



OÜ Eesti Geoloogiakeskus
Geokeemia ja keskkonnageoloogia osakond

Valter Petersell

Krista Täht-Kok

Mark Karimov

Mikhail Shtokalenko

Heli Milvek

Siim Nirgi

TALLINNA RADOONIRISKI KAART

OÜ Eesti Geoloogiakeskus

juhatuse liige:

Aivar Pajupuu

Tallinn 2015

Terminid ja lühendid

Terminid

Bekerell (Bq) – aktiivsuse ühik, mida kasutatakse radionukliidi aktiivsuse tähistamiseks. 1 Bq = 1 lagunemine sekundis. Radoonisisalduse mõõtmiseks õhus kasutatakse tavaliselt mõõtühikut Bq/m³; pinnaseõhus – kBq/m³, ja vees – Bq/l.

Looduskiirgus – looduses esinevate kiirgusallikatega kaasnev kiirgus (käesolevas uuringus ainult U-238 ja Th-232 radioaktiivlagunemise ja K-40 poolt põhjustatud radioaktiivkiirgus).

Poolestusaeg – aeg, mille jooksul radioaktiivlagunemise tulemusel muundub pool algsetest radionukliididest (aatomtuumadest).

Radionukliid – aatomtuumad, mis on võimelised spontaanselt lagunema.

Uraan (U) – isotoopide U-238 (99,28%) ja U-235 (0,72%) summa.

eU – Ra-226-ga tasakaalus olev U-238 sisaldus.

eTh – Th-232-ga tasakaalus olev Th-sisaldus.

eK – K-40-ga tasakaalus olev K-sisaldus.

Radoon (Rn) – aatomnumbrit 86 omavate U-rea isotoopide U-238 ja U-235 ning tooriumirea isotoobi Th-232 radioaktiivlagunemisel tekkivate tütarelementide: radooni (Rn-222), aktinooni (Rn-219) ja torooni (Rn-220), summa ühisnimetus. Käesoleva kaardi puhul kasutatakse radoonina selle kitsamas mõistes Rn-222.

RnG – pinnase pinnaseõhus Ra-226 ehk eU radioaktiivlagunemisel kujuneva Rn maksimaalne migreerumisvõimeline sisaldus.

RnM – mõõtmisalal pinnaseõhus aeratsioonist säilinud Rn-sisaldus.

Siivert (Sv) – radioaktiivkiirgusdoosi ühik. 1 siivert on selline kiirgusdoos, mille bioloogiline toime on samaväärne gammakiirguse energiadoosiga 1 grei = 1 J/kg.

Tütarelemendid – U-238, U-235 ja Th-232 radioaktiivlagunemisrea elemendid.

Lühendid

Gsp – gamma-spektromeeter GR320 või GR256;

Em – emanomeeter Markus 10;

x_{\min} – minimaalne sisaldus;

x_{\max} – maksimaalne sisaldus;

x_a – keskmine aritmeetiline sisaldus;

s – standardhälve;

x_g – keskmine geomeetriline sisaldus;

ε – standardhälve kordajana;

e – Rn emanatsioonikoefitsient (emanatsiooni faktor);

p – pinnase poorsus;

δ – kuivpinnase kompaktne mahukaal (erikaal);

A – eU sisaldus pinnases, mg/kg või Bq/kg; 1 mg/kg = 12,3 Bq/kg.

Sisukord

Terminid ja lühendid	2
Sissejuhatus	8
1. Radoon (Rn)	10
1.1. Rn kujunemine ja ohtlikkus	10
1.2. Radooniriski vähendavad nõuded	13
2. Pinnase võimalikud tehnogeensed saasteallikad	14
3. Uurituse	15
4. Geoloogilise ehituse põhijooned	16
4.1. Tallinna pinnamood	16
4.2. Geoloogiline läbilõige	16
4.2.1. Aluskord ja aluspõhi	17
4.2.2. Kvaternaari setted (pinnakate)	18
5. Metoodika	19
5.1. Vaatluspunktide asukoha valik	19
5.2. Välimõõdistamised	20
5.3. Andmetöötlus	21
5.4. Tallinna radooniriski ja looduskiirguse kaardi koostamine	22
6. Radooni monitooring	24
6.1. Monitooringupunktid	26
6.2. Radoonist maapinnalähedases õhus	30
7. Tallinna radooniriski kaart (teemakaardid 1.1 kuni 1.4 ja 3)	31
7.1. Rn levik pinnaseõhus	31
7.2. Rn-riski tekke rajoneerimisest	36
8. Looduskiirgus	37
9. Keskkonnaohtlikest elementidest pinnases	41

Järeldused ja soovitused	59
Kirjandus	62

Tabelid

Tabel 1.1. Uraan-238 (U-238) radioaktiivse lagunemise rida.....	10
Tabel 1.2. Toorium-232 (Th-232) radioaktiivse lagunemise rida.....	12
Tabel 5.1. Reamõõtmise ja kontrollmõõtmise tulemused	21
Tabel 6.1. Rn-sisalduse mõõtmistulemused maapinnalähedases õhus	31
Tabel 7.1. Rn-sisaldus Tallinna pinnakatte olulisemate litotüüpide pinnaseõhus (kBq/m ³).....	33
Tabel 8.1. eU, eTh ja eK sisaldus pinnases	38
Tabel 9.1. Keskkonnaohtlike elementide sisaldus, mg/kg	43

Joonised

Joonis 1. Uuringuala asukoht	8
Joonis 2. Ruumisisesse õhu radoonisisalduse ja kopsuvähki haigestumise sageduse vaheline seos...13	
Joonis 6.1. Arvutatud (RnG) ja mõõdistatud (RnM) radoonisisalduste kõrvutamine kõigis mõõdistuspunktides ja grupeerituna litotüüpide järgi	25
Joonis 6.2. Monitooringupunktide asukohaskeem	26
Joonis 6.3. Monitooringupunkti nr 1 pinnaseõhus radooni (RnM) sisalduse variatsiooni aegrea graafik.....	27
Joonis 6.4. Monitooringupunkti nr 2 pinnaseõhus radooni (RnM) sisalduse variatsiooni aegrea graafik.....	28
Joonis 6.5. Monitooringupunkti nr 3 pinnaseõhus radooni (RnM) sisalduse variatsiooni aegrea graafik.....	29
Joonis 6.6. Monitooringupunkti nr 4 pinnaseõhus radooni (RnM) sisalduse variatsiooni aegrea graafik.....	29
Joonis 6.7. Monitooringupunkti nr 5 pinnaseõhus radooni (RnM) sisalduse variatsiooni aegrea graafik.....	30
Joonis 7.1. Pinnases eU sisalduse järgi arvutatud RnG sisalduse ja pinnaseõhus otsemõõdetud RnM sisalduse ning looduskiirguse taseme sageduse diagrammid	32
Joonis 7.2. Pinnases eU sisalduse järgi arvutatud RnG ja pinnaseõhus otsemõõdetud RnM sisalduse suhe.....	34

Joonis 7.3. Pinnaseõhus otsemõõdetud RnM sisalduse ja pinnases eU sisalduse järgi arvutatud RnG sisalduse vahe.....	35
Joonis 8.1. eU, eTh ja eK sisalduse jaotus mulla lähtekivimi litotüüpides.....	39
Joonis 9.1. Pinnaseproovide võtmise punktid.....	41
Joonis 9.2. Arseeni (As) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B).....	45
Joonis 9.3. Kaadmiumi (Cd) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B).....	46
Joonis 9.4. Fluori (F) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B).....	47
Joonis 9.5. Elavhõbeda (Hg) kuningvees lahustuv sisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B).....	48
Joonis 9.6. Molübdeeni (Mo) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B).....	49
Joonis 9.7. Plii (Pb) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B).....	50
Joonis 9.8. Seeleni (Se) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B).....	51
Joonis 9.9. Talliumi (Tl) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B).....	52
Joonis 9.10. Uraani (U) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B).....	53
Joonis 9.11. Vanaadiumi (V) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B).....	54
Joonis 9.12. Tsingi (Zn) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B).....	55
Joonis 9.13. Mulla lähtekivimis ja huumushorisondis keskkonnaohtlike elementide geomeetriliste keskmiste sisalduste suhted. Hg – kuningvees lahustuvad sisaldused; ülejäänud – kogusisaldused.	56
Joonis 9.14. Kaadmiumi (Cd) kogusisalduste vahe mulla huumushorisondis ja lähtekivimis (huumushorisondi rikastumine kaadmiumiga).....	56
Joonis 9.15. Elavhõbeda (Hg) kuningvees lahustuvate sisalduste vahe mulla huumushorisondis ja lähtekivimis (huumushorisondi rikastumine elavhõbedaga).....	57
Joonis 9.16. Plii (Pb) kogusisalduste vahe mulla huumushorisondis ja lähtekivimis (huumushorisondi rikastumine pliiga).....	57
Joonis 9.17. Tsingi (Zn) kogusisalduste vahe mulla huumushorisondis ja lähtekivimis (huumushorisondi rikastumine tsingiga).....	58

Tekstilisad

1. Keskkonnaohtlike elementide sisaldus mulla lähtekivimis.....	85
2. Keskkonnaohtlike elementide sisaldus huumushorisondis (pindmises kihis).....	86

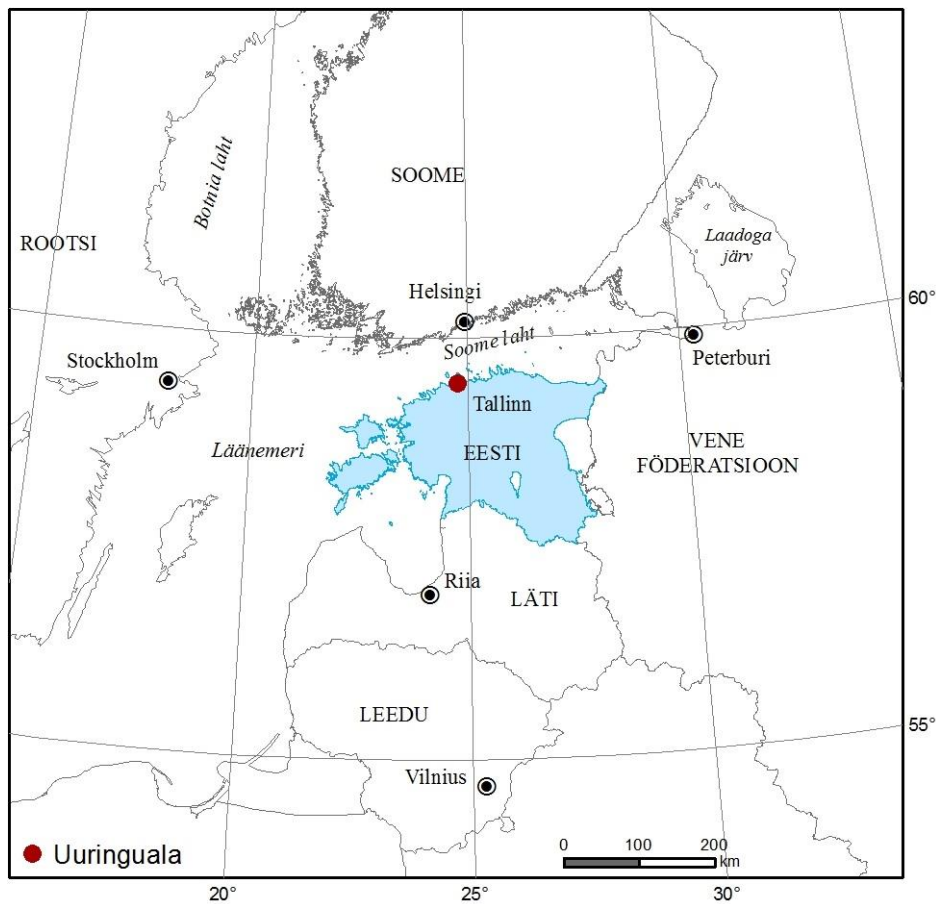
Graafilised lisad

1. Tallinna pinnase Rn-222 sisalduse kaart, M 1:50 000
 - 1.1. Maksimaalne radoonisisaldus pinnaseõhus
 - 1.2. Radoonisisaldus pinnaseõhus otsemõõdetult (1 m sügavusel)
 - 1.3. Radoonisisaldus pinnaseõhus eU järgi arvutatult
 - 1.4. Raadiumi (Ra-226) sisaldus pinnases
2. Tallinna pinnase looduskiirguse kaart, M 1:50 000
 - 2.1. Pinnase looduskiirgus
 - 2.2. eU sisaldus pinnases
 - 2.3. eTh sisaldus pinnases
 - 2.4. eK sisaldus pinnases
3. Faktilise materjali kaart, M 1:50 000
4. Tallinna aluspõhja geoloogiline kaart, M 1:50 000
5. Tallinna aluspõhja reljeefi kaart, M 1:50 000
6. Tallinna pinnakatte geoloogiline kaart, M 1:50 000
7. Tallinna pinnakatte paksuste kaart, M 1:50 000

Sissejuhatus

Tallinn on Eesti Vabariigi pealinn ja ühtlasi suurim linn, kus 2015. aasta 1. jaanuari seisuga elas 434 426 inimest, see on 33% Eesti rahvastikust. Tallinna pindala on 158 km².

Tallinn asub Soome lahe lõunaranniku vööndis, linna järgi nime saanud lahe kaldal (Joonis 1). Nii nagu paljud mereäärsed linnad, on ka Tallinn välja veninud piki lahe kallast. Tallinn on kujunenud Toompea kõrgendikul asuva kindluse ümber. Geoloogiliselt on Toompea kõrgendik kirdeedelasuunaline ovaalne klindisaar (Suuroja, 2008), mille abs kõrgus ulatub 48 m.



Joonis 1. Uuringuala asukoht

Ligikaudu paralleelselt varasemale mererannikule läbib linna klindiasrang, mis jagab linna territooriumi mereäärseks klindieelseks tasandikuks ja klindipealseks, kuni 50 m kõrguseks lubjakiviplatooks. Astangu nõlvadel paljanduvad või avanevad pinnakatte all uraanirikkad kivimid: diktüoneemakilt ja oobolusliivakivi (fosforiit). Nimetatud kivimeis ületab U-sisaldus 3–50 ja enam korda maakoore keskmise. See on põhjuseks, miks valdav enamus linna territooriumist paikneb kõrge või eriti kõrge Rn-riski piirkonnas.

Elanike tervist silmas pidades ja Rn-riski taset vähendavate meetmete rakendamise eesmärgil kavandas Tallinna Keskkonnaamet linna territooriumi Rn-riski kaardi koostamise. Väljakuulutatud konkursi võitis osühing Eesti Geoloogiakeskus ja käesolev kaart on nimetatud linna pinnase Rn-riski taseme selgitamise tulemus.

Radooniriski kaardi koostamise aluseks olid Rn-sisalduse määrangud 304 uue ja 307 varasema uuringupunkti pinnaseõhus ning pinnase eU (Ra-226), eTh (Th-232) ja eK (K-40) sisalduse andmed, samuti 5 monitooringupunkti andmed. Kaardi koostamisel tugineti Eestis kehtivatele normatiividele (Radooniohutu ..., 2009) ja arusaamadele, WHO soovitudele (WHO handbook ..., 2009), samuti IAEA standardile No SSG-32 (Protection of the ..., 2015).

Tallinna radooniriski kaardile lisaks iseloomustatakse täiendavalt eU, eTh ja eK sisaldust pinnases. Nende andmete analüüs võimaldab hinnata pinnase looduskiirguse taset ja selle pindalalisi erinevusi ning koostada pinnase looduskiirguse kaardi KKM määrusega nr 45 (Kiirgustöötaja ..., 2005) kehtestatud nõudeid ja IAEA standardi No SSG-32 ning STUK-i soovitusi jälgides.

Kaardil iseloomustatakse lühidalt ka pinnase keskkonnaohtlike elementide sisaldust.

Käesolevas seletuskirjas antakse info vajalikest meetmetest ja esialgsed soovitused elanike Rn-riski taseme ja looduskiirguse mõju vähendamiseks.

Uuringud tehti ajavahemikus 2013. a novembrist kuni 2015. a oktoobrini Eesti Geoloogiakeskuse aparatuuriga (Portable gamma RAY Spectrometer – 2 komplekti, emanomeeter Markus 10 – 2 komplekti, ning radiomeeter).

Uuringud tehti kogu Tallinna maismaa piires 304 vaatluspunktis. Nendele lisati erinevate asutuste poolt varasemate otsetellimuste tulemusel sama meetodika ja aparatuuriga saadud 307 uuringupunkti andmed. Suuremat tähelepanu osutati klindialustele ja nõlva (varikalde) setetele, samuti ürgorgudele, esmajärjekorras nende nõlvadele.

Tallinna radooniriski kaart on koostatud suhteliselt hõreda ja ebaühtlase uuringupunktide võrgu alusel. Samas näitavad saadud tulemused, et Rn-probleem on ulatuslik ja reas kohtades klindivöõndis väga tõsine. Kõrgele Rn-riskile lisandub kõrge looduskiirgus ja elamumaa pinnase kõrge kuni lubatust kõrgem keskkonnaohtlike elementide (U, F, Hg, Pb, Cd jt) sisaldus.

Autorid loodavad, et käesolev töö annab esialgse ülevaate Tallinna pinnaseõhu Rn-sisaldusest ning radioaktiivsete elementide: eU (Ra-226), eTh (Th-232) ja eK (K-40), ning keskkonnaohtlike elementide levikust pinnases.

Kuigi vaatluspunktide võrk on veel hõre, võimaldavad kogutud andmed määratleda eriti keskkonnaohtlikud, esmajärjekorras detailiseerimist vajavad piirkonnad.

Töös kasutatud pinnaseproovide laboratoorsed määrangud on tehtud Eesti Geoloogiakeskuse ja Kanada AcmeLabs laboratooriumides.

Tallinna radooniriski ja looduskiirguse kaardi koostamisel tegi välitööd, kogus ja töötles info tiitellehel toodud autorite kollektiiv.

Autorid avaldavad tänu Tallinna keskkonnanohiu osakonna juhtivspetsialistile proua Triin Ristmetsale operatiivse ja abivalmi koostöö eest.

1. Radoon (Rn)

1.1. Rn kujunemine ja ohtlikkus

Radoon-222 (Rn-222) on kõrgradioaktiivne inertne gaas, mille radioaktiivsel lagunemisel kuni stabiilse plii (Pb-206) moodustumiseni tekib järjestikku 7 lühiajalist, samuti kõrgradioaktiivset, kuid juba tahkes olekus esinevat isotoopi (Tabel 1.1). Kaasaja meditsiini seisukohalt on Rn ja selle tütarelemendid tervist kahjustavad. Need jõuavad inimorganismi peamiselt hingamisel ja on olulised kopsuvähi põhjustajad. Erinevates maades tehtud uuringud on näidanud, et Rn-sisalduse tõus eluruumide siseõhus üle foonilise sisalduse suurendab iga 100 Bq/m³ kohta kopsuvähi riski 9% kuni 15% ja enamgi. Eriti ohtlik on Rn suitsetajatele. Organismi kanduvad täiendavalt ka õhus hõljuvatele suitsuosakestele ladestuvad Rn tütarelemendid.

Tabel 1.1. Uraan-238 (U-238) radioaktiivse lagunemise rida

Isotoop	Radioaktiivne poolestusaeg	Radiatsiooni tüüp	Märkused
Uraan -238 (U)	4,5 × 10 ⁹ aastat	α	Metall
Toorium -234 (Th)	24,1 päeva	β	Metall
Protaktiinium-234 (Pa)	1,17 minutit	β	Metall
Uraan-234 (U)	2,24 × 10 ⁵ aastat	α	Metall
Toorium-230 (Th)	8,0 × 10 ⁴ aastat	α	Metall
Raadium-226 (Ra)	1620 aastat	α	Metall
Radoon-222 (Rn)	3,823 päeva	α	Gaas
Poloonium-218 (Po)	3,05 minutit	α	Metall
Plii-214 (Pb)	26,8 minutit	β, γ	Metall
Vismut-214 (Bi)	19,7 minutit	β, γ	Metall
Poloonium-214 (Po)	1,6 × 10 ⁻⁴ sekundit	α	Metall
Plii-210 (Pb)	21,3 aastat	β	Metall
Vismut-210 (Bi)	5,01 päeva	β	Metall
Poloonium-210 (Po)	138,4 päeva	α	Metall
Plii-206 (Pb)	-	-	Metall

Looduses tekib radoon U ja Th radioaktiivsel lagunemisel (Tabel 1.1 ja Tabel 1.2) ning koosneb kolmest isotoobist: radoon-222 (Rn-222) ehk radoonist, radoon-220 (Rn-220) ehk toroonist ja radoon-219 (Rn-219) ehk aktinoonist.

Looduslik U koosneb peamiselt kahest isotoobist: U-238, mis moodustab 99,28%, ja U-235, mis moodustab 0,72%. Toorium (Th) koosneb praktiliselt 100%-lt isotoobist Th-232. Inimeste tervist ohustav Rn on peamiselt U isotoobi U-238 radioaktiivsel lagunemisel tekkiva Ra-226 vahetu lagunemise produkt ja on esindatud Rn-222 isotoobiga (Tabel 1.1). U-238 poolestusaeg on mõõdetav miljardite aastatega, Ra-226 poolestusaeg on 1620 aastat ja Rn-222 poolestusaeg ainult 3,82 ööpäeva. Ka Th isotoobi Th-232 radioaktiivsel lagunemisel tekkiva raadiumi (Ra-224) lagunemisel eraldub Rn. Selle radooni ehk torooni (Rn-220) poolestusaeg on ainult 55,6 sekundit (Tabel 1.2) ja sellest tulenevalt on Rn-220 osakaal loodusliku Rn koostises tagasihoidlik. Samas pole välistatud, et kivimite kõrge Th-sisalduse korral (> 24 mg/kg) võib kinnistes ruumides kontsentreeruv toroon osutada oluliselt tervist kahjustavaks. U-235 lagunemisel tekkiva radooni ehk aktinooni (Rn-219) sisaldus on väga väike, ühelt poolt tänu U-235 väikesele sisaldusele ja teiselt poolt Rn-219 väga lühikesele (3,92 sekundit) poolestusajale. Sellest tingituna moodustab Rn-222 poolt põhjustatud radioaktiivne kiirgus kogu radooni päritoluga kiirgusest üle 93% (UNSCEAR, 1993) ning selle mõju elanikkonnale on määrav. Edaspidi käsitleme Rn-222 tinglikult radoonina (Rn).

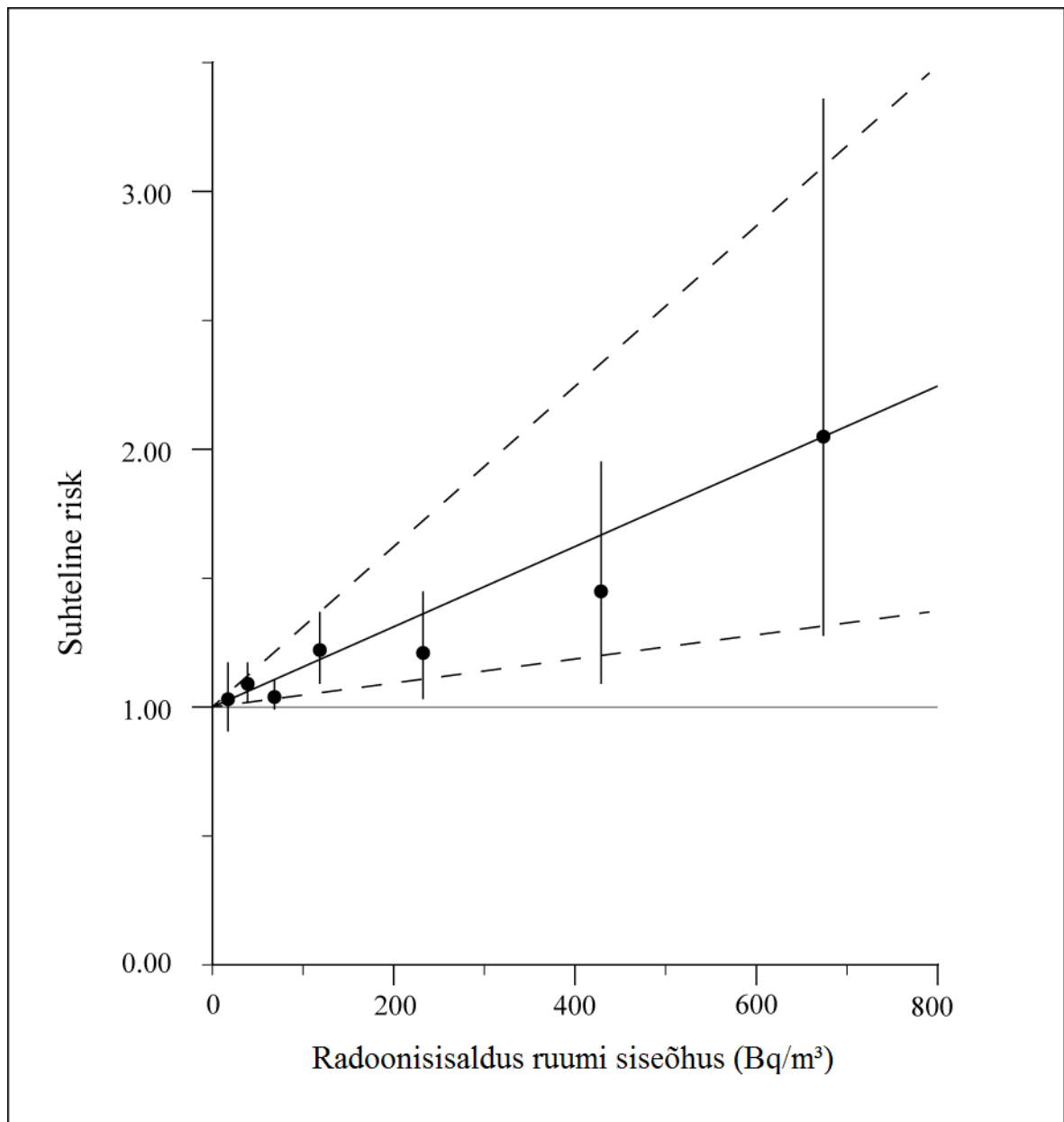
Ra ja Rn on U-238 loodusliku radioaktiivse rea elemendid, nende keskmine sisaldus on maakoos vastavalt $n \times 10^{-6}$ mg/kg, $n \times 10^{-10}$ mg/kg ja 2,5 mg/kg (Ivanov, 1996). Vanades paleosoilistes kivimites on U, Ra ja Rn suhtevahekord normaalsetes looduslikes tingimustes tasakaalus ehk stabiilne. See võimaldab küllalt põhjendatult kasutada üleminekukoefitsiente ühe elemendi määrangu tulemuse väljendamiseks teise kaudu. Noorte (meie alal Kvaternaari) setete kujunemisel ja kivimite murenemisel võivad U ja selle radioaktiivsel lagunemisel tekkivad elemendid migreeruda erinevalt. Erinevates pH ja elektrijuhtivuse ning aeratsiooni tingimustes need elemendid kas hajuvad või kontsentreeruvad erinevalt. Samal ajal, tänu Ra lühikesele poolestusajale, jääb Ra ja Rn suhe üldjuhul stabiilseks ning tasakaalus olevaks.

Tabel 1.2. Toorium-232 (Th-232) radioaktiivse lagunemise rida

Isotoop	Radioaktiivne poolestusaeg	Radiatsiooni tüüp	Märkused
Toorium-232 (Th)	1,41 x 10 ¹⁰ aastat	α	Metall
Raadium-228 (Ra)	5,76 aastat	β	Metall
Aktinoon-228 (Ac)	6,13 tundi	β, γ	Metall
Toorium-228 (Th)	1,913 aastat	α, γ	Metall
Raadium-224 (Ra)	3,66 päeva	α, γ	Metall
Radoon-220 (Rn)	55,6 sekundit	α	Gaas, tuntud ka toroonina
Poloonium-216 (Po)	0,15 sekundit	α	Metall
Plii-212 (Pb)	10,64 tundi	β, γ	Metall
Vismut-212 (Bi)	60,6 minutit	α, β, γ	Metall
Poloonium-212 (Po)	3,4 x 10 ⁻⁷ sekundit	α	Metall
Tallium-208 (Tl)	3,05 minutit	β, γ	Metall
Plii-208 (Pb)			Metall

Rn on inertne gaas, olles ligi 7,7 korda õhust raskem. See difundeerub pinnasest õhku peamiselt rõhkude erinevuse tulemusel, kuid samuti koos geogaasidega (He-, N- ja C-ühendid) ja vee koostises. Rn-sisaldus pinnaseõhus saavutab stabiilsuse ligi 2 m sügavusel maapinnast ja sügavamal. Mida lähemale maapinnale, seda intensiivsemalt toimub pinnaseõhu aereerumine ja Rn migreerumine õhku. Õhu koostises kontsentreerub Rn keldrites ja majade esimestel korrustel, eriti ventilatsiooniga kaasnevate vaakumiilmingute tingimustes.

Nagu mainitud, on Rn kõrgradioaktiivne, kantserogeenne ja mutatsioone põhjustav element, kopsuvähi oluline põhjustaja (Joonis 2). Ta laguneb reaks radioaktiivseteks elementideks (tütarelementideks) kuni stabiilse Pb-206 tekkeni (Tabel 1.1). Rn satub inimorganismi peamiselt hingamisel. Rn-rikkas keskkonnas algab Rn tütarelementide ladestumine organismis, kus nende lagunemine jätkub. Kuigi Rn enda poolestusaeg on ainult 3,82 päeva, moodustab temast järjestikku tekkivate, 7 radioaktiivse metalli summaarne poolestusaeg ligi 22 aastat. Seega kujuneb sissehingatud või muul kujul organismi sattuvatest ja sinna jäävatest Rn-rea elementidest radioaktiivne kiirgusallikas pikaks ajaks, mis lisanduvate annuste puhul kogu elu jooksul täieneb.



Joonis 2. Ruumisese õhu radoonisisalduse ja kopsuvähki haigestumise sageduse vaheline seos

1.2. Radooniriski vähendavad nõuded

Rn ja eriti selle tütarelementidega kaasnev negatiivne mõju inimese tervisele tingis vajaduse kehtestada elamute ja tööruumide siseõhus maksimaalselt lubatud Rn piirkontsentratsiooni, mis on enamuse Euroopa maade uute eluruumide siseõhus 200 Bq/m³ ja vanade majade siseõhus erinevates maades erinev: 200–400 Bq/m³ (Åkerblom, 1999; Naturally ..., 2000). Eestis ei tohi Rn-sisaldus uute majade siseõhus ületada 200 Bq/m³ (Radooniohutu ..., 2009), vanade majade kohta piirnõormid veel puuduvad. Venemaal ei tohi elumajade siseõhu Rn-sisaldus ületada 100 Bq/m³, USA-s – soovituslikult 150 Bq/m³.

Viimaste aastate WHO uuringute tulemusel (WHO handbook ..., 2009) ei peaks elumajade siseõhus Rn-sisaldus ületama 100 Bq/m³. Kui seda pole võimalik kindlustada, siis kindlasti ei või Rn-sisaldus majade siseõhus ületada 300 Bq/m³ piiri. Need seisukohad on tunnustatud ka IAEA Safety Standards'is No SSG-32 (2015).

Joonis 2-lt järeldub, et Rn tervist kahjustav mõju on märgatav ka siis, kui Rn-sisaldus on elumajade siseõhus alla 100 Bq/m³. Tuleb nõustuda WHO seisukohaga, et mida madalam on Rn-sisaldus majade siseõhus, seda tervislikum see on.

Majade siseõhu Rn peamiseks ja üldiseks allikaks on majaanlane pinnas. Sõltuvalt Rn migratsiooni võimalustest pinnasest majade siseõhku, ei peaks elamurajoonide pinnase Rn-sisaldus maapinnast 1 m sügavusel pinnaseõhus ületama 50 000 Bq/m³. Eesti projekteerimismatiivides on see tase seadustatud (Radooniohutu ..., 2009). Kui lähtuda mainitud WHO soovitusel (100 Bq/m³), ei peaks majaanluses pinnaseõhus Rn-sisaldus Rn-vastaseid meetmeid rakendamata ületama 30 000 Bq/m³. See on muidugi autorite seisukoht, mis vajab täpsustust.

2. Pinnase võimalikud tehnogeensed saasteallikad

Nagu mainitud, on Tallinna pindala 158 km² ja linnas elab ligi 435 000 inimest. Linnas puuduvad radooniriski suurendavad ja keskkonda nii radioaktiivsete kui ka teiste keskkonnaohtlike elementidega saastavad tööstusettevõtted.

Rn-riski on teadmatusel suurendatud ehitustegevuse tulemusel. Majadealuseks täitepinnaseks on kasutatud uraanirikast pinnast (liiva, kruusa, klindi varikalde setteid). Selliseid juhte esineb piirkondades (Kose, Merivälja jt), kus pinnasevee tase on kõrge ja majade aluseks on kasutatud U-rikast pinnast, mille U-sisaldust pole kontrollitud. Pole välistatud, et sellised juhud jätkuvad.

Reaalseteks keskkonnaohtlikeks saasteallikateks on suured ja ka väikesed küttekolded, esmajärjekorras need, mis kasutavad kütuseks tahkeid aineid. Selles valdkonnas on kõige ohtlikum kivisüsi, millest osa Poola ja Venemaa maardlatest pärinevat on raskmetalliderikas. Ka pole usaldusväärset infot energiatootmiseks kasutatavas olmeprügis värvirikaste pakendite raskmetallide sisalduse kohta. Põletamisel osa kütuses olevatest raskmetallidest või nende ühenditest aurustub (Hg, Hg, Sn, Pb, Zn jt), lendub atmosfääri ja saastab ulatuslikke pindalaid. Saasteallikateks on kahtlemata transport, esmajärjekorras kütusel töötav. Pinnase ülemises kihis (huumushorisondis) on juba Cd, Hg jt raskmetallide sisaldus kuni 2 ja enam korda kõrgem kui mulla lähtekivimis. Saastatuse tasemest kergesti lenduvate raskmetallidega antakse orienteeruv ülevaade 9. peatükis.

3. Uuritus

Rn-probleem on suhteliselt uus. See kerkis päevakorda alles möödunud sajandi 50–60ndatel aastatel, kui selgus, et kõrge Rn-sisaldus kaevanduste õhus oli USA uraanikaevandustes töötavate kaevurite massilise kopsuvähi põhjustajaks.

Esimesed Rn-sisalduse otsemõõtmised Eesti majade keldrite või esimese korruse õhus tehti aastail 1985–1990 (Naumov jt, 1993). Plaanipäraseid uuringuid alustas Eesti Kiirguskeskus iseseisvalt ja koostöös Rootsi Kiirguskaitse Instituudiga 1994. a. Käesolevaks ajaks on tehtud Eestis, sealhulgas ka Tallinnas ühekorruseliste majade ja mitmekorruseliste majade esimese korruse siseõhust enam kui 1600 juhuslikku Rn otsemäärangut. Mõõteandmed näitavad, et majade õhus on Rn-sisaldus väga varieeruv (Pahapill, 2000; Pahapill jt, 2003). Rn kontsentreerub sageli ruumide õhus. Erinevate maakondade lõikes ületab kuni 35% ja asulate lõikes kuni 72% mõõdetud elamutes Rn-sisaldus Põhjamaade poolt soovitatud ja Eestis kehtestatud piirnormi (200 Bq/m^3). Maksimaalsed Rn-sisaldused ulatuvad $800\text{--}3000 \text{ Bq/m}^3$, erandjuhtudel ületavad selle piiri ning Kundas ulatuvad $10\,000 \text{ Bq/m}^3$.

Eesti pinnaseõhus määrati Rn-sisaldus esimestes üksikpunktides 1995. aastal koostöös Rootsi Kiirguskaitse Instituudi teadlastega ja nende aparatuuriga. Saadud määrangute alusel ulatub Sillamäe linna territooriumi pinnaseõhu Rn-sisaldus kuni 2500 kBq/m^3 (Pahapill, 2000). Selgus, et peamiseks Rn-allikaks on kõrge U-sisaldusega diktüoneemakilt ja samuti fosforiit.

Tuginedes diktüoneemakilda ja fosforiidi avamustele, piiritlesid R. Raudsep ja G. Samuel 1999. a Eestis esmakordselt radooniohtlikud alad (Raudsep & Samuel, 1999).

Kõrge Rn-sisalduse taseme põhjusena majade siseõhus eeldati kõrget Rn-sisalduse taset pinnaseõhus ja 2001. a alustas Eesti Geoloogiakeskus (EGK) probleemi selgitamist. Ajavahemikus 2001 kuni 2004 koostati esimene Eesti radooniriski kaart mõõtkavas 1:500 000. Kaardi koostamisel lähtuti Rootsi Kiirguskaitse Instituudis väljatöötatud pinnase Rn-riski taseme selgitamise metoodikast (Åkerblom, 1994; Clavensjö & Åkerblom, 1994). Eestis juurutati metoodika põhimõtted EGK tegevusse koostöös Rootsi Kiirguskaitse Instituudi, Rootsi Geoloogiateenistuse ja Eesti Kiirguskeskusega. Rn-riski kaardi koostamise tulemusena selgus, et ligi 1/3 Eesti maismaa pindalast on kõrge ($> 50 \text{ kBq/m}^3$) või eriti kõrge ($> 250 \text{ kBq/m}^3$) Rn-riski tasemega (Petersell jt, 2005). Need on piirkonnad, kus pinnases, aluspõhjakiivimites või nii pinnases kui ka aluspõhjakiivimis on kõrge U-sisaldus ($> 3,5\text{--}5 \text{ mg/kg}$). Kõrge ja eriti kõrge Rn-riski piirkonda jäi ka valdav osa Tallinna territooriumist.

Erinevate maavaldajate tellimustööna selgitas OÜ Eesti Geoloogiakeskus ajavahemikus 2005 kuni 2013 Tallinnas enam kui 100 kinnistu või kinnistute grupi pinnase Rn-riski taset. Uuringud teostati Eesti Rn-riski kaardi koostamisel kasutatud metoodilisi nõudeid ja suuniseid järgides ning sama aparatuuriga.

4. Geoloogilise ehituse põhijooned

4.1. Tallinna pinnamood

Tallinna pinnamoes joonistuvad reljeefselt välja kaks tasandikku, mida eraldab Põhja-Eesti klint. Klindi kohal laiuvat tasandikku nimetatakse Põhja-Eesti klindiplatooks, klindipealseks tasandikuks või paelavaks (Raukas, 2010). Mereäärse tasase ala levinuim nimetus on klindieelne tasandik. Neid kahte peamist geomorfoloogilist pinnavormi eraldab teineteisest Põhja-Eesti klint (Tammekann, 1934), mis kohati kõrgub paarikümnemeetrise järsakuna või mitme äratuntava astmena, võib aga olla täielikult mattunud pinnakattesetete alla ja jääda täiesti aimamatuks.

Klindipealne lavamaa on tasase pinnamoega, mille kõrgus on keskmiselt 40–44 m. Suurimad kõrgused klindipealsel alal küündivad üle 45 m, Maarjamäe klindineemikul kuni 47–48,5 meetrini, Sõjamäel Jüriöö pargis 52,6 meetrini. Paepealne tasandik on rannäärsest tasandikust kuni nelikümmend meetrit kõrgem.

Klindieelsel tasandikul on maapind mereäärsel alal vaid mõne meetri võrra merest kõrgemale kerkinud ja üle kümne meetri merepinnast künivad vaid kunagised rannavallid või moreenseljandikud.

Eristatakse Harku, Lilleküla, Kadrioru ja Pirita tasandikku ning rida õhukese pinnakattega kaetud aluspõhjalisi kõrgendikke, millest suuremad on Kopli ja Kakumäe (Künnapuu jt, 1981; 1984).

4.2. Geoloogiline läbilõige

Tallinn paikneb Ida-Euroopa settelava loodeosas, Fennoskandia (Balti) kilbiga piirneval alal. Piirkonna geoloogilisest arengust tingituna koosneb siinse maakoore ülemine osa kolmest üksteisel lasuvast, kivimiliselt oluliselt erinevast kivimkompleksist: proterosoilisest kristalsest aluskorrast, sellel lasuvatest Vendi ja Paleosoikumi settelistest aluspõhjakivimitest ja neid katvatest pudedatest Kvaternaari setetest ehk pinnakattest. Viimastes osalevad suuremal või väiksemal määral kõigi eelpool mainitud kivimkomplekside purustatud ja peenestatud erimid.

4.2.1. Aluskord ja aluspõhi

Tallinna pinnase mineraalset ja keemilist koostist mõjustavad kristalse aluskorra kivimid avanevad vahetult pudedate Kvaternaari setete all Soome lahe kesk- ja põhjaosas, Lõuna- ja Kesk-Soomes ning samuti Läänemere põhjas (Koistinen, ed. 1996). Need on esindatud erineva mineraalse ja keemilise koostisega kiltade ja gneissidega ning intrusiivsete kivimitega, mille koostis varieerub happelistest kuni ultraaluselisteni. Ka leelisrea kivimid on esindatud. Paljudes kohtades Lõuna-Soomes paljanduvad pudedate setete all U-, Th- ja K-rikkad granitoidid (The Geochemical ..., 1992). Eesti pinnase Rn-sisaldusele on neist olulisemat mõju avaldanud rabakiviformatsiooni kuuluvad graniidid, mis on tavaliselt kõrgendatud U-sisaldusega (3–9 mg/kg).

Soome lahe lõunaosas ja kogu Eesti territooriumil on kristalse aluskorra kivimid kaetud Ediacara (Vendi) ja Paleosoikumi sette kivimitega. Nende ladekondade kivimid moodustavad subparalleelsed kihid, mis koos aluskorra pealispinnaga on kallutatud lõunasse, langusega ligi 3 m 1 km kohta. Sellest tulenevalt avanevad aluspõhjakiivid lääne–idasuunaliste vöönditena, kus vanemaid kivimeid katavad lõuna suunas järjest nooremad kivimid. Settekivimite kompleksi paksus varieerub mererannas 132–140 m piirides ja suureneb Tallinna lõunapiiril nii kihtide kallakuse kui ka maapinna tõusu tulemusel 190–220 meetrini. Linna piires pinnakatte all avanevatest aluspõhjakiivimitest ja nende litoloogilisest koostisest annavad ülevaate aluspõhja geoloogiline kaart (gr. lisa 4) ja aluspõhja reljeefi kaart (gr. lisa 5). Tallinna territooriumil lõikuvad aluspõhjakiivimitesse (läänest itta) Kakumäe, Kopli, Kesklinna ja Pirita ürgorg. Nendest Kakumäe ja Pirita läbivad kogu aluspõhja ja lõikuvad ka mõned meetrid kristalsesse aluskorda. Vahetult aluskorra murenenud pinnal lasuvad Ediacara ja nendel Kambriumi aleuriidid, liivakivid ja savid (gr. lisa 4). Kivimite kogupaksus jääb 140–160 m piiridesse. Vaadeldavad omaaegse normaal- ja madalmerese setted koosnevad peamiselt kvartsist, päevakividest, vilkudest ja savimineraalidest: kaoliniidist, illiidist ning mõningal määral kloriidist ja montmorilloniidist. Karbonaadid kas puuduvad või on esindatud vähesel määral. Ka U- ja Th-rikkad mineraalid esinevad hajutatult, peamiselt murenemisele vastupidavate erimitena (tsirkoon, monatsiit, ksenotiim ja apatiit).

Kambriumi sette kivimitel lasuvad märgatava põiksusega Alam-Ordoviitsiumi oobolusliivakivi (fosforiit), diktüoneemakilt, savi ja glaukoniitliivakivi (savi). Need kivimid moodustavad Alam-Ordoviitsiumi terrigeense kompleksi ja paljanduvad klindil ning lubjakiviplateosse lõikuvate orgude nõlvadel. Alam-Ordoviitsiumi terrigeense kompleksi erimid – diktüoneemakilt ja oobolusliivakivi (fosforiit) – on U-, K- ja mitmete mikroelementide rikkad (Petersell, 1997). Tallinna piirkonnas ulatub U-sisaldus kildas 140 mg/kg ja fosforiidis 40 mg/kg.

Alam-Ordoviitsiumi terrigeensete kivimite avamustest lõunasse kuni linna lõunapiirini ja kaugemale paljanduvad või avanevad Kvaternaari setete all Kesk-Ordoviitsiumi karbonaatsed kivimid: lubjakivid, dolomiidid jt.

Fennoskandia kilbi kivimite makro- ja mikroelementide keskmine sisaldus on lähedane maakoore keskmisele (The Geochemical ..., 1992). Nii Eesti aluspõhjakivimite makro- kui ka mikroelementide sisaldust, välja arvatud Alam-Ordoviitsiumi terrigeenses kompleksis, on selgitatud väga tagasihoidlikult. Mineraalsest koostisest ja maavarade uuringute andmetest lähtudes on see tõenäoliselt lähedane vastavalt kas savide, liivakivide või karbonaatsete kivimite keskmisele sisaldusele maakoores (The Geochemical ..., 1992).

4.2.2. Kvaternaari setted (pinnakate)

Pinnakatet moodustavate (Kvaternaari) setete paksus on väga erinev, mõnekümnest sentimeetrist alvarite piires kuni kümnete meetriteni ja maksimaalselt 125 m ürgorgude suudmeala piires (gr. lisa 7). Kvaternaari setete hulgas on kindlasti esikohal mandrijää liustikusetted: moreen ja Balti jääpaisjärve, kohalike jääjärvede ning vooluvete aleuriit ja liiv, harva kruus ja savi (gr. lisa 6). Läänemere Litoriina ja Limnea arengustaadiumide aleuriit ja liiv levivad klindieelsel tasandikul. Tagasihoidlikult on esindatud Holotseeni soo-, jõe- ja tuulesetted. Suurtel aladel võib moreen olla kaetud nii jääjärve- kui ka meresetetega. Alvarite piires levib tavaliselt moreen, ürgorgude piires levivad erinevad litotüübid, kohati diktüoneemakilda peenese- ja purrurikkad.

Omaette settetüübiks on kujunenud klindinõlva ja -jalami setted (kaardil pole neid eristatud). Põhiliselt koosnevad need moreenist või aleuriidi ja liiva segust, kuid pea kõikjal esineb nendes muutlikus koguses diktüoneemakilda ja fosforiidi purdu ning peenest. Ka tehnogeensed setted on heterogeensed. Valdavalt on need ümberkanditud kohalikud setted, mis sisaldavad kivist ehitiste lammutusjäätmekilbi, sageli kiviisoo- ja põlevkivituhka, kaugemalt veetud moreeni ja isegi klindi nõlvaseteid.

Erandliku geoloogilise läbilõikega on ka Nõmme–Pääsküla piirkond. Siin levib ulatuslikul alal sanduritekkeline väheste saviosakestega liiv, mille paksus on varieeruv ja ületab linna piiril paiknevates maardlates 10 m piiri. Liiva all levib jääjärveline aleuriit ning moreen. Vaadeldavas piirkonnas jääb lubjakivil lasuva pinnakatte paksus valdavalt 18–25 m piiridesse.

Mandriiustikud töid Tallinna piirkonda suurtes kogustes Läänemere (esmajärjekorras Soome lahe) põhjas ja Lõuna-Soomes paljanduvate kristalse aluskorra kivimite ja maakide peenestatud osakesi ning rahne (Viiding, 1984). Koos erineva hulga kristalse aluskorra kivimitega purustasid liustikud

aluspõhjakivimeid, nende hulgas diktüoneemakilta ja fosforiiti ning kandsid neid kümneid kilomeetreid lõuna suunas. Osaliselt sorteeriti see materjal voolu- ja jääjärvede vee poolt ning kujunenud aleuriit ja liiv jäid omakorda lamama valdavalt moreenil.

Holotseeni-aegse Läänemere staadiumide veetase ulatus paljudes kohtades klindiasanguni. Merelainetus purustas seda ja kandis ka U-rikast purdu ja peenest mere suunas. Klindieelsel tasandikul kujunesid kõrge Rn-riski laigud.

5. Metoodika

5.1. Vaatluspunktide asukoha valik

Tallinna radooniriski ja looduskiirguse kaardi koostamisel võeti aluseks piirkonna aluspõhja ja pinnakatte geoloogilised baaskaardid mõõtkavas 1:50 000, teadaolev info radioaktiivsete elementide sisalduse ja leviku iseloomu kohta aluspõhjakivimites ja pinnakatte setetes ning enam kui 300 punktis varasematel otsetellimustel ja Eesti radooniriski kaardi (Petersell jt, 2004) koostamisel kogutud Rn-riski ja looduskiirguse uuringute tulemused, samuti autorite käsutuses olev info Rn-sisaldusest majade siseõhus.

Eelmainitud infost ja olemasolevatest võimalustest lähtudes valiti uuringupunktide asukohad. Nende valikul arvestati, et vaatluspunktid peaksid tihedamini iseloomustama olulisemaid potentsiaalseid radooniohtlikke alasid. Olemasolevatele andmetele tuginedes kuuluvad nende alade hulka klindiasangu vööndis diktüoneemakilda ja oobolusliivakivi avamusalad: Astangu, Toompea–Liivalaia ja Kose–Iru, samuti Merivälja levila. Uuringutest jäeti välja pargid, sood ja teised alad, millede piiridesse elamute ja olmehoonete rajamine pole reaalne.

Uuringupunktide asukoha valikut segas piirkonniti asfalteeritud alade ulatuslik levik, kavandatud uuringupunktide asukohale raskendatud juurdepääs või selle puudumine, samuti allmaakommunikatsioonid. Lõplikud asukohad selgitati välitööde käigus ja nende koordinaadid täpsustati Garmin GPS 76-ga süsteemis WGS-84. Vaatluspunktide sidumise viga ei ületa valdavalt ± 10 m. Ainult kõrgete majade ja tiheda haljastuse piires, kus Garmin GPS-76 kasutamine oli raskendatud, võib see olla suurem.

2014. ja 2015. a kevad-suveperioodil tehti kaardi koostamiseks täiendavad uuringud 304 uuringupunktis. Koos varasemate uuringupunktidega, mida on uuritud sama aparatuuriga sama metoodikat järgides (Petersell jt, 2004; 2005), koostati kaart kokku 611 punkti andmete põhjal (tekstilisa 1, gr. lisa 3).

Pinnaseõhu Rn-sisalduse muutuste jälgimiseks rajati 2013. a detsembris 5 vaatluspunkti koosnev monitooring, mis kestis 15 kuud.

31 uuringupunkti huumushorisonidist ja lähtekivimist koguti proovid mulla keskkonnaohtlike elementide sisalduse pisteliseks selgitamiseks.

5.2. Välimõõdistamised

Välimõõdistamised tehti valmistajatehases kalibreeritud ja kontrolletaloni abil igakuiselt kontrollitud emanomeetrite Markus 10 ja gamma-spektromeetrite (Gamma-Ray sp. Detector model GPX-21A) ning radiomeetriga (CPII-88H).

Sõltuvalt olukorrast täpsustati eelnevalt valitud vaatluspunkti konkreetne asukoht radiomeetrilise mõõdistamise abil. Vaatluspunkt valiti alal, kus maapind oli tasane, silmaga nähtava tehnogeense saaste tunnusteta ja alale iseloomuliku gammakiirgusega. Vaatluspunktides selgitati Rn-sisaldus paralleelselt kahel meetodil: pinnaseõhus Rn otsemõõtmisel (RnM) ja pinnases mõõdetud eU sisalduse järgi arvutatult (RnG), ning väljendati ühikus kBq/m³.

Uuringupunktidesse rajati 80 cm sügavune kaevand, milles selgitati Kvaternaari setete litoloogiline tüüp ja iseloom. Radiomeetriga määrati pinnase ja kaevandi põhja gammakiirguse tase ning gamma-spektromeetriga mõõdeti kaevandi põhja pinnases Ra-226 ehk selle järgi kalibreeritud eU, Th-232 ehk eTh sisaldus ja K-40 järgi kalibreeritud eK sisaldus. Paralleelselt elementide sisalduse mõõtmisega fikseeris gamma-spektromeeter ka elementide poolt kindlas ajaühikus põhjustatud radioaktiivsete impulsside (lagunemiste) arvu. See võimaldas pidevalt jälgida gamma-spektromeetri töökindlust ja mõõdetud elementide sisalduse õigsust.

Rn-sisaldus otsemõõtmisel teostati kaevandi lähedal (< 3 m) pinnasesse löödud emanomeeter Markus 10 terastoru kaudu, vaakumpumba abil maapinnast 80 cm sügavusel Rn lagunemiskambrisse kogutud pinnaseõhus. Väga kivise pinnase puhul või kõrge pinnasevee taseme korral (maapinnast < 1 m) vähenes sügavus üksikutes punktides kuni 50 cm-ni. Välitööde ebatavaliselt märjal ajal jäi eriti kõrge pinnasevee taseme tõttu (< 0,6 m) Rn-sisaldus pinnaseõhus vahetult mõõtmata 15 uuringupunktis ehk 5% vaatluspunktidest, varasematega kokku 40-s ehk 6,5% uuringupunktidest.

Valitud 31 uuringupunkti koguti huumushorisoni ja lähtekivimi proovid pinnase keskkonnaohtlike elementide sisalduse selgitamiseks. Eelistati klindivööndisse rajatud uuringupunkte, kus olulise saasteallika moodustab pinnases diktüoneemakilda ja oobolusliivakivis leviva fosforiidi peenes ja purd ning tehnogeense tegevuse tulemusel sellele lisanduv materjal.

Huumushorisoni proov koguti 5-st punktist. Igast punktist koguti osa proovi vagumeetodil ülemisest 20 cm paksusest kihist ja ühendati üheks prooviks. Kaevandi põhjast koguti lähtekivimi proov kaevandi 4-st seinast samuti vagumeetodil, valdavalt 0,7–0,9 m sügavuselt. Proovide kaaluks kujunes ligi 1 kg.

Mõõtmistulemuste tõenäosust kontrolliti välitöödel uuringupunkti rajatud kaevandis kordusmõõtmisega või mõõtmisega paralleelselt kuni 10 m kaugusele kaevatud uues kaevandis. Kasutatud gamma-spektromeetrite ja emanomeetrite Markus 10 töökindluse kontrolli teostati igakuiselt selleks otstarbeks rajatud statsionaarse etaloni baasil (Petersell jt, 2012). Välitööde käigus teostatud kontrollmõõtmiste olulisemad tulemused on koondatud Tabel 5.1 ja need näitavad, et mõõtmistulemused on usaldusväärsed.

Tabel 5.1. Reamõõtmise ja kontrollmõõtmise tulemused

Vaatlus-punkt	eU, mg/kg		eTh, mg/kg		eK, %		Rn, kBq/m ³	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Kordusmõõtmised samas kaevandis								
5	19,2	18,8	8,9	7,8	2,84	3,15	282	277
23	39,9	39,2	13,6	13,7	6,49	6,3	564	556
201	2,3	2,3	4,4	4,4	1,45	1,45	36	336
235	8,3	8,4	6,8	6,9	0,98	0,97	117	119
585	4,6	4,7	11,2	10,76	2,13	2,13	68	70
604	1,1	1,2	2,8	2,6	0,95	1	17	18
605	1,8	1,6	7,6	7,5	1,58	1,59	27	25
Kordusmõõtmised uues kaevandis								
350	8,25	9,3	5,4	5,4	1,58	1,26	122	138
374	11,72	12	8,5	9,5	1,58	1,15	174	178
419	17,3	17,1	11,2	10,3	3,77	3,53	254	251
106	11,8	10,5	9,8	7,7	1,58	1,32	1,82	1,63
120	21	20	9,4	9,5	4,6	4,28	310	295
175	6,4	6,4	6,1	6	1,83	1,83	94	94

I – Esmakordne (rea)mõõtmine

II – kontrollmõõtmine

5.3. Andmetöötlus

On kujunenud tavaks, et pinnaseõhu Rn-sisalduse piirmäärad antakse maapinnast 1 m sügavusel pinnaseõhus kujuneva Rn-sisalduse kohta. See tingis vajaduse väliuuringute käigus valdavalt 0,8 m sügavusel (erandjuhtudel kuni 0,5 m sügavusel) Markus 10-ga otsemõõtmisel saadud Rn-sisaldused ümber arvutada mainitud sügavusele. Ümberarvutused teostati mõõtmise sügavuse, pinnase tüübi ja radooni difusiooni vahelise sõltuvuse graafikut kasutades (Clavensjö & Åkerblom, 1994).

Gamma-spektromeetriga pinnases mõõdetud eU sisalduse järgi arvutati pinnaseõhus kujunev maksimaalne Ra-ga tasakaalus oleva Rn sisaldus (Ra-st tekkiva ja pinnaseõhku eralduva ning pinnaseõhus radioaktiivselt laguneva Rn vaheline tasakaalu variant) järgneva valemi abil:

$$C_{\max} = A \times e \times \beta \times (1 - p) p^{-1} \text{ (Clavensjö \& Åkerblom, 1994),}$$

kus C_{\max} – Rn maksimaalne kujunev sisaldus, kBq/m;

A – eU sisaldus, Bq/kg;

e – Rn emanatsiooni faktor (koefitsient);

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

p – poorsus.

Toodud valemis on määrava tähtsusega emanatsiooni faktor. See iseloomustab pinnast moodustavates kivimites ja mineraalides olevast radiumist tekkiva ja pinnaseõhku pääsemisvõimaliku radooni suhet. Emanatsiooni faktor sõltub pinnase tihedusest, mineraalsest koostisest, pinnast moodustavate kivim(mineraali)tükikeste suurusest, kujust ja lõhelisusest ning teistest teguritest, mis võimaldavad tekkival Rn-l saada potentsiaalselt migreeruva oleku. Normaalsetes tingimustes varieerub emanatsiooni faktor kruusades 15–40%, liivades 10–30% ja savides 30–70% piirides (Åkerblom & Mellander, 1997). Käesoleva kaardi koostamisel kasutati Eesti radooniriski kaardi koostamise käigus selgitatud emanatsiooni faktorit (Petersell jt, 2004).

Looduskiirguse kaardi koostamisel on aluseks võetud lisaks KKM määrusega nr 45 (Kiirgustöötaja ..., 2005) kehtestatud nõuetele ka Põhjamaade soovitused (Naturally ..., 2000), samuti Soome STUK (Radiation and Nuclear Safety Authority) suunised.

Kaardi koostamisel kasutatakse põhiühikuna majaehitusmaterjalidele lubatud looduskiirguse piirväärtust, nn eriaktiivsuse indeksit, mis arvutatakse valemist (elementide sisaldus on Bq/kg):

$$C = 226\text{Ra}/300 + 232\text{Th}/200 + 40\text{K}/3000,$$

kus C on ehitusmaterjalides lubatud looduskiirguse tase ehk eriaktiivsuse indeks, mis ei või ületada “1”. See on peamiselt gammakiirguse tase, mis aastas võib tasapinnalistes tingimustes põhjustada kiirgusdoosi ligi 1 millisiivert.

5.4. Tallinna radooniriski ja looduskiirguse kaardi koostamine

Tallinna radooniriski kaart koostatakse pinnaseõhu radoon-222 (Rn-222) sisalduse kaardina mõõtkavas 1:50 000 nii paberandjal kui ka Word-i dokumendina ja PDF formaadis CD-l.

Pinnase radoon-222 (Rn-222) sisalduse kaardi koostamisel tugineti Eesti Standardile EVS 840:2009 (Radooniohutu ..., 2009) ja WHO soovitustele (WHO handbook ..., 2009), samuti IAEA standardile No SSG-32 (Protection of the ..., 2015).

Radooniriski kaardi sisu esitatakse järgnevatel teemakaartidel ehk kaardilehtedel:

- maksimaalne radoonisisaldus pinnaseõhus;
- radoonisisaldus pinnaseõhus otsemõõdetult (1 m sügavusel);
- radoonisisaldus pinnaseõhus eU järgi arvatult;
- raadiumi (Ra-226) sisaldus pinnases.

Ka Tallinna pinnase looduskiirguse kaart koostatakse mõõtkavas 1:50 000 nii paberkandjal kui ka Word-i dokumendina ja PDF formaadis CD-l.

Looduskiirguse kaardi sisu ja eesmärgid on kehtestatud KKM määrusega nr 45 (Kiirgustöötaja ..., 2005) ja IAEA standardiga No SSG-32, samuti STUK-i soovitustega.

Looduskiirguse kaardi sisu kajastatakse järgnevatel lehtedel:

- pinnase looduskiirguse kaart;
- uraani (eU) sisaldus pinnases;
- tooriumi (eTh) sisaldus pinnases;
- kaaliumi (eK) sisaldus pinnases.

Nendele lisatakse vaatluspunktide asukohakaart.

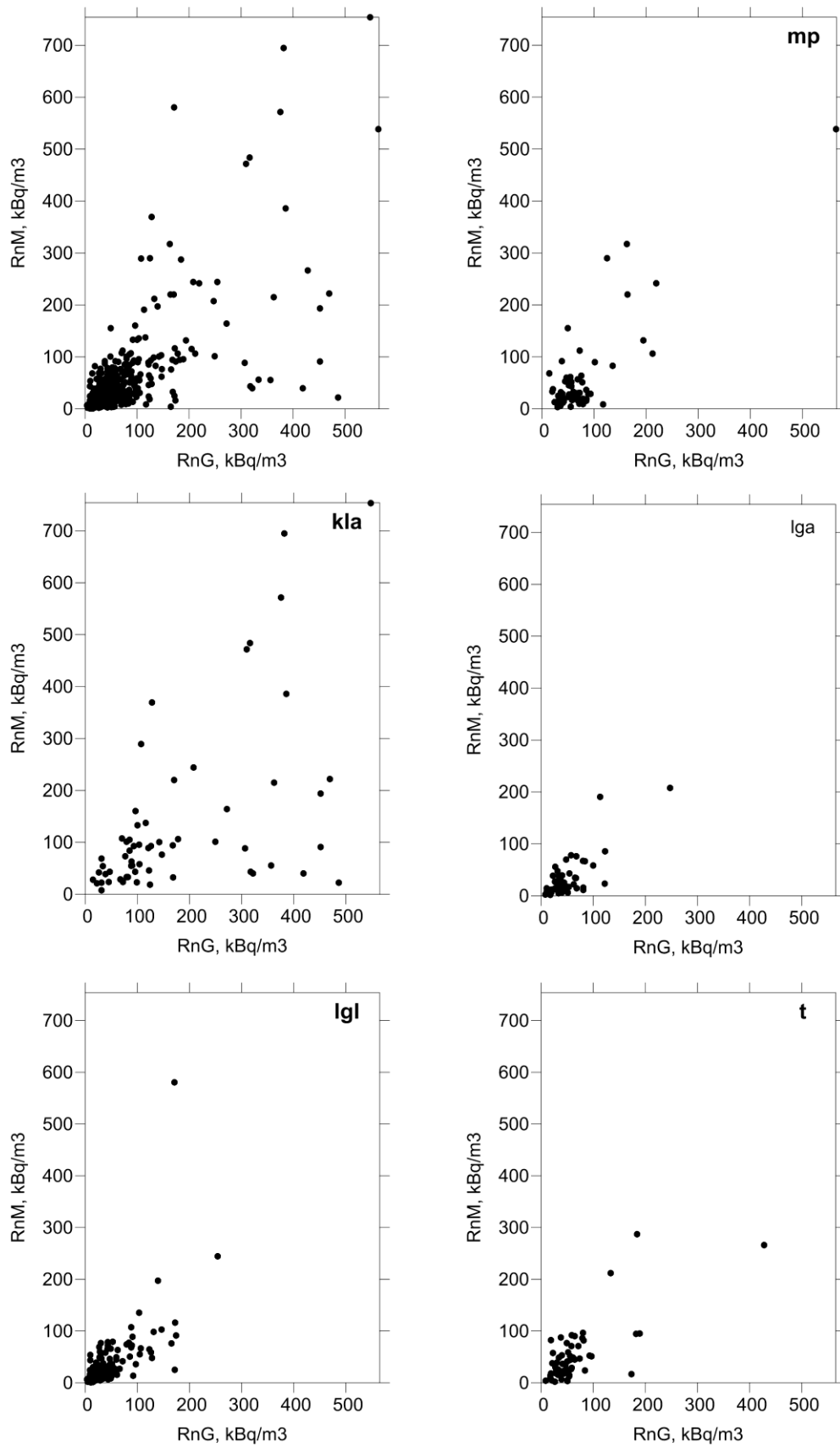
Tallinna radooniriski ja looduskiirguse kaartide koostamisel välitööde käigus uuringupunktides eristatud pinnase litotüübid esitatakse faktilise materjali kaardil. Viimaste eristamisel on peaarõhk asetatud nende litoloogilistele erinevustele, mis on Rn ja looduskiirguse kaardi elementide geokeemiliste parameetrite erinevuste peamiseks põhjustajateks. Eristatakse: moreen (mp), veekeskonna setted: aleuriidirikad savid ja aleuriidid (lga) ning liivad ja kruusad (lgl), samuti täiendavalt vahetult klindialused ja klindi varikalde setted (kla) ning tehnogeensed setted (t).

Koostatud kaartidel tähistab ringidesisene värv uuringupunktide radooniriski ja looduskiirguse keskkonnaohtlikkuse astet, ringide suurus – elementide sisaldust ja sellele tuginedes detailiseeritud ohtlikkuse taset.

6. Radooni monitooring

Eesti Rn-riski kaardi koostamisel selgus, et pinnaseõhus pole otseselt mõõdetav Rn-sisaldus (RnM) stabiilne, vaid on otseses sõltuvuses pinnase aeratsiooniomadustest (Petersell jt, 2004). See seaduspära kehtib ka Tallinna piirides. Joonis 6.1 on ühemõtteliselt jälgitavad uuringupunktid, kus RnM sisaldus on oluliselt madalam kui pinnases Ra radioaktiivsel lagunemisel kujunev. Selle põhjuseks on pinnase aeratsioon. Ra lagunemisel tekkiv Rn ei jää pinnasesse, vaid aeratsiooni tulemusel lendub õhku. Mida soojem ja kuivem on pinnas, mida liivasem on pinnast kattev huumushorisont jne, seda suurem on aeratsiooni mõju ja seda madalamaks jääb RnM sisaldus pinnaseõhus (Jüriado jt, 2014). Aladel, kus Rn juurdekannet sügavamalt pinnasesse ei toimu, pole probleeme. Mõõdetav ehk arvatud (RnG) sisaldus on küllalt objektiivne Rn-riski taseme hindamiseks. Aladel, kus RnM ületab RnG sisalduse taseme, toimub üldjuhul Rn juurdekanne sügavamatest kihtidest ja seda on võimalik arvestada. Probleemid tekivad aladel, kus kuival perioodil jääb liivases pinnases RnG sisaldus tinglikust ohupiirist (50 kBq/m^3) madalamaks ja RnM sisaldus läheneb sellele tasemele. Sellistel juhtudel võimaldavad monitooringu graafikud hinnata pinnast läbiva aeratsiooni intensiivsust ja hinnata samuti ehitistealuses pinnaseõhus kujuneva Rn-riski taset tingimustes, kui aeratsioon läheneb ehitistealustes tingimustes miinimumile.

Õeldust tulenevalt rajati Tallinna piirides erinevatesse geoloogilistesse tingimustesse, kuid valdavalt normaalse ja kõrge Rn-riski vööndi aladele, 5 monitooringupunkti (Joonis 6.2), kus jälgiti 15 kuu jooksul Rn käitumist pinnaseõhus 3 sügavuses.



Joonis 6.1. Arvutatud (RnG) ja mõõdistatud (RnM) radoonisalduste kõrvutamise kõigis mõõdistuspunktes ja grupeerituna litotüüpide järgi

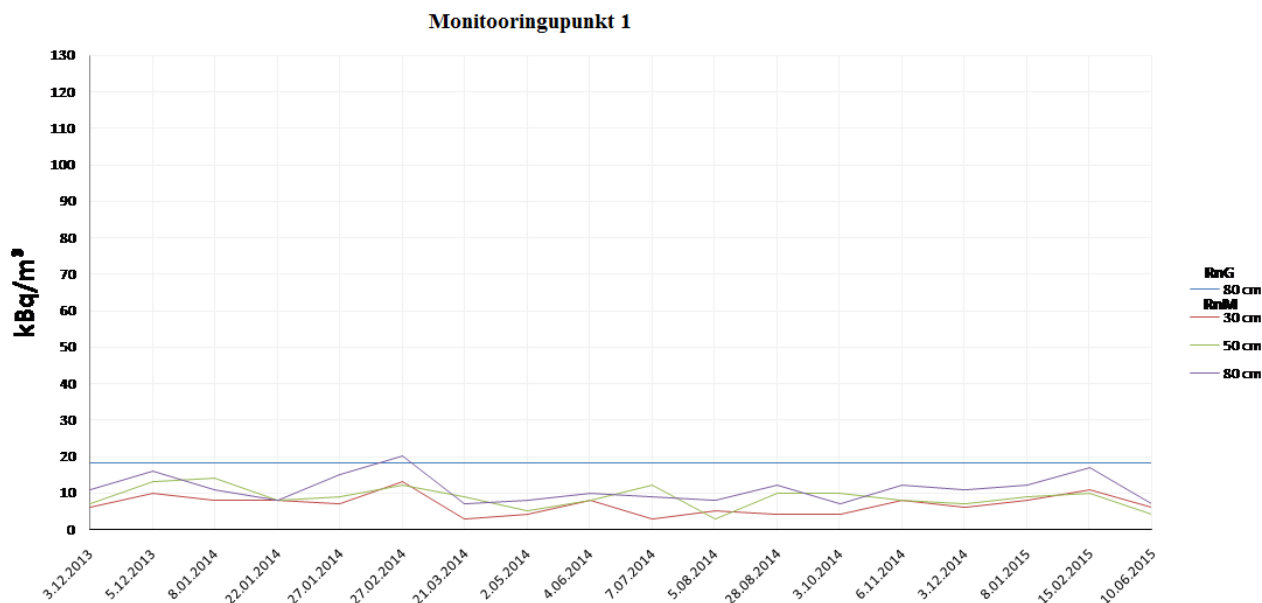


Joonis 6.2. Monitooringupunktide asukohaskeem

6.1. Monitooringupunktid

Tulemuste interpreteerimist raskendas 2014.–2015. a soe ja heitliku temperatuuriga talv. Huumushorisont ei külmunud ning selle kujunemine ja käitumine Rn aeratsiooni takistava ekraanina jäi sageli ebaselgeks.

Monitooringupunkt 1 rajati liivasesse pinnasesse, piirkonda, kus Rn-riski tase on fooniline (RnG ligi 20 kBq/m³). Kogu vaatlusperioodi jooksul (Joonis 6.3) jäi RnM sisaldus 3 erinevas sügavuses madalaks, kuni 2,5 korda madalamaks eU sisalduse järgi arvatust.

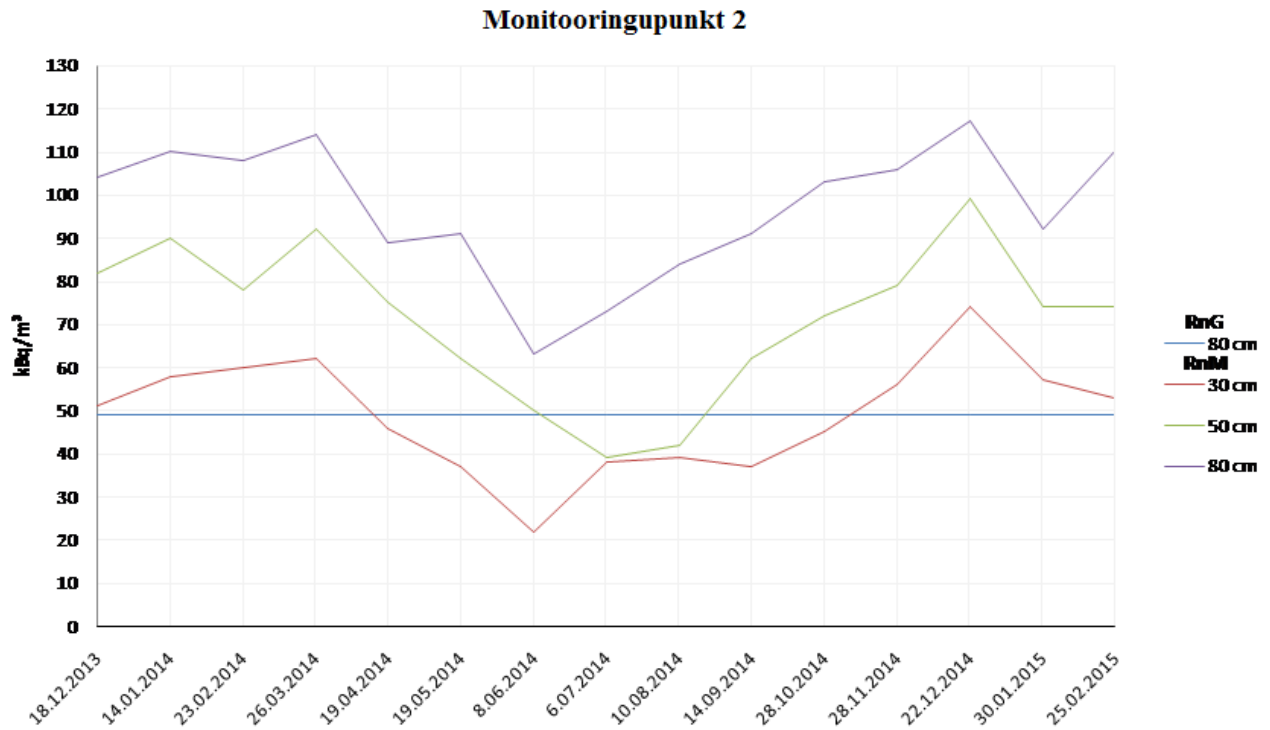


Joonis 6.3. Monitooringupunkti nr 1 pinnaseõhus radooni (RnM) sisalduse variatsiooni aegrea graafik

RnM aegrea graafik on üheilmeline, ka talveperioodil pole märgata Rn-riski olulist tõusu. Rn-sisaldus monitooringupunkti õhus oli maapinnast 0,5 m kõrgusel 30 ± 7 Bq/m³ (22.01.14–20.03.14). Ka lähedal paikneva lasteaia poolkeldrikorruse tööruumi õhus oli samal perioodil Rn-sisaldus 143 ± 22 Bq/m³. Tulemused näitavad, et pinnas on väga hea aeratsiooniga. Samas pole sellistel aladel kõrge Rn-sisalduse tase majade siseõhus välistatud. Pinnase Rn-riski taseme hindamine on raskendatud. See on orienteeruvalt võimalik ainult pinnases mõõdetud eU sisalduse ja sügis-talvisel perioodil lisaks pinnaseõhus RnM sisalduse järgi.

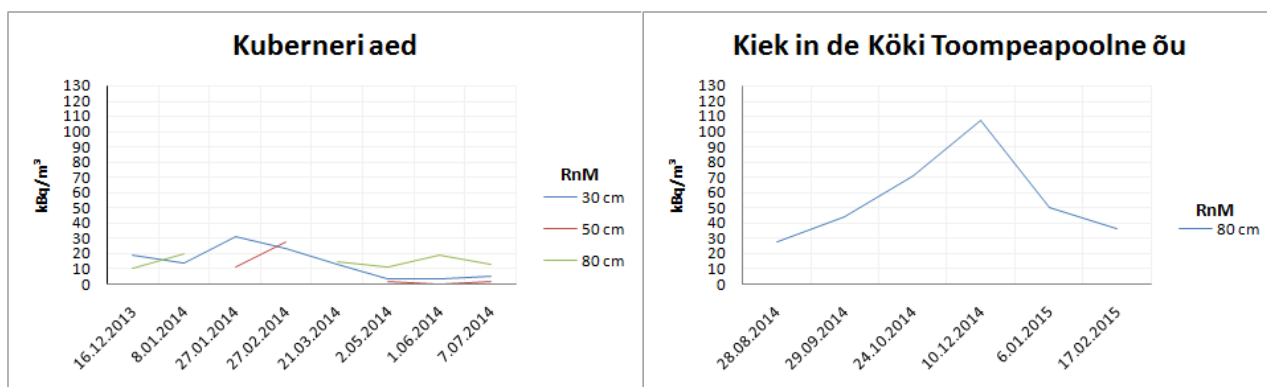
Monitooringupunkt 2 rajati Eesti Geoloogiakeskuse territooriumile. Monitooringu-punkt asub Harku ürgoru piires liivarikkas pinnases, kõrge Rn-riskiga piirkonnas. Monitooringu-punktile on omane, et kuni 1,6 m sügavuseni on eU sisaldus liivas stabiilne ja varieerub 3,6–3,7 mg/kg piirides. Alates 1,6 m ilmub liiva diktüoneemakilda peenes ja eU sisaldus suureneb 8 mg/kg. Selline eU sisalduse jaotus kajastub ka RnM aegrea graafikul (Joonis 6.4), kus kajastub ligi 2 korda madalam Rn-sisaldus suveperioodil, võrrelduna talveperioodiga, see on tingimustega, millised kujunevad ehitistaluses pinnases, kus aeratsioon on oluliselt takistatud. 80 cm sügavusel on RnM sisaldus suveperioodil pinnaseõhus madal (64 kBq/m³) ja tasakaalustub tõenäoliselt eU järgi arvutatud RnG sisaldusega (120 kBq/m³) talveperioodil, kui külmunud pinnas moodustab ekraani, mis takistab RnM migreerumist õhku. On märkimisväärne, et erineval sügavusel on pinnaseõhu RnM sisaldus erinev nii talvel kui suvel. Siit järeldub, et liivastes pinnastes ei moodusta külmunud kiht Rn läbimatut ekraani, vaid selle migreerumine õhku jätkub. Selle tõestuseks on RnM sisaldus monitooringupunkti õhus, 50 cm kõrgusel maapinnast kahe kuu keskmisena (22.01.14–20.03.14)

35 ±9 Bq/m³. Monitooringupunkti lähedal tööruumis oli Rn-sisaldus vanade akende korral 199 ±18 Bq/m³ (27.12.11–07.03.12), nüüd uute tihedate akende korral tõusis 840 ±80 Bq/m³ (10.02.15–12.05.15).



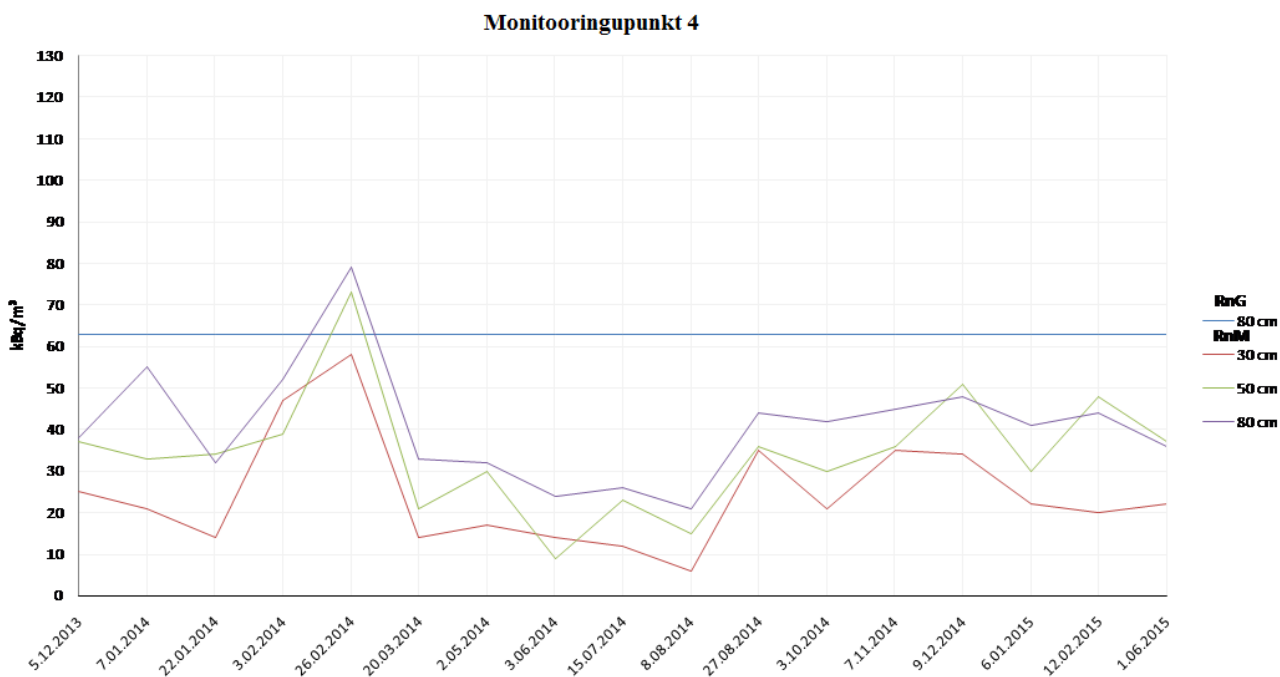
Joonis 6.4. Monitooringupunkti nr 2 pinnaseõhus radooni (RnM) sisalduse variatsiooni aegrea graafik

Monitooringupunkt 3 rajati Kuberneriaeda. Kahjuks rikuti pidevalt vaatlustorude paigutust ja juulis ärastati kõik vaatlustorud. Seejärel jätkusid vaatlused otsemõõtmisel kord kuus ainult Markus 10-ga Kiek in de Köki Toompea-poolsel õuel 80 sm sügavusel. Mõlemas kohas oli pinnas esindatud täitepinnasega. Kuberneriaias takistas kaevandi kaevamist kasvukihi alla paigutatud taimekasvu takistav kaitsekangas, Kiek in de Köki juures paekivilahmakad. Markus 10-ga mõõdetud RnM sisalduse variatsioonist pinnaseõhus annab ettekujutuse Joonis 6.5. Piirkond on kõrge Rn-riski tasemega, maksimaalne RnM sisaldus ületab pinnaseõhus 100 kBq/m³ piiri. Rn-sisaldus Kuberneriaia monitooringupunkti õhus oli maapinnast 0,5 m kõrgusel 23 ±9 Bq/m³ (27.01.14–20.03.14). Samal perioodil oli lossis ruumi P084 õhus Rn-sisaldus 289 ±44 Bq/m³ ja ruumi L035 õhus 1010 ±150 Bq/m³. Monitooringupiirkond on kõrge Rn-riski tasemega.



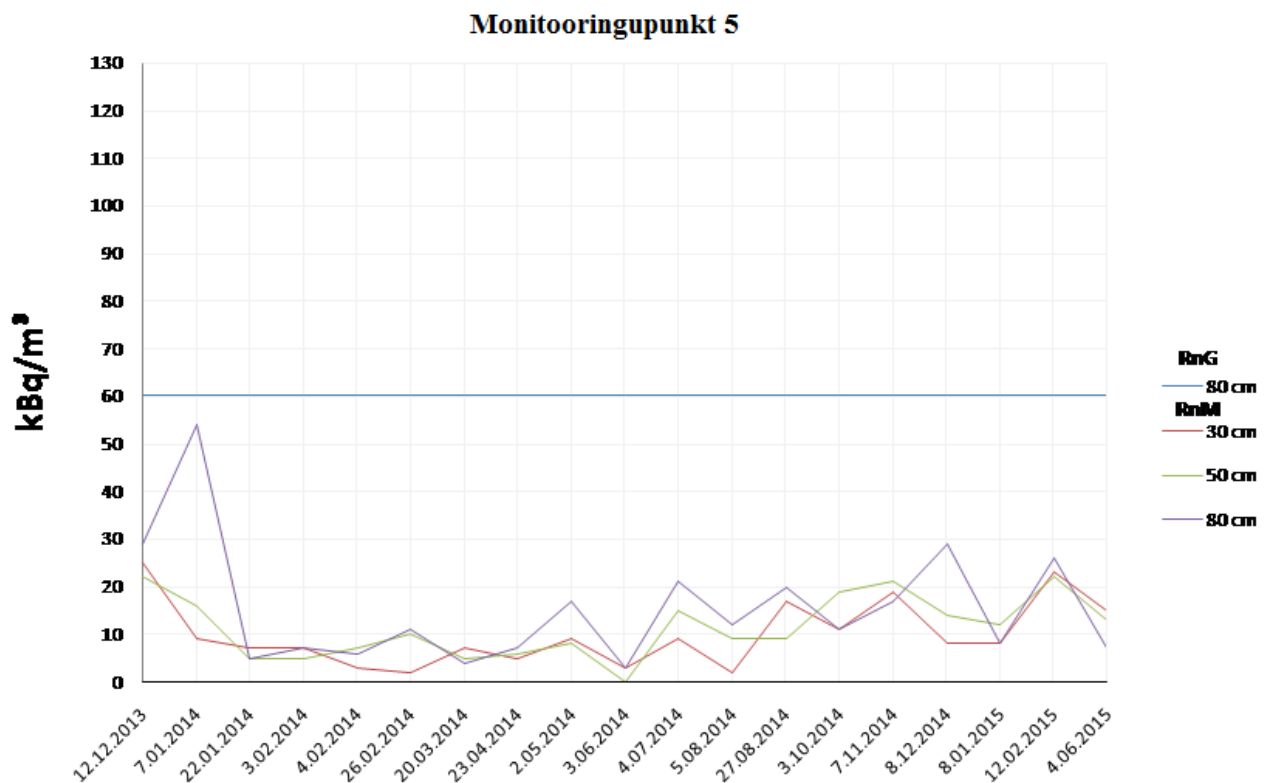
Joonis 6.5. Monitooringupunkti nr 3 pinnaseõhus radooni (RnM) sisalduse variatsiooni aegrea graafik

Monitooringupunkt 4 rajati liivasesse pinnasesse, piirkonda, kus Rn-riski tase on kõrge (RnG ligi 63 kBq/m³). Monitooringupunkti pinnaseõhus ületas 2013.–2014. a talvel, kui maapind oli külmunud, RnM sisaldus RnG sisalduse (Joonis 6.6). 2014.–2015. a talvel, kui maapind ei külmunud, RnM sisaldus ainult lähenes RnG sisaldusele. Suvekuudel vähenes RnM sisalduse tase pinnaseõhus pinnase aeratsiooni tulemusel alla 30 kBq/m³ ehk võrrelduna talveperioodidega ligi 2 ligi korda. Rn-sisaldus monitooringupunkti õhus oli maapinnast 0,5 m kõrgusel 36 ±7 Bq/m³ (22.01.14–20.03.14). Hoone ruumide õhus oli samal perioodil Rn-sisaldus 39–76 ±12 Bq/m³. Tulemused näitavad, et pinnas on hea aeratsiooniga. Samas on sellistel aladel Rn-riski taseme selgitamine suveperioodil ainult otsemõõtmise meetodiga mõttetu, sest tulemused pole usaldusväärsed.



Joonis 6.6. Monitooringupunkti nr 4 pinnaseõhus radooni (RnM) sisalduse variatsiooni aegrea graafik

Monitooringupunkt 5 rajati piirkonda, kus karbonaatseid kivimeid katab heterogeenne kividerikas moreen ja Rn-riski tase on heitlik. Moreeni RnG sisalduse tase on kõrge, ligi 60 kBq/m³. Vaatlusperioodi algul oli pinnaseõhus ka RnM tase küllalt kõrge, lähedane RnG tasemele (Joonis 6.7). Kolmandal kuul langes RnM sisaldus järsult alla 10 kBq/m³ ja hakkas aeglasel tõusma kõigis 3 sügavuses ning ulatus 2014.–2015. a talveperioodil 22–30 kBq/m³. Kuna moreenil kattekiht praktilisel puudus ja vaadeldaval talveperioodil maapind ei külmunud, toimus tõenäoliselt intensiivne Rn migratsioon atmosfääri. Monitooringupunkti õhu Rn-sisalduse mõõtmiseks paigaldatud α -detektor ärastati mõõtmisperioodil. Hoone siseõhus oli perioodil 23.01.14. kuni 27.03.14 Rn-sisaldus 65–82 \pm 15 Bq/m³. Tulemused näitavad, et pinnas on hea aeratsiooniga, samas pole sellistel aladel kõrge Rn-sisalduse tase majade siseõhus välistatud.



Joonis 6.7. Monitooringupunkti nr 5 pinnaseõhus radooni (RnM) sisalduse variatsiooni aegrea graafik

6.2. Radoonist maapinnalähedases õhus

On üldlevinud arvamus, et Rn-sisaldus on välisõhus madal, normaaltingimustes < 10 Bq/m³ (Donald, 2004; Clavensjö & Åkerblom, 1994). Kuna Tallinna territooriumi Rn-risk on sageli kõrge või isegi eriti kõrge, kontrolliti seda seisukohta käesoleva kaardi koostamise käigus. Mõõtmised teostati Rn-monitooringu osana ja vahetult maapinnalähedases õhus.

Monitooringupunktidesse paigaldati maapinnast 50 cm kõrgusele α -tundlikud, majade siseõhus Rn-sisalduse mõõtmiseks kasutatavad detektorid. Need kaitsti sademete eest metallist taldrikukujulise sirmiga, diameetriga 6–8 cm. Mõõtmine toimus talveperioodil, kestvusega 2–3 kuud. Mõõtmise tulemused interpreteeris Keskkonnaameti kiirgusosakonna labor ja tulemused on koondatud Tabel 6.1-s.

Tabel 6.1. Rn-sisalduse mõõtmistulemused maapinnalähedases õhus

Uuringu-punkt	Meetod	Mõõtmise aeg	Kõrgus maapinnast, cm	Rn-sisaldus pinnaseõhus Bq/m ³	Rn-sisaldus õhus, Bq/m ³	
					keskmise	maksi-maalne
Mp 1	α -detektor	22.01–20.03.14	50	29 000	30 \pm 7	
Mp 2	α -detektor Atmos	22.01–20.03.14 august, 48 tundi	50 150	72 000	35 \pm 9 16	42
Mp 3	α -detektor	27.01–20.03.14	50	31 000	23 \pm 9	
Mp 4	α -detektor	22.01–20.03.14	50	63 000	36 \pm 7	
Up 120	Atmos	august, 1,3 tundi	50	472 000	20	34
Up 300	Atmos	2 tundi	50	386 000	66	103
Up 318	Atmos	1,5 tundi	50	419 000	15	29
Up 327	AtmoS	august 1,3 tundi	50	377 000	82	114
		1,3 tundi	10		300	398
		1,3 tundi	150		124	296
Mp 2 (100 m lõunasse)	Atmos	sept 12 tundi	30	42 000	260	340
		14 tundi	80		48	96
		12 tundi	130		30	

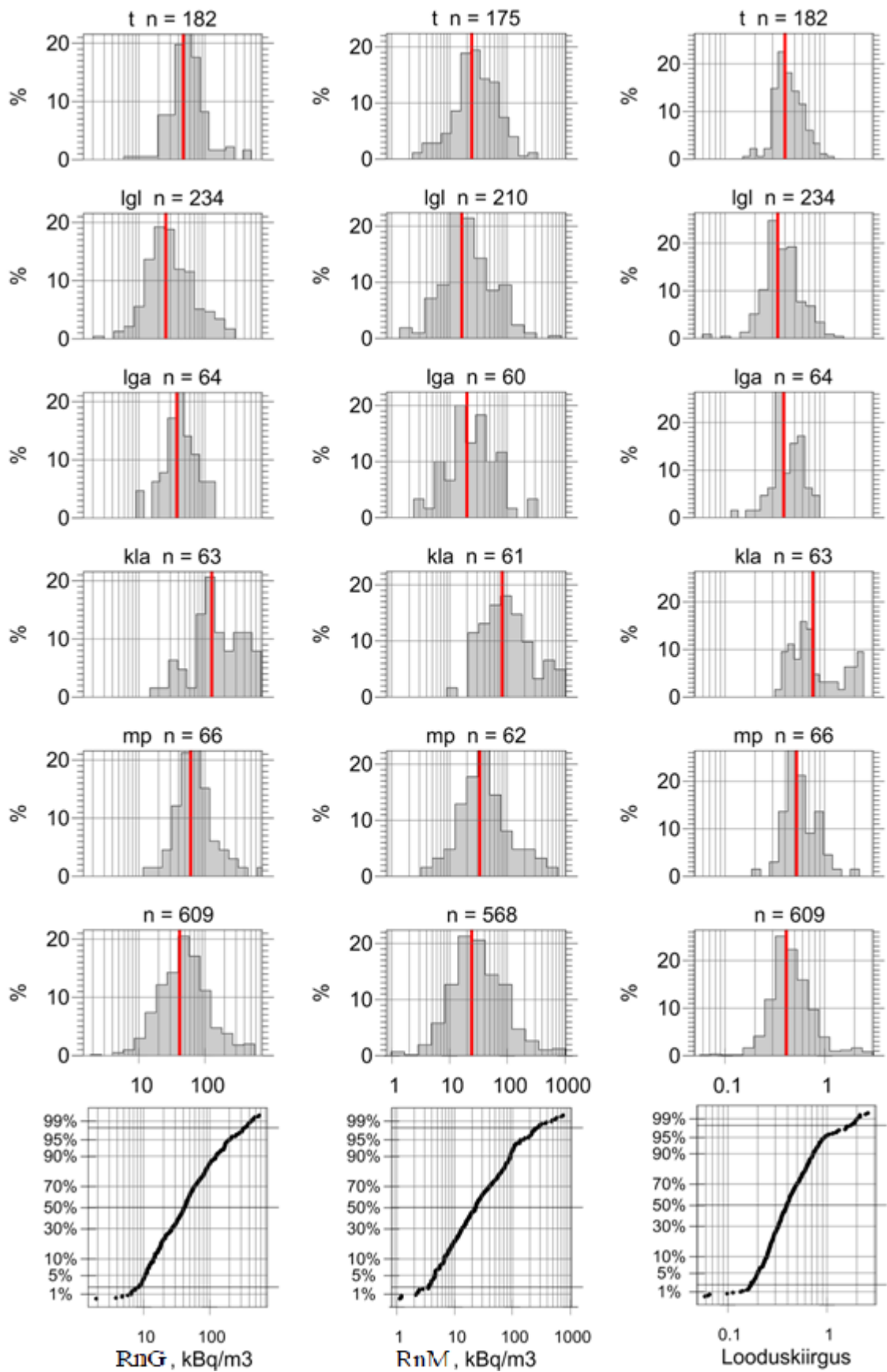
Lisaks maapinnalähedase õhu Rn-sisalduse mõõtmisele detektorite abil mõõdeti Rn-sisaldust lühiajaliselt ka emanomeetriga Atmos 16, mille tundlikkus on 5 Bq/m³. Mõõtmist teostati kõrge ja eriti kõrge Rn-riski alade piires. Mõõtmistulemused on koondatud Tabel 6.1-s.

α -detektorite meetodil saadud keskmised sisaldused on enam kui 3 korda kõrgemad foonilisest sisaldusest. Pole kahtlust, et sõltuvalt õhu liikumise intensiivsusest on maksimaalsed sisaldused keskmisest oluliselt suuremad. Ka maapinnale lähemate kihtide sisaldus on suurem ja võib muutuda tervisele ohtlikuks. Rn-sisaldust maapinnalähedases õhus tõestavad up 327 (Astangu) ja Mp 2 (Kadaka) piires Atmosega teostatud uuringute tulemused (Tabel 6.1). Need ületavad eriti kõrge Rn-riski aladel sageli 100 Bq/m³ piiri. Praktilises elus tuleb arvestada, et kõrge Rn-riski piirkondades (aladel) võib maapinnalähedase õhu kõrge Rn-sisaldus mõjuda tervist kahjustavalt esmajärjekorras lastele ja ka päevitajatele. See võib ka oluliselt mõjutada Rn-sisaldust eluruumide siseõhus.

7. Tallinna radooniriski kaart (teemakaardid 1.1 kuni 1.4 ja 3)

7.1. Rn levik pinnaseõhus

Rn-sisaldus on Tallinna piirkonna olulisemate litotüüpide pinnaseõhus erinev, dispersioon kõrge ja selle jaotus allub kõikide looduslike litotüüpide piires lognormaalsele jaotusseaduspärasusele (Joonis 7.1).



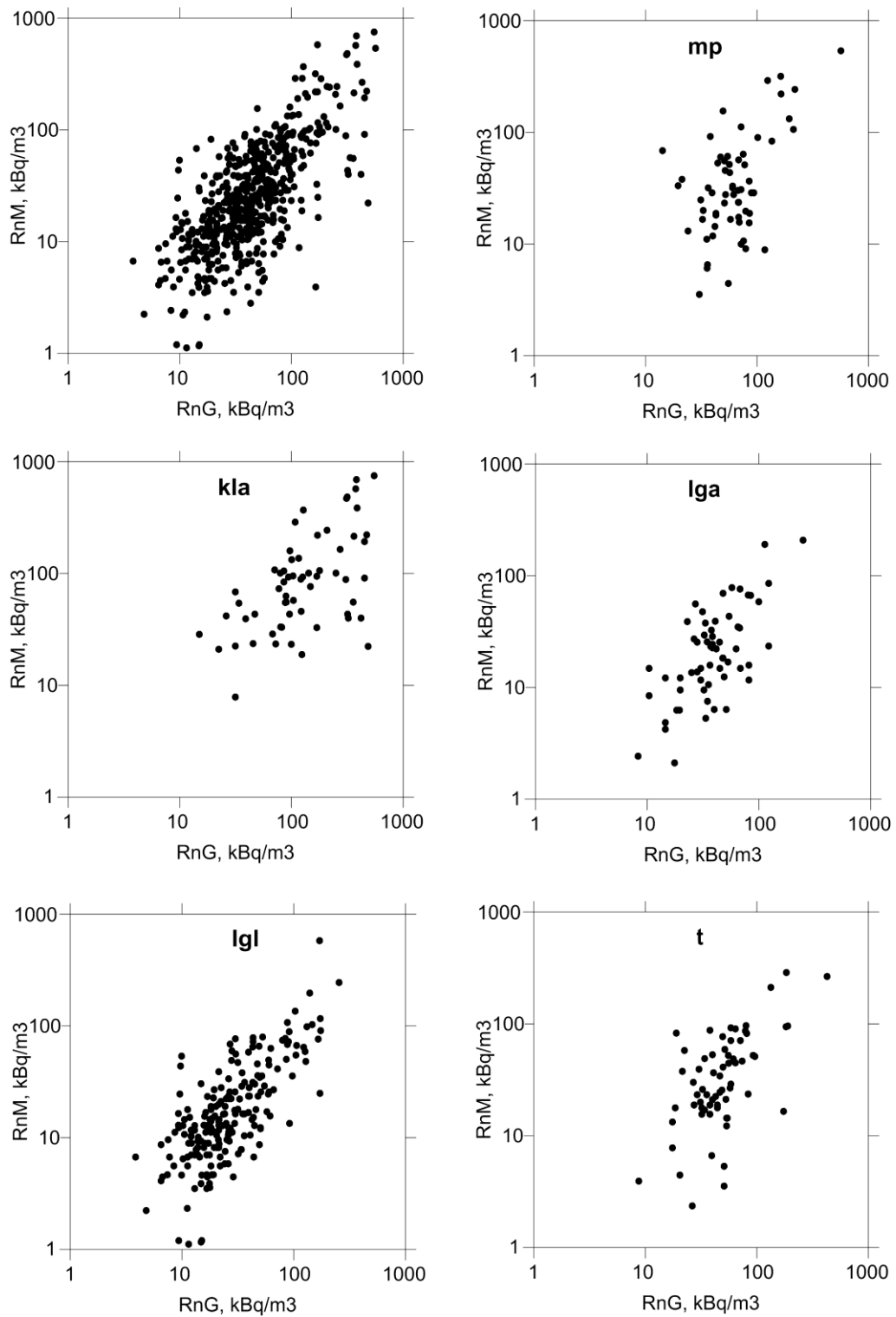
Joonis 7.1. Pinnases eU sisalduse järgi arvatatud RnG sisalduse ja pinnaseõhus otsemõõdetud RnM sisalduse ning looduskiirguse taseme sageduse diagrammid

Tabel 7.1. Rn-sisaldus Tallinna pinnakatte olulisemate litotüüpide pinnaseõhus (kBq/m³)

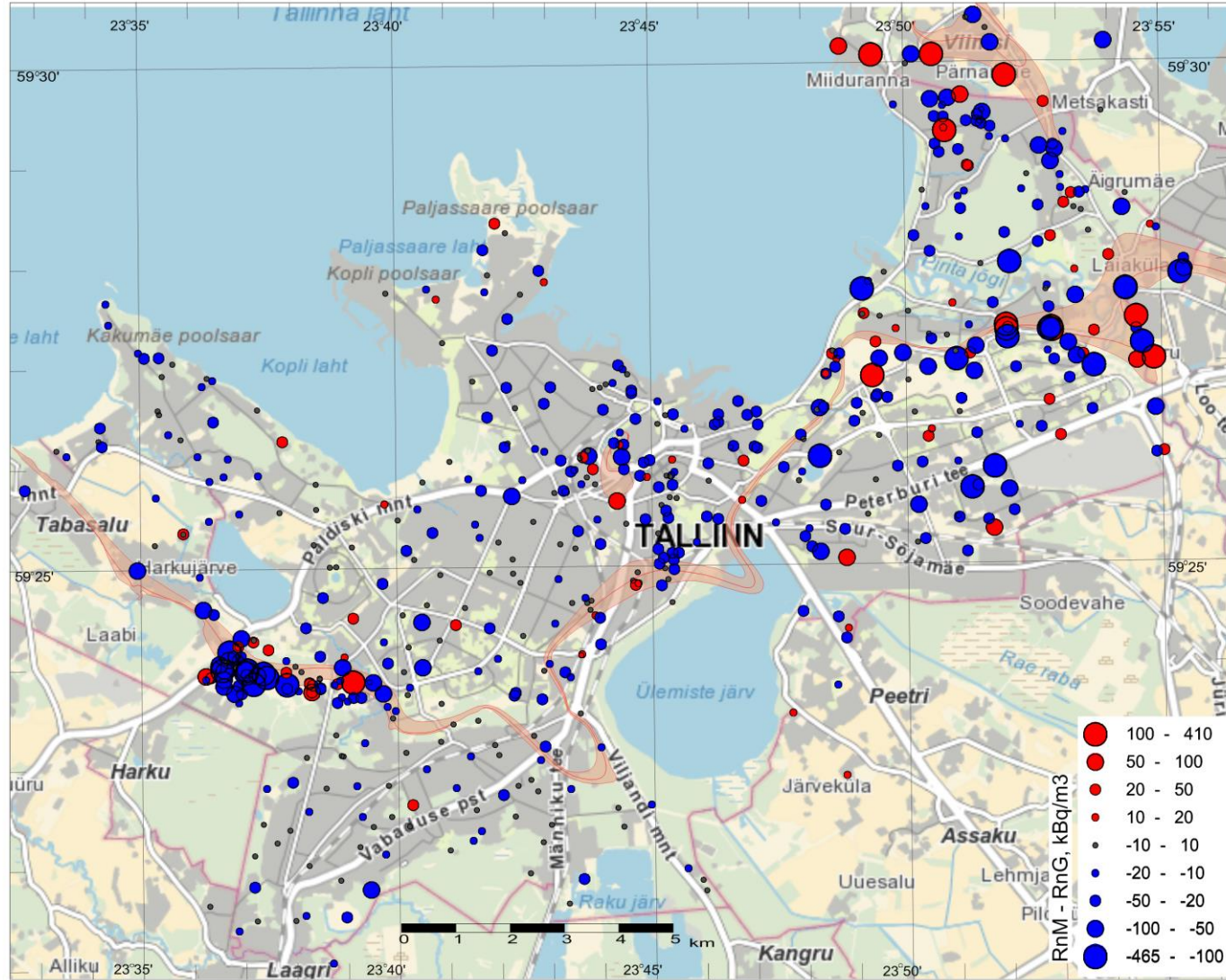
Setete tüüp	Punktide arv	Geokeemilised parameetrid					
		x_{\min}	x_{\max}	x_a	s	x_g	ϵ
Otsemõõdetud Rn-sisaldus 1 m sügavusel pinnases							
Moreen	62	4	538	61	89	33	2,83
Veelised setted							
Liiv, kruus (lgl)							
Aleuriit, savi (lga)	211	1	580	28	49	16	2,69
Savi (lgs)	60	2	208	31	37	20	2,57
Tehnogeensed setted (t)	175	2	287	35	38	24	2,41
Klindialused ja nõlvasetted (kla)	63	8	754	133	160	80	2,66
Kõik Kvaternaari setted kokku	571	1	754	46	79	24	2,92
eU sisalduse järgi arvatud Rn-sisaldus pinnaseõhus							
Moreen (mp)	66	13	564	79	78	61	1,94
Liiv, kruus (lgl)	234	2	254	37	38	26	2,24
Aleuriit, savi (lga)	64	8	247	47	36	38	1,88
Tehnogeensed setted (t)	182	7	428	58	53	47	1,81
Klindialused ja nõlvasetted (kla)	65	15	548	177	138	127	2,35
Kõik Kvaternaari setted kokku	611	2	564	64	77	42	2,40
Raadiumisisaldus pinnases, Bq/kg							
Moreen (mp)	66	11	491	69	68	53	1,94
Veelised setted							
Liiv, kruus (lgl)	234	2	213	30	31	21	2,23
Aleuriit, savi, (lga)	64	6	184	35	27	28	1,88
Tehnogeensed setted (t)	182	5	340	46	42	38	1,81
Kindialused ja nõlvasetted (kla)	65	12	458	148	116	106	2,35
Kõik Kvaternaari setted kokku	611	2	491	52	64	34	2,24

x_{\min} – minimaalne sisaldus; x_{\max} – maksimaalne sisaldus; x_a – keskmine aritmeetiline sisaldus; x_g – keskmine geomeetiline sisaldus; s – standardhälve, ϵ – standardhälve kordajana (x_g puhul).

Rn-sisaldus varieerub litotüüpide pinnaseõhus väga laiaades piirides (Tabel 7.1), otsemõõdetult (RnM) ja eU järgi arvatult (RnG) vastavalt 1 kuni 754 kBq/m³ ja 2 kuni 564 kBq/m³. Enam kui 3 korda kõrgema Ra-sisaldusega eristuvad keskmisest sisaldusest klindialused ja nõlvasetted. Radooniriski seisukohalt moodustavad need ohtlikuma litotüübi, eriti kui nendes on näha diktüoneemakilda ja oobolusliivakivi (fosforiidi) tükikesi. Enamuses sellistes setetes paiknevates vaatluspunktides ületab Rn-sisaldus pinnaseõhus lubatud piiri kas otsemõõdetult ja eU järgi arvatult või ainult eU sisalduse järgi arvatult. Ka nende setete levilal toimub kohati väga intensiivne täiendav Rn juurdekanne sügavamalt.



Joonis 7.2. Pinnases eU sisalduse järgi arvutatud RnG ja pinnaseõhus otsemõõdetud RnM sisalduse suhe



Joonis 7.3. Pinnaseõhus otsemõõdetud RnM sisalduse ja pinnases eU sisalduse järgi arvutatud RnG sisalduse vahe

RnM ja RnG sisalduste vaheline korrelatsioon on erinevate litotüüpide vahel erinev, valdavalt nõrgalt positiivne, klindialustes ja nõlvasetetes puudub (Joonis 7.2). Kõrged RnG sisaldused iseloomustavad pinnakatte ülemise, kuni 1,5 m paksuse kihi kõrget Rn-riski taset. Kõrged RnM sisaldused ($RnM > RnG$) on iseloomulikud tavaliselt aladele (uuringupunktidele), kus täiendav Rn juurdekanne pinnaseõhku pärineb sügavamatest kihtidest. RnM ja RnG sisalduste võrdlus näitab, et linna piires on valdav Rn-oht seotud pinnakatte ülemise kihiga. Kõrgeimad RnG sisaldused on valdavad (Joonis 7.3).

RnM ja RnG sisalduse pindalalisest jaotusest uuringupunktide lõikes annavad ülevaate teemakaardid (gr. lisad 1.2 ja 1.3). Nende andmetele tuginedes on koostatud Tallinna radooniriski kaart (gr. lisa 1.1). Sellel kaardil kajastub erineva meetodiga uuringupunktides saadud kõrgem Rn-sisaldus ja see iseloomustab Rn-riski iseloomu. Kehtivatele seadustele tuginedes on tinglikult radooniohtlik pinnakatte ülemine, ligi 1,5 m paksune kiht, kui mõõdetud RnG ületab 50 kBq/m^3 piiri. Seda pinnast pole soovitatav kasutada vundamendi kaitseks külma eest jne. Kui RnG on < 50 ja RnM sisaldus on 50 kBq/m^3 lähedal või ületab selle, on tegemist aladega, kus kõrge Rn-sisaldus pärineb sügavamatest pinnasekihtidest või aluspõhjakiivimitest. Kui hakkab kehtima IAEA standard No SSG-32, asendub tõenäoselt piirsisaldus 50 kBq/m^3 piirsisaldusega 30 kBq/m^3 .

7.2. Rn-riski tekke rajoneerimisest

Kõrge ja eriti kõrge Rn-riskiga eristuvad klindivööndis piirkonnad, kus U-rikka diktüoneemakilda ja oobolusliivakivi avamused on kaetud suhteliselt õhukese (kuni 5 m) pinnakattekihiga või kus nende kivimite peenes ja purd on kuhjunud klindialustesse ja nõlvasetettesse. Nendest aladest on olulisemad Kose piirkond idas ja Astangu piirkond läänes, vähem kontrastsel tasemel ka Toompea–Liivalaia piirkond ja Merivälja. Nendele aladele on iseloomulik pinnase heitlik eU sisaldus ja sellest tulenevalt Rn-riski tase. Juba mõnekümne meetri jooksul võib eU sisaldus kordades väheneda või suurenda ja Rn-sisaldus pinnaseõhus ulatuda $500\text{--}700 \text{ kBq/m}^3$. Tavaliselt toimub sisalduse vähenemine astangust eemaldudes. Nendest aladest erineb Astangu piirkond, kus kõrge Rn-riski tase on valdavalt inimtegevuse tulemus. Piirkonnas on enam kui 2 kilomeetri ulatuses klindi alla rajatud kaevandid, kust pärinev diktüoneemakilda ja oobolusliivakivi kaevis on maapinnale laotatud 1–2 m paksuse kihina ja ligi 100 m laiuse ribana. Viimases ulatub Rn-riski tase 600 kBq/m^3 .

Lasnamäe piirkonnas katab karbonaatseid kivimeid valdavalt 0,5 kuni 2 m paksune moreenikiht, mis on sageli kõrgendatud eU sisaldusega ja Rn-ohtlik. Lisandub sügavalt migreeruv Rn. Lubjakivilõhvides ulatub Rn-sisaldus 120 kBq/m^3 .

Suhteliselt üheilmelise normaalse Rn-riski tasemega eristub Nõmme–Pääsküla piirkond. Siin on 20–30 m paksune karbonaatsete kivimite kompleks kaetud liustikuveeliste liivadega, milledes ainult üksikute laikude piires esineb kõrgendatud kontsentratsioonid diktüoneemakilda ja oobolusliivakivi purdu ning peenest (gr. lisa 1.4). Nende aladega kaasneb ka kõrgendatud Rn-risk (up 317). Samuti on piirkonnas üksikuid punkte, kus RnM sisaldus on kõrge (up 605). See vihjab võimalustele, et Rn võib migreeruda ka sügavalt, kas liiva all levivast moreenist või isegi karbonaatsetes kivimites olevate lõhede kaudu diktüoneemakildas kujunevast.

Erilist tähelepanu väärivad ürgorud, eriti nende nõlvad. Neid täitvad heterogeensed Kvaternaari setted on sageli diktüoneemakilda ja oobolusliivakivi purru- ja peeneserikkad ning kõrge Rn-riski tasemega. Kuna ürgorgudes puudub Rn migratsiooni takistav, ekraaniks olev Lontova savi, pole välistatud kristalses aluskorras 120–150 m sügavusel kujuneva Rn jõudmine maapinnale.

Tallinna territooriumil on 611-st vaadeldavast uuringupunktist Rn-sisaldus $< 10 \text{ kBq/m}^3$ ehk pinnas on ohutu ainult 18 punktis (2,9%). 327 uuringupunktis (53,5%) jääb Rn-sisaldus pinnaseõhus 10 kuni 50 kBq/m^3 ehk normaalse taseme piiridesse, 236 uuringupunktis (38,6%) 50 kuni 250 kBq/m^3 ehk kõrge taseme piiridesse ja 30 uuringupunktis (4,9%) ületab 250 kBq/m^3 piiri ning moodustab eriti ohtliku taseme. Seega tinglikult ligi 39 % pindalast ületab Rn-riski tase tingliku ohutu piiri kuni 5 korda ja 4,9% pindalast enam kui 5 korda.

8. Looduskiirgus

Looduskiirguse allikatena on pinnases määrava tähtsusega eU, eTh ja eK sisaldus.

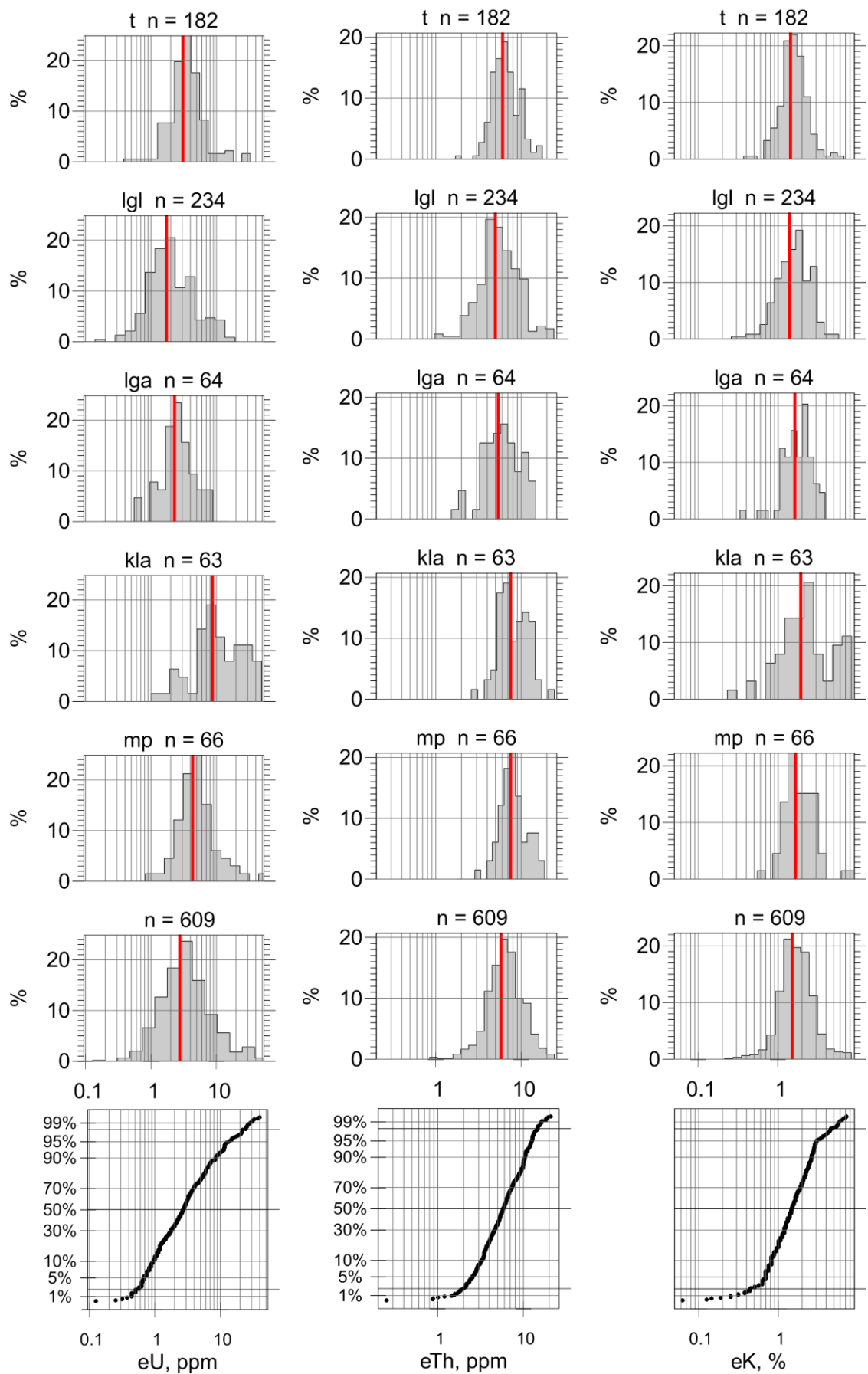
Tabel 8.1. U ja Th moodustavad isotoobid on kõik looduslikult radioaktiivsed. Kaardi mõistes looduskiirgust põhjustavate U-238 ja Th-232 isotoopide sisaldus moodustab vastavalt 99,28% ja $> 99,9\%$ kogu elemendi sisaldusest. K isotoopidest on looduslikult radioaktiivne ainult K-40. See moodustab keskmiselt kogu maakoore K-sisaldusest ainult 0,012% ja on maakoore mõnevõrra muutuv suurus. Ühelt poolt toimub isotoobi pidev vähenemine radioaktiivse lagunemise tulemusel, teiselt poolt on selgitatud, et isotoobi kogus täieneb maakoore ülemises osas nii vulkaaniliste, intrusiivsete ja teiste süvaprotsesside tulemusel kui ka kosmilise tolmu arvelt (Ivanov, 1994). Samas võib eeldada, et K-40 migratsioon on eksogeensetes tingimustes teistest K isotoopidest mõnevõrra erinev. Kõik need protsessid võivad lokaalselt süvendada K-40 jaotuse heterogeensust maakoore ja pinnakattes ning sellest tulenevalt ka eK sisaldust.

Tabel 8.1. eU, eTh ja eK sisaldus pinnases

Setete litotüüp	Punktide arv	Geokeemilised parameetrid					
		X _{min}	X _{max}	X _a	S	X _g	e
Ra-226-ga tasakaalus olev eU sisaldus, mg/kg							
Moreen (mp)	66	0,9	39,9	5,60	5,57	4,33	1,94
Veelised setted							
Liiv, kruus (igi)	234	0,1	17,3	2,45	2,48	1,73	2,23
Aleuriit, savi (lga)	64	0,5	15,0	2,82	2,18	2,29	1,88
Tehnogeensed setted (t)	182	0,4	27,7	3,78	3,45	3,07	1,81
Klindialused ja nõlvasetted (kla)	65	1,0	37,2	11,9	9,40	8,63	2,35
Kõik setted	611	0,1	39,94,2	4,24	5,22	2,77	2,40
eTh, mg/kg							
Moreen (mp)	66	2,8	16,5	8,00	2,99	7,50	1,43
Veelised setted							
Liiv, kruus (igi)	234	0,3	19,5	5,71	3,25	4,93	1,75
Aleuriit, savi (lga)	64	1,6	12,7	6,07	2,90	5,38	1,66
Tehnogeensed setted (t)	182	0,9	15,8	6,42	2,45	5,99	1,47
Klindialused ja nõlvasetted (kla)	65	2,8	20,9	8,07	3,32	7,45	1,48
Kõik setted	611	0,3	20,9	6,46	3,10	5,76	1,64
eK, %							
Moreen (mp)	66	0,57	7,13	1,85	1,05	1,65	1,55
Veelised setted							
Liiv, kruus (igi)	234	0,06	4,51	1,53	0,72	1,35	1,74
Aleuriit, savi (lga)	64	0,32	3,65	1,77	0,69	1,62	1,55
Tehnogeensed setted (t)	182	0,19	6,00	1,54	0,0	1,42	1,51
Klindialused ja nõlvasetted (kla)	65	0,25	7,18	2,47	1,76	1,92	2,07
Kõik setted	611	0,06	7,18	1,69	0,97	1,48	1,70

K-40 radioaktiivne rida on lihtne. K-40 poolestusaeg on küll pikk – $1,3 \times 10^9$ aastat, kuid K-40 muutub β -lagunemisel stabiilseks Ca-40 isotoobiks. Protsessiga kaasneb β - ja γ -kiirgus, milles looduskiirguse seisukohalt jääb määravaks gammakiirgus.

Nagu mainitud, esitatakse pinnases oleva eU, eTh ja eK sisaldus Tallinna pinnast moodustavate setete litoloogiliste tüüpide lõikes Tabel 8.1-s. Nende elementide dispersioon on mulla lähtekivimi litotüüpide lõikes erinev: eU kõrge, eTh keskmine ja eK üleminekuline. Eristuvad klindialused ja nõlvasetted, kus rikkaliku ja heterogeense diktüoneemakilda purru ja peenese esinemisest tingituna on eU ja eK sisaldus kõrge ning sisalduste jaotus väga ebahütlane (Joonis 8.1).



Joonis 8.1. eU , eTh ja eK sisalduse jaotus mulla lähtekivimi litotüüpides

eU, eTh ja eK sisalduste järgi mulla lähtekivimis on koostatud meetoodika peatükis kirjeldatud meetoodika järgi looduskiirguse kaart. Kaart iseloomustab pinnase looduskiirguse taset (teemakaart 2.1) ning sellele lisatud eU, eTh ja eK sisalduse kaardid (kaardilehed – teemakaardid 2.2, 2.3 ja 2.4) koos Joonis 8.1-ga aitavad lahti mõtestada looduskiirguse põhjusi ning kujunemise seaduspärasusi.

Kaardi koostamisel võeti aluseks Keskkonnaministri 2005. a 26. mai määrusega nr 45 (Kiirgustöötaja ..., 2005) kehtestatud nõuded ja Põhjamaade soovitused (Naturally ..., 2000), samuti Soome STUK (Radiation and Nuclear Safety Authority) suunised.

Kaart iseloomustab pinnase looduskiirguse taset, mille koostamisel kasutati põhiühikuna majaehitusmaterjalidele või täitepinnasele lubatud looduskiirguse piirväärtust ehk eriaktiivsuse indeksit, mis ei või ületada “1”.

Pole raske arvutada, et indeks 1 vastab tasapinna tingimustes kiirgusdoosi tasemele ligikaudu 1 mSv/a elanikele, kes viibivad sellise looduskiirgusega keskkonnas üle 75% ajast. Kaevandi tingimustes saadav kiirgusdoos suureneb šurfisarnases kaevandis ligikaudu kuni 1,6 korda.

STUK-i arusaamadele tuginedes on pinnas, mille eriaktiivsuse indeks jääb alla 0,8, foonilise looduskiirgusega. Selle gammakiirguse tase ei peaks ületama 0,12 µSv. Pinnas, mille eriaktiivsuse indeks jääb 0,8–1 piiridesse, on üleminekulise looduskiirguse tasemega, ja pinnas, mille eriaktiivsuse indeks ületab 1, võib ehitusmaterjalina täitepinnaseks kasutamisel olla tervist kahjustav nii KKM määruse nr 45 kui ka STUK-i andmetel. On reaalne, et selline pinnas kahjustab tervist ka väikelaste mänguväljakutel.

Tallinna pinnas on valdavalt foonilise looduskiirguse tasemega (teemakaart 2.1). Üleminekuline pinnase looduskiirguse tase esineb küllalt sageli Merivälja piirkonnas ning sageli üleminekuline ja kõrge tase klindivööndis Astangu ja Kose piirkondades. Nendes piirkondades ületab tasapinnalistes tingimustes looduskiirguse tase ehitusmaterjalides lubatud taseme kuni 2,6 korda (gr. lisa 3, up 23).

Tallinna pinnases on kõrge looduskiirguse peamiseks põhjuseks kõrge U-sisaldus. Arvestades, et kõrge U-sisaldus (kuni 140 mg/kg) on omane diktüoneemakildale, pole välistatud, et eriti kildarikka pinnase looduskiirguse tase võib tasapinnal ulatuda 3-kordse ohutu piiri tasemeni ja erandjuhtudel ületada selle, kaevandis veelgi enam.

Märkus: 1 mg/kg eU = 12.3 Bq/kg; 1 mg/kg ²³²Th = 4 Bq/kg; 1% eK (40K) = 310 Bq/kg.

9. Keskkonnaohtlikest elementidest pinnases

Tallinna piires on mulla lähtekivimis ja selle baasil ning inimtegevuse tulemusel kujunenud huumushorisondis (pindmises kihis) keskkonnaohtlike elementide sisaldus selgitatud lünklikult ja tagasihoidlikult. Nende elementide kõrgendatud ja kõrged sisaldused levivad tolmuks ja võivad kontsentreeruda puu- ja juurviljas ning avaldada negatiivset mõju inimeste tervisele.

Keskkonnaohtlike elementide sisaldusest mulla lähtekivimis ja huumushorisondis esialgse kompleksse ülevaate saamiseks koguti proovid 31 uuringupunktist (Joonis 9.1). Need uuringupunktid on tihendatud klindivööndis, kus lisaks pinnase tehnogeensele saastele on pinnasele iseloomulikud looduslike elementide kõrged sisaldused.



Joonis 9.1. Pinnaseproovide võtmise punktid

Metoodika peatükis iseloomustatud metoodikat järgides eraldati kogutud proovidest EGK laboris fraktsioon alla 2 mm. Fraktsioon moodustas > 70% proovist. See peenestati (Petersell jt, 1997) ja ligi 200 g puudrist eraldati ligi 100 g kaalutised ja suunati Kanadasse rahvusvaheliselt tunnustatud AcmaLabs laborisse ja EGK laborisse F-sisalduse määramiseks. Keskkonnaohtlike elementide kogusisaldus (Hg kuningvees lahustuv osa; Tabel 9.1) mõõdeti AcmaLabs laboris ICP–MS

meetodil. F-sisaldus määrati ioonselektiivsel elektroodanalüüsi meetodil. Pimekontroll osutab laborite analüüside heale kvaliteedile.

Mulla lähtekivimi ja huumushorisoni moodustavad mandriliustike poolt purustatud ja lõuna suunas erinevale kaugusele kantud, nii Läänemere põhjas kui ka Fennoskandia kilbil paljanduvad magma- ja metamorfsed ning lõuna pool neid katvate settekivimite olulisemad kivimtüübid. Kõigi nende kivimite keemiline koostis on väga erinev, nende hulgas on esindatud kõik Eestis keskkonnaohtlikuks tunnistatud 20 elementi (Tabel 9.1).

Lähtekivimi olulisemad heterogeensused kajastuvad aluspõhjakivimeid katvas moreenis, on sõltunud liustike poolt purustatud erinevate kivimite suhtevahekorra, hulgast, purustusel kujunenud lõimisest ja mandrijää sulavee tegevusest. Tallinna mulla heterogeensust on oluliselt suurendanud Läänemere poolt põhjustatud klindiasangu abrasioon ja astangu ning mere vahelisel alal toimunud akumulatsioon. Huumushorisoni on täiendavalt mõjutanud nii Holotseenis toimunud maapinna kõikumised kui ka eksogeensed geoloogilised protsessid ning inimtegevuse mõju.

Tallinna reljeefi olulisemaks makrovormiks on klindiasang, mille piires avanevad pinnakatte all või paljanduvad astangutes kõrge metallide sisaldusega diktüoneemakilt ja oobolusliivakivi (Petersell jt, 1997). Tallinna piires pole nende kivimite keskkonnaohtlike elementide sisaldust selgitatud, kuid nii linna ida- kui ka läänepiiri taga ületab kildas U-, Mo-, V- ja paiguti As-, Cd-, Pb- jt ning oobolusliivakivis (fosforiidis) F- ja U-sisaldus elumaal soovitusliku siht- ja isegi lubatud piirarvu. Need kõrged sisaldused kajastuvad nii mulla lähtekivimis kui ka huumushorisonis. Nendele lisandub tehnogeenne saaste.

Tabel 9.1. Keskkonnaohtlike elementide sisaldus, mg/kg

Element ja selle sümbol	Elementide sisaldus						Tallinna pinnas					
	Piirid		Euroopa***		Eesti		Lähtekivim			Huumushorisont		
	sihtarv	piirarv	LK	KK	LKG	HHG	GK	e	xm	Gk	e	xm
As (Arseen)	20	30	6,02	7,03	3,50	3,04	4,10	2,92	47,5	4,21	2,17	46,6
B (Boor)*	30	100			7,57	5,51	7,40	1,73	19	5,90	1,75	14
Ba (Baarium)	500	750	385	375	310	377	186	1,88	713	208	1,29	308
Be (Berüllium)	2	10	<2	<2	1,05	0,90	0,70	1,83	4	0,61	1,55	2
Cd (Kaadmium)*	1	5	0,09	0,15	0,08	0,15	0,07	3,40	2,45	0,18	2,18	1,18
Co (Koobalt)	20	50	8,97	7,78	4,64	4,57	2,43	2,60	10,9	2,44	1,90	6,4
Cr (Kroom)	100	300	62,0	60,0	23,4	23,8	10,6	3,10	65	14,4	2,08	65
Cu (Vask)	100	150	13,9	13,0	7,65	8,52	7,84	3,26	310	13,3	2,19	51,8
F (Fluor)	450	1200	530				364	3,45	2100	336	2,64	1350
Hg (Elavhõbe)*	0,5	2	0,022	0,037	0,014	0,034	0,019	6,03	0,935	0,076	3,93	7,129
Mo (Molübdeen)*	10	20	0,52	0,62	0,41	0,47	0,47	4,89	24,6	0,62	3,26	30,9
Ni (Nikkel)	50	150	21,8	18,0	11,7	10,0	5,37	2,94	44,1	6,63	1,98	24,2
Pb (Plii)	50	300	17,2	22,6	17,1	21,6	20,0	2,26	224	32,4	1,90	140
Sb (Stiibium)*	10	20	0,47	0,60	0,12	0,13	0,23	5,02	9,27	0,45	2,23	2,94
Se (Seleen)*	1	5			0,12	0,14	0,27	1,99	1,0	0,37	1,90	1,3
Sn (Tina)	10	50	0,03	0,03			0,71	4,13	31,4	1,40	2,28	7,3
Tl (Tallium)*	1	5	0,67	0,66	0,15	0,13	0,32	2,52	5,04	0,35	1,82	3,1
U (Uraan)	1	5	2,03	2,00	2,60	2,36	2,54	2,53	14	2,42	2,29	17,4
V (Vanaadium)	50	300	62,8	60,4	39,1	32,4	19,9	2,96	260	19,5	2,35	272
Zn (Tsink)*	200	500	47,0	52,0	27,8	45,4	25,5	3,03	633	60,9	2,17	333

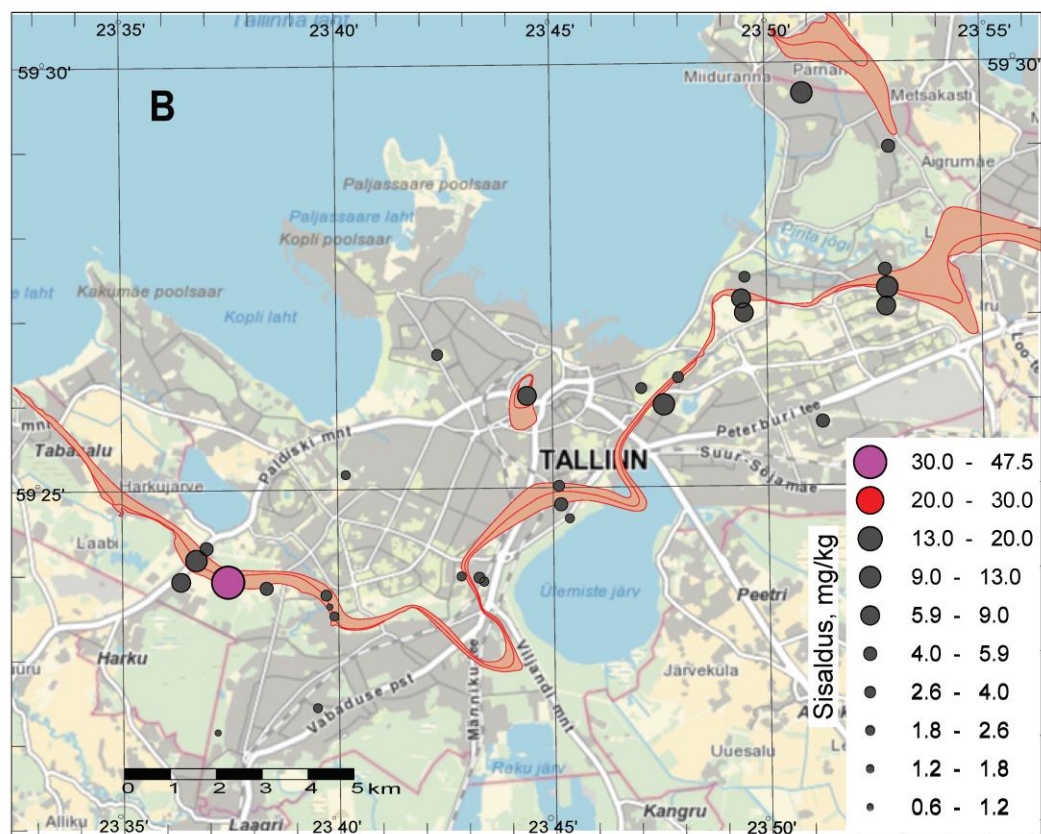
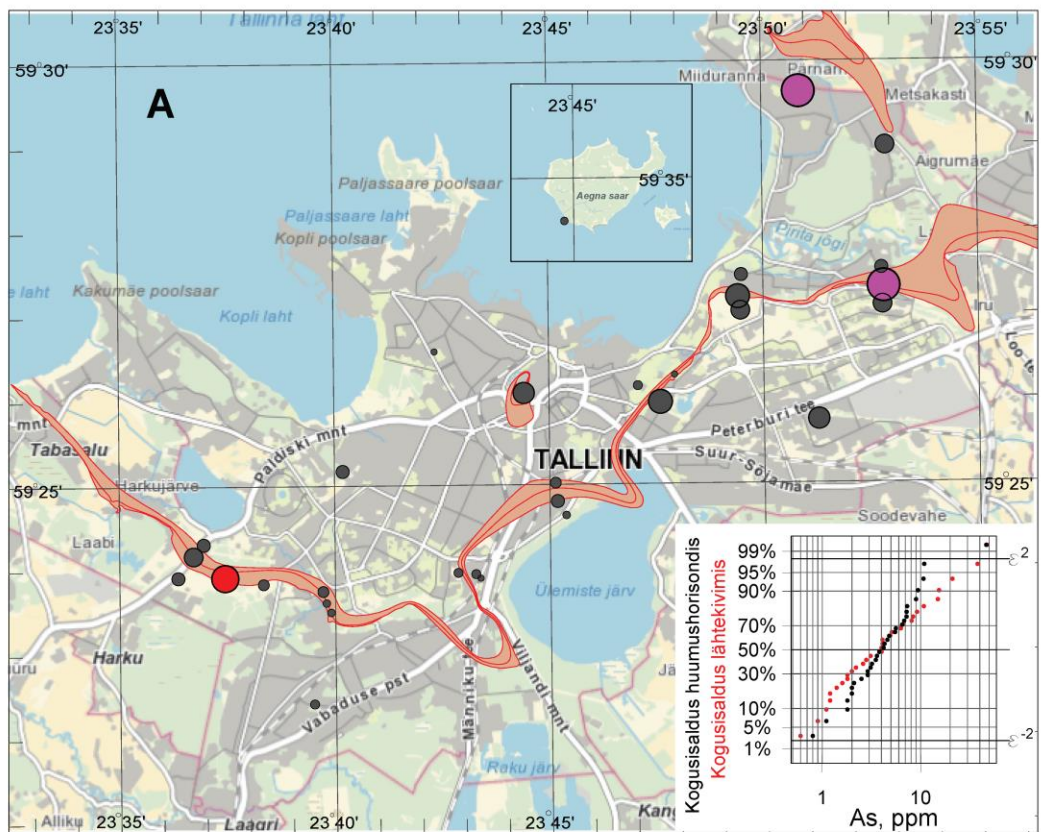
Vaadeldavate keskkonnaohtlike elementide nimistus eristuvad 9 elementi: B, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Ni, Sb ja Sn. Nende elementide sisaldus Tallinna pinnases – huumushorisondis (pinnase pindmises kihis), ja lähtekivimis on lähedane looduslikule foonilisele sisaldusele ja ei ületa üldjuhul ka soovituslikku sihtarvu. Nende elementide keskmine sisaldus on lähedane Eesti ja ka Euroopa mulla samadele näitajatele või madalam.

As, Cd, F, Hg, Mo, Pb, Se, Tl, U, V ja Zn levikut mulla lähtekivimis ja huumushorisondis (pindmises kihis) iseloomustavad Joonis 9.2 kuni Joonis 9.12. Nendel joonistel on elementide ohutu sisaldus tähistatud mustade ringidega, sihtarvu ületavad sisaldused punaste ja elumaal lubatud piiri ületavad sisaldused lillade ringidega. Üksikutes uuringupunktides on nende elementide sisaldus kõrgendatud, sihtarvulähedane või sellest kõrgem. Diktüoneemakilda ja oobolusliivakivi avamus kui paljude keskkonnaohtlike elementide oluline allikas on joonistel tähistatud roosa värviga. As- ja Mo-sisaldus ületab üksikjuhtudel, F- ja U-sisaldus sageli elumaal lubatud piirsisalduse. Tuginedes geomeetrilisele keskmisele sisaldusele ja standardsele kordajale, pole raske arvutada, et võõndis võib kohata sageli F- ja U-sisaldusi, mis ületavad ka tööstusmaal lubatud piirarvu, vastavalt 2000 mg/kg ja 20 mg/kg. Sisalduste pindalalise leviku pildis on jälgitav, et valdav enamus siht- ja piirarvu ületavaid sisaldusi levib klindivõõndis aladel, kus astangusse lõikuvad ürgorud puuduvad. Need on elemendid, mis on omased diktüoneemakildale (U, Mo, V, As, Cd jt) või oobolusliivakivile (F, U) ja tõenäoliselt on seotud mainitud kivimite peenese kõrgendatud sisaldusega

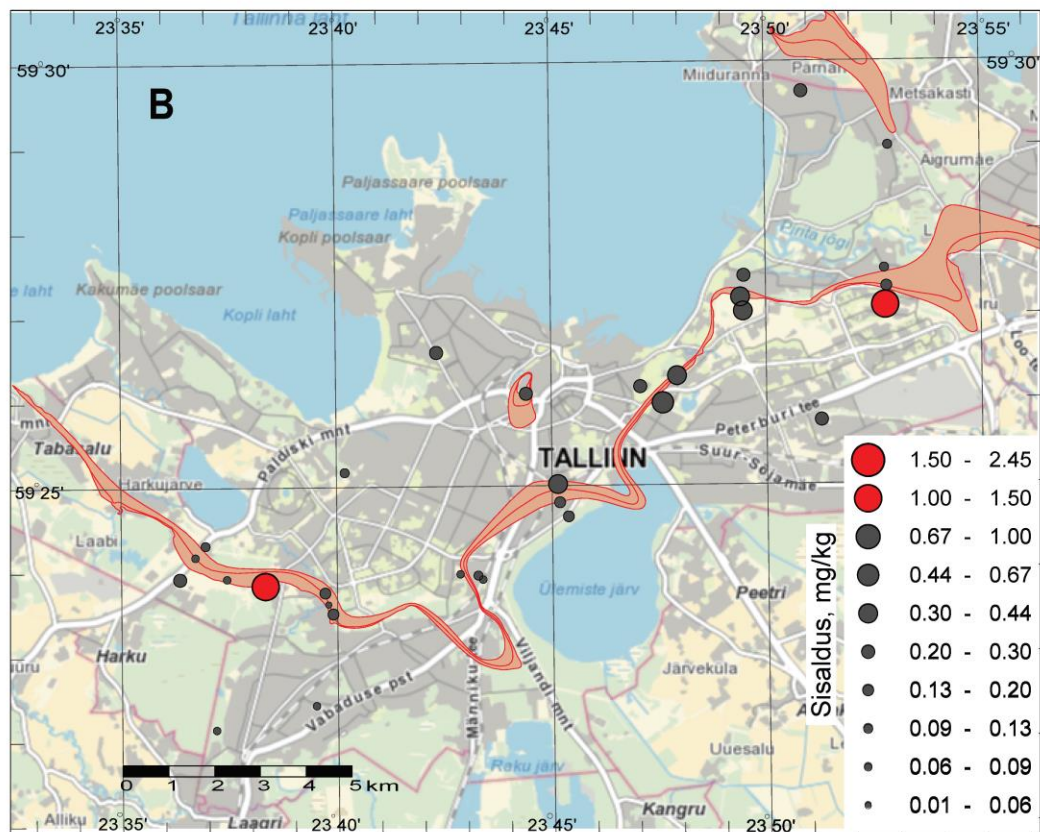
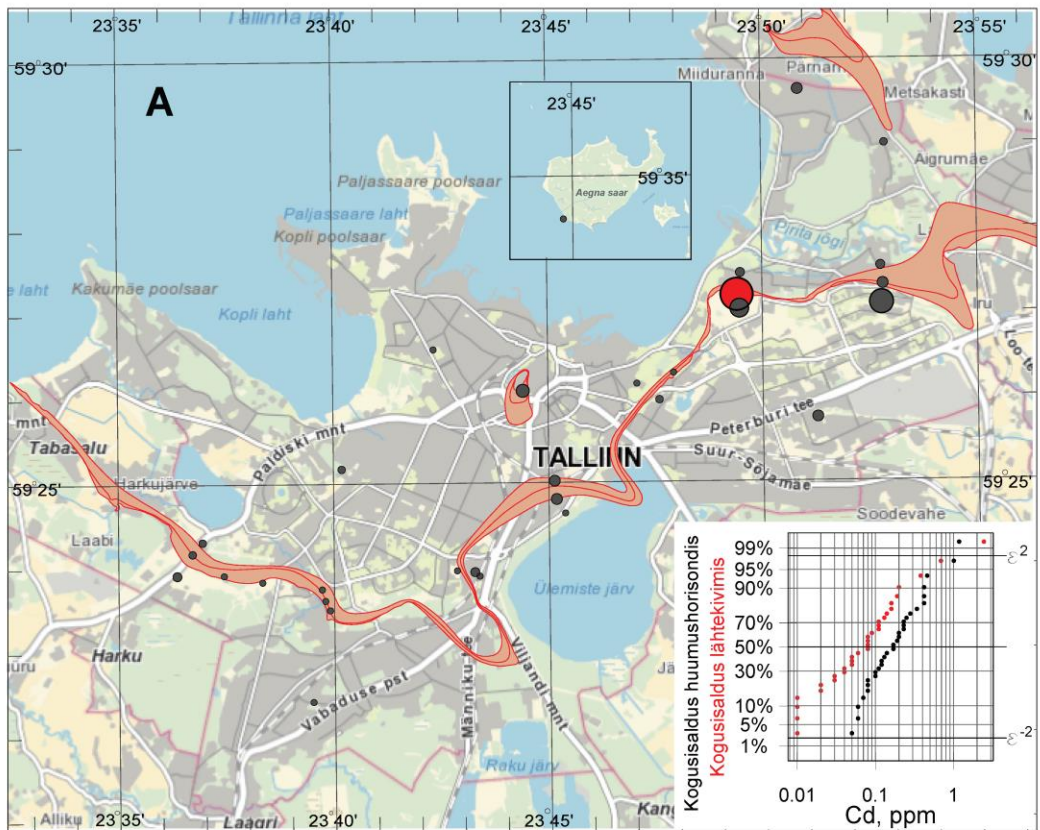
pinnases. Erandi moodustab Hg, mille kõrgendatud ja kõrged sisaldused (> 10 korda kõrgemad lähtekivimi keskmisest) esinevad kogu territooriumil.

Tallinna piirkond vabanes mandrijääst ligi 10 000 aastat tagasi. On reaalne, et tol perioodil oli elementide sisaldus lähedane kogu pinnase läbilõikes. Kaasajal erineb rea elementide sisaldus huumushorisondis (pinnase ülemises kihis) oluliselt sisaldusest lähtekivimis. Sisaldused huumushorisondis (pinnase ülemises kihis) on kuni 2 ja enam korda kõrgemad sisaldusest lähtekivimis. Need on esmajärjekorras elemendid, mis on kergesti lenduvad ja inimtegevuses olnud ulatuslikult kasutusel. Need on Cd, Hg, Cu, Pb, Zn, Sn ja Sb (Joonis 9.13), mis on kontsentreerunud huumushorisondis või pinnase ülemises kihis ja mille sisaldus on kõrgem Eesti ja osaliselt Euroopa sama mullakihi keskmisest (Tabel 9.1). Need elemendid pole omased ei diktüoneemakildale ega fosforiidile, vaid iseloomustavad Tallinna eksisteerimise ja elutegevusega kaasnevat oluliselt intensiivsemat saastet, võrreldes hõredasti asustatud maapiirkondadega. Need erinevused mulla lähtekivimis ja huumushorisondis on nii mullatekkeliste looduslike protsesside, kuid tõenäoliselt valdavalt inimtegevuse poolt põhjustatud saaste tulemus.

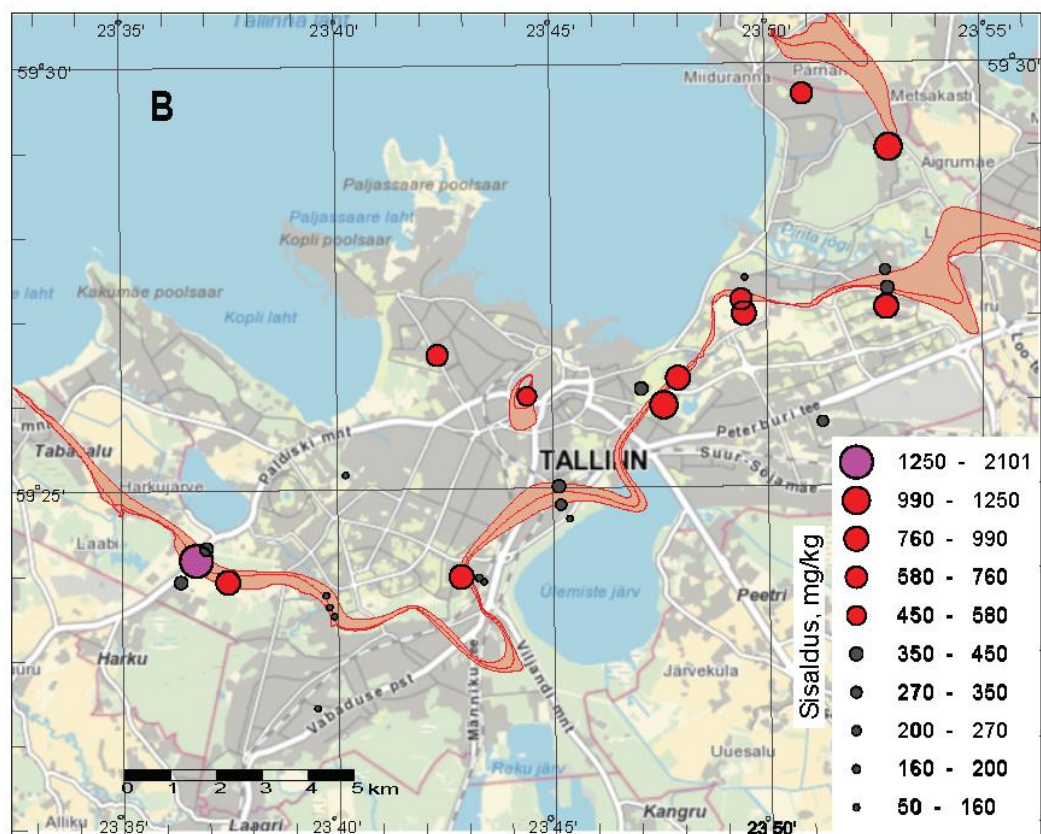
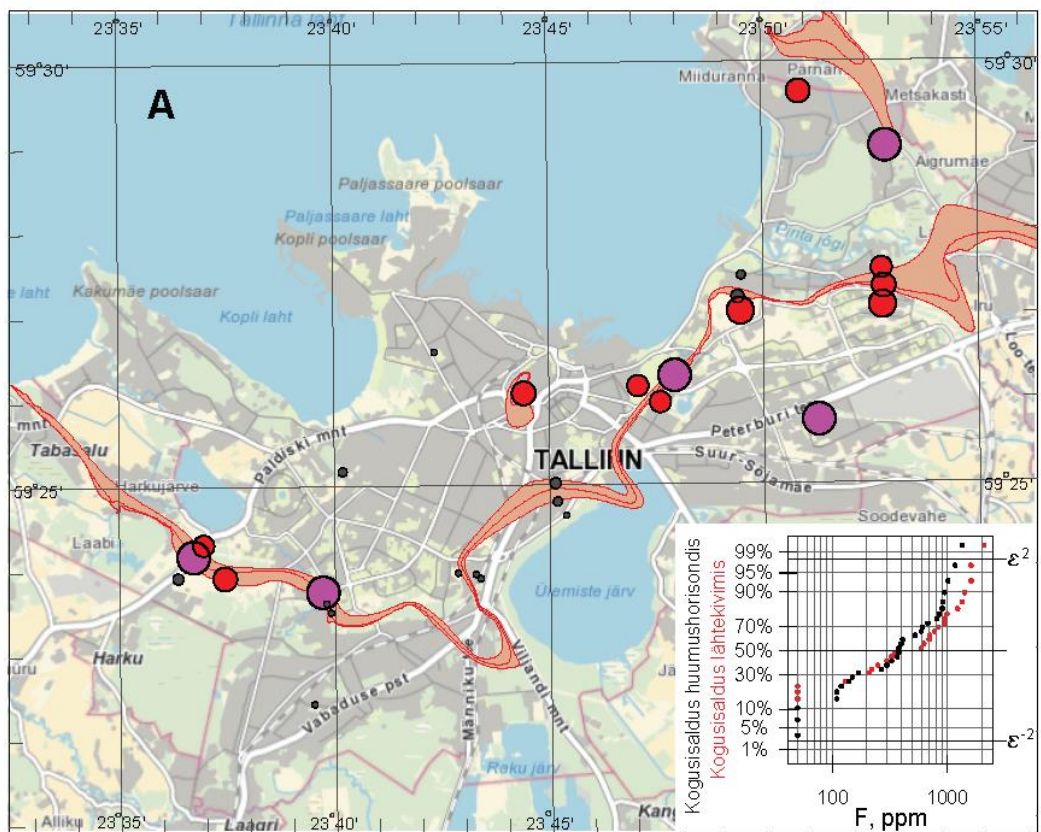
Keskkonnaohtlikemate elementide (Cd, Hg, Pb ja Zn) saaste on pindalalise levikuga ja küllalt üheilmeline, tõenäoliselt valdavalt levinud õhu kaudu. Seda tõendab Cd-, Hg-, Pb- ja Zn-sisalduse vahe huumushorisondis (pinnase ülemises kihis) ja lähtekivimis (Joonis 9.14 kuni Joonis 9.17).



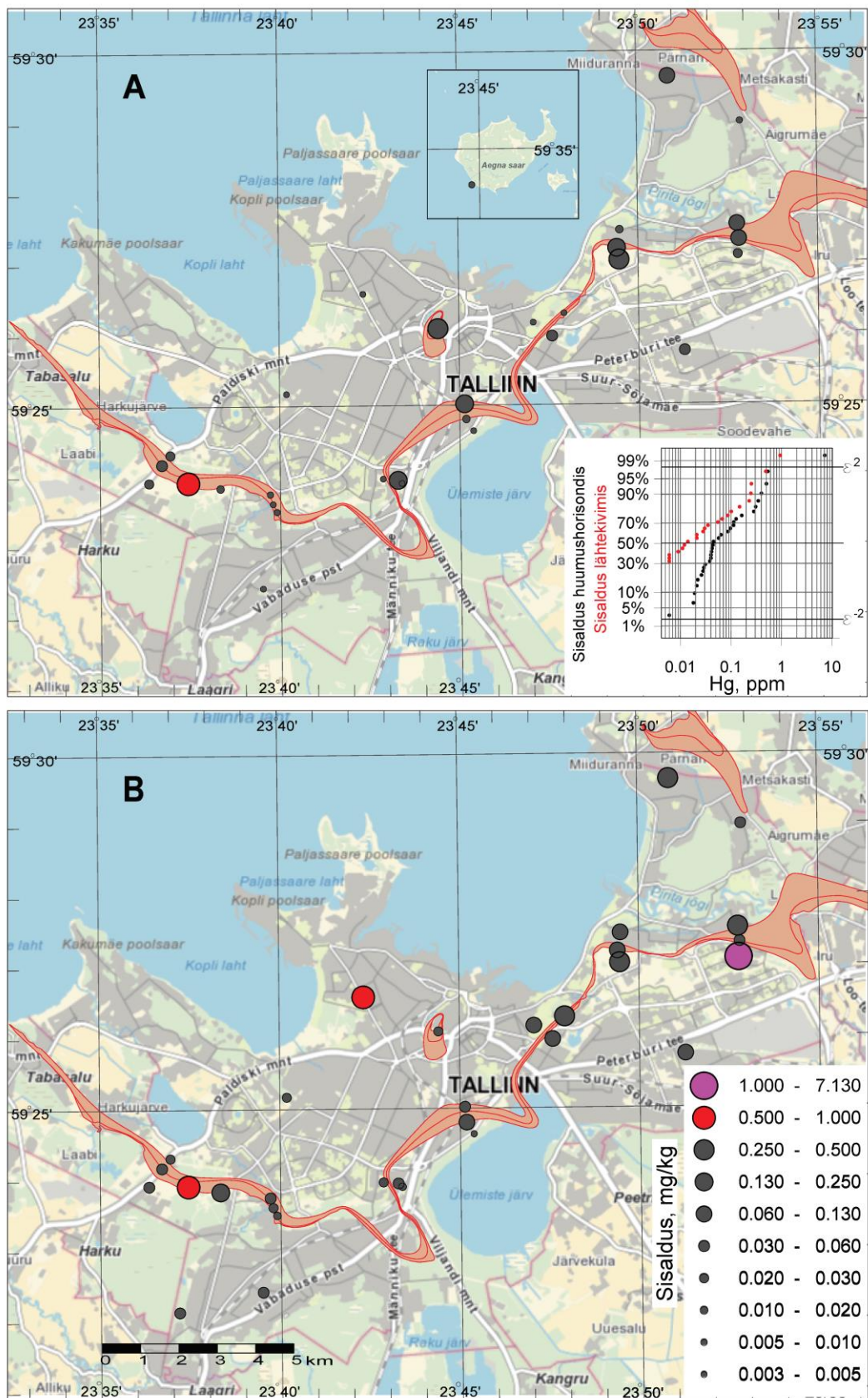
Joonis 9.2. Arseni (As) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B)



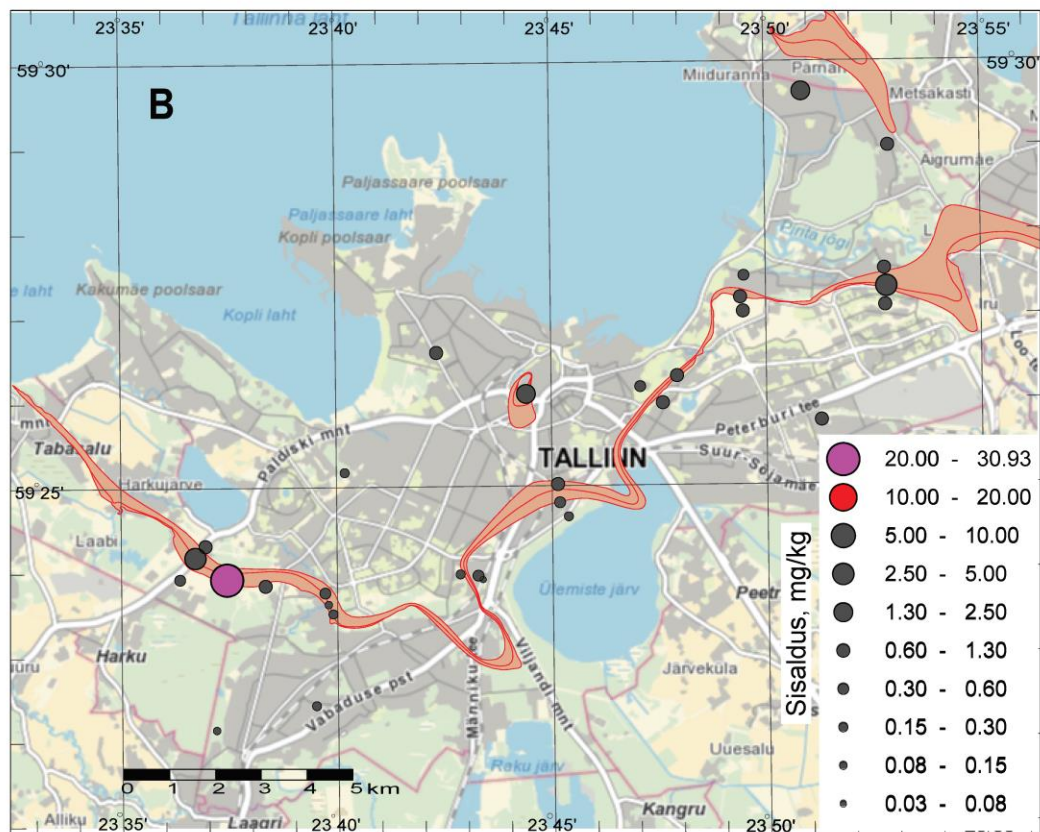
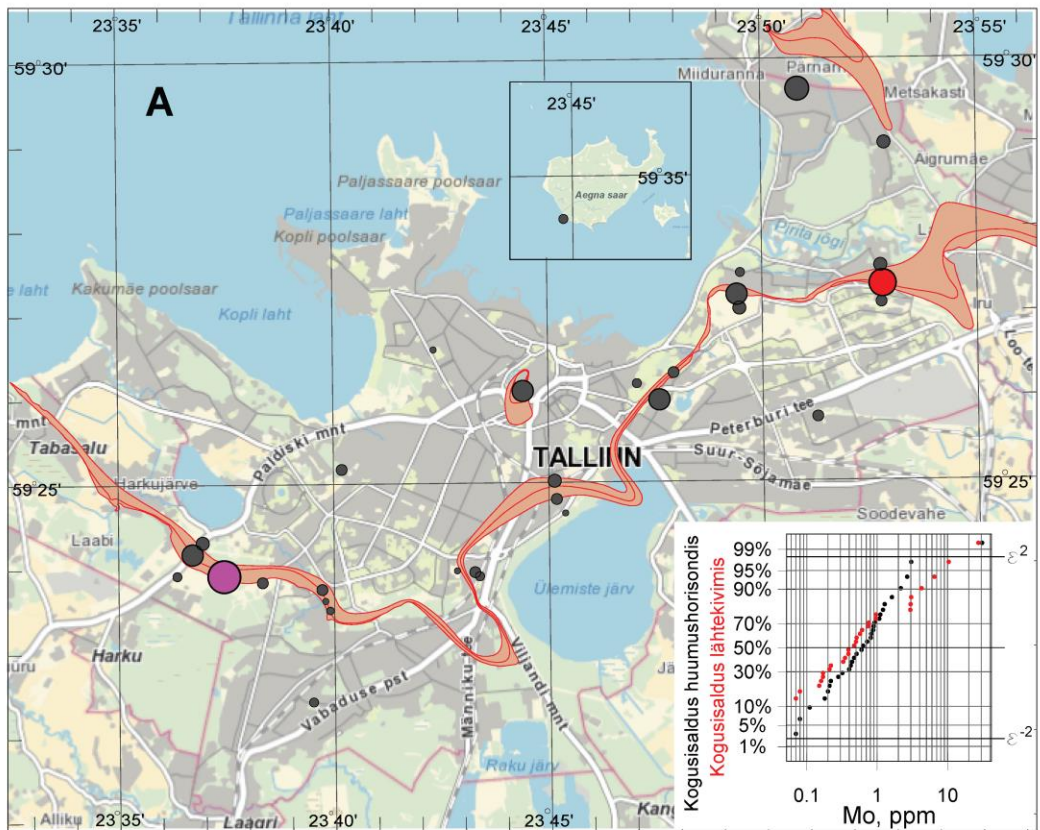
Joonis 9.3. Kaadmiumi (Cd) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B)



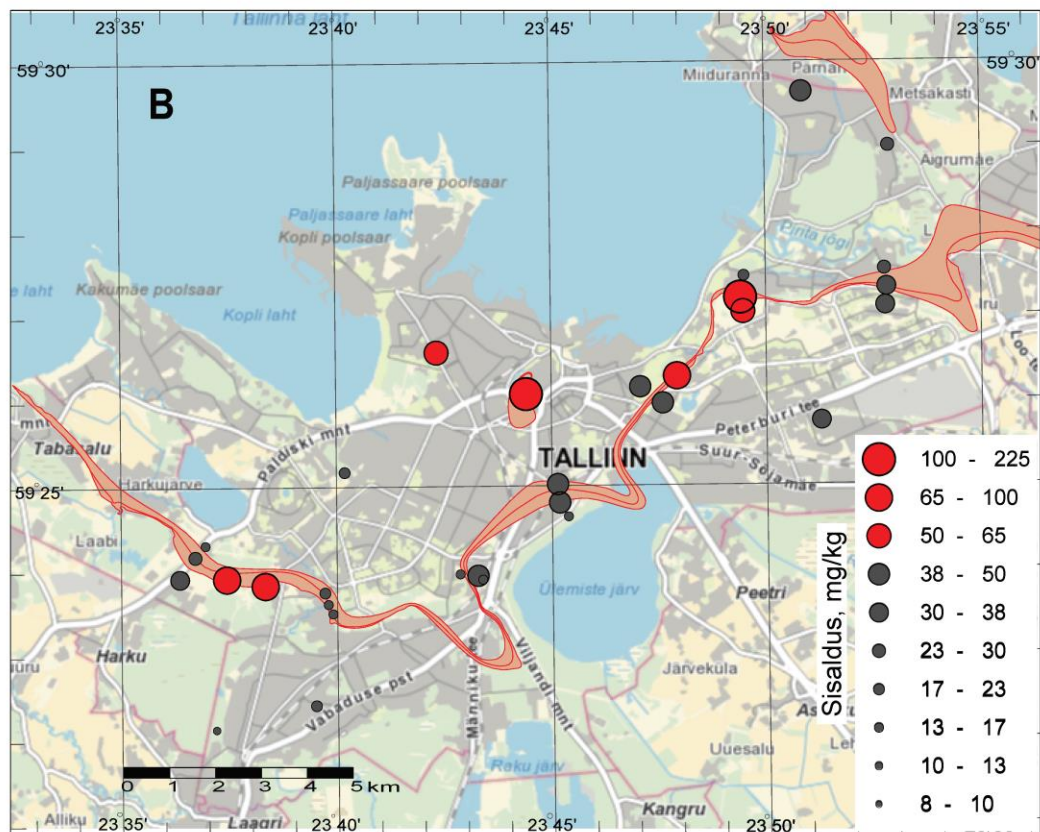
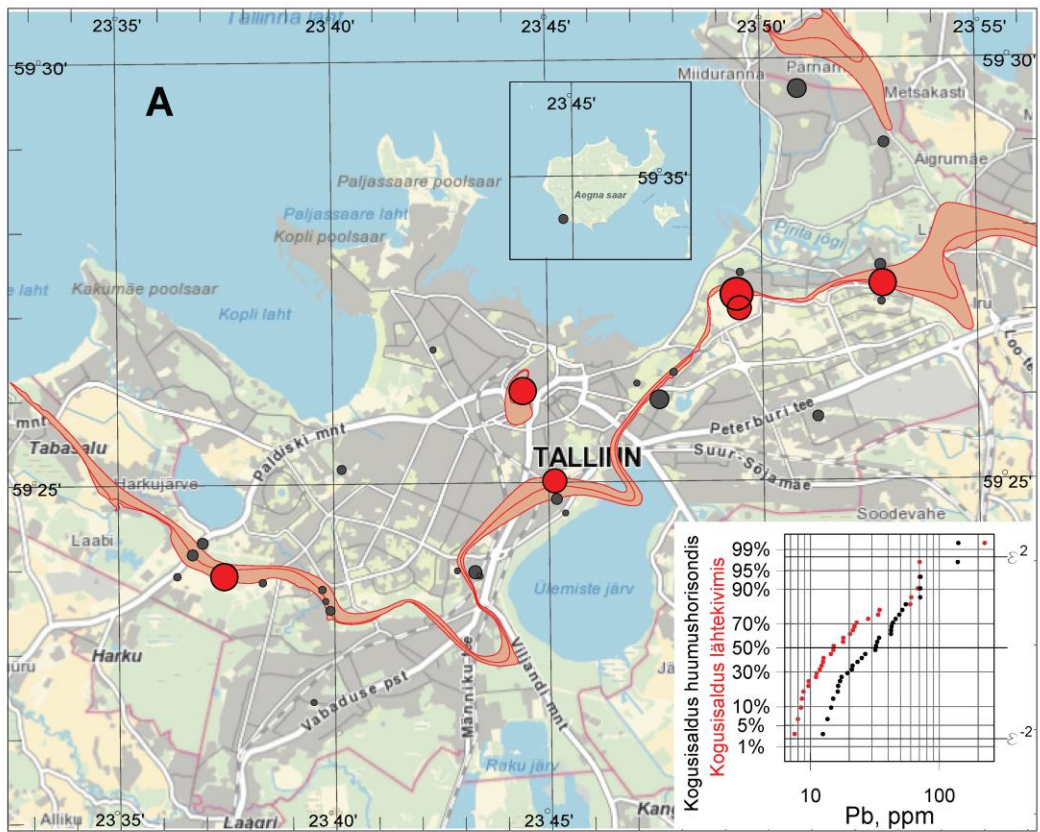
Joonis 9.4. Fluori (F) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B)



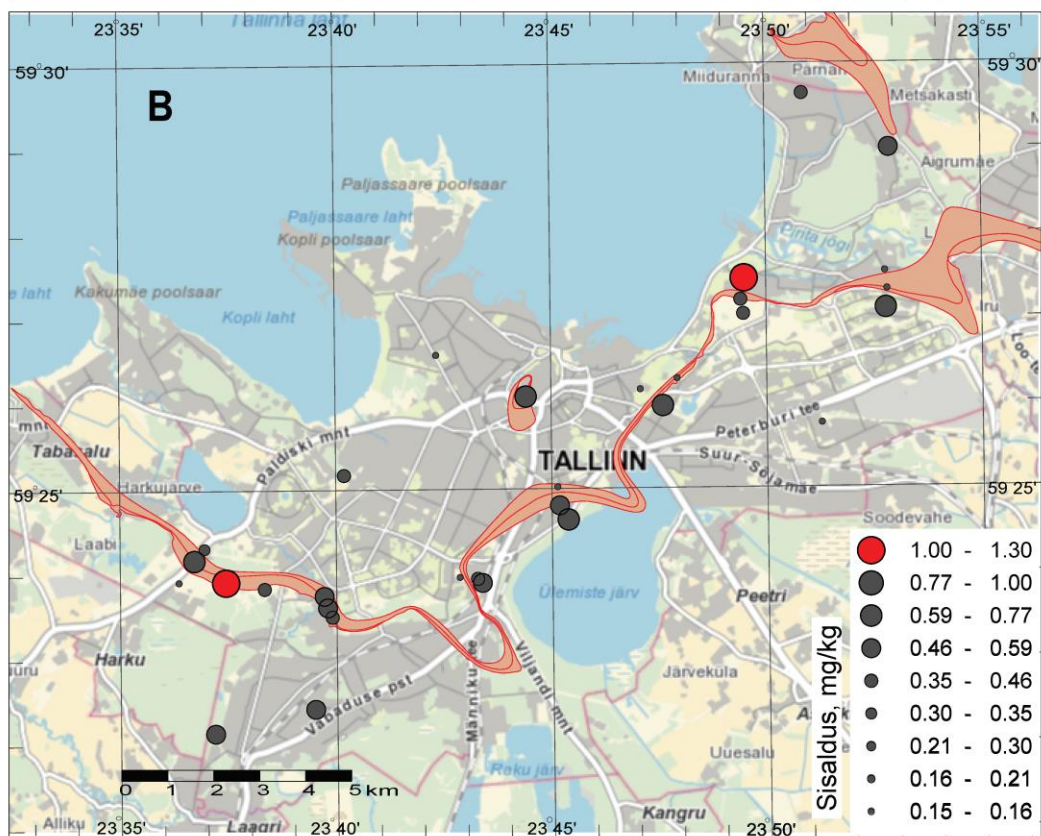
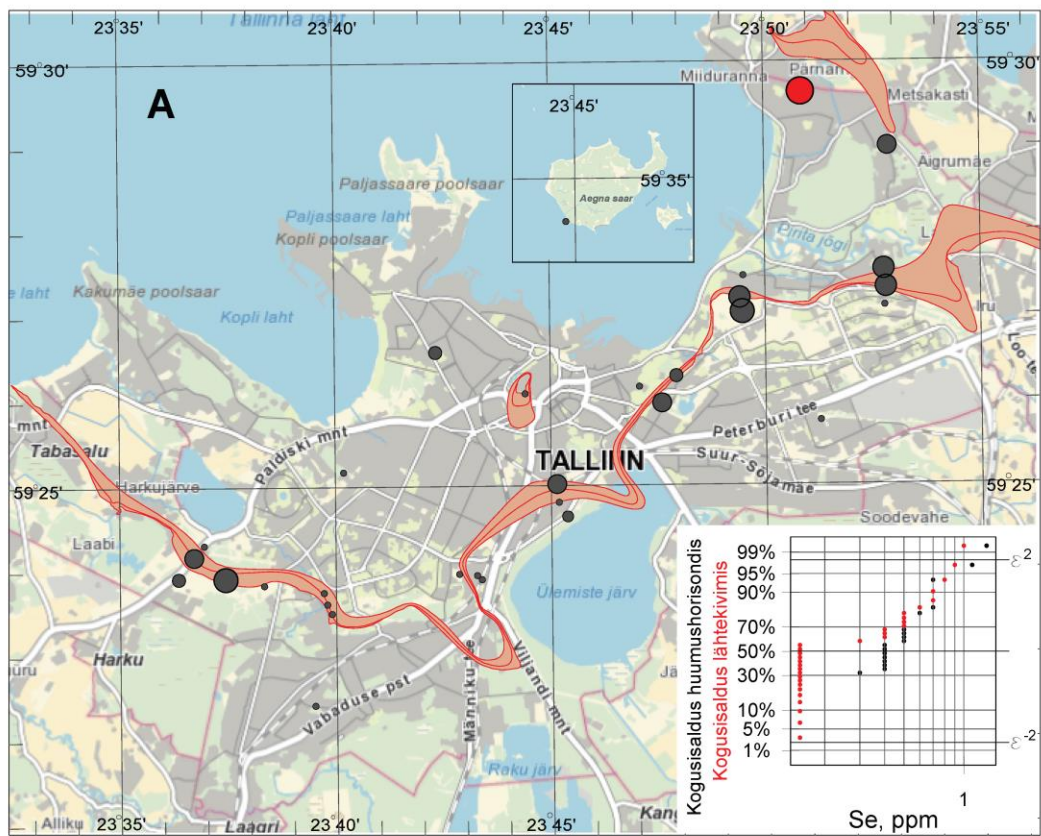
Joonis 9.5. Elavhõbeda (Hg) kuningvees lahustuv sisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushoriondis (B)



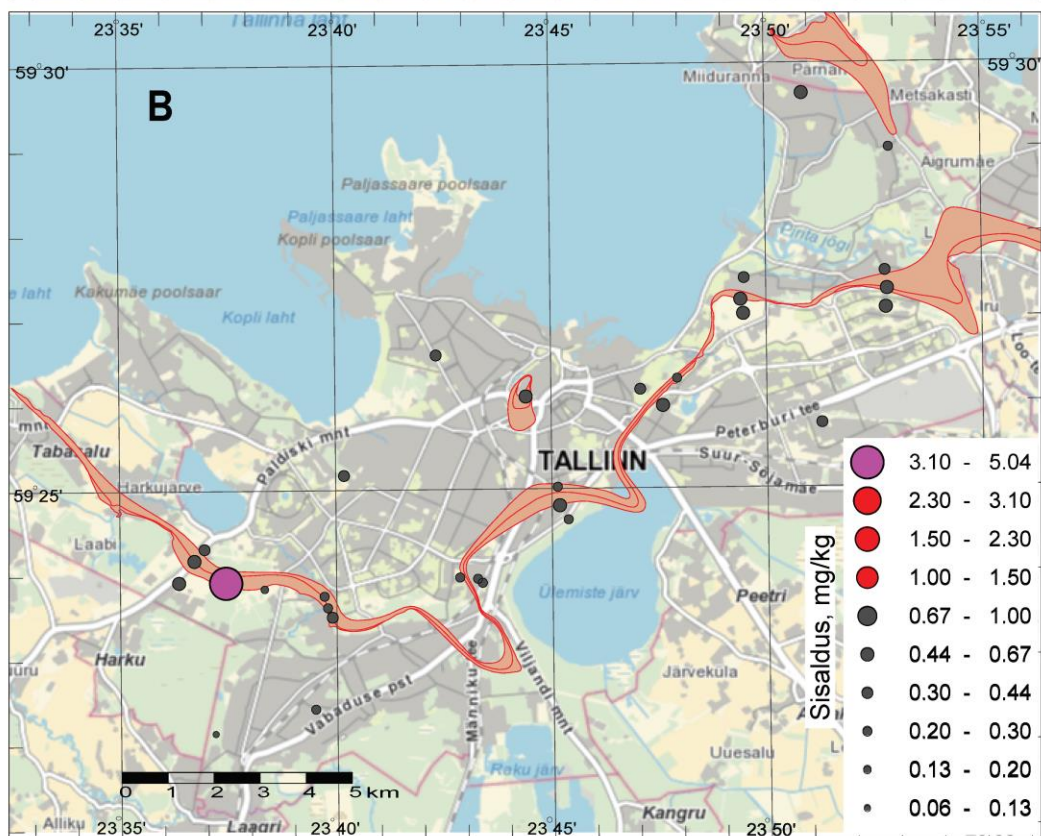
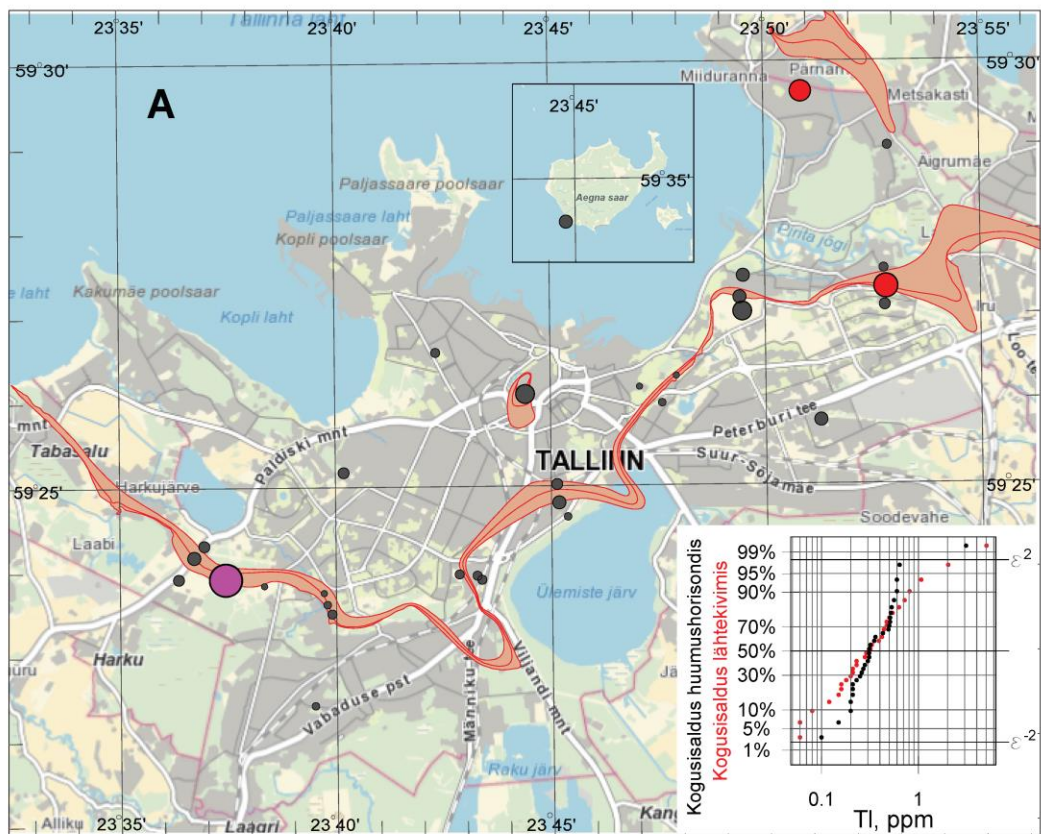
Joonis 9.6. Molibdeeni (Mo) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B)



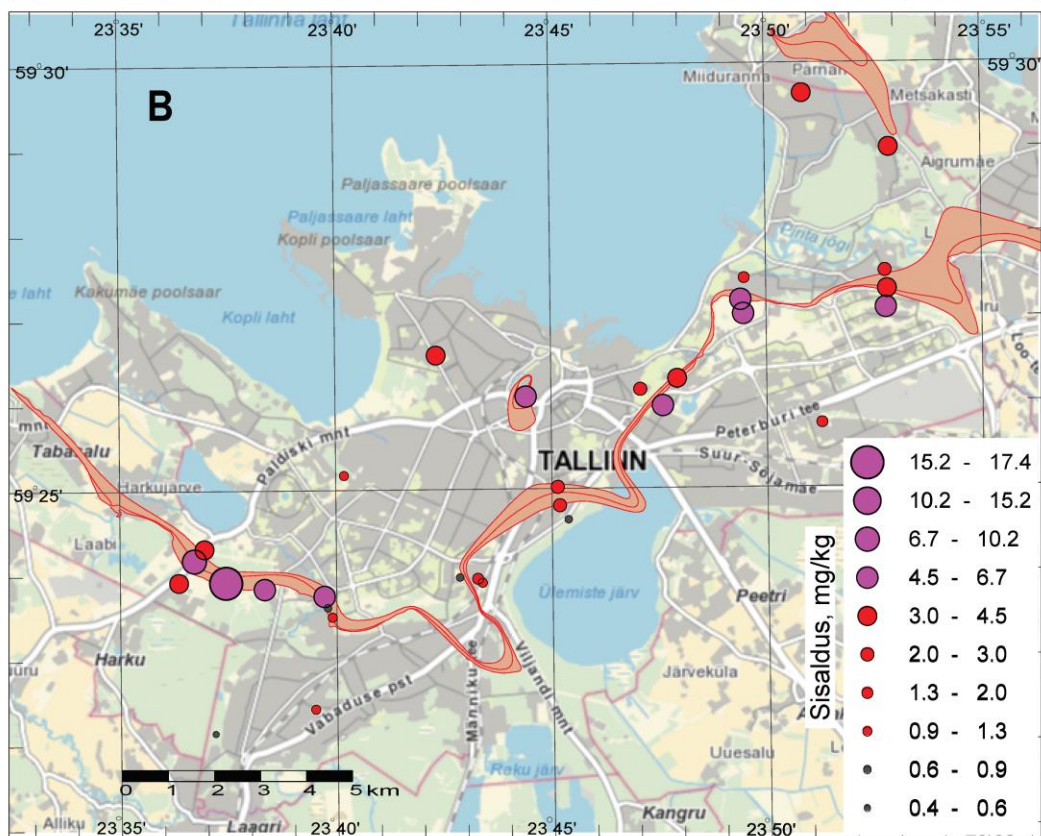
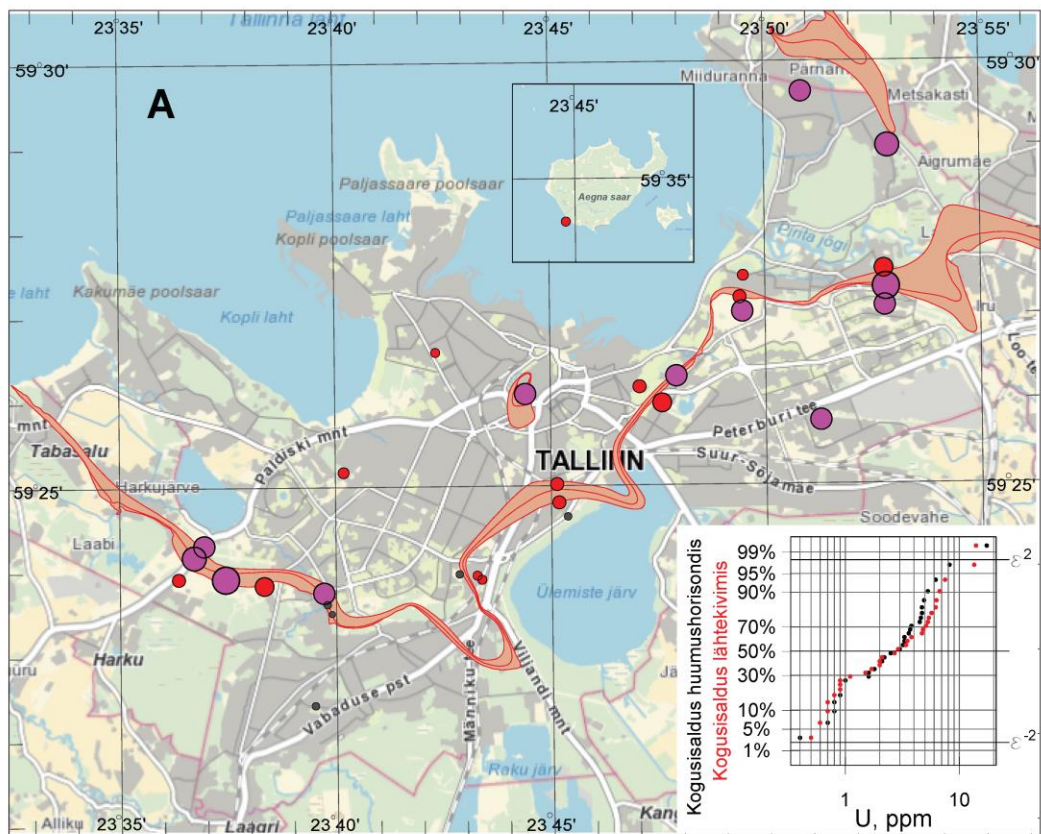
Joonis 9.7. Plii (Pb) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisonis (B)



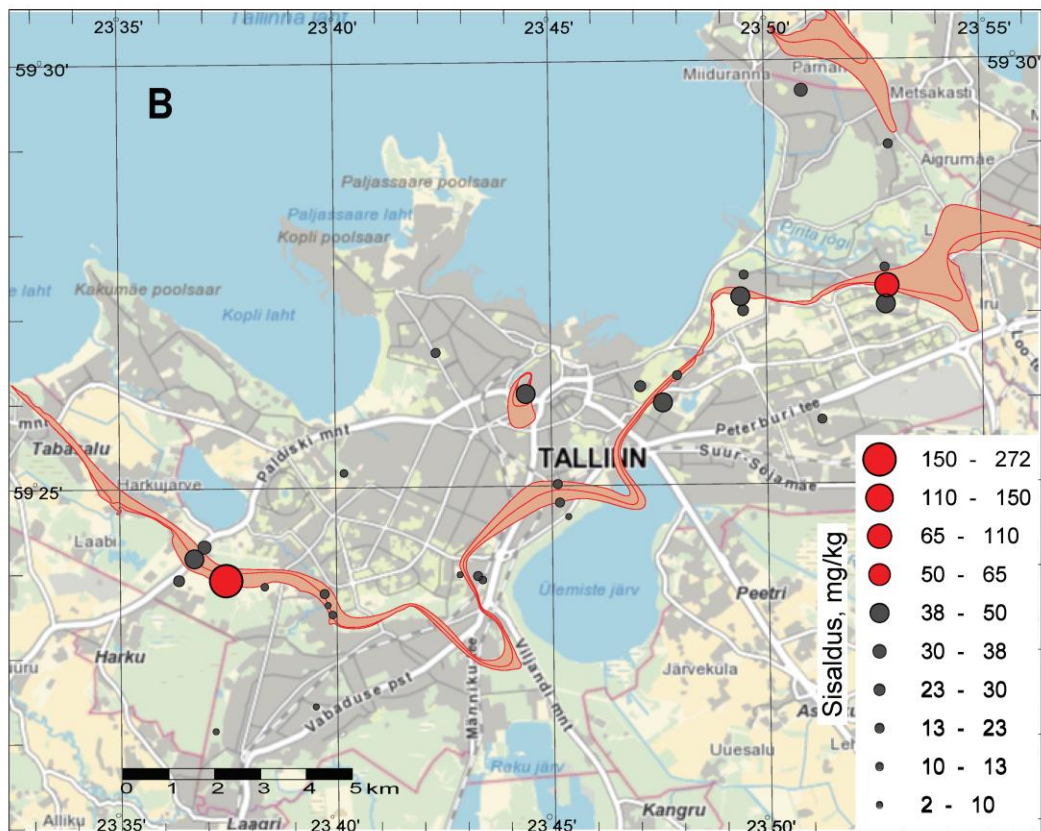
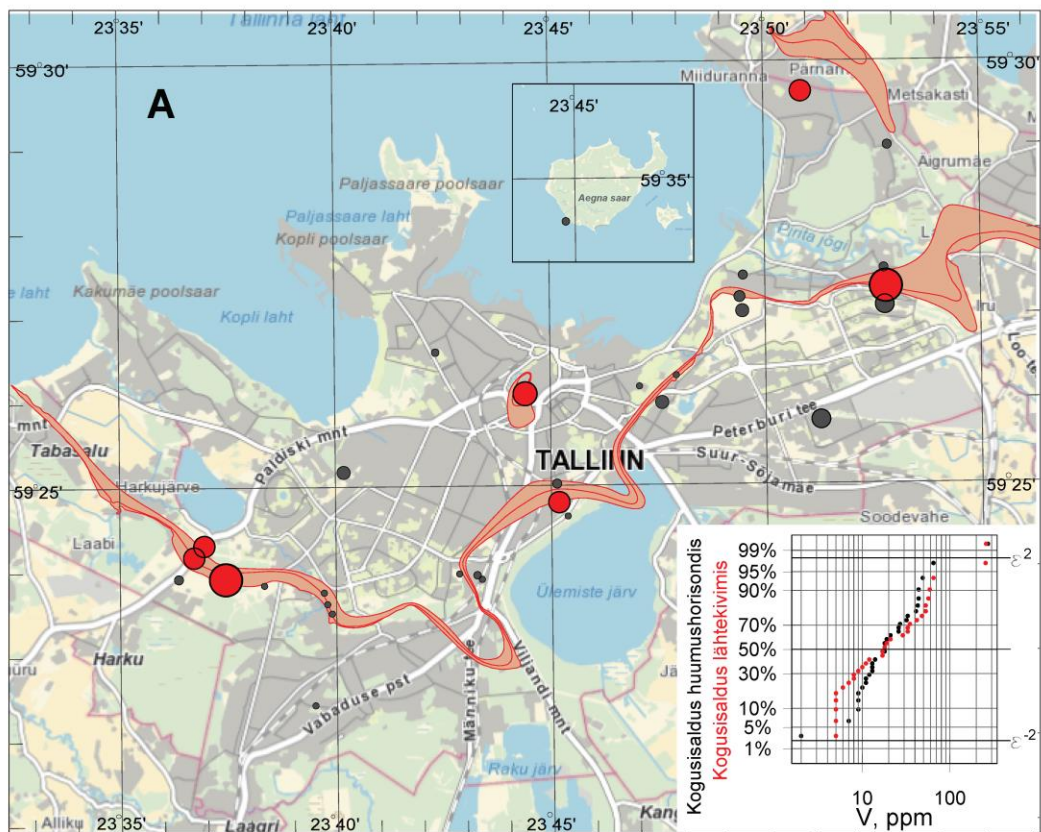
Joonis 9.8. Seleni (Se) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B)



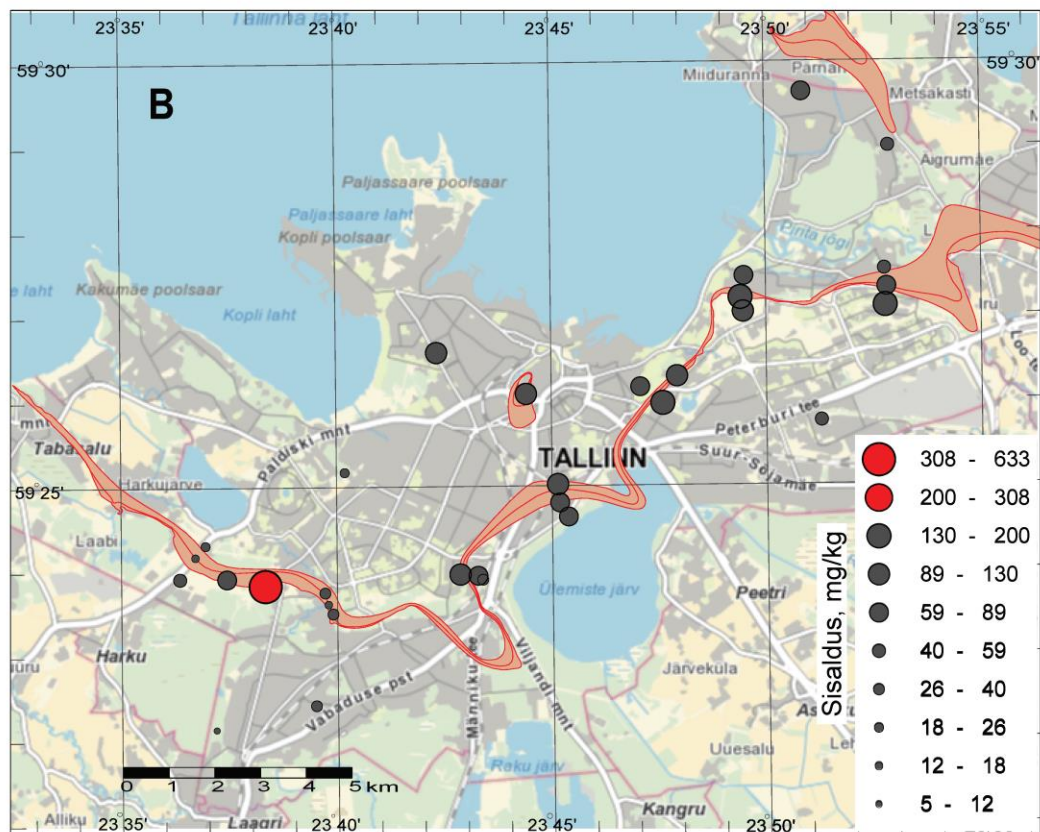
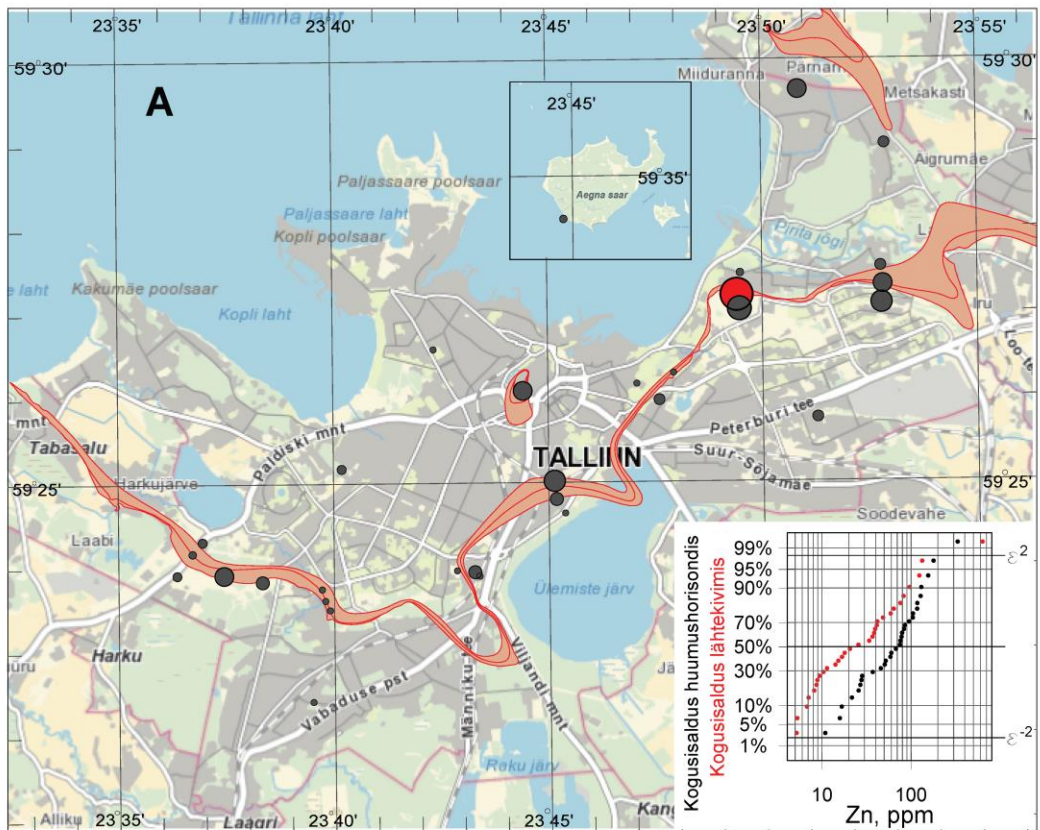
Joonis 9.9. Talliumi (Tl) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B)



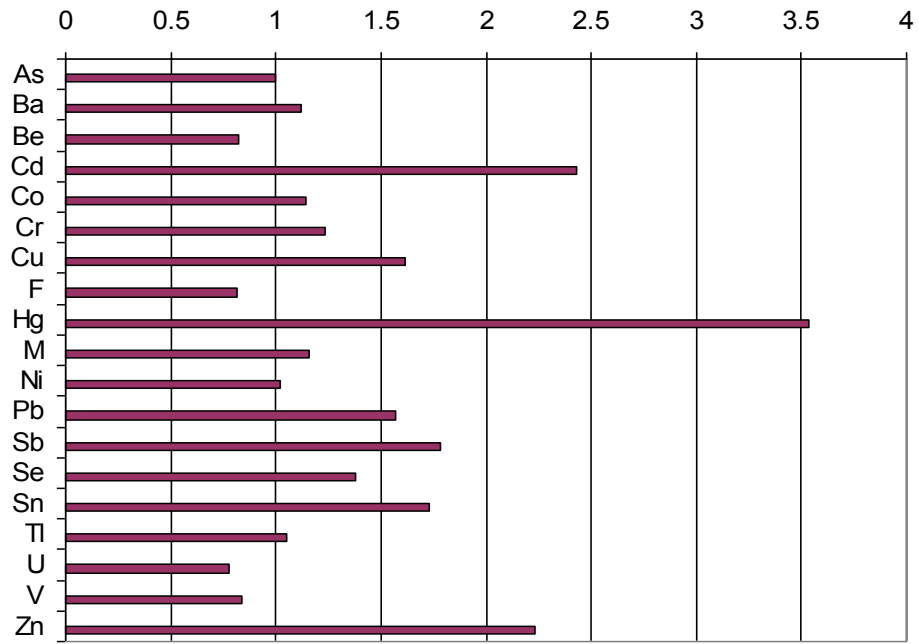
Joonis 9.10. Uraani (U) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B)



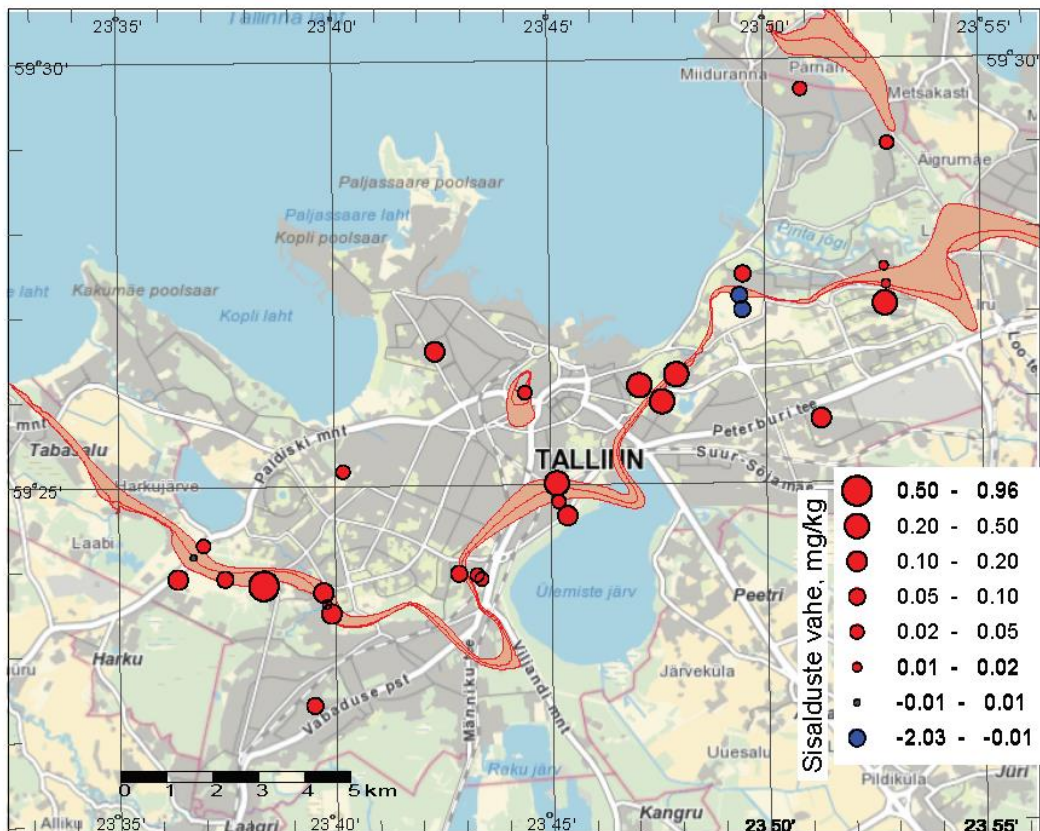
Joonis 9.11. Vanaadiumi (V) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B)



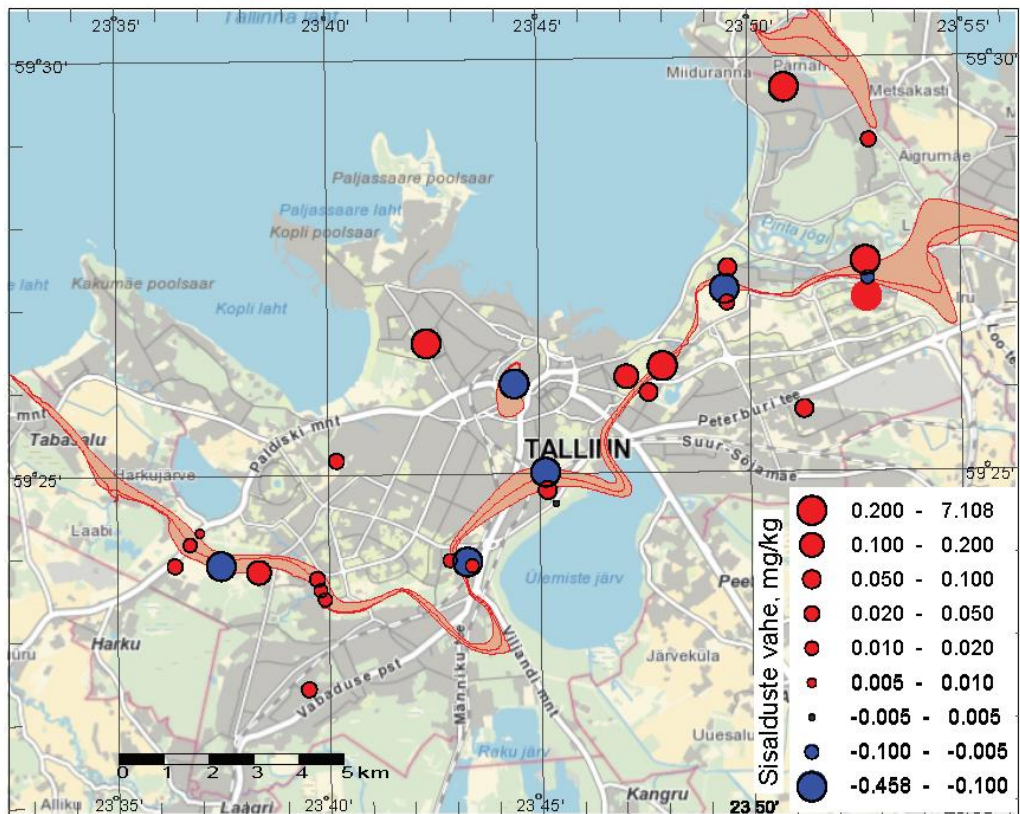
Joonis 9.12. Tsingi (Zn) kogusisaldus mulla lähtekivimis (A) ja huumushorisondis (B)



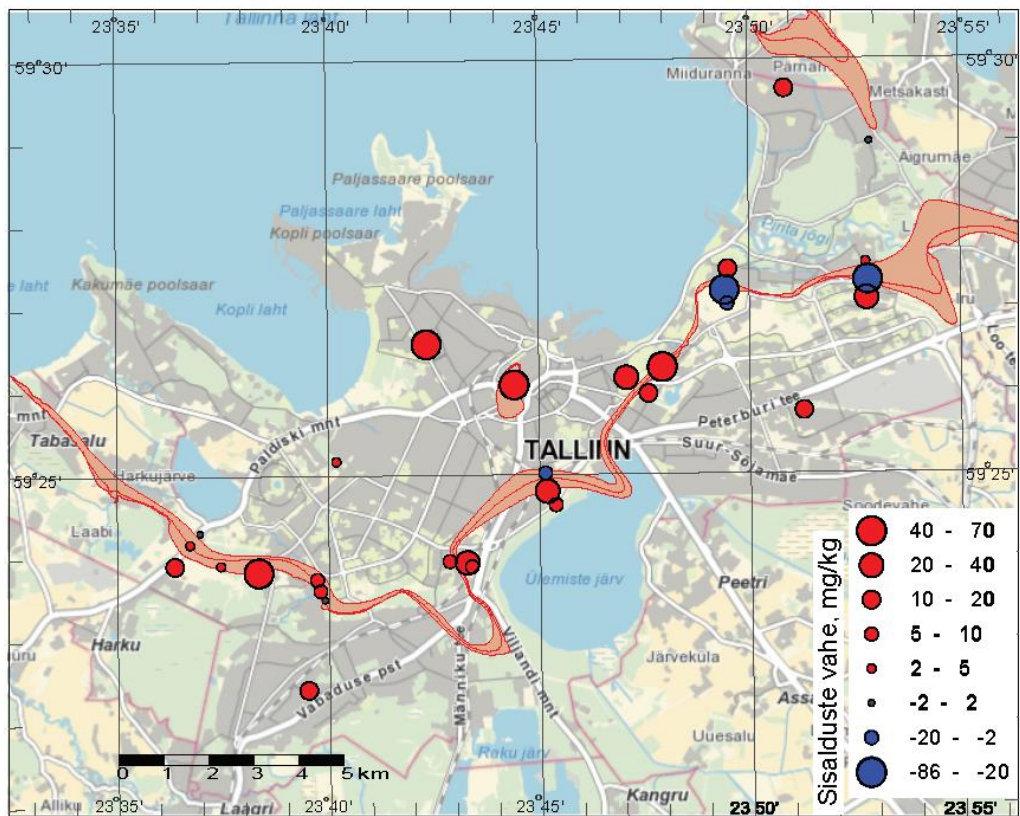
Joonis 9.13. Mulla lähtekivimis ja huumushoriondis keskkonnaohtlike elementide geometriliste keskmiste sisalduste suhted. Hg – kuningvees lahustuvad sisaldused; ülejäänud – kogusisaldused



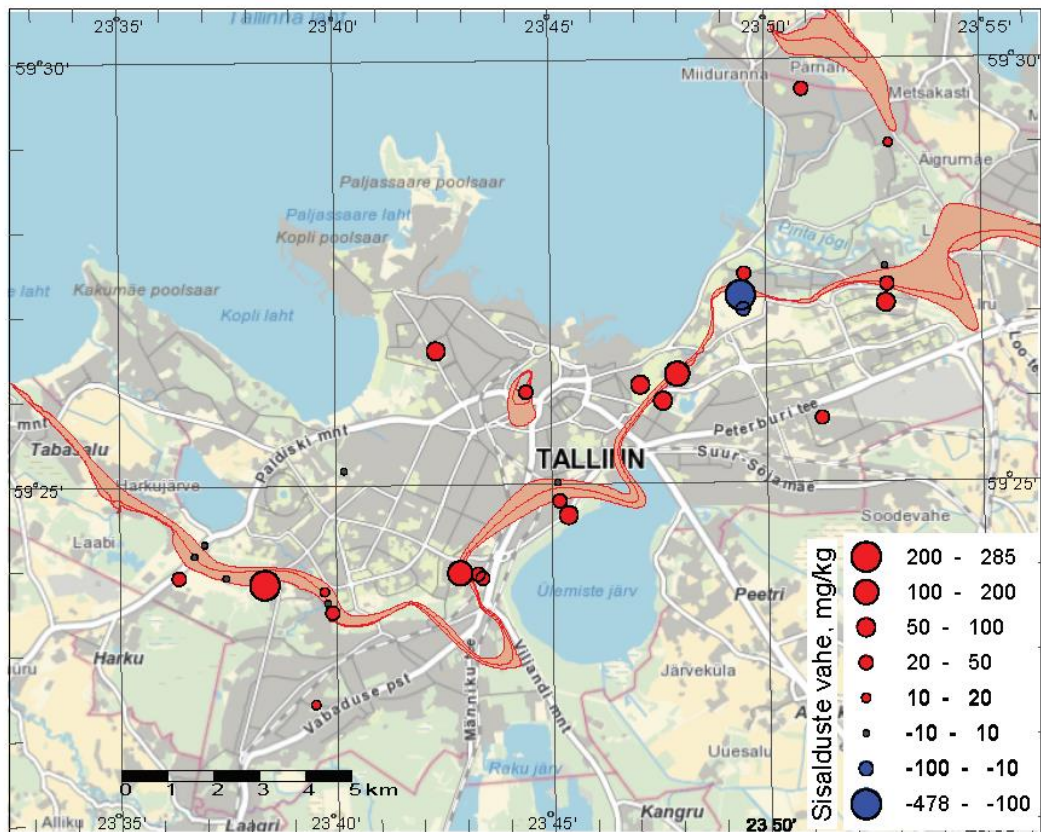
Joonis 9.14. Kaadmiumi (Cd) kogusisalduste vahe mulla huumushoriondis ja lähtekivimis (huumushoriondi rikastumine kaadmiumiga)



Joonis 9.15. Elavhõbeda (Hg) kuningvees lahustuvate sisalduste vahe mulla huumushoriondis ja lähtekivimis (huumushoriondi rikastumine elavhõbedaga)



Joonis 9.16. Plii (Pb) kogusisalduste vahe mulla huumushoriondis ja lähtekivimis (huumushoriondi rikastumine pliiiga)



Joonis 9.17. Tsingi (Zn) kogusisalduste vahe mulla huumushorisonis ja lähtekivimis (huumushorisoni rikastumine tsiingiga)

Järeldused ja soovitused

Tallinna linna pinnaseõhu Rn-sisaldus on sageli kõrge ($> 50 \text{ kBq/m}^3$) ja eriti kõrge ($> 250 \text{ kBq/m}^3$) ning jaotus heterogeenne. Maksimaalsed sisaldused ületavad 500 kBq/m^3 piiri, mis on enam kui 10 korda kõrgem piiranguteta ehituseks lubatud piirist. Põhjus tuleneb peamiselt kõrge U-sisaldusega (kuni 140 mg/kg) diktüoneemakilda ja ka oobolusliivakivi (fosforiidi, U-sisaldus $< 40 \text{ mg/kg}$) levikust Tallinna linna läbivas aluspõhjalises klindivööndis. Need uraanirikkad kivimid levivad klindias tangus (vööndis) ja klinti läbivate ürgorgude nõlvadel ning on kaetud erineva paksusega nende purru- ja peeneserikka pinnakattega. Diktüoneemakilda ja fosforiidi purru- ja peeneserikka pinnakatte erimeid esineb nii lubjakiviplatool kui ka astangu ja mere vahelisel tasandikul.

Tallinna pinnakatte Rn-riski taset suurendab aluskorrast liustike tegevusel pärineva kõrgendatud U-sisaldusega granitoidse materjali esinemine.

Pinnaseõhus otsemõõdetud RnM sisaldus varieerub litotüüpide lõikes 2 kuni 564 kBq/m^3 ja eU järgi arvutatud RnG sisaldus 1 kuni 754 kBq/m^3 piirides. Prevaleerivad uuringupunktid, kus RnG sisaldus ületab RnM sisalduse.

Klindivööndis eristuvad keskmisest sisaldusest enam kui 3 korda kõrgema sisaldusega kõrge ja eriti kõrge Rn-riskiga Kose piirkond idas ja Astangu piirkond läänes, vähem kontrastsel tasemel ka Toompea–Liivalaia ja Merivälja piirkond. Nendes piirkondades toimub kohati väga intensiivne täiendav Rn juurdekanne sügavamalt.

Lasnamäe piirkonnas katab karbonaatseid kivimeid valdavalt 0,5 kuni 2 m paksune moreenikiht, mis on sageli kõrgendatud eU sisaldusega ja RnG ohtlik. Lisandub sügavalt migreeruv Rn. Lubjakivilõhedes ulatub Rn-sisaldus 120 kBq/m^3 .

Suhteliselt üheilmelise normaalse Rn-riski tasemega eristub Nõmme–Pääsküla piirkond. Seal on 20–30 m paksune karbonaatsete kivimite kompleks kaetud liustikuveeliste liivade paksu kihiga, kus ainult üksikute laikude piires esineb kõrgendatud kontsentratsioonid diktüoneemakilda ja oobolusliivakivi purdu ning peenest (gr. lisa 1.4). Nende aladega kaasneb ka kõrgendatud Rn-risk (up 317). Ka on piirkonnas üksikuid punkte, kus RnM sisaldus on kõrge (up 605). See vihjab võimalustele, et Rn võib migreeruda ka sügavamalt: pinnakattest või isegi karbonaatsetes kivimites olevate lõhede kaudu diktüoneemakildas formeeruvast.

Erilist tähelepanu vääriavad ürgorud, eriti nende nõlvad. Neid täitvad heterogeensed Kvaternaari setted on sageli diktüoneemakilda ja oobolusliivakivi purru- ja peeneserikkad ning kõrge RnM riski tasemega.

Tallinna territooriumil on 611 vaadeldavast uuringupunktist Rn-sisaldus $< 10 \text{ kBq/m}^3$ ehk pinnas on ohutu ainult 18 punktis (2,9%). 327 uuringupunktis (53,5%) jääb Rn-sisaldus pinnaseõhus 10 kuni 50 kBq/m^3 ehk normaalse taseme piiridesse, 236 uuringupunktis (38,6%) 50 kuni 250 kBq/m^3 ehk kõrge taseme piiridesse ja 30 uuringupunktis (4,9%) ületab 250 kBq/m^3 piiri ning moodustab eriti ohtliku taseme. Seega tinglikult ligi 39 % pindalast ületab Rn-riski tase tingliku ohutu piiri kuni 5 korda ja 4,9% pindalast enam kui 5 korda.

Kui lähtuda WHO soovitudest (WHO handbook ..., 2009) ja tugineda ka IAEA standardile No SSG-32 (Protection of the ..., 2015), langeb pinnaseõhu Rn-sisaldus normaaltaseme orienteeruv piir ligikaudu 30 kBq/m^3 . Sellisel juhul muutub reaalselt ligi 70% Tallinna pindalast Rn-ohtlikuks.

Rajatud Rn-monitooringu tulemused kinnitavad üheselt, et pinnase Rn-riski tegelikku taset on Tallinna tingimustes võimalik hinnata ainult uuringupunktides paralleelselt 2 meetodi kasutamisega: 1) pinnases mõõdetud eU sisalduse järgi pinnaseõhku eralduva RnG sisalduse arvutamise, ja 2) pinnaseõhus oleva RnM sisalduse otsemõõtmise andmete võrdleva hindamisel geoloogilist olukorda arvestades. Esimesel juhul saame anda hinnangu pinnaseõhus võimaliku maksimaalse Rn-sisalduse riskitaseme kohta. Teisel juhul saame mõõtmisaja tulemuse, mis on sõltuv hetketingimustest (aastaaeg, niiskus jt), võimalikust sügavamalt lisanduvast Rn ning võib olla kordades madalam hoonetealuses pinnaseõhus kujunevast.

Pistelised Rn-sisalduse mõõtmised välisõhus näitavad, et eriti kõrge Rn-riski aladel võib vaikselt ilmaga Rn-sisaldus 0,5–1 m kõrgusel maapinnast ületada 100 Bq/m^3 piiri. Maapinna lähedal on see sisaldus kindlasti suurem. Seda on soovitatav arvestada elamute ventilatsiooni kavandamisel, väikelaste mänguväljakute rajamisel ja päevitamisel.

Kõrge- ja eriti kõrge Rn-riskiga Kose ja Astangu piirkondadele on omane kõrge looduskiirguse tase. Need on uuringupunktid, kus sõltuvalt pinnases eTh ja eK sisaldusest ületab eU sisaldus 13–16 mg/kg piiri. Nende piirkondade pinnases on rea keskkonnohtlike elementide (U, F, As, Pb, V jt) sisaldus kõrge ja mõne elemendi osas ületab isegi elumaal lubatud piiri.

Murelikuks teeb tõsiolu, et pea kõikjal on huumushorisondis (pinnakatte ülemises kihis) Cd-, Hg- ja Zn-sisaldus enam kui 2 korda ning Pb-, Sb- jt sisaldus enam kui 1,5 korda kõrgem nende esialgselt looduslikust sisaldusest. Selle taustal lähenevad sisaldused elumaal lubatud piirile. Pole kahtlust, et kujunenud olukord on tehnogeense saaste tulemus ja see komplitseerub.

Kõrge või väga kõrge Rn-sisaldusega majadealune ja selle vahetu ümbruse pinnas ning (või) viimase all aluspõhjakivimites kujunev Rn on majade siseõhu peamised Rn-allikad.

Soovitused:

1. Teostada Kose kui individuaalelamuterikka ja eriti kõrge Rn-riski, looduskiirguse ning raskmetallide sisaldusega piirkonna keskkonnaseisundi kompleksne piloothinnang. Selle käigus:
 - detailiseerida pinnase ja süvapäritoluga Rn-riski ohtlikkus, selgitada pinnase looduskiirguse ning raskmetallide sisalduse tase;
 - selgitada piirkonna majade siseõhu Rn-sisalduse tase ja heterogeensus ning seos Rn-sisaldusega pinnases;
 - selgitada kasutatavate Rn-riskiga majade siseõhus minimeerivate meetmete efektiivsust;
 - saadud tulemused aitavad korrastada Tallinna keskkonnaprobleeme.
2. Teostada esialgne Rn-sisalduse kontroll Toompea–Liivalaia, Merivälja ja Akadeemia tee keldri- ja I korruse töö- ja eluruumide siseõhus (igas piirkonnas vähemalt 30 ruumis).
3. Peatada elumajade ehituslubade väljastamine eriti kõrge Rn-riskiga aladele Nendel aladel on pinnas kõrge looduskiirgusega ning U, Mo, As, Cd jt elementide sisaldus pinnases ületab elumaaks sobiliku piiri.

Valter Petersell

Juhtivgeoloog, keskkonnaekspert, PhD

Litsents nr KMH0042, väljastatud 01.06.2006

Kirjandus

- Clavensjö, B. & Åkerblom, G., 1994. The Radon book. Measures against radon, Stockholm, 129 p.
- Donald Appleton, J., 2004. Radon in air and in water. In: Essentials of medical geology, ELSEVIER ACADEMIC PRESS, pp 227 – 263.
- Ivanov, V.V., 1994. Ëkologičeskaja geohimija èlementov. Spravočnik, kniga 1, s-èlementy, Moskva, ”Èkologija”, 305 s.
- Jüriado, K. & Petersell, V., 2010. Relationship between the concentration of radon directly measured in soil air and calculated after radium, Praha konverentsi ettekanne.
- Kiirgustöötaja ja elaniku efektiivdooside seire ja hindamise kord ning radionukliidide sissevõtmust põhjustatud dooside doosikoefitsientide ning kiirgus- ja koefaktori väärtused. KKM määrus 26.05.2005, nr 45.
- Koistinen, T., 1996. Explanaion to the Map of Precambrian basement of the Gulf of Finland and surrounding area 1 : 1 mill. Espoo, Geological Survey of Finland, 141 p.
- Künnapuu, S., Raukas, A., Tavast. E., 1981. Tallinn ja tema lähiümbruse aluspõhja reljeef. Eesti NSN Teaduste Akadeemia Toimetised. Geoloogia, 30, 4,167172 (vene k).
- Künnapuu, S., Raukas, A., Tavast. E., 1984. Aluspõhja reljeefi kesk- ja väikevormide morfoloogiast ja kujunemisest. Eesti Geograafiaseltsi Aastaraamat 1980. Eest NSV pinnavormide genees. Tallinn, Valgus, 38–48.
- Morgen, E., 2003. Eesti geoloogiline baaskaart, leht 6334 (Tallinn). Pinnakate. M 1:50 000. Tallinn, EGF.
- Mõõteseadus. Vastu võetud 10.03.2004, RT I 2004, 18, 132.
- Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations. The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden, 2000, ISBN 91-89230-00, 73 p.
- Naumov, B., Puura, V., Karise, V., Korolyova, N., Terentyev, M., Kolovina, A., 1993. Radonovy faktor radiacionnogo fona v naselennyh punktah Severnoi Estonii – Eesti TA Toim., Geoloogia, 42, lk 82–93.
- Ohtlike ainete sisalduse piirväärtused pinnases. KKM määrus 11.08.2010, nr 38.
- Pahapill, L., 2000. Siseõhu radoonist Eestis. Keskkonnatehnika, 3, lk 2-7

- Pahapill, L., Rulkov, A., Rajamäe, R., Åkerblom, G., 2003. Radon in Estonian Dwellings. Results from a National Radon Survey. SSI raport: 2003:16. oktober 2003, 20 pp.
- Pahapill, L., Rajamäe, R., Rulkov, A., 2004. Radoon majade siseõhus. Tallinn, Eesti Kiirguskeskus.
- Petersell, V., 1997. Dictyonema argillite. In: Geology and mineral resources of Estonia. Tallinn, 313–326.
- Petersell, V., Åkerblom, G., Ek, B.-M., Enel, M., Mõttus, V., Täht, K., 2004. Eesti radooniriski kaart, Tallinn-Stockholm, Seletuskiri, 51 lk.
- Petersell, V., Åkerblom, G., Ek, B.-M., Enel, M., Mõttus, V., Täht, K., 2005. Radon risk map of Estonia, Tallinn-Stockholm, Explanatory text, 76 p.
- Petersell, V., Täht-Kok, K., Karimov, M., 2008. Harjumaa radooniriski kaart M 1:200 000, Tallinn, EGF.
- Petersell, V., Täht-Kok, K., Shtokalenko, M., Talpas, A., Jüriado, K., 2012. Pinnase radoonisisalduse ja looduskiirguse mõõtmise meetodilise juhendi maketi koostamine ning aparatuuri kontrollimise tugietaloni rajamine, Tallinn, EGF.
- Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation. Specific Safety Guide No. SSG-32. IAEA, 2015.
- Radoon, 2006. Infoleht, Kiirguskeskus, Tallinn, Kopli 76.
- Radooniohutu hoone projekteerimine, 2009. Eesti Standard. (EVS 840:2009).
- Raudsep, R. & Samuel, G., 1999. Radooniohu piiritlemine. Eesti projekteerimismid EPN 12.2., ET Eesti Ehitusteave.
- Raukas, A., 2010. Tallinna pinnamood ja pinnakate. Rmt.: Tallinna geoloogia. Geology of Tallinn. A. Soesoo (koostaja), Tallinna Raamatutrükikoda, 102–116.
- Realo, E., Viik, T., 1997. Kiirguskaitse sõnastik, Eesti Kiirguskeskus, Tartu, 96 lk.
- Specific Safety Guide No. SSG-32, 2015. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. International Atomic Energy Agency, Vienna, 89 p.
- Suuroja, K., 2003. Eesti geoloogiline baaskaart, leht 6334 (Tallinn). Aluspõhi. M 1:50 000. Tallinn, EGF.
- Suuroja, K., 2008. Balti klint – loodus ja ajalugu. GeoTrail. Tallinna Raamatutrükikoda, lk 110.

- Tammekann, A. & Oras, E., 1934. Eesti [Kaart] : [kooliseinakaart]. 1:200 000. Tartu : Kaardikoda Terra, Tallinn, Riigi Trükikoda.
- The Geochemical atlas of Finland, Part 2: Till. 1992. Geological Survey of Finland, Espoo. 218 p.
- Thomson, H., Rahu, M., Aareleid, T., Gornoi, K., 1996. Cancer in Estonia 1968–1992, Tallinn, 131 p.
- UNSCEAR, 1993. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, United Nations, New York.
- Viiding, H., 1984. Eesti mineraalid ja kivimid. Tallinn, Valgus, 247 lk.
- WHO (World Health Organization), 2009. Handbook of Indoor Radon: A Public Health Perspective, Geneva.
- Åkerblom, G., 1994. Ground radon – monitoring procedures in Sweden. Geoscientist, v. 4, Nr 4, p. 21–27.
- Åkerblom, G., 1999. Radon Legislation and National Guidelines. Swedish Radiation Protection Institute, Report 99:18, 40 pp.
- Åkerblom, G. & Mellander, H., 1997. Geology and Radon. In: Radon Measurements by Etched Track Detectors. World Scientific Publishing, Singapore, New Jersey, London, Hong Kong, p. 29–49.