuse ja paksuse kihina paljandi või kaevise seinast või maapinnalt. Võetud pinnaseproovis määratakse akrediteeritud laboris Ra-226 sisaldus gammaspektromeetrisel analüüsi meetodil.

On oluline, et aparatuuri mõõtesüsteemi silindri paigaldamiseks rajatud kaevandi läbimõõt oleks minimaalne ja kaevandi seinad ühtlased. Sellise kaevandi rajamiseks saab kivideta pinnases kasutada sobiva diameetriga (16–20 cm) käsipuuri või raske moreenpinnase korral piikvasarat.

Alvarite alal, kus pinnakatte paksus on 0,2–0,6 m, võtta pinnaseproov pudedatest setetest. Kui otsemõõtmine ei ole võimalik (nt ei ole mõõtmist võimaldavaid lõhesid) ning pinnakatte paksus on väiksem kui 0,2 m, tuleb kasutada allpool kirjeldatud ekshalatsiooni meetodit.

Radooni liikumine pinnasest maapinnale toimub keeruliste protsesside tulemusena, millest võib nimetada difusiooni ja konvektsiooni. Radooni ekshalatsioon on radooni eraldumine tahkest pinnasest pinnase kohale atmosfääri. Radooni ekshalatsiooni kiirust, mida määratakse pinnasest eraldunud radooni aktiivsuse kontsentratsioonina pindalaühikult ajaühikus, mõõdetakse bekerellides ruutmeetri kohta ajaühikus (Bq/m²t). Mõõtmiseks asetatakse kindla ava suurusega anum uuritavale pinnale, kusjuures ava ääred hermetiseeritakse saviga. Iga kindla ajaühiku möödudes pumbatakse anuma alla pinnasest ekshaleerunud radoon radoonimonitori mõõtekambrisse ning mõõdetakse selle kontsentratsioon. Ekshalatsiooni kiirus arvutatakse valemi

$$F = V \cdot \Delta C \cdot S^{-1} \cdot t^{-1} \text{ abil,} \quad (\text{Valem 2})$$

kus F – radooni ekshalatsiooni kiirus;

V – mõõtesüsteemi ruumala;

ΔC – radooni kontsentratsiooni juurdekasv;

S – anuma ava pindala;

t – mõõtmise intervall.

4.3.4. Pinnaseproovi võtmise protseduur

Pinnaseproovi võtmisel kaevata kaevand soovitavalt 0,6–0,8 m sügavusele ning võtta kaevandi põhjast analüüsi tegeva akrediteeritud laboriga kooskõlastatud kogus (vähemalt 1 liiter) proovimaterjali. Pinnaseproovi võtmisel jälgida, et ei toimuks erinevatel sügavustel olevate kihide segunemist (näiteks ülemistest pinnasekihtidest ei pudeneks materjali analüüsitava proovi). Pinnaseproov saata Ra-226 analüüsi tegemiseks ja võimaluse korral emanatsiooni-koefitsendi määramiseks akrediteeritud laborisse.

Pinnases Ra-226 sisalduse järgi kujuneva radooni aktiivsuskontsentratsiooni arvutamine

Tuginedes Rootsi Kiirguskaitse Instituudi (Glavensjö, Akerblom, 1994) ja Põhjamaade soovitusetele (Naturally Occuring..., 2000) ning Eesti Geoloogiakeskuses Eesti radooniriski kaardi koostamise käigus omandatud kogemustele, arvutatakse raadiumi radioaktiivsel lagunemisel tekkiv ja pinnaseõhus kujunev radooni aktiivsuskontsentratsioon (C_{Rn}) valemi

$$C_{Rn} = A_{Ra} \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot (1 - p) p^{-1} \text{ abil,} \quad (\text{Valem 3})$$

kus C_{Rn} – õhuvahetuseta pinnaseõhus Ra-226 sisalduse järgi kujunev radooni aktiivsuskontsentratsioon, Bq/m³;

A_{Ra} – Ra aktiivsuskonsentratsioon, Bq/kg;

ε – radooni emanatsioonikoefitsient;

β – kompaktne mahukaal (erikaal), kg/m³;

p – poorsus, %.

Kui pinnases on mõõdetud Ra-226 sisaldus eU (ppm) ühikutes, siis peab arvestama asjaoluga, et 1 ppm eU = 12,3 Bq/kg Ra-226. Seega tuleb teha ümberarvutus: eU ühikutes olev väärtus korrutada koefitsiendiga 12,3.

Valemis kasutatavate Eesti pinnase peamiste litotüüpide füüsikaliste omaduste arväärtused esitatakse tabelis 2. Tabelis ei kajastu tehnogeense (v.a Maardu puistangud) pinnase füüsikalised parameetrid, kuna need vajavad eriuuringut.

Tabel 2. Radoonisisalduse arvutamiseks kasutatavad pinnase füüsikalised parameetrid (L_t – pinnase litotüüp; ε – radooni keskmine emanatsioonikoefitsient; β – kompaktne mahukaal (erikaal) ja p – poorsus).

Setete (kivimite) tüüp	L_t	ε	p , %	β , kg/m ³
Põhja-Eesti moreen	mp	0,22	32	$2,70 \times 10^{-3}$
Lõuna-Eesti moreen	ml	0,33	38	$2,65 \times 10^{-3}$
Glatsiofluviaalsed setted	fgl	0,22	30	$2,70 \times 10^{-3}$
Liustikujärvevee setted:				
Liiv, kruus	lgl	0,26	35	$2,66 \times 10^{-3}$
Aleuriit	lga	0,30	40	$2,63 \times 10^{-3}$
Savi	lgs	0,35	45	$2,60 \times 10^{-3}$
Läänemere liiv, aleuriit	b	0,24	35	$2,60 \times 10^{-3}$
Klindialused ja -nõlvade setted	kla	0,28	40	$2,66 \times 10^{-3}$
Tehisseted (Maardu puistangud)	t	0,19	30	$2,70 \times 10^{-3}$

Gammaspektromeetriga uuringupunktis mõõtmine toimub tinglikult kera keskel, mistõttu on Rootsi Kiirguskaitse Instituudi kalkuleeritud andmete alusel saadud mõõtetulemused 35% kuni 39% (keskmiselt 37%) tasapinnal mõõdetust suuremad. Mõõtetulemuste tasapinna tingimustele arvutamiseks tuleb 0,6–0,8 m sügavuse kaevandi põhjas gammaspektromeetri skaalale ilmuv eU sisalduse lugem korrutada koefitsiendiga 0,63. Madalamate kaevandite puhul tuleb koefitsienti muuta.

MÕÖTMIST PUUDUTAVATE ISIKUTE INFORMEERIMISE JUHISE NÄIDIS

Näidis on koostatud radooni aasta keskmise kontsentratsiooni integreeritud mõõtmiseks detektoriga. Juhist saab mõningate muudatustega kasutada ka aktiivmõõtmisel.

Detektor kujutab endast plasttopsi, millesse on paigutatud spetsiaalne kiletükike, millele õhus leiduva radooni radioaktiivsel lagunemisel tekkivad osakesed jätavad oma jäljed. Detektor ise mingeid radioaktiivseid või keemiliselt aktiivseid aineid ei sisalda ja on inimestele ohutu.

1. **Palun täitke detektoritega kaasas oleval ankeedil need väljad, mis on Teile teada.** Info aitab leida seoseid radooni aktiivsuskontsentratsiooni ja hoone ehituslike parameetrite vahel.

2. Detektorid on pakitud õhukindlatesse alumiiniumpakenditesse. Veenduge pakendi õhukindluses! Kui pakendi õhukindlus on rikutud, ei ole detektor kasutatav. Lõigake pakendid **servadest** lahti ning võtke detektorid välja. **Pakend jätke alles!**

3. Märkige detektori number (asub pakendi peal) ja selle pakendist väljavõtmise kuupäev ja kellaaeg ankeedile.

4. **Detektorit ärge avage! Detektori paigaldamiseks valige ruum, kus inimesed tihti viibivad** (detektoreid ei paigaldata koridori, WCsse jmt).

4.1. Kortermajas pange üks detektor elutuppa ja teine magamistuppa.

4.2. Eramajas pange üks detektor esimese korruse elutuppa ja teine magamistuppa. Kui esimesel korrusel kahte pidevalt kasutatavat eluruumi pole, siis võib ühe detektori panna teise korruse magamistuppa.

4.3. Mõõtmisel töökohas või rohkem kui kahe detektori kasutamisel mõõtmiste läbiviimisel konsulteerige ... (mõõtjaga) sobivate asukohtade leidmiseks.

4.4. **Märkige ankeedil milline detektor millisesse ruumi paigutati, märkides ka korruse.**

5. Detektorite asukoht peaks olema selline, kus seda ei liigutata ega kaeta esemetega ja mis ei ole otse akna või ukse juures. Samuti ei paigaldata detektorit ventilatsiooniava, radiaatori või muu soojusallika lähedusse (nendest asetada vähemalt 1,5 m kaugusele). Seinast soovitav asetada vähemalt 25 cm kaugusele.

6. Sobiv koht on näiteks kapipealne (1–2 m kõrgusel), kuhu midagi muud tavaliselt ei asetata. Soovitav oleks panna detektor kapi servale nii, et oleks välistatud juhuslik kukkumine kapi taha.

7. Aeg-ajalt kontrollige, et detektor oleks oma esialgsel asukohal ja poleks kaetud mõne esemega. **Detektori kasutamisel elage tavapäraselt elu.** Ärge tuulutage tube rohkem ega vähem kui tavaliselt, samuti kasutage ventilaatorit selle olemasolul tavapäraselt.

8. Mõõtmisperioodi (vähemalt kaks kuud) lõppemisel ja detektorite eemaldamisel märkige ankeedile toimingu kuupäev ja kellaaeg. Pange detektorid samadesse pakenditesse, millega need Teile saabusid, ning **sulgege hoolikalt** (nt teibiga)! Kui pakend ei ole suletud korrektselt, siis detektorid mõõdavad edasi kuni nende analüüsimiseni. Täpse mõõtmisperioodi märkimine on oluline, sest see võetakse aluseks mõõtetulemuste arvutamisel.

9. Saatke postiga või tooge detektorid koos ankeediga tagasi ... (mõõtja kontaktandmed).

10. **Detektorid peaksid jõudma tagasi võimalikult selle kuupäeva lähedasel ajal, mille teatas Teile ... (mõõtja)! Palume mitte eemaldada detektoreid mõõtmiskohalt liiga vara!**

NÄIDISANKEET (siseruumide radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmine)

Näidis on koostatud olukorra kohta, kus radooni aasta keskmise kontsentratsiooni määramiseks kasutatakse detektoriga integreeritud mõõtmist. Mõningate muudatustega saab näidist kasutada ka aktiivmõõtmise korral, täites asjakohased väljad.

Palun täitke ankeedil need väljad, mis on Teile **kindlalt teada!** Kohustuslikud väljad on märgitud tärniga (*). Info aitab leida seoseid radooni aktiivsuskontsentratsiooni ja hoone ehituslike parameetrite vahel.

Valikvastuste korral tõmmake õigetele variantidele joon alla.

Palume täidetud ankeet koos detektoritega tagastada... (kontakt, aadress)

TAGASTAMISE KUUPÄEV: ... (kuupäev)

***Mõõdetava objekti aadress:**

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

***Kontaktisik:**

.....
(nimi, telefon, e-post)

***Mõõteperiood ja mõõdetavad ruumid:**

Detektori nr	Mõõtmise al- guskuupäev	Mõõtmise lõpp- kuupäev	Mõõtmise koht (elutuba, magamistuba vm)	Korrus (I, II, kelder vm)

Hoone valmimisaasta:

Maja tüüp: ühe- või kahepereelamu, ridaelamu, korterelamu, muu:

.....
Objekti olukord: täielikult renoveeritud, osaliselt renoveeritud, kapitaalremont, ehitusaegne, muu:

.....
Asukoht: tasasel maal, kallakul, künka peal, orus

Aluspõhi: paas, liiv või kruus, savi

Veevarustus: tsentraalne veevarustus, oma kaev

Vee päritolu: veevärk põhjaveega, veevärk pinnaveega, kommentaar

.....
Seinamaterjal: puit, tellis, betoon, laudtäidis, väikeplokk, suurplokk, paneel, profileeritud metall

muu:

Küttesüsteem: kaugkeskküte, lokaalne keskküte, elektriküte, ahju- või kaminaküte, soojuspump, muu:

Õhuvahetus: loomulik, mehaaniline väljatõmme, mehaaniline väljatõmme-sissepuhe, muu:

.....
Sundventilatsioon töötab keskmiselt: tundi ööpäevas

Õhuvahetuse efektiivsus valdaja hinnangul: hea, keskmine, halb

Akende tüüp: puit, plast, muu:

Aknad paigaldatud:

Vundamendi materjal:

Vundamendi tüüp: madal, vai, muu.....

Kelder: jah, ei, osaline

Keldri põranda materjal:

Keldri seina materjal:

Keldri lae materjal:

Esimese korruse põranda materjal:

Esimese korruse seina materjal:

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

Selgitus (vajaduse korral):

.....
Esimese korruse põranda pindala: m²

Kas objektile on rakendatud radoonitõkestusmeetodeid: ei, jah (kirjeldage milliseid)

.....

.....

.....

.....

Lisainfo: (kontakt)

Mõõtmiste tellijana kinnitan, et mõõtmiste käigus on järgitud mõõtja antud juhiseid.

Võimalikud kõrvalekalded juhiseist (näiteks ruumide tavapärasest erineva kasutuse tõttu):

.....

.....

Nimi

Allkiri.....

SISERUUMI RADOONI AKTIIVSUSKONTSENTRATSIOONI MÕÕTMISE ARUANNE

Mõõtmisaruanne on pärast mõõtmisi koostatav põhjalikum dokument, mis mõõtmise eesmärgi järgi võib sisaldada ka radooni aktiivsuskontsentratsiooni analüüsi. Mõõtmisaruanne peab sisaldama järgmist:

- 1) aruande kuupäev;
- 2) kasutatud meetodi kirjeldus;
- 3) mõõteseadme tüüp, tootja; seadme seeria nr, kalibreerimisaeg;
- 4) mõõtmise aeg: algus ja lõpp (kuupäev ja kellaaeg);
- 5) mõõtja organisatsioon ja mõõtmiste / analüüsi eest vastutav isik;
- 6) mõõtmiskoha aadress;
- 7) mõõdetava hoone kirjeldus;
- 8) mõõtmispunkti asukoha kirjeldus (korrus, ruumi otstarve);
- 9) mõõtetulemused koos nendele vastavate laiendatud mõõtemääramatustega ($k=2$);
- 10) aasta keskmine kehtiv viitetase;
- 11) aruande eest vastutava isiku nimi;
- 12) tööde vastutava täitja allkiri.

Esitada võib ka lisateavet, milleks võib olla:

- 1) radooni aktiivsuskontsentratsiooni määramise eesmärgi selgitus;
- 2) võimaluse ja tellija soovi korral radooni aktiivsuskontsentratsiooni tulemuste analüüs. Antakse hinnang uuritud objekti radooniohtlikkuse kohta (võrreldakse kehtiva viitetasemega) ja sellega kaasneda võivatele ohtudele ning radooniohu korral soovitused selle minimeerimiseks;
- 3) rakendatava meetodi kirjeldus;
- 4) ventilatsioonitingimused siseruumides (mehaaniline ventilatsioonisüsteem, avatud või suletud uked ja aknad jne) mõõtmisperioodi ajal;
- 5) ilmastikutingimused mõõtmisperioodi ajal;
- 6) kõrvalekalded mõõtmisjuhendist või mõõtmiskeskonna muutused, mis võisid mõjutada mõõtetulemusi;
- 7) mõõtmispunktide valiku põhjendus;
- 8) mõõtmisala skeem, millele on märgitud mõõtmispunktide asukohad;
- 9) mõõtetulemuste graafikud;
- 10) fotod mõõtmiskohast;
- 11) analüüsi või mõõtmiste käigus selgunud muu oluline informatsioon.

PINNASE RADOONI AKTIIVSUSKONTSENTRATSIOONI MÕÕTMISE PROTOKOLL JA - ARUANNE

Pinnase radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmisel täidetakse kohapeal (osaliselt eeltäidetav) protokoll. Ra-226 (või eU) järgi arvutatud radooni aktiivsuskontsentratsiooni meetodi korral kajastatakse protokollis kõik allpool loetletud punktides nõutud andmed, kui võimalik. Näiteks, kui laboratoorseks Ra-226 sisalduse määramiseks võetakse uuringukohast pinnaseproovid, siis ei saa proovivõtu ajal esitada andmeid radooni aktiivsuskontsentratsiooni kohta, samuti puuduvad mõõteseadmed.

Mõõtmisprotokoll peab sisaldama järgmisi andmeid:

- 1) mõõtja / proovivõtja organisatsioon ja mõõtmiste / proovivõtu eest vastutava isiku nimi;
- 2) mõõtmis- / proovivõtupunkti asukoht. Asukoha koordinaadid tuleb anda WGS-84 süsteemis täpsusega ± 10 m;
- 3) mõõtmise aeg: algus ja lõpp (kuupäev ja kellaaeg) / proovivõtu aeg;
- 4) mõõteseadme tüüp, tootja, seadme seeria nr, kalibreerimiskuupäev;
- 5) gammakiirguse ja radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtetulemus(ed) mõõdetaval objektil;
- 6) kaevandi / mõõtmise sügavus;
- 7) kaevandis pinnase geoloogilise läbilõike kirjeldus;
- 8) pinnaseproovi võtmise korral võetud pinnaseproovi kihi paksus (intervalli pikkus) ja proovivao mõõtmed.

Mõõtmisprotokolli lisatakse kõik kõrvalekalded mõõtmisjuhendist või mõõtmiskeskonna muutused (näiteks meteotingimused), mis võisid mõjutada mõõtetulemust. Protokoll on aruande lahutamatu osa.

Uuritud ala pinnase radooniriski taset iseloomustav aruanne (ehk mõõtmisaruanne) on pärast mõõtmisi koostatav põhjalikum dokument, mis sisaldab ka radooni aktiivsuskontsentratsiooni analüüsi. Mõõtmisaruanandes sisalduva informatsiooni hulk sõltub mõõtmisviisist. Radooni otse-mõõtmisel käsitletakse aruanDES mõõtetulemusena mõõdetud radooni aktiivsuskontsentratsiooni, samas raadiumi järgi arvutatud radooni aktiivsuskontsentratsiooni meetodi korral nii Ra-226 (või eU) sisaldust (mõõdetud gammaspektromeetriga kohapeal või määratud laboratoorselt) kui ka kalkuleeritud radooni aktiivsuskontsentratsiooni. AruanDES peab esitama informatsiooni nii kohapeal tehtud mõõtmiste kui ka võetud pinnaseproovide kohta.

Mõõtmisaruanne peab sisaldama järgmist:

- 1) aruande kuupäev;
- 2) kasutatud meetodite kirjeldus;
- 3) mõõteseadmete tüüp ja nimetus, seadme seeria nr, kalibreerimisaeg;
- 4) mõõtmise aeg: kuupäev / proovivõtu aeg;
- 5) mõõtja / proovivõtja organisatsioon ja mõõtmiste / proovivõtu eest vastutava isiku nimi;

- 6) mõõtmis- / proovivõtupunktide asukoht. Asukoha koordinaadid tuleb anda WGS-84 süsteemis täpsusega ± 10 m;
- 7) foto uuringualast mõõtmise hetkel. Fotol peab olema tuvastatav mõõtmiskoht uuringualal ning mõõtmiseks kasutatud seadmed;
- 8) mõõtmis- / proovivõtupunkti asukoha pinnasetüüp;
- 9) mõõtetulemus koos mõõtemääramatusega;
- 10) kui Ra-226 määramine tehakse laboris, siis analüüsi protokoll või mõne muu dokumendi koopia, kus on kirjas mõõtetulemus koos mõõtemääramatusega;
- 11) radooni aktiivsuskontsentratsiooni tulemuste analüüs. Antakse hinnang uuritud objekti maa-ala radooniriski tasemele. Võimalusel või tellija soovil lisatakse radooniohu korral soovitud selle minimeerimiseks. Aruande analüüsis iseloomustatakse eraldi otsemõõtmise ja radiumi järgi arvutatud radooni aktiivsuskontsentratsioone pinnaseõhus. Radooniriski tase hinnatakse uuringupunktis (punktides) määratud kahe mõõtmisviisi tulemustest suurema järgi, juurde lisatakse kommentaarid;
- 12) kõrvalekalded mõõtmisjuhendist või mõõtmiskeskonna muutused, mis võisid mõjutada mõõtetulemusi;
- 13) aruande eest vastutava isiku nimi;
- 14) tööde vastutava täitja allkiri.

Vajadusel esitada lisateavet, milleks võib olla:

- 1) radooni aktiivsuskontsentratsiooni määramise eesmärgi selgitus;
- 2) uuringuala geoloogilise läbilõike lühiiseloostus: Lõuna-Eestis pinnakattest Devonini (k.a), Põhja-Eestis pinnakattest Alam-Ordoviitsiumini (k.a);
- 3) mõõtmis- / proovivõtupunktide valiku põhjendus;
- 4) mõõtmisala skeem, millele on märgitud mõõtmis- / proovivõtupunktide asukohad;
- 5) mõõtmistingimuste kirjeldus (näiteks meteotingimused);
- 6) analüüsi või mõõtmiste käigus selgunud muu teave.

Kirjandus

Åkerblom, G. 1994. Ground radon – monitoring procedures in Sweden. *Geoscientist*, **4**, 4, 21–27.

Clavensjö, B. & Åkerblom, G. 1994. *The Radon book. Measures against radon*. The Swedish Council for Building Research, Stockholm, 129 pp.

EVS 840:2017. Kalamees, T., Alev, Ü., Thalfeldt, M., Varda, K., Kurnitski, J. Juhised radoonikaitse meetmete kasutamiseks uutes ja olemasolevates hoonetes. Eesti Standardikeskuse standard.

Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations. 2000. The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden, 80 pp.