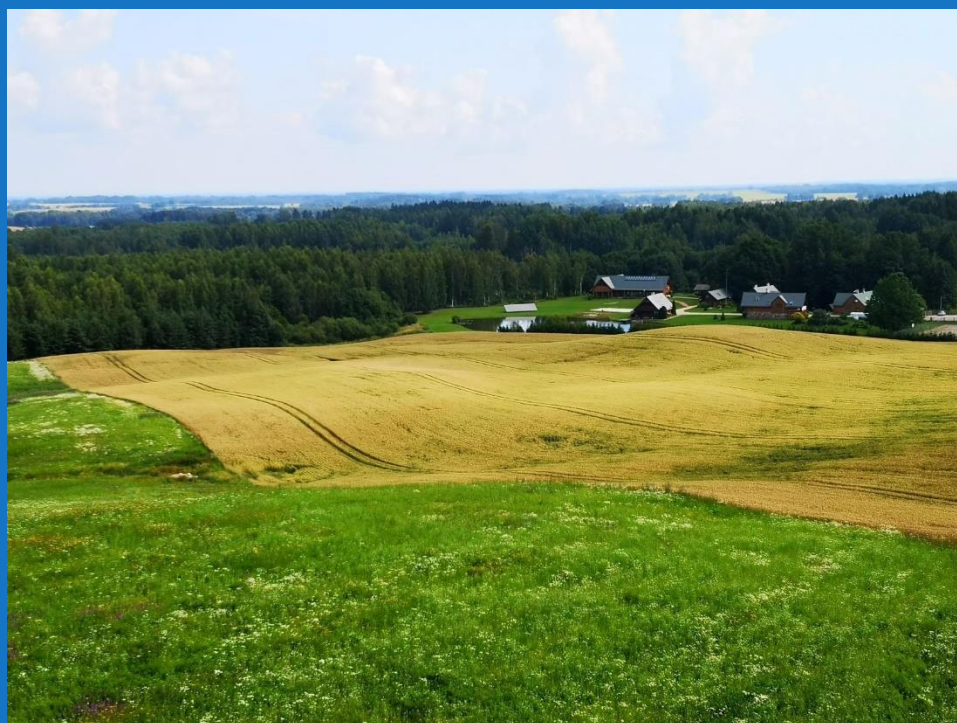




EESTI
GEOLOOGIAATEENISTUS

RADOONIUURINGUD VÄHEUURITUD OMAAVALITSUSTES: KEILA JA VÕRU LINNAS, RÕUGE, SETOMAA, VÕRU NING RUHNU VALLAS



RAKVERE 2020

Kaanefoto: Lainjas moreenmaastik Setomaal. Autor: Krista Täht-Kok.

Soovitav viitamine: Täht-Kok, K. 2020. Radooniuuringud väheuuritud omavalitsustes: Keila ja Võru linnas, Rõuge, Setomaa, Võru ning Ruhnu vallas Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

KINNITATUD
Eesti Geoloogiateenistuse
Teadusnõukogu otsusega nr

Radooniuuringud väheuuritud omavalitsustes: Keila ja Võru linnas, Rõuge, Setomaa, Võru ning Ruhnu vallas

Töö autor: Krista Täht-Kok

RAKVERE 2020

Sisukord

Annotatsioon	12
1. Sissejuhatus	13
2. Keila ja Võru linna ning Rõuge, Seto, Võru ja Ruhnu valla iseloomustus	16
3. Eesti ala lühike geoloogiline iseloomustus	19
4. Metoodika	22
4.1. Radooni mõõtmiste läbiviimine	22
4.2. Mõõteaparatuur	23
4.3. Andmetöötlus	25
5. Rn-uuringud Keila linnas	26
5.1 Keila linna reljeef, geomorfoloogia ja geoloogia	26
5.2 Keila linna Rn-uuringu tulemused	29
5.2.1. Rn pinnaseõhus	29
5.2.2. Rn siseõhus	31
5.3 Keila linna Rn-uuringu põhjal tehtud otsus	33
6. Rn-uuringud Võru linnas	34
6.1. Võru linna territooriumi reljeef, geomorfoloogia ja geoloogia	34
6.2. Võru linna Rn-uuringu tulemused	37
6.2.1. Rn pinnaseõhus	37
6.2.2. Rn siseõhus	41
6.3 Võru linna Rn-uuringu põhjal tehtud otsus	42
7. Rn-uuringud Võru Vallas	43
7.1. Võru valla territooriumi reljeef, geomorfoloogia ja geoloogia	43
7.2. Võru valla Rn-uuringu tulemused	46
7.2.1. Rn pinnaseõhus	46
7.2.2. Rn siseõhus	50
7.3. Võru vallas Rn-uuringu põhjal tehtud otsus	51
8. Rn-uuringud Rõuge vallas	52
8.1. Rõuge valla territooriumi reljeef, geomorfoloogia ja geoloogia	52
8.2. Rõuge valla Rn-uuringu tulemused	54
8.2.1. Rn pinnaseõhus	54
8.2.2. Rn siseõhus	58
8.3. Rõuge vallas Rn-uuringu põhjal tehtud otsus	59
9. Rn-uuringud Setomaa vallas	60
9.1. Setomaa valla reljeef, geomorfoloogia ja geoloogia	60

9.2. Setomaa valla Rn-uuringu tulemused	63
9.2.1. Rn pinnaseõhus	63
9.2.2. Rn siseõhus	67
9.3. Setomaa vallas Rn-uuringu põhjal tehtud otsus.....	68
10. Rn-uuringud Ruhnu vallas.....	69
10.1. Ruhnu saare reljeef, geomorfoloogia ja geoloogia	69
10.2. Ruhnu saare Rn-uuringu tulemused.....	72
10.2.1. Rn pinnaseõhus	72
10.2.2. Rn siseõhus	73
10.3. Ruhnu saare Rn-uuringu põhjal tehtud otsus.....	73
11. Soovitused	74
12. Kokkuvõte	75
Kasutatud kirjandus.....	78
Lisa 1	81

Terminid ja tähistused

Bekrell (Bq)	Aktiivsuse ühik, mida kasutatakse radionukliidi aktiivsuse tähistamiseks. 1 Bq = 1 tuumalagunemine sekundis. Õhu radoonisisalduse mõõtmiseks kasutatakse tavaliselt mõõtühikut Bq/m ³ ; pinnaseõhu puhul – kBq/m ³ .
eK	⁴⁰ K järgi arvutatud K-sisaldus, lähtudes sellest, et looduslik kaalium koosneb kolmest isotoobist (³⁹ K + ⁴¹ K + ⁴⁰ K) ning ⁴⁰ K osakaal on 0,012%.
Emanatsioon	Radooni väljumine mineraaliteradest teradevahelisse pooriruumi.
eTh	²³² Th-ga tasakaalus olev (ekvivalentne) Th-sisaldus.
eU	²²⁶ Ra-ga tasakaalus olev (ekvivalentne) ²³⁸ U-sisaldus.
Litotüüp	Kvaternaari setete üldistatud litoloogilised erimid.
Looduskiirgus (LK)	Looduslike kiirgusallikatega kaasnev kiirgus (kosmiline, maapinna ja inimorganismis olevate radionukliidide radioaktiivne kiirgus). Radooniuringutes mõeldakse looduskiirguse all eU ja eTh radioaktiivrea elementide ning eK radioaktiivse lagunemisega kaasneva gammakiirguse summat, mis on dimensioonitu suurus.
Radoon (Rn)	U radioaktiivlagunemisrea emendist ²²⁶ Ra tekkiv väärisgaas ²²² Rn
Rn	Rn radioaktiivsel lagunemisel tekkiva kiirguse aktiivsus, mida mõõdetakse Bq/m ³ .
aktiivsuskontsentratsioon	
ehk Rn-sisaldus	
Radooniohtlik pinnas	Radooniohtlikuks liigitatakse Eesti Standardikeskuse juhiste alusel (ESV 840:2017) looduslikud pinnased, kus radoonisisaldus 1 m sügavusel pinnaseõhus ületab 50 kBq/m ³ .
Rn-risk	Uuringupunktis kahe meetodiga mõõdetud Rn-sisaldustest suurim.
Siseõhu viitetase	Aasta keskmine Rn-sisaldus siseõhus 300 Bq/m ³ , mille ületamisel peab vastavalt EL direktiivile (BSS, 2013 ja Keskkonnaministri 30.07.2018. a määrus nr 28) tööruumides rakendama Rn-vastaseid meetmeid.
Siseõhu viitetasemest lähtuv Rn-ohtlik pinnas	Siseõhu viitetasemest liigitatakse Rn-ohtlikuks looduslikud pinnased, kus radoonisisaldus 1 m sügavusel pinnaseõhus ületab 75 kBq/m ³ (Keskkonnaministri määruse „Tööruumide õhu radoonisisalduse viitetase,...“ eelnõu seletuskiri; Leping: 4-1/19/66 lähteülesanne).
Uraan (U)	Uraani isotoopide ²³⁸ U (99,28%), ²³⁵ U (0,72%) jt. summa.
AG, x_g	Geomeetriline keskmine.
SG, s_g	Geomeetriline standardhälve ehk standardkordaja.
A	Aritmeetiline keskmine.
S, S_x	Standardhälve.
x_g : s_g² kuni x_g × s_g²	Valdav sisaldus geomeetrilise keskmise korral.
A-S_x kuni A+S_x	Valdav sisaldus aritmeetilise keskmise korral.
σV	Variatsiooni koefitsient, S/A.

Tabelite nimekiri

Tabel 2.1. Uuritavate omavalitsuste rahvastiku statistika	16
Tabel 2.2. Uuritavate omavalitsuste Rn-uuringute statistika.....	16
Tabel 5.2.1.1. Rn-sisaldus Keila linna territooriumi pinnaseõhus pinnaseõhus 1 m sügavusel otsemõõdetult, eU järgi arvatult ning Rn-risk	30
Tabel 5.2.2.1. Rn-sisaldused Keila linna hoonete siseõhus	32
Tabel 6.2.1.1. Rn-sisaldus Võru linna territooriumi pinnaseõhus 1 m sügavusel otsemõõdetult, eU järgi arvatult ning Rn-risk.....	39
Tabel 6.2.2.1. Rn-sisaldused Võru linna hoonete siseõhus	42
Tabel 7.2.1.1. Rn-sisaldus Võru valla territooriumi pinnaseõhus 1 m sügavusel otsemõõdetult, eU järgi arvatult ning Rn-risk.....	48
Tabel 7.2.2.1. Rn-sisaldused Võru valla hoonete siseõhus.....	50
Tabel 8.2.1.1. Rn-sisaldus Rõuge valla pinnaseõhus 1 m sügavusel otsemõõdetult, eU järgi arvatult ning Rn-risk ning looduskiirus.....	55
Tabel 8.2.2.1. Rn-risk Rõuge valla hoonete siseõhus	58
Tabel 9.2.1.1. Rn-sisaldus Setomaa valla territooriumi pinnaseõhus 1 m sügavusel otsemõõdetult, eU järgi arvatult ning Rn-risk.....	65
Tabel 9.2.2.1. Rn-sisaldused Setomaa valla hoonete siseõhus	67
Tabel 10.2.1.1. Rn-sisaldus Ruhnu saare territooriumi pinnaseõhus 1 m sügavusel otsemõõdetult, eU järgi arvatult ning Rn-risk ja looduskiirus.....	72
Tabel 10.2.2.1. Rn-sisaldused Ruhnu saare hoonete siseõhus.....	73
Tabel 11.1. Uuritud valdade geomeetrilised keskmised Rn-sisaldused pinnaseõhus.....	75
Tabel 11.2. Uuritud valdade aritmeetilised keskmised Rn-sisaldused siseõhus	75
Tabel 11.3. Keila ja Võru linna, Rõuge, Võru ja Setomaa ning Ruhnu valla klassifitseerimine prioriteetsuse alusel	76
Tabel 11.4. Kõrgendatud radooniriskiga maa-alade loetelu 2020. a (RT I, 03.08.2018, 4)	77

Jooniste nimekiri

Joonis 1.1. Eesti omavalitsuste prioritseerimine radooniriski järgi 2019. aastal	15
Joonis 3.1. Eesti skemaatiline aluspõhja kaart (Mare Isakari kogust)	19
Joonis 3.2. Põhja-Eesti klindi läbilõige (Soesoo jt., 2006).....	20
Joonis 3.3. Eesti skemaatiline pinnakattesetete (Kvaternaari setete) kaart (Kajak, 1999)	21
Joonis 5.1.1. Keila linna skemaatiline Kvaternaari kaart ja Rn uuringupunktid (Suuroja jt., 2014).	27
Joonis 5.2.1.1. Keila linna Rn-riski kaart (Aluskaart: Suuroja jt., 2014)	29
Joonis 5.2.1.2. 1 m sügavusel otsemõõdetud Rn-sisalduste võrdlus eU sisalduste järgi arvatud potentsiaalsete radoonisisaldustega pinnaseõhus Keila linna territooriumil.....	31
Joonis 5.2.2.1. Rn-sisaldus Keila linna hoonete siseõhus (Aluskaart: Suuroja, 1997)	32
Joonis 6.1.1. Võru linna skemaatiline Kvaternaari kaart ja Rn uuringupunktid (Pöldvere jt., 2016)	36
Joonis 6.2.1.1. Rn-risk Võru linna pinnaseõhus (Aluskaart: Pöldvere jt., 2016).....	38
Joonis 6.2.1.2. Võru linnas 1 m sügavusel otsemõõdetud Rn-sisalduste võrdlus eU sisalduste järgi arvatud potentsiaalsete radoonisisaldustega pinnaseõhus Võru linna territooriumil.....	40
Joonis 6.2.1.3. Korrelatsioonigraafik otsemõõdetud ja eU järgi arvatud Rn-sisalduse vahel.....	40
Joonis 6.2.2.1. Rn-sisaldus Võru linna hoonete siseõhus (Aluskaart: Pöldvere jt., 2016).	41
Joonis 7.1.1. Võru valla skemaatiline Kvaternaari kaart ja Rn uuringupunktid (Kajak, 1999).....	44
Joonis 7.1.2. Võru valla skemaatiline aluspõhja kaart (Kajak, 1999).....	46
Joonis 7.2.1.1. Rn-risk Võru valla pinnaseõhus (aluskaart Kajak, 1999).....	47
Joonis 7.2.1.2. Võru valla territooriumil 1 m sügavusel otsemõõdetud Rn-sisalduste võrdlus eU sisalduste järgi arvatud potentsiaalsete radoonisisaldustega pinnaseõhus.....	49
Joonis 7.2.1.3. Korrelatsioonigraafik otsemõõdetud ja eU järgi arvatud Rn-sisalduse vahel.....	49
Joonis 7.2.2.1. Rn-sisaldus Võru valla hoonete siseõhus (Aluskaart: Kajak, 1999)	51
Joonis 8.1.1. Rõuge valla skemaatiline Kvaternaari kaart ja Rn uuringupunktid (Kajak, 1999)	53
Joonis 8.1.2. Rõuge valla skemaatiline aluspõhja kaart (Kajak, 1999)	53
Joonis 8.2.1.1. Rn-risk Rõuge valla pinnaseõhus (Aluskaart: Kajak, 1999).....	55
Joonis 8.2.1.2. Rõuge valla territooriumil 1 m sügavusel otsemõõdetud Rn-sisalduste võrdlus eU sisalduste järgi arvatud potentsiaalsete radoonisisaldustega pinnaseõhus.....	57
Joonis 8.2.1.3. Korrelatsioonigraafik otsemõõdetud ja eU järgi arvatud potentsiaalse Rn-sisalduse vahel	57

Joonis 8.2.2.1. Rn-sisaldus Rõuge valla hoonete siseõhus (Aluskaart: Kajak, 1999)	59
Joonis 9.1.1. Seto valla skemaatiline Kvaternaari kaart ja Rn uuringupunktid (Kajak, 1999)	61
Joonis 9.1.2. Seto valla skemaatiline aluspõhja kaart (Suuroja, 1997).....	62
Joonis 9.2.1.1. Rn-risk Setomaa pinnaseõhus (Aluskaart: Kajak, 1999)	64
Joonis 9.2.1.2. Seto valla territooriumil 1 m sügavusel otsemõõdetud Rn-sisalduste eU sisalduste järgi arvutatud potentsiaalsete radoonisisalduste ning Rn-viitetaseme võrdlus pinnaseõhus	Tõrge!
Järjehoidjat pole määratletud.	
Joonis 9.2.1.3. Korrelatsioonigraafik otsemõõdetud ja eU järgi arvutatud Rn-sisalduse vahel.....	66
Joonis 9.2.2.1. Rn-risk Setomaa siseõhus (Aluskaart: Kajak, 1999).....	68
Joonis 10.1.1. Ruhnu saare skemaatiline Kvaternaari kaart (Kajak, 1999).....	70
Joonis 10.2.1.1. Ruhnu saarel 1 m sügavusel otsemõõdetud Rn-sisalduste võrdlus eU sisalduste järgi arvutatud potentsiaalsete radoonisisaldustega pinnaseõhus	73
Joonis 11.1. Eesti omavalitsuste Rn-riski kaart aastal 2020	76

Fotode nimekiri

Foto 2.1. Võrumaa künklik maastik oli sobiv koht kindlustusehitiste rajamiseks, Piiskopilinnus Vana-Vastseliinas (Foto: K. Täht-Kok)	17
Foto 2.2. Vaade Meremäe vaate-tornist maalilisele moreenmaastikule Setomaal. (Foto: K. Täht-Kok)..	18
Foto 2.3. Håubjärre mäel asuv põneva ajalooga tuletorni konstrueerimisel on võib-olla töötanud ka kuulus prantsuse arhitekt Gustave Eiffel (Eesti Tuletorni Selts). (Foto: K. Täht-Kok).....	18
Foto 4.2.1. Emanomeeter Markus 10 pumpab pinnasest õhku korpuse sees asuvasse kambrikesse. Tulemuse saamiseks läheb umbes veerand tundi (Foto: K. Täht-Kok)	23
Foto 4.2.2. Radoonimõõduri RM-2 osad: a) pump vaakumi tekitamiseks, b) elektromeeter radoonisisalduse edastamiseks, c) kolvid (Foto: K. Täht-Kok).....	24
Foto 4.2.3. Rn-mõõtmisel kasutatakse mitmeid töövahendeid, alates lihtsast labidast kuni keeruliste mõõtmisseadmeteni. Punane silindrikujuline gammaspektromeeter on foto keskel (Foto: K. Täht-Kok)	24
Foto 4.2.4. Detektor radooni mõõtmiseks siseõhus (Foto: A. Polt)	25
Foto 5.1.1. Keila lademe stratotüüppaljand, siin asus kunagi Keila paemurd (a). Paljandis avanevad Kahula kihistiku kivimid, mis on nagu kõik lubjakivid täis lõhesid ja praokesi (b) (Foto: K-Täht-Kok)	27
Foto 5.1.2. Purustustsoon Kahula kihistu lubjakivis (Foto: K. Ploom)	28

Foto 6.1.1. Jääjärvesetted Võru linna idaosas kujutavad endast plastset savi, uuringupunkt 19Rn-3021 (Foto: K. Täht-Kok).....	36
Foto 7.1.1. Maastik Võru valla kaguosas (Foto: K. Täht-Kok).....	44
Foto 9.1.1. Marina dolokivi karjääris kaevandatakse Ülem-Devoni Plavinase lademe Pskovi kihistu dolomiite (Foto: Anne Pöldvere)	63
Foto 10.1.1. Flisbacka järsak kaitseb Ruhnu kirderanda jahedate vesikaare tuulte eest. (Foto: K. Täht-Kok).....	69
Foto 10.1.2. Devoni aluspõhjapaljand, siin paljanduvad Narva lademe punakaspruuni-hallikirjud aleuoliidid (Foto: K. Täht-Kok).....	71
Foto 10.1.3. Mõnekümne meetri kaugusel aleuoliitide paljandist on näha nende all lamavat savilasundit. Kuna savikivim on pehmem, siis on see ka rohkem porsunud (Foto: K. Täht-Kok).....	71

Lisa 1 – Rn-uuringute faktilise materjali kaardid

1. Kaart 1. Keila linna Rn-uuringute faktilise materjali kaart
2. Kaart 2. Võru linna Rn-uuringute faktilise materjali kaart
3. Kaart 3. Võru valla Rn-uuringute faktilise materjali kaart
4. Kaart 4. Rõuge valla Rn-uuringute faktilise materjali kaart
5. Kaart 5. Setomaa valla Rn-uuringute faktilise materjali kaart
6. Kaart 6. Ruhnu saare Rn-uuringute faktilise materjali kaart

Lisa 2 – Majade siseõhu Rn-mõõtmisprotokollid on asutusesiseseks kasutamiseks

- Lisa 1. Lisa 1_19Rn-3037_Keila_Rn-hinnang_nr_41-20_EGT_Tammiku_17
- Lisa 2. Lisa 2_19Rn-3039_Keila_Rn-hinnang_nr_21-20_EGT_J6e_46
- Lisa 3. Lisa 3_19Rn-3088_Keila_Rn-hinnang_nr_16-20_EGT_Tammiku_21_0
- Lisa 4. Lisa 4_19Rn-3015_Võru_Rn-hinnang_nr_20-20_EGT_Ylase_2
- Lisa 5. Lisa 5_19Rn-3017_VõruL_Rn_hinnang_nr_29-20_EGT_Pae_2
- Lisa 6. Lisa 6_19Rn-3025_Võru-linn_Rn_hinnang_nr_39-20_EGT_N6mme_2
- Lisa 7. Lisa 7_19Rn-3030-1_Võru_Jüri tn_30-A_Rn-hinnang_nr_18-20
- Lisa 8. Lisa 8_19Rn-3030-2_Võru-linnRn-hinnang_nr_25-20_EGT
- Lisa 9. Lisa 9_19Rn-3043_VõruV_Rn-hinnang_nr_26-20_EGT_Kyndja
- Lisa 10. Lisa 10_19Rn-3045-Tootsi-kyla-VõruV_Rn_hinnang_nr_36-20_EGT_Ymbrenuka
- Lisa 11. Lisa 11_19Rn-3046_Kose kyla_Rn_hinnang_nr_54-20_EGT_Kullerkupu_6
- Lisa 12. Lisa 12_19Rn-3047_Haava-kylaa_Rn-hinnang_nr_55-20_EGT_Mägiste
- Lisa 13. Lisa 13_19Rn-3048_Haamaste_VõruV_Rn_hinnang_nr_38-20_EGT_Uue-M6tusmäe

- Lisa 14. Lisa 14_19Rn-3052-Pikakannu_V6ruV_Rn_hinnang_nr_42-20_EGT_L6unap6dra
- Lisa 15. Lisa 15_19Rn-3055-1_Helbi k_Setomaa_Rn-hinnang_nr_24-20_EGT_Ilmakeere
- Lisa 16. Lisa 16_19Rn-3055-2_Helbi-k_Setomaa_Rn-sis_hinnang_nr_22-20_EGT_Kadaste
- Lisa 17. Lisa 17_19Rn-3057_Obinita_Rn_hinnang_nr_35-20_EGT_Kastani
- Lisa 18. Lisa 18_19Rn-3060_Nedsaja-kyla_SetoV_Rn_hinnang_nr_52-20_EGT_M2e
- Lisa 19. Lisa 19_19Rn-3062_Mikitamäe_SetoV_Rn-sisalduse_hinnang_nr_34-20_EGT_Pargi_1
- Lisa 20. Lisa 20_19Rn-3064_Setomaa_Rn-hinnang_nr_53-20_EGT_Kivestu
- Lisa 21. Lisa 21_19Rn-3065_Ala-Palo_Rõuge_Rn-hinnang_nr_23-20_EGT_Annem2e
- Lisa 22. Lisa 22_19Rn-3068_Varstu_Rõuge_Rn-hinnang_nr_31-20_EGT_Veski_7
- Lisa 23. Lisa 23_19Rn-3069_Krabi-Rõuge_Rn-hinnang_nr_32-20_EGT_Kaupluse
- Lisa 24. Lisa 24_19Rn-3070_Lüütsepa-k_Rõuge_Rn-hinnang_nr_17-20_EGT_Oja
- Lisa 25. Lisa 25_19Rn-3071_Kangsti-Rõuge_Rn-hinnang_nr_30-20_EGT_Maasiksaare
- Lisa 26. Lisa 26_19Rn-3074_Rõuge_Rn-hinnang_nr_40-20_EGT_P6draLisa
- Lisa 27. Lisa 27_19Rn-3080_Väike-Ruuga-Rõuge_Rn-hinnang_nr_27-20_EGT_Vahtra
- Lisa 28. Lisa 28_19Rn-3081_Sõmerpalu_V6ruV_Rn-hinnang_Siseohus_Tarendu
- Lisa 29. Lisa 29_19Rn-3083_Husari-V6ruV_Rn-hinnang_nr_28-20_EGT_Tammsaare
- Lisa 30. Lisa 30_19Rn-3010_Ruhnu_Rn-hinnang_nr_43-20_EGT_Antsu
- Lisa 31. Lisa 31_19Rn-3011_Ruhnu_Rn-hinnang_nr_44-20_EGT_P6hikool

Annotatsioon

Käesolev töö on esimene osa Keskkonnaministeeriumi poolt Eesti Geoloogiateenistusele (leping: 4-1/19/66) tellitud radooniuuringust seni puudulikult uuritud valdades. Vastavalt 2018. aastal koostatud plaanile tehti 2019.–2020. aastal Rn-uuringud Keila ja Võru linna ning Rõuge, Setomaa ja Võru valla ja Ruhnu saare pinnaseõhus ning valikuliselt hoonete siseõhus. Töö käigus osutus otstarbekaks suurendada mõnevõrra Rn-uuringupunktide arvu. Eespool nimetatud valdades tehti uuringuid kokku 139-s pinnaseõhu uuringupunktis ja siseõhu uuringuid 31 hoones, millest enamus olid elumajad.

Välitööd viidi läbi 2019. aasta suvekuudel. Mais tehti väliuuringud Ruhnu saarel, juunist septembrini Keila ja Võru linnas ning Rõuge, Seto ja Võru vallas. Siseõhu detektorid paigutati välitöödel välja valitud majadesse oktoobri teisel poolel ja koguti kokku 2020. aasta jaanuaris. Siseõhudetektoreid analüüsis Eesti Keskkonnaameti kiirgusseire büroo peaspetsialist Alar Polt.

Uuringu alusel anti hinnang Rn-riskile eespool loetletud valdades, võttes arvesse eelkõige radooni aktiivsuskontsentratsiooni ehk Rn-sisaldust pinnaseõhus. Lisaks pinnaseõhu tulemustele võeti arvesse siseõhu mõõtmiste tulemusi ning olulise faktorina analüüsiti pinnakattesetete ja aluspõhjakiivimite mõju Rn-sisaldusele nii pinnaseõhus kui hoonete siseõhus.

Töö tulemusena prioritseeriti vallad järgmiselt:

I prioriteediga haldusüksused on Keila linn, Setomaa ja Võru vallad, kus radoonirisk on kõrgendatud. Neis haldusüksustes on enam kui 10% pinnaseõhu radooni aktiivsuskontsentratsiooni määrangutest suuremad kui 75 kBq/m^3 või tuleneb radoonirisk ala geoloogilisest ehitusest, nagu Keila vallas;

III prioriteediga haldusüksused on Võru linn, Rõuge ja Ruhnu vald, kus enam kui 90% pinnaseõhu radooni aktiivsuskontsentratsiooni määrangutest jäävad madalamaks kui 75 kBq/m^3 ning kus ala geoloogiline ehitus ei viita radooniriskile. Radoonirisk neis omavalitsustes on pigem keskmine või madal.

Autor avaldab tänu koostöö eest välitöödel praktikant Torm Toomas Tähele ja TTÜ tudengile Kris Robin Sirgele ning Moldova Vabariigi stažööridele Angela Capatînale ja Mariana Cîncule. Tänu kolleegidele Siim Tarrosele omavalitsuste kaartide vormistamise eest, Valle Raidlale Keila linna ülikõrge siseõhutulemuse selgitamise eest AS Keila Vesi siseõhus ja Mikhail Štokalenkole abi eest andmetöötluses ning Sirle Liivamägile töö vormistamise eest. Erilist tänu avaldab autor kiirgusseire büroo peaspetsialistile Alar Poldile, kes kulutas mitu puhkepäeva siseõhudetektorite kiireks töötluseks ja analüüsiks.

1. Sissejuhatus

Käesoleva aruande koostamine tulenes vajadusest järgida 2018. aasta 30. juulil vastu võetud keskkonnaministri määrust nr 28 "Tööruumide õhu radoonisisalduse viitetase, õhu radoonisisalduse mõõtmise kord ja tööandja kohustused kõrgendatud radooniriskiga töökohtadel" (RT I, 03.08.2018, 4). See määrus kehtestab tööruumide siseõhule radooni viitetasemeks ehk maksimaalseks lubatud aasta keskmiseks radooni aktiivsuskontsentratsiooniks 300 Bq/m³. Määrus lähtub EL direktiivist 2013/59/Euratom mis on tuntud kui *Basic safety standards directive* (BSS, 2013) ning kehtestab viitetaseme radooni aasta keskmisele aktiivsuskontsentratsioonile siseõhus.

Radoon (Rn) on värvitu ja lõhnatu ning õhust 7,7 korda raskem radioaktiivne inertgaas, poolestusajaga 3,82 ööpäeva. Radoon tekib uraani (U) ja vähesel määral ka tooriumi (Th) radioaktiivsel lagunemisel kivimites ja pinnases ning on normaaltingimustes gaasilises olekus. Radoonil on kolm isotoopi: ²²²Rn ehk radoon, ²²⁰Rn ehk toroon ja ²¹⁹Rn ehk aktinoon, kuid kuna radooni (²²²Rn) poolt põhjustatud radioaktiivne kiirgus moodustab Rn-isotoopide kogu kiirgusdoosist üle 93% (UNSCEAR 1993), siis käsitletakse töös vaid radooni (²²²Rn). Radooni isotoop ²²²Rn on uraani lagunemisreas raadiumi (²²⁶Ra) tütarelement ja emaelemendiks ²¹⁸Po (poolestusaeg 3,3 minutit). Kõik radooni tütarelemendid on metallid. Peamiseks inimorganismi (kopsudesse) ladestuvaks radooni sekundaarseks tütarelemeniks on ²¹⁰Pb (poolestusaeg 22,2 aastat).

Radooni osakaal looduslikust kiirgusest on 42% (UNSCEAR 2008).

On leidnud tõestust, et kõrgendatud radooni aktiivsuskontsentratsioon hoonete siseõhus tõstab oluliselt kopsuvähi riski (WHO, 2009).

Radoon levib maapinnas konvektsioonivooludega ning läbi pragude ja avavuste vundamendis ning pörandas võib radoon kontsentreeruda hoonete siseõhus. Eestis on radooni allikateks nii aluspõhja kivimid kui pinnakattesetted:

- Alam-Ordoviitsiumi ladestiku U-rikas graptoliitargilliit ja fosforiit, mis paljanduva ka Põhja-Eesti klindil,
- mõningad kõrge U-sisaldusega Devoni ladestu sette kivimite erimid,
- kõrge U-sisaldusega kristalse aluskorra avamusaladelt pärinev granitoidne materjal,
- U-mineraalistumise nähted orgaanilistes materjalides (mattunud orgaaniline materjal Kvaternaari setetes).

Kuna Eestis on siseõhumõõtmiste võrk tunduvalt ebaühtlasem kui pinnaseõhus mõõdetud Rn-mõõtmiste võrk, siis otsustati olukorra administratiivseks käsitlemiseks prioriteerida omavalitsused pinnaseõhus tehtud Rn-mõõtmiste alusel (Keskkonnaministri määruse „Tööruumide õhu radoonisisalduse viitetase....., „ eelnõu seletuskiri). Olemasolevate pinnaseõhu radooni mõõtmistulemuste baasil prioriteeriti haldusüksused järgmiste tinglike kriteeriumite alusel:

1. mõõtmiste arv;
2. mõõdetud väärtused;
3. ala geoloogiline ehitus.

I prioriteediga aladeks valiti kõrgendatud radooniriskiga haldusüksused, mille määratlemise tingimusteks olid: mõõtmistulemused on tehtud rohkem kui 5 uuringupunktis, millest vähemalt 10% on radooni aktiivsuskontsentratsioon pinnaseõhus $> 75 \text{ kBq/m}^3$. Põhja-Eesti klindivööndis asuvate haldusüksuste puhul oli piisava arvu mõõtetulemuste puudumisel kriteeriumiks ka ala geoloogiline ehitus.

II prioriteediga alade valikus on täiendava uuringuvajadusega haldusüksused, millede osas puuduvad andmed radooniohtlikkuse kohta järeltöö tegemiseks (mõõtmistulemused puuduvad või mõõtmisi on tehtud < 4).

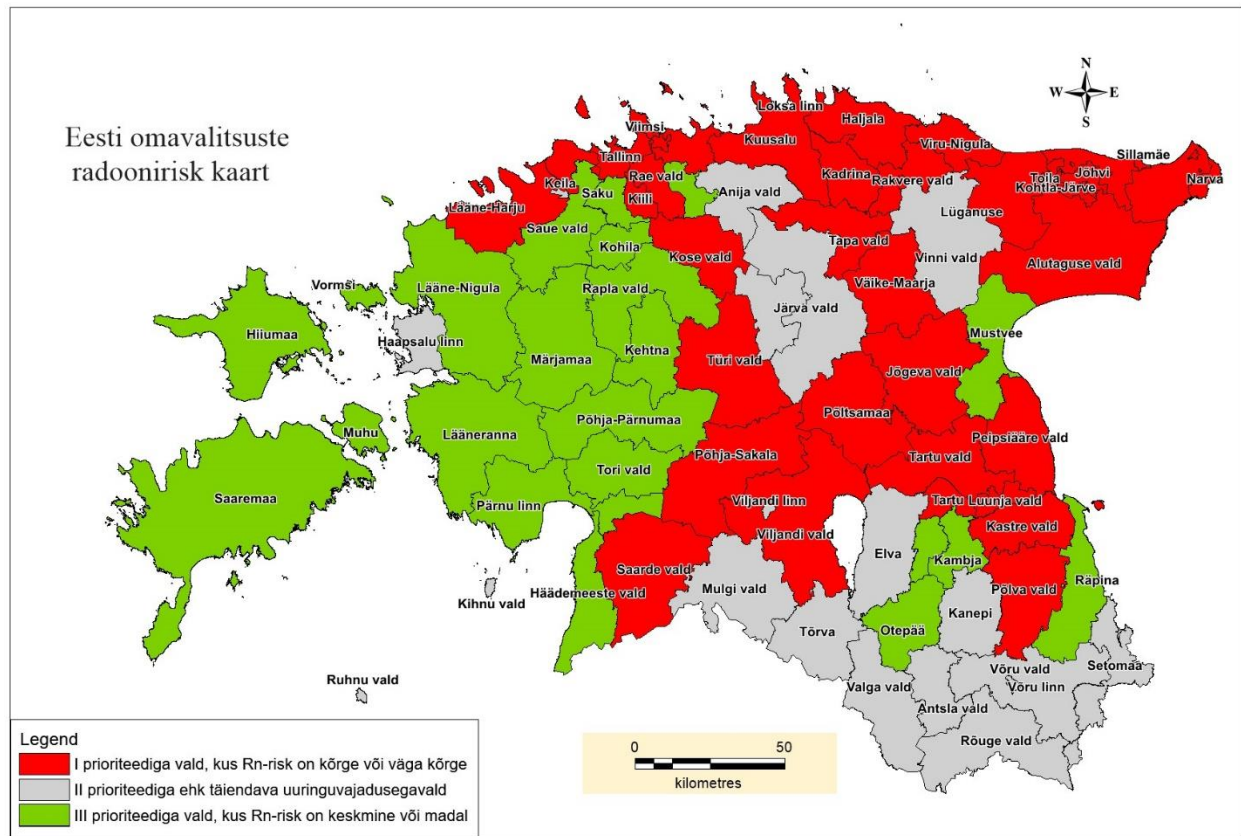
III prioriteediga alade selekteerimisel võeti arvesse alade geoloogiat ja mõõtmistulemusi, mis võimaldasid järeltööd, et radoonirisk on pigem keskmine või madal.

Prioritiseerimise tulemusena selgus, et Eestis on 19 valda, kus Rn-uuringuid on liiga vähe selleks, et neid kas radooniohtlikuks või -ohututeks liigitada (Keskkonnaministri 30.07.2018 määrus nr 28. Lisa „Kõrgendatud radooniriskiga maa-alade loetelu“).

Käesoleva aruande tellijaks on Keskkonnaministeerium (leping: 4-1/19/66) eesmärgiga viia läbi radooni aktiivsuskontsentratsiooni uuringud haldusüksustes, kus Rn-uuringuid pinnaseõhus oli tehtud liiga vähe selleks, et otsustada nende haldusüksuste radooniriski üle. Töö raames kogutud informatsiooni (sh mõõtmistulemuste) põhjal tuli teha iga haldusüksuse kaupa radoonitaseme analüüs, mille tulemusena tehti ettepanek klassifitseerida iga uuritav haldusüksus I või III prioriteediga alaks (vastavalt kõrge või madala radooniriskiga alaks). Kõrgendatud radooniriskiga aladel tuleb direktiivi 2013/59/Euratom ja keskkonnaministri 30. juuli 2018 määruse nr 28 kohaselt 0 ja 1 korruse töökohtadel teha radooni mõõtmised nimetatud ruumide siseõhus. Vaatamata ala prioriteedile peab hilisemas ehitustegevuses arvestama, et Rn-sisaldus 50 kBq/m^3 on piirsisalduseks Eesti Ehitustandardi poolt kehtestatud juhistes (EVS:840 2017) - kui Rn-sisaldus pinnaseõhus ületab 50 kBq/m^3 , tuleb uusehituste püstitamisel kasutada Rn-vastaseid meetmeid.

Töö käigus tihendati radooniuuritud vörku Keila linnas, Rõuge, Setomaa ja Võru vallas ning loodi Rn-uuringute võrk Võru linnas ja Ruhnu vallas. Töö juhiseks oli 2018. aastal Eesti Geoloogiateenistuses koostatud „Radooniuuritud metoodika täiendava uuringuvajadusega haldusüksustele“ (Täht-Kok, 2018) ja Keskkonnaministeeriumi ja Eesti Geoloogiateenistuse vahel sõlmitud lepingus (leping: 4-1/19/66) esitatud lähteülesanne. Aruanne on mitmeetapilise töö I etapp, mille käigus viiakse Rn-uuringud läbi üheksateistkümnes haldusüksuses.

Radooniuuritud vörku tihendamise käigus võeti arvesse asustustihedust ja eluhoonete paiknemist valdade territooriumil. Osa uuringupunktidest rajati elumajade või ühiskondlike hoonete vahetusse lähedusse eesmärgiga mõõta Rn-sisaldust nende hoonete siseõhus kütteperioodil. Aruande koostamiseks vajalike välitööde käigus selgus, et maapiirkondades on paljud elumajad maha jäetud või elatakse neis vaid suveperioodil. Sellest tingituna oli raske kujundada pindalaliselt ühtlast siseõhumõõtmiste vörku ja järgida 2018. aastal koostatud metoodikat.



Joonis 1.1. Eesti omavalitsuste prioritseerimine radooniriski järgi 2019. aastal (koostatud Keskkonnaministri 30.07.2018 määrus nr 28 „Tööruumide õhu radoonisisalduse viitetase,...” Lisa „Kõrgendatud radooniriskiga maa-alade loetelu” põhjal)

2. Keila ja Võru linna ning Rõuge, Seto, Võru ja Ruhnu valla iseloomustus

Keila linn valiti I etapi uuringualade hulka põhjusel, et see asub kõrge radooniriskiga Põhja-Eesti klindi läheduses. Keila linn on uuringuvalikus ka kõige tihedamini asustatud ala (tabel 2.1).

Võru linnas oli samuti suur vajadus Rn-uuringute järele, sest metoodika koostamise ajal 2018. aastal ei olnud seal teada ühtegi pinnaseõhu Rn-uuringut. 2018. aasta lõpu poole tegi siiski firma PML Balti Rn-uuringu Võrus Vabaduse tn 15. Võru linn on rahvaarvu poolest valikus suurim, seal elab peaaegu 12 000 inimest.

Loogilise jätkuna tehti 2019. aastal Rn-uuringud ka Võru vallas, mis rõngasvallana Võru linna ümbritseb ning külgnevates Rõuge ja Setomaa valdades. Ruhnu valla Rn-uuring tehti lisaks I etapis planeeritud valdadele soodsate juhuslike kokkusattumuse tõttu. Eesti Geoloogiateenistuse hüdroteoloogia ja keskkonnageoloogia osakonna hüdroteoloogidel oli 2019. aasta mais vaja võtta proove Ruhnu sügavast puuraugust, seega oli hea teha ära ka radoonimõõtmised. Töö tulemusena täienes oluliselt teave radooni leviku kohta eelpoolloetletud omavalitsustes (tabel 2.2).

Tabel 2.1. Uuringusse haaratud omavalitsused

Haldusüksus	pindala, km ²	elanike arv 01.01.2019	elanikku ühel km ²
Keila linn	11,2	9910	885
Rõuge vald	933	5427	6
Setomaa vald	463	3280	7
Võru linn	13,9	11859	853
Võru vald	952	10738	11
Ruhnu vald	11,9	53	5

Tabel 2.2. Uuritavate omavalitsuste Rn-uuringute statistika

Vald, linn	Pindala	Pinnase Rn- uuringu- punktide arv	Aritmeeti- line keskmise Rn- sisaldus pinnases	Geomeet- riline keskmise Rn- sisaldus pinnases	Maksi- maalne Rn- sisaldus pinnases	Pinnase Rn-uuringu- punktide tihedus	Keskmine Rn- sisaldus siseõhus	Maksi- maalne Rn- sisaldus siseõhus
	km ²	n	kBq/m ³			n/km ²	Bq/m ³	
Keila linn	11	24	37	35	66	0,5	118	374
Rõuge vald	933	36	48	43	117	26	67	183
Setomaa vald	463	18	62	56	117	26	97	333
Võru linn	14	18	54	44	161	0,8	65	190
Võru vald	952	43	56	47	127	22	63	296
Ruhnu vald	12	6	28	25	54	2	18	27

Keila ja Võru linn on oma asustustiheduselt küllaltki sarnased (tabel 2.1) ning mõlema linna territooriumile jäävad suured asustusetad. Keila linnas on hõlvamata linna keskosast kuni läänepiirini laiuv lubjakiviplatoo. Võrus on linna loode- ja kaguosa soostunud ja peaaegu asustamata, kuid loodeosa soostunud alale on linn planeerinud uusi ehitusi, seal on umbes poole ruutkilomeetri suurune soostunud ala 1,5–2 m paksuselt täidetud.

Võru vald ümber Võru linna on uuritud valdadest pindalalt suurim ja ka suurima rahvaarvuga (tabel 2.1). Võru vallas on 181 küla ja 5 alevikku. Kose, Parksepa, Väimela ja Sõmerpalu alevik asuvad Võru linna vahetus ümbruses, moodustades pigem Võru linna satelliitasulad. Kuuesaja elanikuga Vastseliina alevik asub Võrust paarikümne kilomeetri kaugusel lõunas ja on regionaalseks tõmbekeskuseks. Vana-Vastseliina künkliku maastiku peamine vormija on olnud Piusa jõgi. Kõige kõrgematel küngastel asus kunagi piiskopilinnus (foto 2.1).



Foto 2.1. Võrumaa künklik maastik oli sobiv koht kindlustusehitiste rajamiseks, Piiskopilinnus Vana-Vastseliinas (Foto: K. Täht-Kok)

Rõuge vald on Võru vallast veidi väiksem ja üsna hõredalt asustatud (tabel 2.1), kuid seal asub Haanja looduspark, mis hõlmab 18% valla territooriumist. Vallas on kolm alevikku: Rõuge, Varstu ja Misso ning 274 küla. Kuigi külasid on vallas palju, elatakse paljudes majades vaid suviti.

Setomaa vald koosneb kolmest lahustükist (need võiks siin ülesloetleda). Setomaa vallas on üks, Värskas alevik, kus elab üle 400 inimese, kellest paljud leiavad tööd Värskas sanatooriumis ja osaühingus Värskas Vesi.

Seto vallas on valla kodulehe andmetel 156 küla, kuid kolmes neist ei ela ühtegi inimest ja kolmeteistkümnes külas elab vaid üks inimene. Suure tõenäosusega on talvel inimtühjad ka viimased. Kuna Setomaa lõunapoolses osas asub Koidula piiripunkt, on seal väga hästi väljaehitatud teede võrk ja parkimisplatsid, kuid asustust nende ümber kujunenud ei ole. Setomaa vallas puuduvad suured tööstus-

ja põllumajandusettevõtted. Peamiseks majandustegevuseks on metsandus, väikepõllumajandus ja turism (foto 2.2).



Foto 2.2. Vaade Meremäe vaate-tornist Setomaa moreenmaastikule (Foto: K. Täht-Kok)

Ruhnu vallas, mis hõlmab vaid Ruhnu saart, on asustus vaadeldud valdadest kõige hõredam (tabel 2.1). Looduspark hõlmab kogu saare pindala. Peamiseks majandusharuks vallas on turism, kuid turismihooaeg kestab vaid 3-4 kuud aastas ja see ei stimuleeri oluliselt uute aastaringselt töötavate ehitiste püstitamist. Pinnase morfoloogiast lähtuvalt oleks kõrgeim radooni risk Håubjärre mäel, kus aga asuv elamu seisab tühjana ja seetõttu siseõhu Rn-mõõtmiseks ei sobi (foto 2.3).

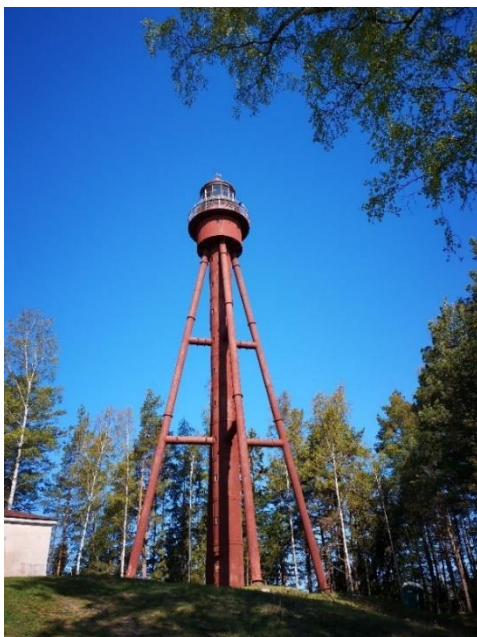


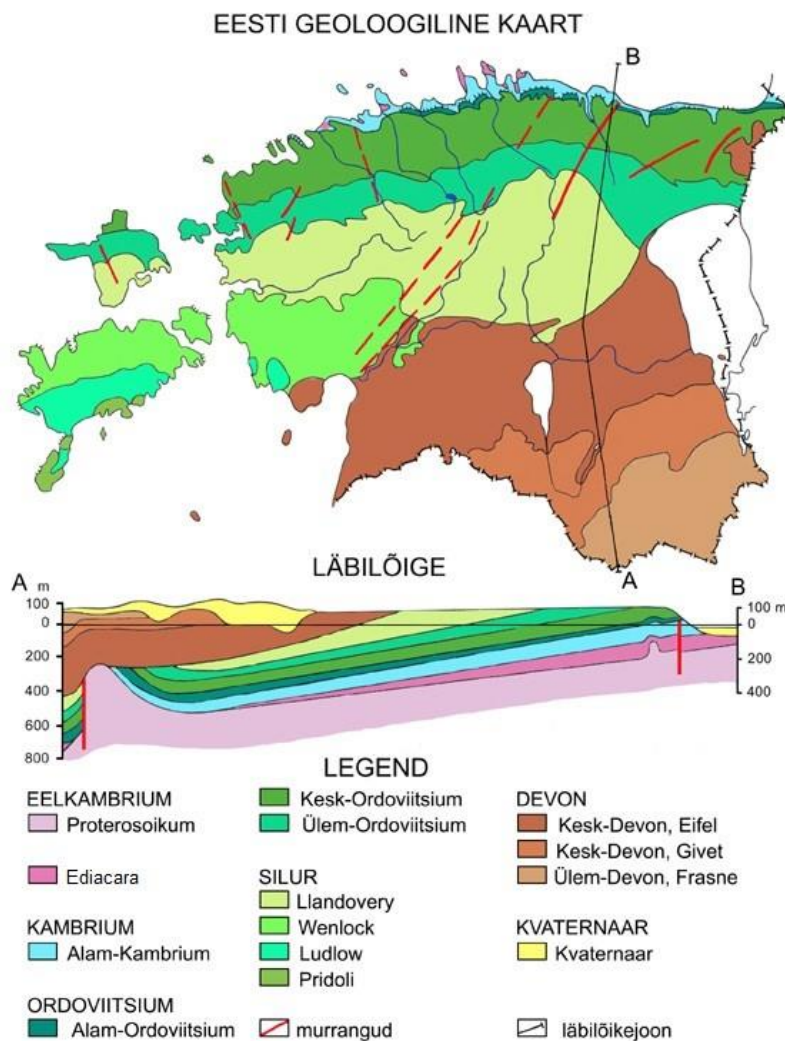
Foto 2.3. Eeldatavalt kõrge radooniriskiga Håubjärre mäel asub Ruhnu tule torn koos majakavahi elamuga (Foto: K. Täht-Kok)

3. Eesti ala lühike geoloogiline iseloomustus

Eesti territoorium paikneb Ida-Euroopa settelava loodeosas Fennoskandia kilbi lõunanõlval. Sellisest asendist tingituna koosneb maakoore ülemine osa Eesti alal kolmest üksteisest selgesti eralduvast kihist:

- 1) pudedad Kvaternaari ajastu setted ehk pinnakate;
- 2) Paleosoikumi ehk Vanaaegkonna kivimid (Ediakara-, Kambriumi-, Ordoviitsiumi- ja Devoniegsed sette kivimid);
- 3) kristalse aluskorra kivimid.

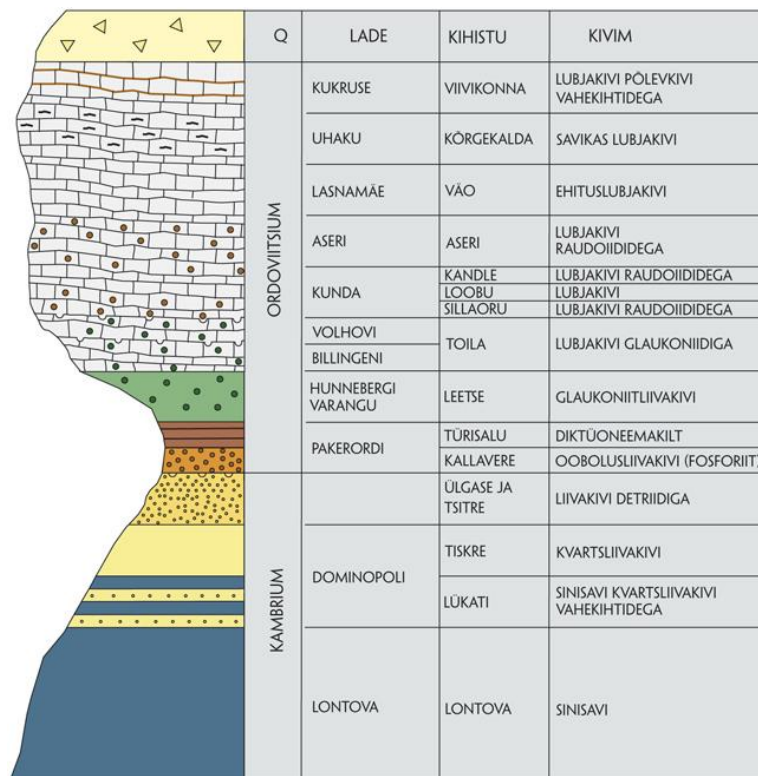
Aluskorra kivimid Eestis maapinnal ei paljandu. Aluspõhja kivimid avanevad kas maapinnal või Kvaternaari setete all kitsamate või laiemate ida-läänesuunaliste vöötmetena alates vanematest põhjarannikul kuni nooremateni Lõuna-Eestis (joonis 3.1). Kõik need kivimkihid võivad mõjutada Rn-sisaldust pinnaseõhus, kuna radoon on gaas ja liigub koos teiste geogaasidega nagu He, H₂, CO₂, CH₄ jt madalama rõhu suunas.



Joonis 3.1. Eesti skemaatiline aluspõhja kaart (Mare Isakari kogust)

Uraanisaldus on kõrge mõnedes kristalse aluskorra kivimites, kuid kõige kõrgema uraanisaldusega kivimid Eestis on Alam-Ordoviitsiumi Pakerordi lademe Türisalu kihistu graptoliitargilliit ja Kallavere kihistu oobolusliivakivi. Türisalu kihistu graptoliitargilliit kiildub Ordoviitsiumi-Siluri levikualal välja, nii et Devoni alale ta enam ei ulatu. Kallavere kihistu oobolusliivakivi kiildub kirde-edelasuunalise vööndina välja Kesk-Eestis, kuid aruandes vaadeldaval alal Kagu-Eestis on Kallavere kihistu oobolusliivakivi olemas. Mõlema kihistu kivimid paljanduvad Põhja-Eesti klindiastangul (joonis 3.2). Klindiastangut purustades on kunagine mandriliustik kandnud nende kivimite purdmaterjali laiali üle Eesti.

Devoni liivakivides on samuti teada kuni 3 cm paksuseid tumedaid uraaniga rikastunud savi- või aleuroliidiläätsi. Neis läätsedes on lisaks uraanile kõrgendatud ka Mo, Pb, K, ja Th ning harvem mõnede teiste elementide sisaldus. Näiteks Joosu savikarjääris ulatub < 1m paksuses savikihis U sisaldus 30 mg/kg. Vahetult Eesti kagupiiri taga Pihkva oblastis on nendes samades Devoni-aegsetes liivakivides täheldatud intensiivset U, Mo ja teiste elementide maagistumist (Sammet jt., 1974).



Joonis 3.2. Põhja-Eesti klindi läbilõige (Soesoo jt., 2006)

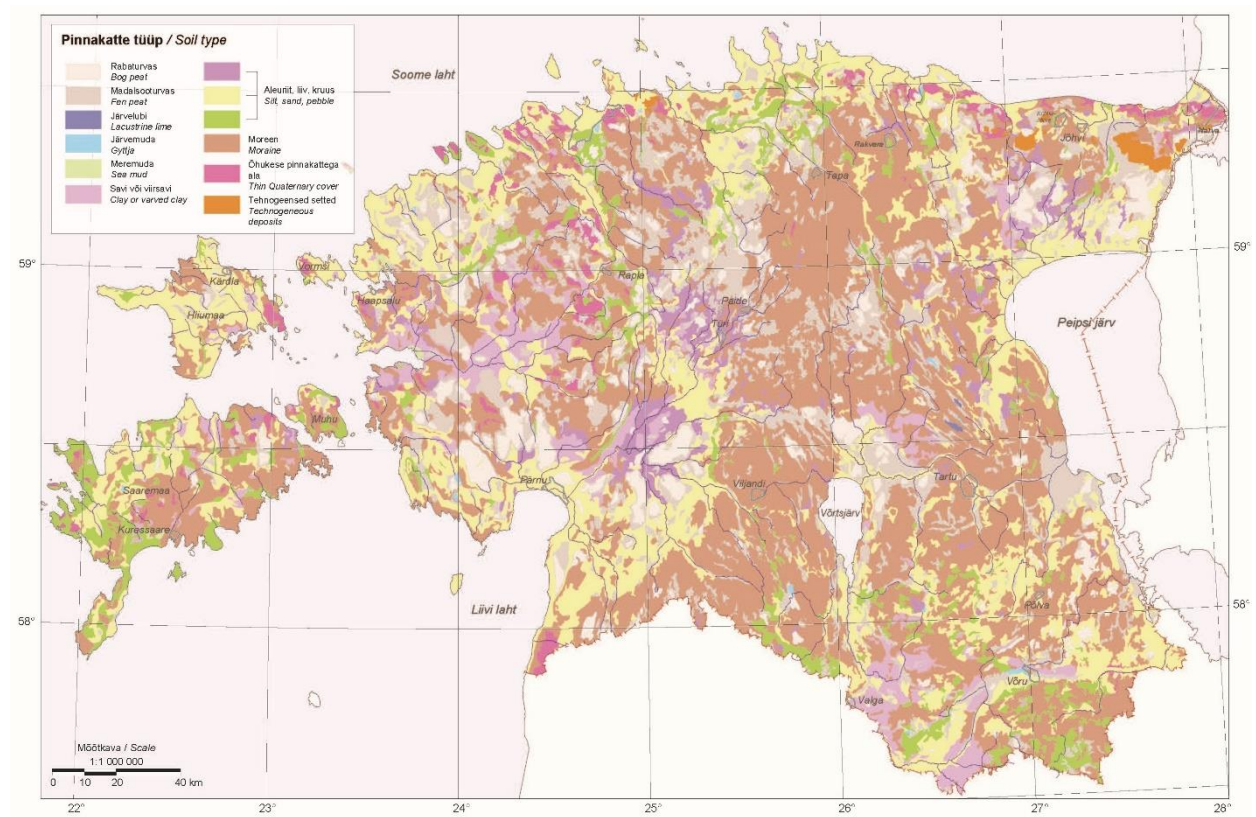
Aluspõhjakivimeid katavad õhema või paksema kihina Kvaternaari- ehk pinnakattesetted. Põhja- ja Kesk-Eestis paljanduvad piiratud aladel aluspõhjakivimid maapinnal või ainult mullakihi all, need alad on tuntud ka kui alvarid. Lõuna-Eestis on selliseid alasid vähe ja nende pindala on veelgi piiratum.

Rn leviku seisukohalt on oluline Kvaternaarisetete paksus, koostis ja genees (joonis 3.3). Mandrijää on oma liikumisel purustanud tonnide viisi Põhja-Eesti klindikivimeid, sealhulgas Türisalu kihistu uraanirikkaid kivimeid ning see materjal on liustikusetetega kantud laiali üle Eesti.

Lõuna-Eestis on pinnakate enamasti tunduvalt paksem kui Põhja-Eestis. Paks pinnakate on sageli mitmekihiline. Juhul, kui geoloogilisel kaardil on märgitud pinnakatteseteks jääjärve- või liustiku

vooluvee sete või ka alluviaalsed ja soosetted, võib põhilise mahu pinnakattest moodustada sügavamal lasuv moreen.

Põhja-Eestis võib radoon Alam-Ordoviitsiumi uraanirikastest kivimitest tõusta maapinnale mööda kivimites esinevaid lõhesid 100 ja enamagi meetri sügavuselt. Karst aitab samuti kaasa radooniliikumise suurenemisele (Täht-Kok jt., 2012). Pole teada, kas ja kuidas jõuab radoon maapinnale Devoni ladestu uraaniga rikastunud kihtidest.



Joonis 3.3. Eesti skemaatiline pinnakattetesetete (Kvaternaari setete) kaart (Kajak, 1999)

4. Metoodika

4.1. Radooni mõõtmiste läbiviimine

Radooniriski taseme uuringuteks eelloetletud aladel rajati uuringupunktid vastavalt 2018. aastal täiendava uuringuvajadusega haldusüksustele planeeritud radooniuuringute kavale, mis nägi igasse omavalitsusse ette minimaalse uuringupunktide arvu ja orienteeriva asukoha (Täht-Kok, 2018).

Pinnaseõhu Rn aktiivsuskontsentratsiooni ehk lühemalt Rn-sisalduse mõõtmised tehti vastavalt radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmise juhendile (RAM, 2016).

Rn aktiivsuskontsentratsiooni määramiseks pinnases mõõdeti Rn-sisaldust pinnaseõhus kahe meetodiga:

- 1) pinnase Rn-sisalduste otse mõõtmine pinnaseõhust ehk mõõdeti pinnaseõhus raadiumi lagunemisest tekkinud ning pinnase aeratsiooni käigus säilinud radoonisisaldus;
- 2) pinnase raadiumisisalduse järgi arvutati pinnaseõhus raadiumist tekkiva maksimaalse radoonisisalduse tase;

Vastavalt ehitusnormidest tulenevatele kogemustele arvutatakse pinnaseõhus otsemõõdetud Rn-sisaldused 1 m sügavusele. See tingib vajaduse väliuuringute käigus valdavalt 0,8 m sügavusel (RAM, 2016) (erandjuhtudel kuni 0,5 m sügavusel) otsemõõdetud Rn-sisaldused ümber arvutada. Ümberarvutused teostati mõõtmise sügavuse, pinnase litoloogilise ehk litotüübi ja radooni difusiooni vahelise sõltuvuse koefitsiente kasutades (RAM, 2016; Clavensjö ja Åkerblom, 1994).

Maksimaalne potentsiaalselt pinnaseõhus kujuneda võiv Rn-risk arvutati pinnases gamma-spektromeetriga mõõdetud eU-sisalduse järgi, kasutades valemit 1 (Clavensjö ja Åkerblom, 1994):

$$1) CR_n = A \times e \times \rho \times (1 - \phi) \phi^{-1},$$

kus CR_n – pinnase maksimaalse migratsioonivõimelise radooni sisaldus (kBq/m^3), mis kujuneb pinnases sisalduva ^{226}Ra (eU) arvelt;

A – eU-sisaldus, Bq/kg ;

e – antud litotüübi emanatsioonifaktor;

ρ – pinnase kompaktne mahukaal (erikaal), kg/m^3 ,

ϕ – pinnase poorsus (suhtarvuna).

Pinnase raadiumisisalduse ehk eU mõõtmise käigus mõõdeti ka eK ja eTh sisaldus. eK , eU ja eTh järgi arvutatakse looduskiirgus.

Looduskiirguse (LK) taseme hindamisel kasutatakse põhiühikuna ehitusmaterjalidele või täitepinnasele lubatud looduskiirguse piirväärtust, mis arvutatakse valemi 2 (elementide sisaldus on Bq/kg) järgi:

$$2) I = \frac{^{226}\text{Ra}}{300} + \frac{^{232}\text{Th}}{200} + \frac{^{40}\text{K}}{3000},$$

Ehitusmaterjali kasutamiseks puuduvad radioloogilised piirangud, kui aktiivsuskontsentratsiooni indeksi väärtus on väiksem kui 1 või 100% (Majandus-ja kommunikatsiooniministri 22.02.2019. a määruse nr 49).

Aktiivsuskontsentratsiooni indeksi väärtus 1 võimaldab hoida materjalidest tuleneva kiirguse aastase efektiivdoosi siseruumides tasemel 1 mSv/a, mis tähendab, et selliste materjalide kasutamise puhul ei ole ette näha EL direktiivis 2013/59/EURATOM (BSS, 2013) sätestatud viitetaseme ületamist (Majandus- ja kommunikatsiooniministri 22.02.2019. a määruse nr 49).

Kaevandi läbilõike kirjeldamisel võeti aluseks sellised kvaternaarisetete üldistatud litoloogilised erimid ehk litotüübid, mille poorsus mõjutab radooni migreerumist (Petersell jt., 2017). Nende eristamisel asetati pearõhk setete visuaalselt jälgitavatele geneetilistele ja litoloogilistele erinevustele, sest erinevates litotüüpides on radooni kui gaasi levimistingimused erinevad. Eristatakse järgmisi litotüüpe: Põhja-Eesti moreen (mp), levib karbonaatsetel kivimitel; Lõuna-Eesti moreen (ml), levib Devoni alal; liustikuvee setted: vooluvee setted (fgl), aleuriidirikkad savid (lgs), aleuriidid (lga), liivad ja kruusad (lgl). Lisaks sellele eristatakse ka tehisseteid (t), mis kujutavad endast peamiselt kvaternaarisetete, harvem aluspõhjakiivimitest pärineva materjali ning ehitusprahi mehaanilist segu.

Rn-ohtlikuks ehk I prioriteediga haldusüksuseks kvalifitseeriti ala, mille territooriumil on 10 või enam % radooni aktiivsuskontsentratsiooni määrangutest pinnaseõhus kõrgemad kui 75 kBq/m³ (leping: 4-1/19/66, lähteülesanne). Haldusüksused, kus radooni aktiivsuskontsentratsiooni määrangud pinnaseõhus olid eespool nimetatud kriteeriumist madalamad, kvalifitseeriti III prioriteediga haldusüksusteks.

4.2. Mõõteaparatuur

Radooni pinnaseõhust otsemõõtmiseks kasutati kahte emanomeetrit Markus 10 (seeria nr 1306 ja 1307). 2019. aasta teises pooles lisandus Tšehhi radoonimõõtmise instrument RM-2. Emanomeeter Markus 10 (foto 4.2.1) on Eestis valdavalt kasutatav instrument, mis pumpab maa sees oleva toru kaudu pinnaseõhu Rn lagunemiskambriks, kus Rn-sisaldus (kBq/m³) määratakse tütarlemendi ²¹⁸Po lagunemise järgi.



Foto 4.2.1. Emanomeeter Markus 10 pumpab pinnasest õhku korpuse sees asuvasse kambriksse. Tulemuse saamiseks läheb umbes veerand tundi (Foto: K. Täht-Kok)

Radoonimõõtur (radoonimõõtja) RM-2 puhul imetakse läbi maasse löödud toru pinnaseõhk süstlasse, mis seejärel ühendatakse eelnevalt õhust tühjaks pumbatud metallist kolvikujulise ionisatsiooni-

kambriga (mõõtekambriga). Alarõhu tõttu kambris liigub pinnasest väljaimetud õhk süstlast kambrisse. Rn-sisaldus kambris olevas õhus määratakse vastavalt kalibreeritud elektromeeter ERM-3 abil (foto 4.2.2).



Foto 4.2.2. Radoonimõõduri RM-2 osad: a) pump vaakumi tekitamiseks, b) elektromeeter radoonisisalduse edastamiseks, c) kolvid (Foto: K. Täht-Kok)

Gammaspektromeetriga (GT-40 – Multipurpose Gamma Centre) mõõdetakse pinnases eU (mg/kg), eTh (mg/kg) ning eK (%) sisaldus. eU sisalduse järgi arvutatakse potentsiaalne radoonisisaldus uuringupunktis (foto 4.2.3).



Foto 4.2.3. Rn-mõõtmisel kasutatakse mitmeid töövahendeid, alates lihtsast labidast kuni keeruliste mõõtmisseadmeteni. Punane silindrikujuline gammaspektromeeter on foto keskel (Foto: K. Täht-Kok)

Uuringupunkti asukoha koordinaadid määrati Garmin GPS 76-ga.

Rn-mõõtmise aparatuuri kalibreeriti korrapäraselt valmistajatehastes Rootsis ja Tšehhis ning aeg-ajalt kontrolliti aparatuuri Tallinnas Kadaka tee 82 EGT keldris asuval etalonil.

Geoloogiliste läbilõigete kirjeldamisel kasutatakse EGT ja Maa-ameti andmebaasis olevate süvapuuraукude kirjeldusi. Viimaste puudumisel kasutatakse ka Keskkonnaameti ja Keskkonna-agentuuri puuraukude andmebaasi VEKA. Puuraukude numbritena kasutatakse katastri numbrit.

Radoonisisalduse määramiseks majade siseõhus kasutati integreeritud mõõtmisi, mis annavad radooni keskmise aktiivsuskontsentratsiooni mõõdetava ajaperioodi kohta. Mõõtmiseks kasutati tahkiselise tuumaosakeste jälje detektorit (SSNTD) (foto 4.2.4). Reeglina mõõdeti siseõhu Rn-sisaldust elutoas ja magamistoas, mõnel juhul lisaks ka keldris; kui elutuba ja magamistuba moodustasid ühe ruumi, siis köögis ja eluruumis. Mõõtmisi keldris ei arvestatud maja keskmise siseõhu kalkulatsioonis.



Foto 4.2.4. Detektor radooni mõõtmiseks siseõhus (Foto: A. Polt)

4.3. Andmetöötlus

Andmeid töödeldi nii, et uuringus esitatud Rn-riski ja looduskiirgusealast infot oleks võimalik võrrelda WHO (WHO, 2009), Euratomi direktiivide (BSS, 2013), Keskkonnaministri 25.11.2016. a määrus nr 54, (RAM, 2016) ja IAEA standardi nr SSG-32 (Specific Safety..., 2015) soovitude ja nõuetega.

Keskmete radooni pinnaseõhu mõõtmistulemuste arvutamisel kasutati valdavalt geomeetrilisi keskmisi (X_g) ja geomeetrilist standardhälvet (S_g), siseõhutulemuste puhul aritmeetilist keskmist (X) ja aritmeetilise keskmise standardhälvet (S , S_x).

Uuringus kasutatava valdava sisalduse all mõistetakse mõõtmistulemusi, mis jäävad vahemiku:

$A - S_x$ kuni $A + S_x$ ja $X_g : S_g^2$ kuni $X_g \times S_g^2$ – need on vahemikud, kuhu mahub 68% mõõdetud tulemustest.

Erinevates eluruumides, milleks tavaliselt olid elutuba ja magamistuba, arvutati hoone keskmiseks siseõhu Rn-sisalduseks nende ruumide aritmeetiline keskmine.

5. Rn-uuringud Keila linnas

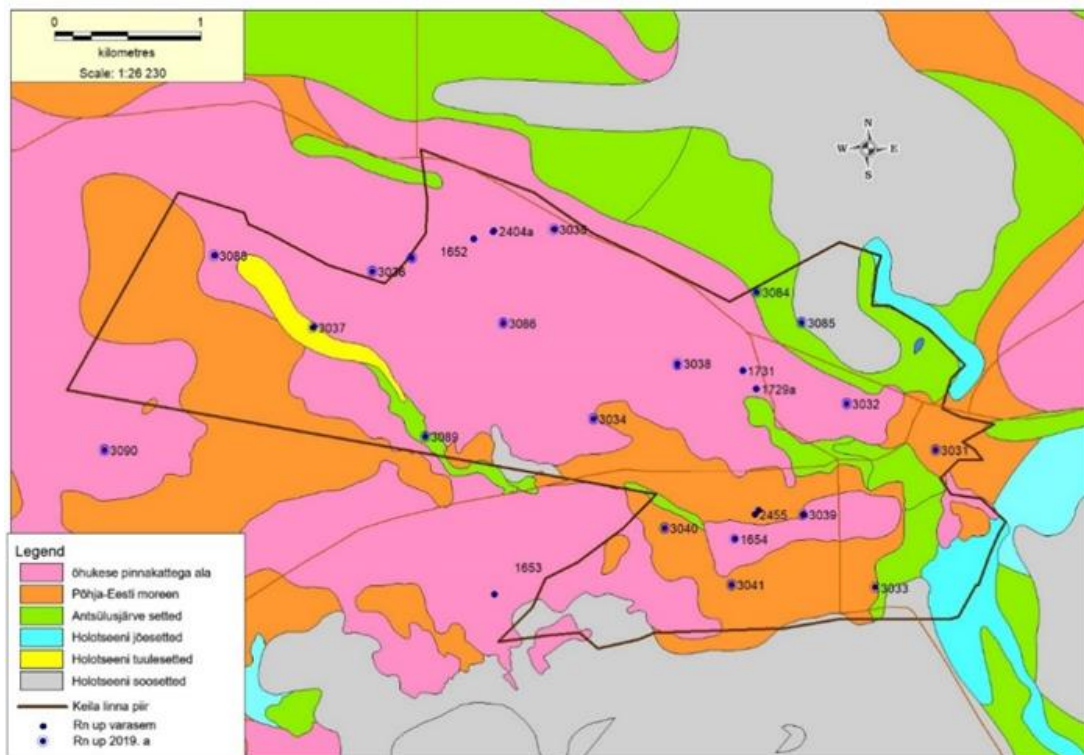
Lähtudes varasematest Rn-uuringutest ja territooriumi geoloogilisest ehitusest, planeeriti Keila linna territooriumile 6 uuringupunkti, kuid linnaplaneerijate soovidele vastu tulles suurendati uuringupunktide arvu 17-le. Koos varasemate Rn-uuringutega on Keila linna territooriumile rajatud 24 pinnaseõhu Rn-uuringupunkti (kaart 1). Keskmiselt on Keila linna territooriumil üks radooniuuringupunkt 0,47 km² kohta, kuid arvestades linna territooriumi ebaühtlast asustatust, on linna tihedasti asustatud idaosas punktide tihedus tunduvalt suurem.

Siseõhu-uuringuid tehti töö käigus kolmes elumajas. Koos varasemate uuringutega on siseõhu Rn-sisaldus teada 17 hoones.

5.1 Keila linna reljeef, geomorfoloogia ja geoloogia

Keila linn asub Põhja-Eesti lavamaal, geoloogiliselt Põhja-Eesti lubjakiviplatool klinditsoonis. Lähimad graptoliitargilliidi ja oobolusliivakivi avamusalad asuvad linnast 4–6,5 km kaugusel läänes ja põhjas. Absoluutne kõrgus varieerub 40–46 m piires, kõige madalam punkt asub linna idaosas Keila jõe ääres (28,5 m), kõige kõrgem on linna paese pinnaga keskosa, kus absoluutne kõrgus ulatubki 46 m-ni. Pinnamood on valdavalt tasane, vaid edelaosas on väike astang ja linna idaosas lõikub Keila jõgi 7–8 m sügavuselt lubjakiviplateosse.

Kvaternaari ajastu setted on suurel osal linna territooriumist väga õhukesed. Võrtsjärve ülemkihistu Põhja-Eesti moreenikiht on seal väga kivine ja läheb sujuvalt üle Keila lademe murenenud lubjakiviks. Lääne-edelaosas moodustavad Antsülusjärve liivased ja Holotseeni tuulesetted kuni paari meetri kõrguse seljandiku. Linna lõunaosas Antsülusjärve-aegne kruusane seljandik jätkub (joonis 5.1.1). Hüdrogeoloogiliste puuraukude 568 ja 575 kirjelduste kohaselt on seal pinnakatte paksus 2–2,5 m. Antsülusjärve setteid esineb ka linna idaosas. Keila linna kirde- ja lõunaosas on soostunud alasid, kus maapind on täidetud. Täide koosneb peamiselt lammutusprahist ja liivast ning moreenist. Täidetud on ka Holotseeni jõesetetega kattunud madalat ala.



Joonis 5.1.1. Keila linna skemaatiline Kvaternaari kaart ja Rn uuringupunktid (Suuroja jt., 2014)



Foto 5.1.1. Keila lademe stratotüüppaljand, siin asus kunagi Keila paemurd (a). Paljandis avanevad Kahula kihistiku kivimid, mis on nagu kõik lubjakivid täis lõhesid ja praokesi (b) (Foto: K-Täht-Kok)

Aluspõhja kivimid avanevad Keilas kohati maapinnal (joonis 5.1.2). Keila linna järgi on saanud nime Ülem-Ordoviitsiumi ladestikku kuuluv Keila lade. Keila lubjakivikarjääris asub Keila lademe stratotüüppaljand (foto 5.1.1, joonis 5.2.2.1). Geoloogilise kaardi andmetel kuuluvad need lubjakivid Kahula kihistusse (Suuroja jt. 2014), milles kollakashallid paksukihilised lubjakivid vahelduvad suure savisisaldusega õhukesekihiliste lubjakividega. Lubjakivides leidub nii peenikesu pragusid (foto 5.1.1 a ja b) ja lõhesid kui suuremaid purustustsoone (foto 5.1.2)

Keset Keila linna õhukese pinnakattega alal asuva süvapuuraugu 117 „Keila“ andmetel on Keila lademe paksuseks 17,75 m (Stumbur ja Jõgi, 1965).

Ülem ja Kesk-Ordoviitsiumi lubjakivide paksus ulatub puuraugus 53,65 m.

Alam-Ordoviitsiumi ladestik algab 1,8 m paksuse glaukoniidiga rikastunud lubja ja liivakiviga.

Pakerordi lademe Türisalu kihistu graptoliitargilliit lasub puuraugus 117 andmetel 55,5–61 m sügavusel. Keila jõesängi puuritud hüdroteoloogilise puuraugu 556 (katastri nr) andmetel on graptoliitargilliidi kiht maapinnast 50 m sügavusel.

Graptoliitargilliidile järgneb Kallavere kihistu oobolusliivakivi, mille paksus puuraugus 117 on 3,2 m.

Rn-rikkad Türisalu kihistu kivimid lasuvad Keila puuraugus 55,5–64,2 m sügavusel. Radooni jõudmine maapinnale mööda lubjakivilõhesid on sellistest sügavusest väga tõenäoline (Täht-Kok jt. 2012).

Kambriumi ajastu jätkub puuraugus 117 Dominopoli lademe liivakividega 64,2–104 m. Neile järgnevad Lontova lademe kivimid, mis algavad tuntud rohekashalli saviga (104–110,1 m), kuid jätkuvad aleuoliitse saviga kuni 173,2 m sügavuseni.



Ediacara ladestu terrigeensed kivimid jätkuvad sügavuse suunas algul Kotlini kihistu valdavalt savikate aleuoliitidega (173,2–191 m) ja seejärel Gdovi kihistu liivakividega kuni 214 m sügavuseni. Murenemiskoorik on puuraugus 4,7 m paksune.

Kristalne aluskord algab 218,7 m sügavusel graniidiga, kuid sügavamal leidub erineva koostisega gneissi. Puuraugu sügavus on 237,7 m.

Radooni jõudmine maapinnale aluskorra kivimitest on vähetõenäoline neid katvate Lontova lademe savide tõttu.

Foto 5.1.2. Purustustsoon Kahula kihistu lubjakivis
(Foto: K. Ploom)

5.2 Keila linna Rn-uuringu tulemused

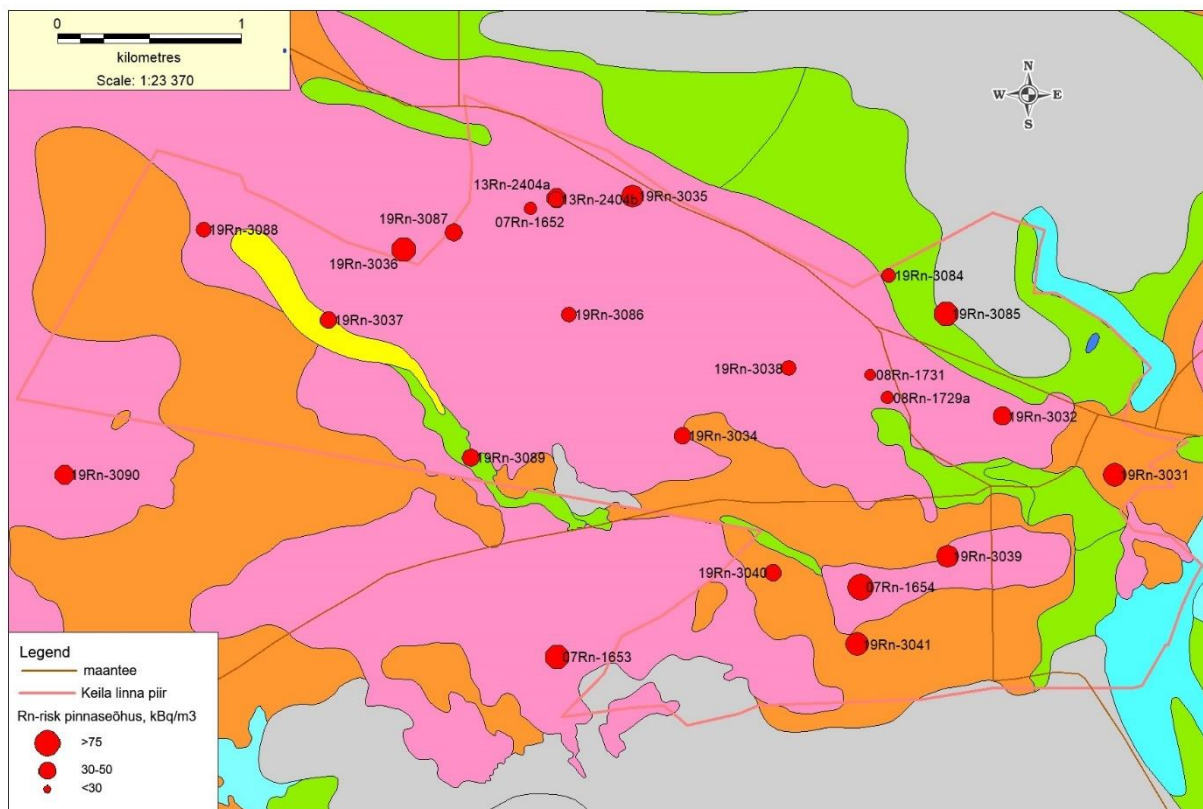
5.2.1. Rn pinnaseõhus

Radooni otsemõõtmine Keila linna territooriumil oli tihti raskendatud õhukese ja väga kivise pinnakatte tõttu. Isegi siis, kui sattuda lõhetsooni peale, on raske emanomeetri toru Rn kinni püüdmiseks vajalikule sügavusele lüüa, Rn pääseb aga neis tingimustes hõlpsasti liikuma (foto 5.1.2).

Linna lõuna- ja kirdeosas takistas radooni otsemõõtmist kõrge pinnaseveetase. Nimetatud põhjustel ei olnud võimalik usaldusväärset otsemõõtmistulemust saada viies uuringupunktis (tabel 5.2.1.1). Üks uuringupunkt, 19Rn-3090, rajati linnapiirist väljapoole, sest raudteepiirete tõttu ei olnud võimalik seda teha linna territooriumile (joonis 5.1.1), linna poolt takistas juurdepääsu soo. Kuna geoloogiliselt on tegemist sarnase loodusliku alaga, oli selline valik õigustatud. Samadel põhjustel lülitati statistikasse ka edelas linnapiiri taga asuv uuringupunkt 07Rn-1653.

Koos varasemate Rn-mõõtmistega oli statistilise töötamise aluseks 25 pinnaseõhu uuringupunkti.

Uuringutulemused on esitatud joonisel 5.2.1.1 ja tabelis 5.2.1.1



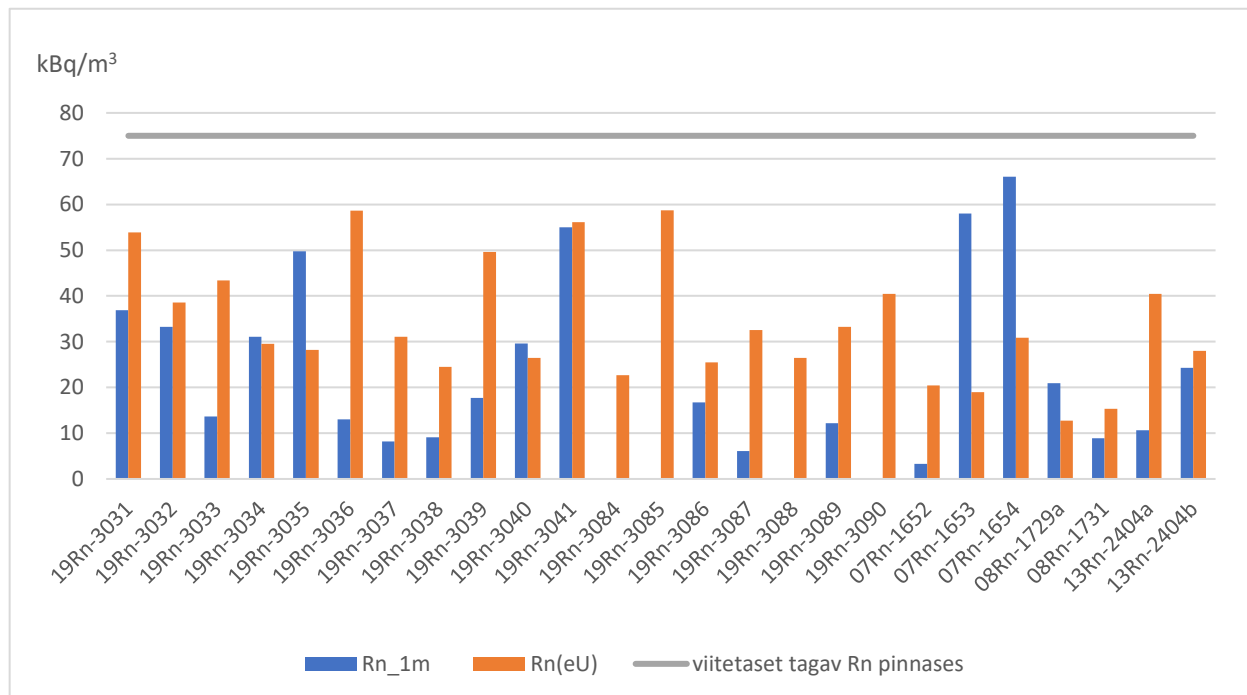
Joonis 5.2.1.1. Keila linna Rn-riski kaart (Aluskaart: Suuroja jt., 2014)

Kõik, nii otse pinnaseõhust mõõdetud kui eU järgi arvutatud mõõtmistulemused, jäid madalamaks kui 75 kBq/m^3 . Maksimaalne Rn-sisaldus (66 kBq/m^3) on mõõdetud otsemõõtmismeetodil, kuid enamuses uuringupunktides jäävad otsemõõdetud radoonisisaldused madalamaks kui eU järgi arvutatud potentsiaalsed radoonisisaldused. See kinnitab sagedasi kogemusi, et õhukese pinnakattega alal radooni

mõõtmise otsemõõtmismeetodil sageli ebaõnnestub. Samal ajal on teada, et radoon liigub mööda lubjakivilõhesid hõlpsasti maapinnale.

Tabel 5.2.1.1. Rn-sisaldus Keila linna territooriumi pinnaseõhus 1 m sügavusel otsemõõdetult, eU järgi arvutatult ning Rn-risk

Up nr	Latitude	Longitude	Lt	Rn_1m	Rn(eU)	Risk	LK
				kBq/m ³			%
19Rn-3031	59,30881	24,43389	lga	37	54	54	65
19Rn-3032	59,3117	24,42325	t	33	39	39	49
19Rn-3033	59,30042	24,2656	t	14	43	43	44
19Rn-3034	59,31085	24,39284	mp	31	30	31	29
19Rn-3035	59,32251	24,38822	mp	50	28	50	32
19Rn-3036	59,31997	24,3664	fgl	13	59	59	55
19Rn-3037	eraisik		fgl	8	31	31	39
19Rn-3038	59,3141	24,40295	mp	9	25	25	20
19Rn-3039	eraisik		mp	18	50	50	60
19Rn-3040	59,30415	24,40133	mp	30	26	30	36
19Rn-3041	59,30066	24,40929	mp	55	56	55	61
19Rn-3084	59,31857	24,41253	mp		23	23	40
19Rn-3085	59,3167	24,41796	lga		59	59	63
19Rn-3086	59,31677	24,3821	mp	17	25	25	27
19Rn-3087	59,32081	24,37118	mp	6	33	33	43
19Rn-3088	eraisik		mp		26	26	39
19Rn-3089	59,30984	24,37267	fgl	12	33	33	38
19Rn-3090	59,30912	24,33409	mp		40	40	52
07Rn-1652	59,32195	24,37846	mp		20	20	46
07Rn-1653	59,30013	24,38077	mp	58	19	58	45
07Rn-1654	59,30343	24,40966	lgl	66	31	66	51
08Rn-1729a	59,31264	24,41234	mp	21	13	21	35
08Rn-1731	59,31376	24,41072	mp	9	15	15	37
13Rn-2404a	59,32242	24,38094	mp	11	40	40	30
13Rn-2404b	59,32237	24,38087	mp	24	28	28	23
Max				66	59	66	65
AG				18,8	31,4	35	41
SG				2,0	1,5	1,5	1,4
Valdav sisaldus	$x_g : s_g^2$ kuni $x_g \times s_g^2$			5 - 84	14 - 70	15 - 74	21 - 74



Joonis 5.2.1.1. 1 m sügavusel otsemõõdetud Rn-sisalduste võrdlus eU sisalduste järgi arvatud potentsiaalsete radoonisaldustega pinnaseõhus Keila linna territooriumil

Uuringutulemused näitavad, et enam kui neljandikus uuringupunktidest ületab Rn-sisaldus pinnaseõhus 50 kBq/m³ ja seega on vastavalt Eesti ehitusstandardile (EVS 840:2017) Keila linna territooriumil vajalik mõõta Rn-sisaldust enne uute hoonete püstitamist, et selgitada radoonivastaste meetmete kasutamise vajalikkust või nendest loobumist.

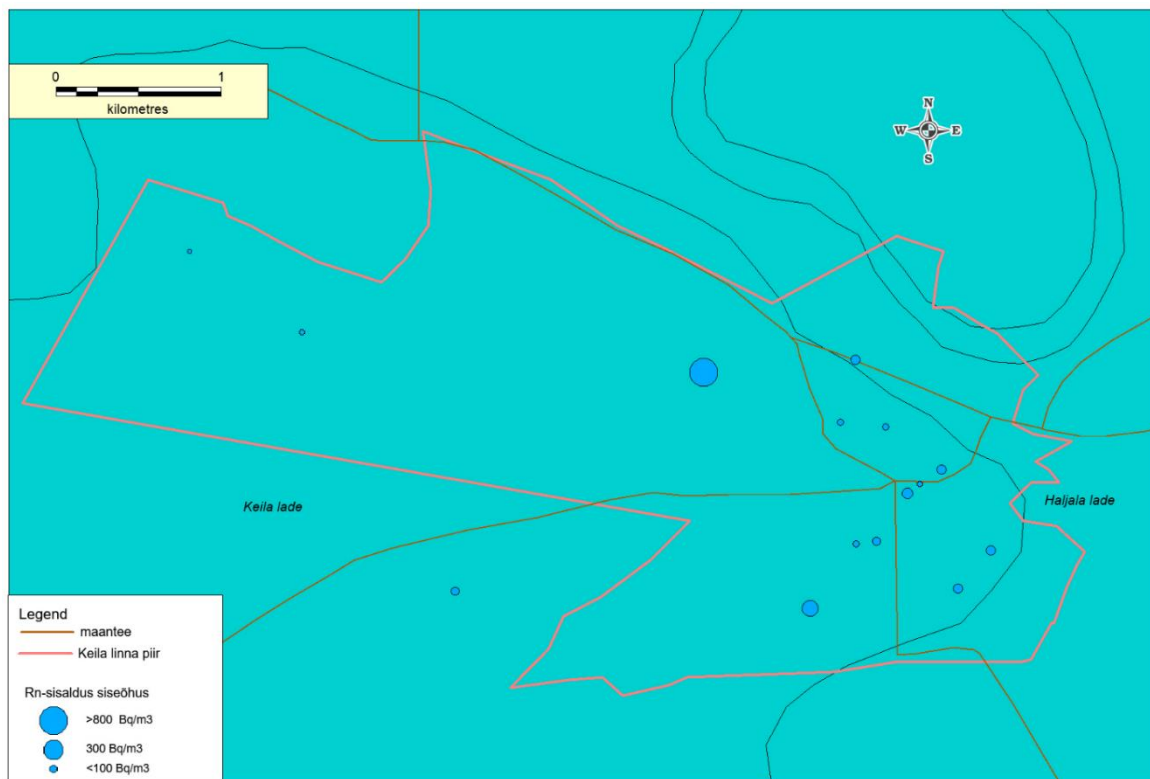
Looduskiirgus jääb Keila linna pinnases madalamaks ehitusmaterjalides lubatud piirist 1 või 100%, mille puhul aastane efektiivdoos jääb madalamaks kui 1 mSv/a.

5.2.2. Rn siseõhus

Siseõhu mõõtmisi tehti käesoleva töö käigus kolmes hoones. Koos varasemate uuringutega on Keilas mõõdetud Rn-sisaldust 17 hoones. Nagu näha tabelist 5.2.2.1, jäävad kõik mõõtmised, välja arvatud üks, allapoole Rn-sisalduse viitetaset 300 Bq/m³. Keskmine Rn-sisaldus hoonetes on 118 Bq/m³, see on madalam Eesti standardikeskuse poolt ehitusjuhise (EVS 840:2017) kehtestatud Rn-tasemest (200 Bq/m³).

Uuritud valdade hulgas on Keila linna siseõhu keskmine Rn-sisaldus kõige kõrgem ja kõige kõrgem on ka Keila linna maksimaalne siseõhu Rn-sisaldus (347 Bq/m³).

Eeldades, et normaaljaotuse puhul oleks valdavate sisalduste (68% mõõtmistulemustest) piirid 47–189 Bq/m³, siis jääb määramata ~16% kõrgematest mõõtmistulemustest. Kui arvutada ülemine tõenäoline piirsisaldus 99% mõõtmistulemustele, siis oleks see $A+3S=331$ Bq/m³.



Joonis 5.2.2.1. Rn-sisaldus Keila linna hoonete siseõhus (Aluskaart: Suuroja, 1997)

Maksimaalne siseõhutulemus (347 Bq/m^3) (tabel 5.2.2.1) on mõõdetud õhukese pinnakattega alal, mis viitab asjaolule, et radoon jõuab maapinnale mööda lubjakivides olevaid lõhesid Alam-Ordoviitsiumi uraani-rikastest kivimitest.

Väga kõrge Rn-sisaldus (893 Bq/m^3) registreeriti AS Keila Vesi hoones (joonis 5.2.2.1). See on tõenäoliselt seotud AS Keila Vesi poolt läbiviidava Kambriumi-Vendi veekihi põhjavee käitlemisega. See põhjavesi puutub kokku kristalse aluskorra kivimitega ning on teada ^{222}Rn emaelemendi ^{226}Ra laialdane esinemine selle põhjavees (Savitski ja Viigand, 1994). Sellel põhjusel jäeti AS Keila Vesi hoones mõõdetud kõrge Rn-sisaldus siseõhus statistikast välja.

Tabel 5.2.2.1. Rn-sisaldused Keila linna hoonete siseõhus

Up nr	Rn- siseõhus
	Bq/m^3
19Rn-3037	49
19Rn-3039	65
19Rn-3088	36
1	136
EGK0079	84
76	140
82	140
60	347
64	143
68	155

Up nr	Rn- siseõhus
	Bq/m^3
70	112
86	60
EGK0079	84
90	136
62	103
74	102
Max	347
A	118
S	71
σ_V	0,6

5.3 Keila linna Rn-uuringu põhjal tehtud otsus

Vaatamata sellele, et mõõdetud pinnaseõhu uuringupunktides viitetasemele vastavast Rn-sisaldusest 75 kBq/m³ kõrgemaid tulemusi ei fikseeritud, asub Keila linn radooniohtlikus Põhja-Eesti klinditsoonis. Samuti ületab enam kui neljandikus uuringupunktides Rn-sisaldus pinnaseõhus 50 kBq/m³, see on tase, mis vastavalt Eesti Ehitusstandardis kehtestatud juhistele (EVS 840:2017) nõuab Rn-sisalduse mõõtmist enne uute ehituste püstitamist.

Viitetaset ületavaid Rn-sisaldusi on mõõdetud ka linna siseruumide õhus.

Radooni jõudmine maapinnale ja hoonetesse on mööda lubjakivilõhesid väga tõenäoline, seega tuleb ala geoloogilist ehitust arvesse võttes liigitada Keila linn **I prioriteediga omavalitsuseks**.

6. Rn-uuringud Võru linnas

Tööde planeerimise ajal 2018. aastal ei olnud Võru linna territooriumil teada ühtegi Rn-uuringut. 2018. aastal lõpul tehti Rn-uuring Vabaduse puiestee 15, kuhu ehitati koolihoone. Võru linna oli planeeritud 17 Rn-uuringupunkti ja mõõtmised tehti ka 17-s uuringupunktis. Ulatuslikul alal linna keskosas ei olnud võimalik Rn-uuringuid teha kõrge veetaseme ja maapinna soostumise tõttu.

Töö käigus püüti uuringupunktide asukohtade valikul arvesse võtta ka Võru linnaplaneerijate soove, kuid linna põhjaosas oli see peaaegu võimatu, sest need alad olid liigniisked või just täitmisel. Üks katse uuringupunktis 19Rn-3017 tehti täidetud alal, kuid kuna seal puudusid huumus ja rohukamar, oli pinnase aereerumine nii tugev, et otsemõõtmistulemust ei olnud võimalik saada (kaart 2).

Keskmiselt on Võru linna territooriumil üks radooni uuringupunk 0,77 km² kohta.

Siseõhu-uuringuid tehti töö käigus kolmes elumajas, ühes lasteaias ja ühes hotellis. Koos varasemate siseõhu uuringutega on Võru linnas siseõhu Rn-sisaldust mõõdetud 14 hoones.

6.1. Võru linna territooriumi reljeef, geomorfoloogia ja geoloogia

Võru linn on kujunenud Tamula järve idakaldale. Linn on kaarjalt ümber järve põhjast lõunasse välja venitatud. Edelaosas on linna piiriks Võhandu jõgi ja selle lamm (kaart 2, joonis 6.1.1). Linna edelaosa on soostunud ja seal on mitmeid veesilmi. Soostunud või liigniiske on ka linna ida-kagu osa. Läbi Võru linna voolab Koreli oja, mille lauge säng on samuti liigniiske.

Maapinna kõrgus on liigniisketel aladel 71–72 m piires. Linna keskosa on veidi kõrgem, linna keskel Räpina maantee ääres tõuseb maapind kuni 77 m-ni. Tamula järve poolisel alal Vabaduse puiesteel on maapinna kõrgus 74 m piires. Üldiselt on valdav osa Võrust tasane ja madal.

Künklik maastik asub päris linna lõunaotsas Kubija järve ääres, kus absoluutne kõrgus tõuseb 83 m-ni.

Kvaternaarisetted on esindatud Võrtsjärve alamkihistu jääjärvesetted, samavanuselise moreeni ja glatsiofluviaalsete setetega. Jääjärvesetted kujutavad endast Võru linna territooriumil plastset savi, milles gaasid niisama hästi kui ei liigu (foto 6.1.1). Moreeni koostiseks on valdavalt savi-liiv ja glatsiofluviaalsed setted kujutavad endast kruusa-liiva segu (joonis 6.1.1).

Suur osa Võru linna territooriumist on kaetud soosetetega. On iseloomulik, et jääjärve ja glatsiofluviaalsed setted moodustavad tavaliselt kvaternaarisetete läbilõikest vaid ülemise osa, sügavamal levib moreen.

Geoloogilise kaardistamise (Põldvere jt., 2016) ja Võru puuraugu 3942 andmetel (kaart 2) varieerub kvaternaarisetete paksus Võru linnas 7 m-st põhjaosas 74 m-ni lõunaosas.

Linna lõunaosas saavad kokku mitu ürgorgu, kus kvaternaarisetete paksus järsult suureneb. Üks neist on ida-läänesuunaline Võru-Petseri ürgorg, üks suubub Vagula-Tamula nõkku lõunast ja teine edelast. Ürgorgude kohal võib Rn-risk olla suurem, kuid ida-läänesuunalise vagumuse kohal olev piirkond on liigniiske, mis radooni levikut pärsib. Linna suubuva põhja-lõunasuunalise vagumuse kohal on pinnas kuival ajal hästi aereerunud, mis avaldab suurt mõju otsemõõtmistulemustele, kuna pinnase aereerumine lahjendab oluliselt radooni sisaldust ülemises pinnasekihis.

Aluspõhja kivimiteks Võru linna territooriumil on valdavalt Kesk-Devoni ladestikku kuuluvad Gauja lademe liivakivid, kuid ürgorud lõikuvad sügavamale aluspõhja kivimitesse ja nende põhjas avanevad Kesk-Devoni Burtnieki lademe liivakivid (joonis 6.1.1) .

Geoloogilise läbilõike aluseks on Võru linna lõunaosas asuv süvapuurauk 3364 (katastri nr).

Puurauk asub ürgoru kohal, Kvaternaarisetete paksus on seal 74 m.

Kesk-Devoni ladestiku Burtnieki lademe savi vahekihtidega liivakivide paksus on 68 m ja nad ulatuvad 142 m sügavusele. Neile järgnevad Aruküla lademe liivakivid, mis sisaldavad aleuoliidi vahekihte. Aruküla lademe paksus on 71 m. Viimastele järgnevad Narva lademe merglid ja savi vahekihtidega liivakivid kogupaksusega 79 m. Narva lademele järgnevad sügavuse suunas Pärnu lademe liivakivid, milles 2,55 m dolomiidi ja 1,8 m paksune savi vahekiht.

Devoni kivimite kogupaksus on 274 m, lasuvussügavus 74–347,5 m.

Sügavuse suunas järgnevad Siluri ladestu Juuru lademe karbonaatsed kivimid, mille paksus on vaid 7 m. Kogu Siluri ladestu lasuvussügavus on 347,5–354,5 m.

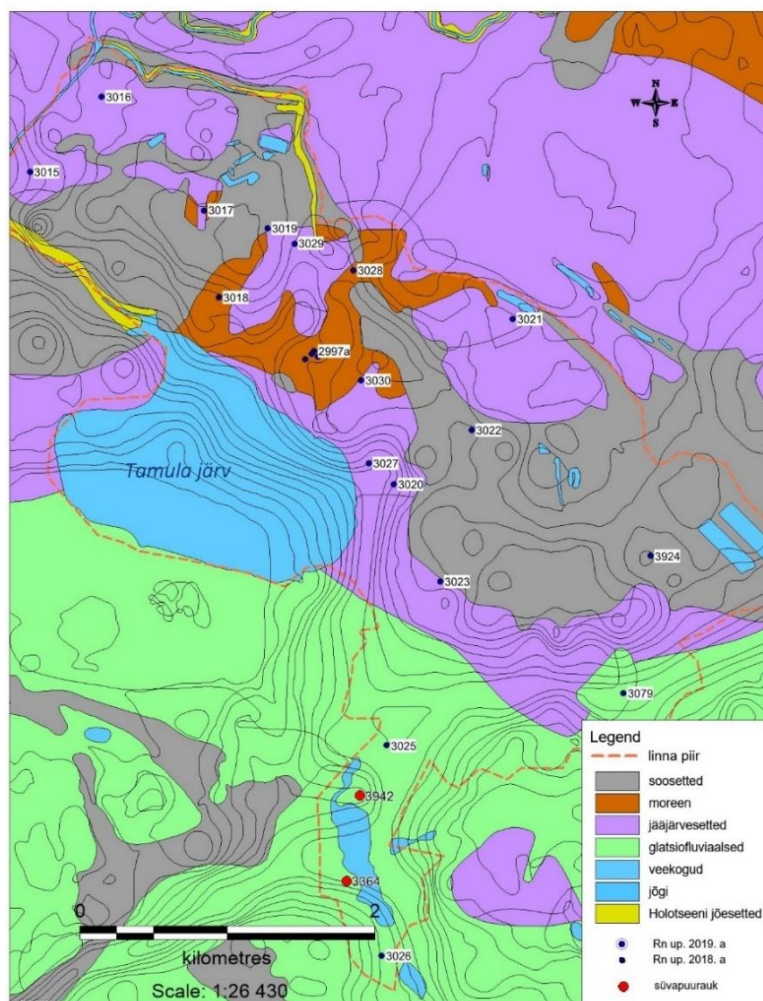
Ülem- ja Kesk-Ordoviitsiumi ladestiku karbonaatsete kivimite kogupaksus on 118,5 m, nende lasuvussügavus on 354,5–439,5 m.

Alam-Ordoviitsiumi ning tõenäoliselt ka Alam-Kambriumi terrigeensete kivimite kogupaksus on 49 m. Uraanirikas Kallavere kihistu asub selle kompleksi ülaosas 473 m sügavusel. On väga ebatõenäoline, et niisugusest sügavusest radoon maapinnale jõuaks.

Kambriumi ajastu Lontova lademe savide lasuvussügavus on 522–528 m .

Ediacara ajastu samuti terrigeensete kivimite lasuvussügavus on 528–574 m.

Aluskorra kristalliinsed kivimid, milleks on gneisid, algavad 1 m paksuse murenemiskoorikuga 574 m sügavuselt. Radooni jõudmine maapinnale pea kuuesaja meetri sügavuselt on ebatõenäoline.



Joonis 6.1.1. Võru linna skemaatiline Kvaternaari kaart ja Rn uuringupunktid (Põldvere jt., 2016)



Foto 6.1.1. Jääjarvesetted Võru linna idaosas kujutavad endast plastset savi, uuringupunkt 19Rn-3021 (Foto: K. Täht-Kok)

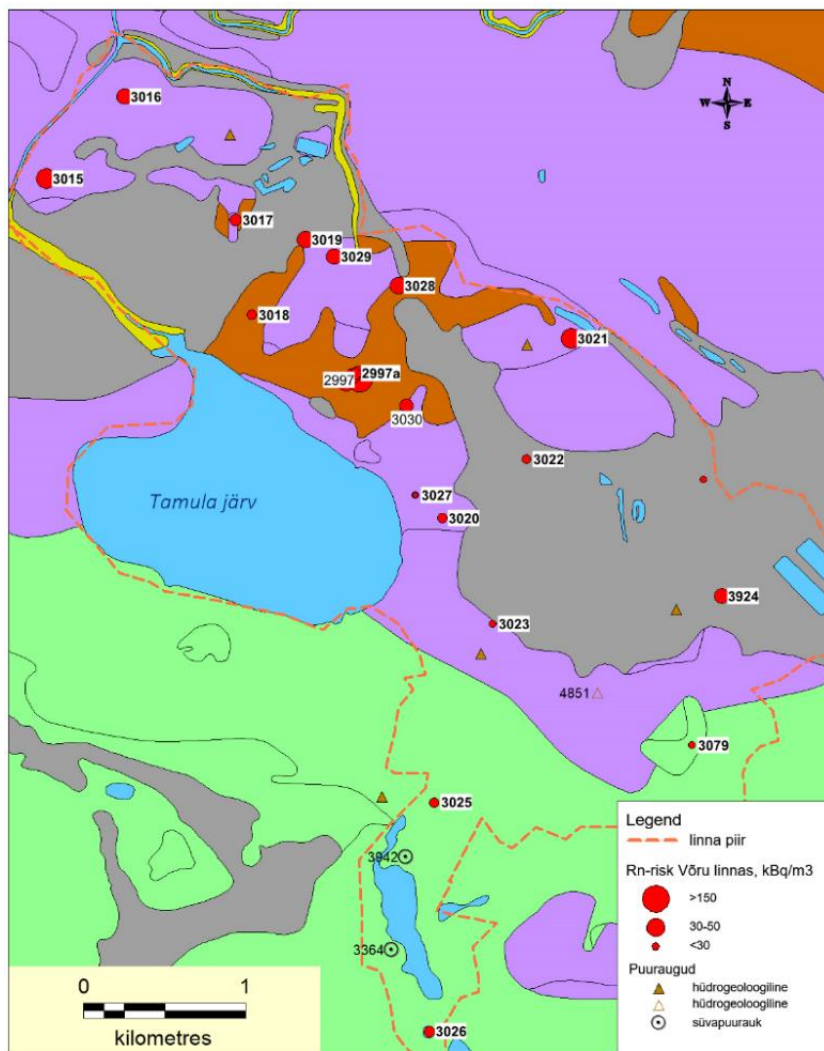
6.2. Võru linna Rn-uuringu tulemused

6.2.1. Rn pinnaseõhus

Ühtlase võrguga Rn-mõõtmisi Võru linna territooriumil takistasid soostunud ja liigniisked alad (kaart 2, joonis 6.2.1.1). Rn-sisaldust pinnaseõhus mõõdeti 17 uuringupunktis (joonis 6.2.1.1) ja nagu eespool mainitud, on andmetöötles kasutada ka Vabaduse tn 15 kinnistul enne koolihoone ehitamist firma BML Balti aastal 2018 tehtud Rn-mõõtmist (up 18Rn-2997). Radooni otsemõõtmistulemused, mis kinnistul 2018. aastal mõõdeti, olid väga varieeruvad ja kõrged, kõrgeim tulemus 161 kBq/m^3 on suurim, mida Võru maakonnas kunagi on mõõdetud (Petersell jt., 2017) (tabel 6.2.1.1). Käesoleva uuringu käigus ei õnnestunud mõõta mitte kordagi ligilähedaseltki nii kõrget Rn-sisaldust nagu 2018. aastal uuringupunktis 18Rn-2997. Samas punktis Rn-mõõtmisi korrata ei õnnestunud, kuna ehitus oli kinnistul juba alanud. Uuringupunkt 19Rn-3030 asub geoloogiliselt sarnastes tingimustes, seal nii suurt Rn-sisaldust ei mõõdetud. Uuringupunkt 18Rn-2997 tehtud nelja mõõtmist käsitletakse pindalaliselt ühe üksusena, kuid statistilises töötles võetakse arvesse kõik neli Rn-mõõtmist (tabel 6.2.1.1).

Rn-otsemõõtmistulemuste geomeetriline keskmine on 20 kBq/m^3 , eU järgi arvutatud potentsiaalne Rn-sisaldus pinnaseõhus on 38 kBq/m^3 . Nagu näha on eU järgi arvutatud potentsiaalne keskmine Rn-sisaldus pea kaks korda suurem kui otsemõõdetud keskmine Rn-sisaldus. See näitab, et Rn liikumine pinnases on pärsitud.

Keskmine radoonirisk 44 kBq/m^3 , mis võtab kokku mõlema meetodiga mõõdetud tulemustest suurima, jääb alla nii viitetasemele (75 kBq/m^3) kui ehituses Rn-vastaste meetmete rakendamise nõudele (50 kBq/m^3) (EVS 840:2017).



Joonis 6.2.1.1. Rn-risk Võru linna pinnaseõhus. (Aluskaart: Põldvere jt., 2016)

Maksimaalne Rn-sisaldus on 161 kBq/m^3 , mis on mõõdetud otsemõõtmismeetodil, on seni Võrumaal mõõdetud Rn-sisaldustest kõrgeim. See tulemus näitab, et harvadel juhtudel võib soodsate tingimuste kokkulangemisel Rn-sisaldus moreenis tõusta lokaalselt kõrgeks, kuid tõenäoliselt on see nähtus lühiajaline.

Otsemõõdetud Rn-sisaldused ei mahu tänu 2018. aasta erakordselt kõrgele Rn-sisaldusele (161 kBq/m^3) valdavate sisalduste piiridesse. eU järgi arvutatud potentsiaalsed Rn-sisaldused ja looduskiirus neid piire ei ületa (tabel 6.2.1.1).

Kui võrrelda tulemuste varieerumist, siis geomeetriline standardkordaja on kõige kõrgem otsemõõtmistulemuste puhul (2,7). Kõige vähem varieeruvad eU järgi arvutatud potentsiaalsed Rn-sisaldused.

Võru linna pinnases on nii keskmine (41%), kui maksimaalne looduskiirguse tase (83%) madalamad kui ehitusmaterjalides lubatud 100%. Sellise looduskiirguse taseme puhul jääb aastane efektiivdoos madalamaks kui 1 mSv .

Kui võrrelda paariti otsemõõdetud ja eU järgi arvutatud Rn-sisaldusi (joonis 6.2.1.2), siis on näha, et otsemõõdetud Rn-sisaldused jäävad enamasti uuringupunktides madalamaks kui eU järgi arvutatud Rn-sisaldused, välja arvatud kaks otsemõõtmist uuringupunktis 18Rn-2997. Otsemõõdetud Rn-sisaldused on suhteliselt madalad, see on iseloomulik aladele, kus pinnakattesetted on väga savikad või väga hästi aereeruvad liiva-kruusasetted. Uuringupunktis 18Rn-2997 on kõige ülemises pinnasekihis tegemist tehnogeensete setetega. Looduslikult levib selles piirkonnas hüdrogeoloogilise puuraugu 8346 (katastri nr) andmetel saviliivmoreen veeriste ja kruusaga, mille paksus on 11 m.

eU järgi arvutatud potentsiaalne Rn-sisaldus ületab viitetaset savipinnastes uuringupunktides 19Rn-3015 ja 19Rn-3021. Samal ajal radoon neis savipinnastes peaaegu ei liigu (foto 6.1.1).

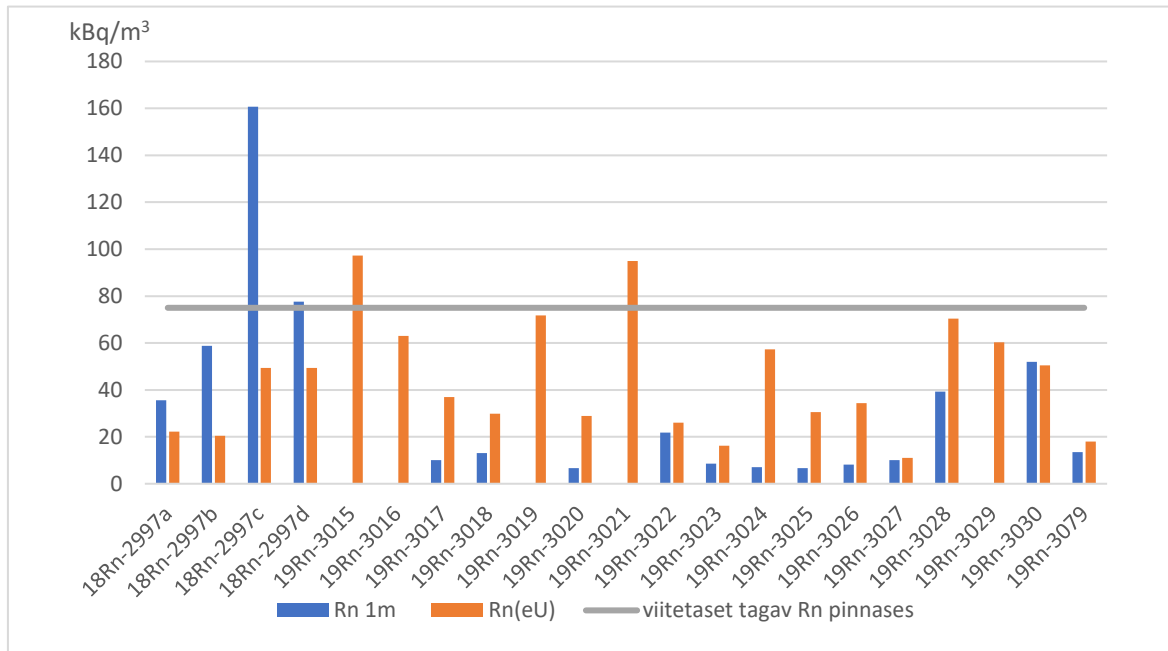
Korrelatsioon otsemõõtmistulemuste ja eU järgi arvutatud Rn-sisalduste vahel puudub (joonis 6.2.1.3).

Lähtudes etteantud kriteeriumist, mille kohaselt kuulub omavalitsus I prioriteediga omavalitsuste hulka juhul, kui rohkemates kui 10% uuringupunktides ületab Rn-risk 75 kBq/m³ tuleks Võru linn lugeda I prioriteediga valdade hulka, kuna 18%-s uuringupunktidest ületab Rn-sisaldus 75 kBq/m³, kuid Võru linnas, kuid tuleb arvesse võtta, et kahes neist on kõrge eU järgi arvutatud potentsiaalne Rn-sisaldus. Otsemõõtmisel saadud Rn-sisaldused neis uuringupunktides on madal, mis tähendab, et Rn selles pinnases ei liigu. Seda väidet tõendab hästi siseõhus mõõdetud keskmise Rn-sisalduse võrdlus (20 kBq/m³) eU järgi arvutatud keskmise Rn-sisaldusega (38 kBq/m³).

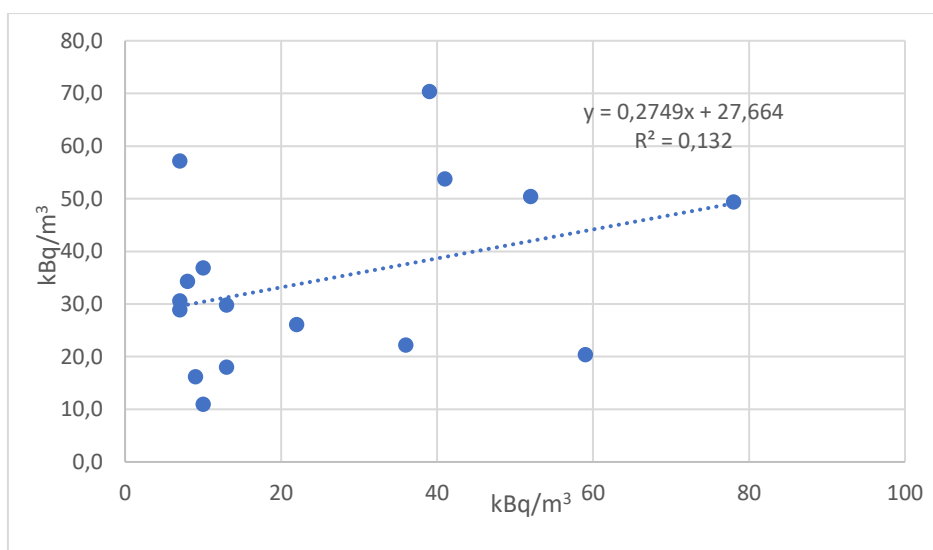
Tabel 6.2.1.2. Rn-sisaldus Võru linna territooriumi pinnaseõhus 1 m sügavusel otsemõõdetult, eU järgi arvutatult ning Rn-risk

Up nr	Lt	Latitude		Longitude	Rn 1m	Rn(eU)	Risk	LK
					kBq/m ³			%
18Rn-2997a	t	eraisik			36	22	36	43
18Rn-2997b	t	eraisik			59	20	59	43
18Rn-2997c	t	eraisik			161	49	161	78
18Rn-2997d	t	eraisik			78	49	78	86
19Rn-3015	ml	eraisik				97	97	85
19Rn-3016	ml	57,86121	26,97488			63	63	52
19Rn-3017	lgl	eraisik			10	37	37	35
19Rn-3018	t	57,84876	26,98718		13	30	30	34
19Rn-3019	ml	57,85281	26,99306			72	72	66
19Rn-3020	lgl	57,83698	27,00604		7	29	29	30
19Rn-3021	ml	57,84665	27,02034			95	95	86
19Rn-3022	b	57,84004	27,01513		22	26	26	31
19Rn-3023	b	57,83098	27,01082		9	16	16	7
19Rn-3024	fgl	57,83195	27,03479		7	57	57	55
19Rn-3025	b	eraisik			7	31	31	32
19Rn-3026	fgl	57,8085	27,00245		8	34	34	36
19Rn-3027	lgl	57,83833	27,00335		10	11	11	11
19Rn-3028	ml	57,85002	27,00257		39	70	70	58
19Rn-3029	t	57,85181	26,99601			60	60	62
19Rn-3030	lga	eraisik			52	50	52	54

Up nr	Lt	Latitude	Longitude	Rn 1m	Rn(eU)	Risk	LK
				kBq/m ³			%
19Rn-3079	b	57,82373	27,0310	13	18	18	21
Maksimaalne				161	97	161	86
AG				20	38	44	41
SG				2,7	1,8	1,9	1,9
Valdav sisldus	$x_g : s_g^2$ kuni $x_g \times s_g^2$			2,7-146	12-123	12-158	13-148



Joonis 6.2.1.2. Võru linnas 1 m sügavusel otsemõõdetud Rn-sisalduste võrdlus eU sisalduste järgi arvutatud potentsiaalsete radoonisisaldustega pinnaseõhus Võru linna territooriumil



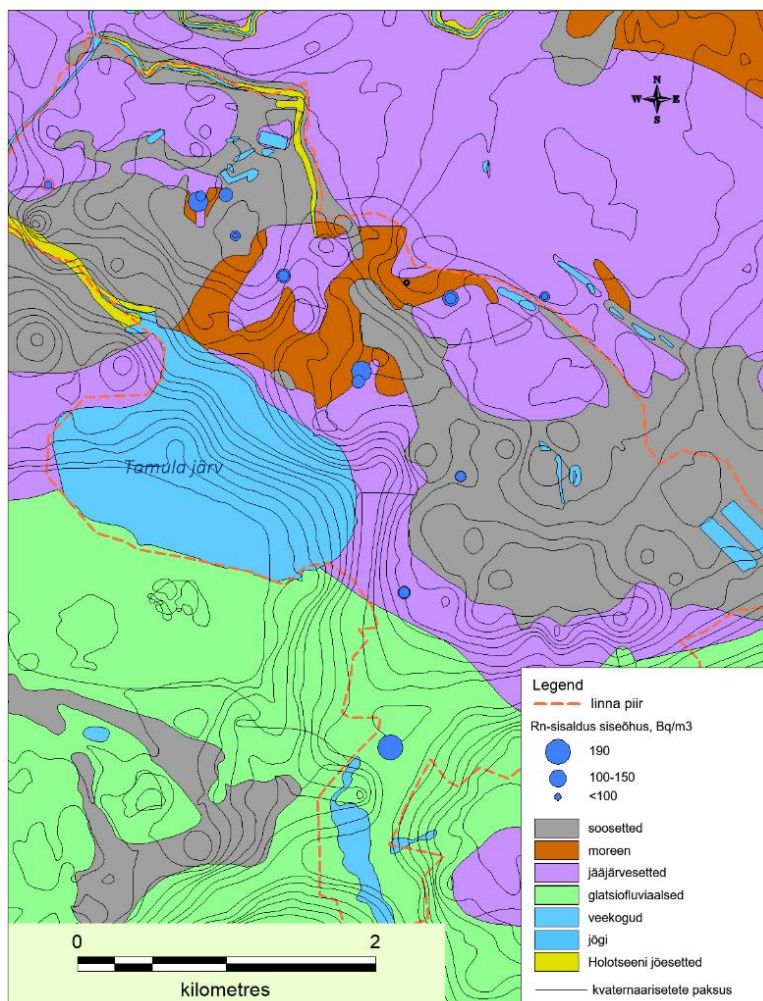
Joonis 6.2.1.3. Korrelatsioonigraafik otsemõõdetud ja eU järgi arvutatud Rn-sisalduse vahel

6.2.2. Rn siseõhus

Keskmine erinevus elu- ja magamistubade siseõhu Rn-sisalduse vahel on 21%.

Rn-sisaldused siseõhus jäävad kõik allapoole viitetaset (300 Bq/m^3). Valdav mõõtmiste vahemik on $6\text{--}114 \text{ Bq/m}^3$ (tabel 6.2.2.1), tulemustest 13% ületavad valdavalt sisaldust, kuid ka maksimaalne siseõhu sisaldus 190 Bq/m^3 jääb viitetasemest madalamaks. Viimane jääb madalamaks ka ehitusstandardi EVS 840:2017 juhistes uusehitustele soovitatud maksimaalsest radoonisisaldusest 200 Bq/m^3 .

Siseõhu mõõtmistulemuste jaotumine pinnakattekaardil ei näita selgeid seaduspärasusi, kuid maksimaalne siseõhu Rn-sisaldus on mõõdetud hoones, mis asub kolme ürgoru ühinemiskohal (joonis 6.2.2.1).



Joonis 6.2.2.1. Rn-sisaldus Võru linna hoonete siseõhus (Aluskaart: Põldvere jt., 2016)

Tabel 6.2.2.1. Rn-sisaldused Võru linna hoonete siseõhus

Up nr	Rn-sisaldus siseõhus	Up nr	Rn-sisaldus siseõhus
	Bq/m ³		Bq/m ³
19Rn-3015	29	5286	9
19Rn-3017	126	5288	56
19Rn-3025	190	5290	44
19Rn-3030-1	127	5295	37
19Rn-3030-2	40	5298	65
5272	51	Max	190
5274	40	A	65
5282	68	S	49
5284	28	σV	76%

6.3 Võru linna Rn-uuringu põhjal tehtud otsus

Eelnevale uuringule tuginedes saab väita, et **Võru linn liigitub III prioriteediga omavalitsuseks, kus radoonirisk on keskmine või madal.**

Vastavalt Eesti Ehitustandardi poolt kehtestatud juhiste (EVS:840 2017) on Võru linna territooriumil vajalik mõõta Rn-sisaldust enne uute ehituste püstitamist, et selgitada radoonivastaste meetmete kasutamise vajalikkust või mittevajalikkust.

7. Rn-uuringud Võru Vallas

Võru valla territoorium on uuritud valdadest suurim (947 km²), linnulennul ulatub see 32 km põhjast lõunasse ja 54 km idast läände.

Võru valla territooriumil oli tööde planeerimise Rn-mõõtmisi tehtud 18 uuringupunktis. Valda planeeriti 12 uuringupunkti, töö käigus rajati Võru valda 18 uuringupunkti ning 2018. aastal lisandus veel 7 uuringupunkti (kaart 3). Keskmiselt on Võru valla territooriumil pärast uuringut üks radooniuuringupunkt 22 km² kohta. Siseõhuuringuid tehti töö käigus kaheksas elumajas. Koos varasemate siseõhuuuringutega on Võru vallas siseõhu Rn-sisaldust mõõdetud 22 hoones.

7.1. Võru valla territooriumi reljeef, geomorfoloogia ja geoloogia

Valla maastik on põhja- ja lõunaosas üsna erinev. Põhjaosa kujutab endast tasast Kagu-Eesti lavamaad. Võru linna joonelt muutub maastik lainjaks (foto 7.1.1), tõustes Haanja kõrgustiku jalamil, kus muutub künklikuks. Lõunaosas, Kündja külas, uuringupunkti 19Rn-3045 lähedal tõuseb maapind enam kui 200 m kõrgusele. Kõige madalam on maapind valla idaosas, Kamnitsa külas, vaid 50 m merepinnast kõrgemal. Valla loodeosa Sulbi ja Kooraste külade vahel on samuti künklik, Kooraste ümbruses küünivad künkad 170 m-ni.

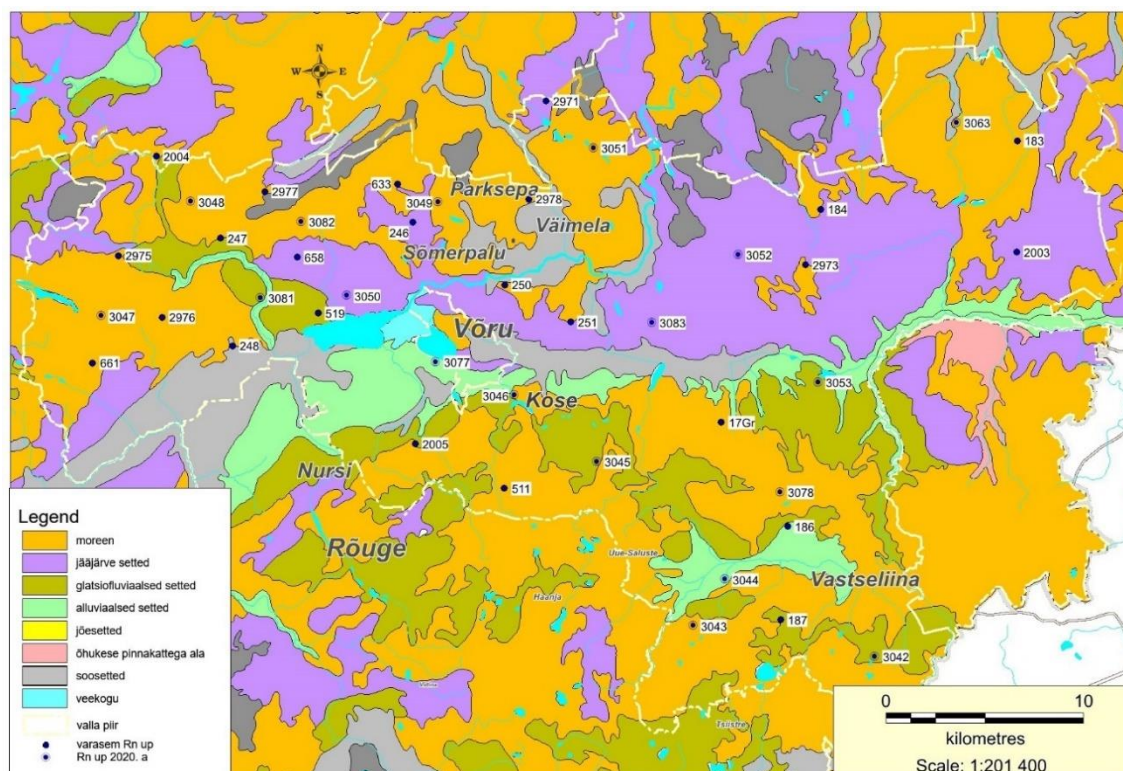
Võru valda läbib Võru-Petseri ürgorg. Ürgoru lammil asuvad Tamula ning Vagula järved, samuti läbib seda Võhandu jõgi, seal on maapinna kõrgus 70–80 m vahel.

Haanja looduspargi territooriumile jääb Kütiorg, mis on kujunenud ürgoru nõkku. Kütiorg on tekkinud liustiku sulavete tegevuse tulemusena viimase jääaja lõpul. Oru pikkus on 4,7 km, laius 60–600 m, sügavus kuni 70 m. Oru põhjas voolab Iskna jõgi. Kütioru nõlvadesse lõikuvad vee poolt uuristatud uhtorud ehk tsorid. Suuremate tsoride laius ulatub 60 m-ni, pikim tsori on 370 m, suurim sügavus 20 m (Põldvere jt., 2016).

Kvaternaari ajastu on Võru vallas esindatud valdavalt Võrtsjärve alamkihistusse kuuluvate setetega. Nendeks on glatsiogeense tekkega vähem või rohkem savikas moreen, jääjärvesetted, mille koostis varieerub liivast-aleuriidist kuni plastse savini, ning glatsifluviaalsed kruusad-liivad.

Kagu-Eesti lavamaa idaosa katavad valdavalt jääjärvesetted (joonis 7.1.1). Valla lääneosas valdab moreen, Lõuna-Eesti moreen, kuid seal on nii jääjärve-, glatsifluviaalseid kui ka jõesetteid. Võru-Petseri ürgorg on soostunud. Valla lõunaosas prevaleerib Lõuna-Eesti moreen ja glatsifluviaalsed setted, tänu millele ongi valla lõunaosa maastik künklik ja vaheldusrikas, küngaste vahelised nõod on tihti soostunud.

Kvaternaariisetete paksus valla ida ja põhjaosas on enamasti 10–30 m, kuid valla lääneosas Löödla järve nõos Hargi külas kasvab nende paksus 83 m-ni (hüdrogeol. pa. 10748). Võru-Petseri ürgorus ja Noodase järve ning Kütioru ürgoru vagumuse alal on kvaternaariisetete paksus 60–70 m piires (Põldvere jt., 2016). Kvaternaariisetete paksus on kõige suurem ürgorgudes ja Haanja kõrgustiku nõlval. Seal ulatub nende paksus 70 m ja enam.



Joonis 7.1.1. Võru valla skemaatiline Kvaternaari kaart ja Rn uuringupunktid (Kajak, 1999)



Foto 7.1.1. Maastik Võru valla kaguosas (Foto: K. Täht-Kok)

Aluspõhja kivimid paljanduvad Võru valla territooriumil Piusa jõe järskudel kallastel, kus neid uhkeid Gauja lademe paljandeid kutsutakse müürideks. Kesk-Devoni ladestiku Gauja lademe liivakivid ongi need, mis valdavalt Võru valla piires kõige ülemises osas levivad. Ürgorgude alal avanevad ka vanemad, Burtnieki lademe liivakivid. Võru-Petseri ürgorust lõuna pool avanevad Kesk-Devoni ladestiku kõige noorema lademe Amata liivakivid ja Ülem-Devoni ladestiku Plavinase lademe karbonaatsed kivimid (joonis 7.1.2).

Võru valla territooriumile jääb 2 süvapuuraugu. 49V – 49 Väimela ja 340 m kirdes hüdrogeoloogiline puurauk 11293. Kuna süvapuuraugu 49V Väimela puursüdamiku andmed pole leitavad, siis tuleb kasutada hüdrogeoloogilise puuraugu 11293 andmeid (Puuraugud VEKA).

Võru valla geoloogiast parema ülevaate saamiseks kasutati ka Võru linnas asuvate süvapuuraukude 3942 ja 3364 andmeid.

Puuraugu 11 293 andmetel avanevad kvaternaarisetete all 29 m sügavusel Kesk-Devoni ladestiku Burtnieki lademe savi vahekihtidega liivakivid, mille paksuseks on 90 m, need ulatuvad kuni 119 m sügavusele. Burtnieki lademe liivakividele järgnevad Aruküla lademe liivakivid, mis sisaldavad mergli ja aleuroliidi vahekihte. Aruküla lademe paksus on 88 m. Viimastele järgnevad Narva lademe mergli ja dolomiidi vahekihtidega liivakivid, mille paksus on 73,5 m. Narva lademe kivimitele järgnevad Pärnu lademe aleuroliidi vahekihtidega liivakivid paksusega 72,5 m kuni sügavuseni 353 m. Devoni ladestu terrigeensete kivimite paksus on 324 m.

Devoni kivimite lasuvussügavus 29–353 m.

Devoni ladestu kivimitele järgneb 40 m Siluri ladestu savikaid karbonaatseid kivimeid. Võrreldes Võru süvapuuraugu 7 m paksuse Siluri kivimite lasundiga, on Väimelas Siluri ladestu kiht tunduvalt paksem.

Siluri ladestu kivimite lasuvussügavus 353–393 m.

Ülem- ja Kesk-Ordoviitsiumi ladestike karbonaatsete kivimite kogupaksus on 72 m. Üleminek Kesk-Ordoviitsiumist Kunda lademe lubjakividest Alam-Ordoviitsiumi ladestiku kivimitesse on mõõdetud 57,5 m paksuseks.

Ülem- ja Kesk-Ordoviitsiumi ladestike kivimite lasuvussügavus 353–393 m.

Alam-Ordoviitsiumi Pakerordi lademe kõrgendatud uraanisisaldusega oobolusliivakivide paksust ei ole teada, kuid koos Kambriumi ladestu Lontova savidega on selle kompleksi paksuseks märgitud 25 m. Kompleksi lasuvussügavus on 522–547 m.

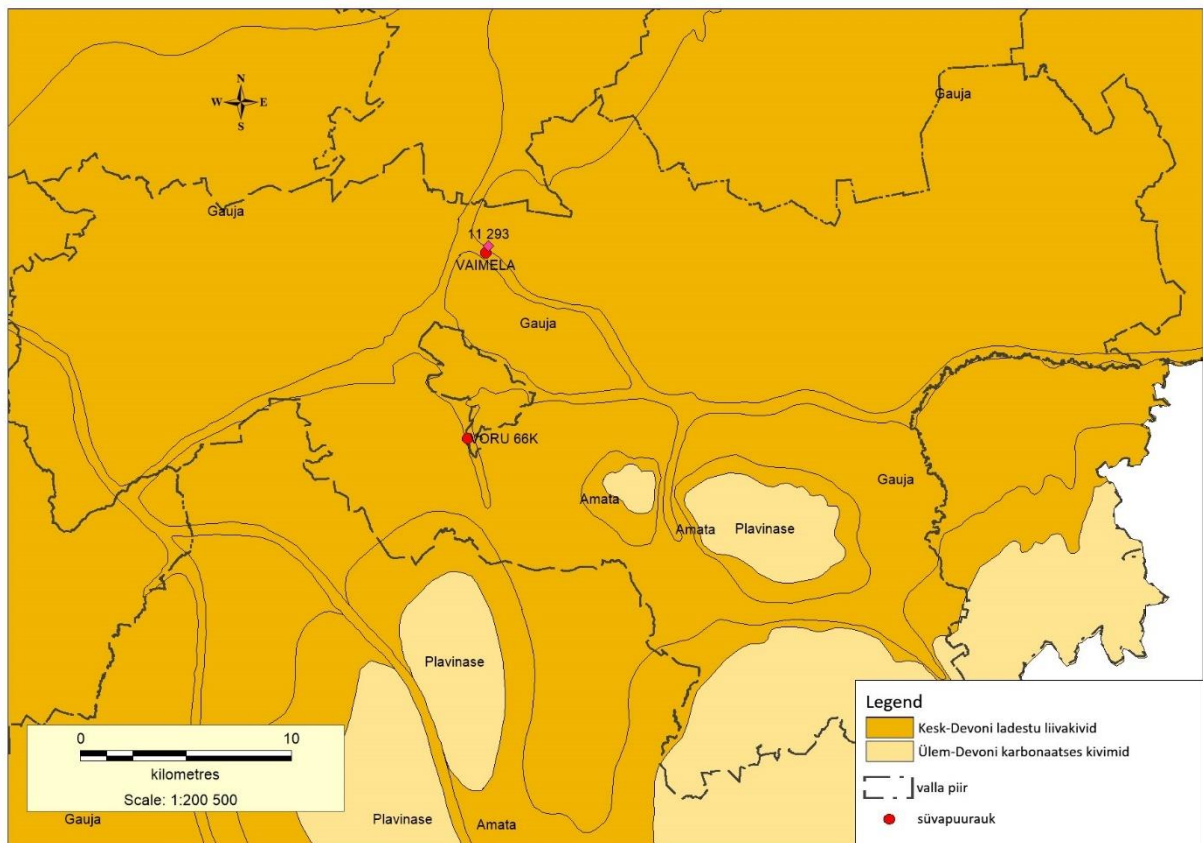
Pole kuigi tõenäoline, et niisugusest sügavusest radoon maapinnale jõuaks.

Ediacara ajastu, samuti terrigeensete kivimite lasuvussügavus on 547–593 m.

Aluskorra graniitgneisside sügavus on 593 m (Põldvere jt., 2016).

Radooni jõudmine maapinnale pea 600 m sügavuselt on ebatõenäoline.

Peab mainima, et süvapuuraugus 11 283 on kristalne aluskord 19 m sügavamal kui Võru linna süvapuuraugus 3364.



Joonis 7.1.2. Võru valla skemaatiline aluspõhja kaart (Suuroja, 1997)

7.2. Võru valla Rn-uuringu tulemused

7.2.1. Rn pinnaseõhus

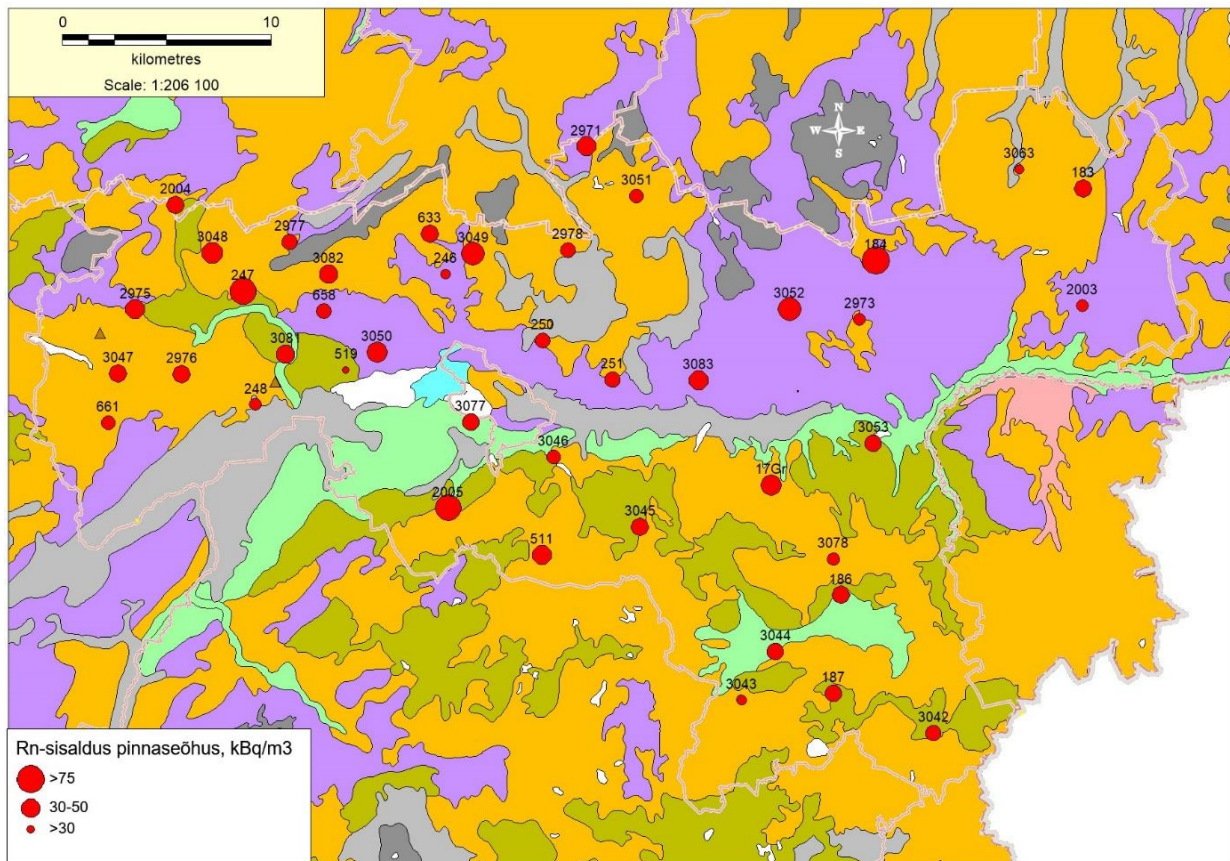
Võru valla territooriumil on Rn pinnaseõhu uuringupunktide võrk suhteliselt ühtlane, suurem tühimik on Meenikunno looduskaitsealal, kus see on ka loomulik (kaart 3). Rn-sisaldust pinnaseõhus mõõdeti 18 uuringupunktis (tabel 7.2.1.1, joonis 7.2.1.1).

Võru valla geomeetriline keskmine otsemõõtmistulemus on 32 kBq/m^3 , eU järgi arvatud potentsiaalne Rn-sisaldus 40 kBq/m^3 ja Rn-risk 47 kBq/m^3 . Kõik need tulemused jäävad madalamaks pinnaseõhu Rn-viitetasemele (RT I, 03.08.2018, 4) vastavast Rn-sisaldusest 75 kBq/m^3 ja ka Rn-vastaste meetmete rakendamise nõude tasemest (50 kBq/m^3) (EVS 840:2017). Maksimaalsed Rn-sisaldused, 127 kBq/m^3 otsemõõdetult ja 93 kBq/m^3 eU järgi arvatult, ületavad mõlemat kriteeriumit (tabel 7.2.1.1). Mõlemad kõrgeimad tulemused on mõõdetud moreenis, üks väikesel künkjal Madala külas (02Rn-0184) valla kirdeosas ja teine Parksepa külas (19Rn-3049) väga tihketest savisetetest, kust otsemõõtmistulemust ei saadudki. Teinegi kõrge otsemõõdetud Rn-sisaldus (112 kBq/m^3) on mõõdetud moreenis (08Rn-2005). Kolmas uuringupunkt 02Rn-0247, kus Rn siseõhusisaldus 123 kBq/m^3 asub kahekihilise pinnakattega alal, kus ülemise kihi moodustab jääjärve savi, kuid selle all ~20 meetrine moreenikiht (hüdrogeoloogilise puuraugu 10 783 andmed).

Kõige enam varieeruvad radooni otsemõõtmistulemused, mille geomeetriline standardkordaja on 2,7 (tabel 7.2.1.1). Potentsiaalse Rn-sisalduse (eU järgi arvutatud) geomeetriline standardkordaja on 2,1. Kõige vähem varieerub looduskiirgus, mille geomeetriline standardkordaja on 1,6.

Keskmine looduskiirgus Võru vallas on 53%, see on Eesti keskmisest veidi kõrgem (49%, Petersell jt., 2017). Pinnase maksimaalne looduskiirguse tase 102% on kõrgem kui 100%. Sellisel puhul on pinnasest saadav aastane efektiivdoos mõnevõrra kõrgem kui 1 mSv.

Vaadates tulemuste muutlikkust Võru valla territooriumil, on näha, et neljal juhul ületavad otsemõõtmistulemused viitetasemele vastavat Rn-sisaldust pinnaseõhus (75 kBq/m^3) ja kahel juhul on potentsiaalsed Rn-sisaldused kõrgemad kui 75 kBq/m^3 . 33% mõõtmiste puhul ületavad otsemõõtmistulemused eU järgi arvutatud potentsiaalseid Rn-sisaldusi pinnaseõhus (joonis 7.2.1.2). Sellisel juhul on radoonisisaldus raskemini prognoositav, kuna otsemõõtmistulemuste kõikumine on suurem (SG - 2,7) kui eU järgi arvutatud tulemustel (SG - 2,1) (tabel 7.2.1.1).



Joonis 7.2.1.1. Rn-risk Võru valla pinnaseõhus (Aluskaart: Kajak, 1999)

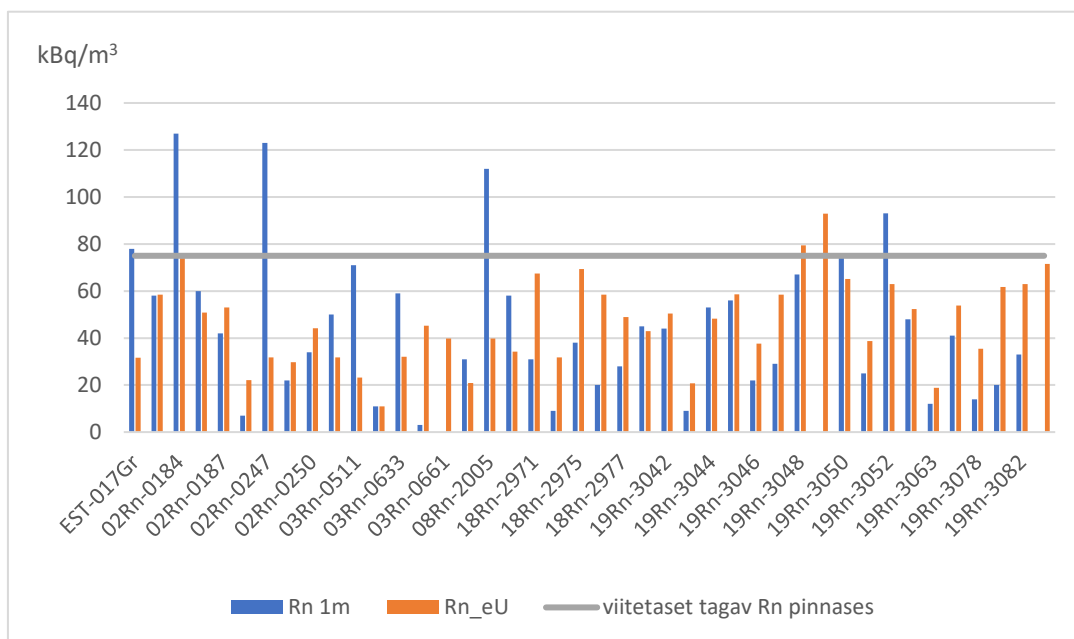
Korrelatsioonigraafikut vaadates (joonis 7.2.1.3) on näha, et koefitsient ($r = -0,09$) on negatiivne. See kinnitab eespool esitatud väidet, et savipinnastes, kus eU sisaldus on kõrge, radooni peaaegu ei ole, sest gaasid selles keskkonnas peaaegu ei liigu, ja kerge lõimisega pinnastes, kus radoon jõuab maapinnale sügavamalt, on uraanirikkaid mineraale vähe.

Lähtudes etteantud kriteeriumist, mille kohaselt kuulub vald I prioriteediga omavalitsuste hulka juhul, kui rohkemates kui 10% uuringupunktidest ületab Rn-risk 75 kBq/m³, tuleb Võru vald lugeda **I prioriteediga vallaks**, kuna 6 uuringupunktis 43-st (14%) on Rn-risk pinnaseõhus kõrgem kui 75 kBq/m³.

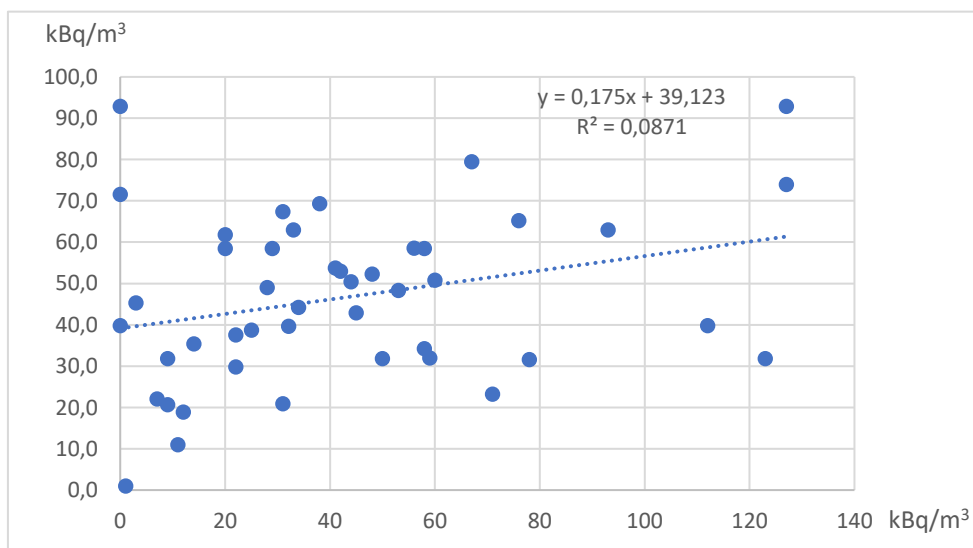
Tabel 7.2.1.1. Rn-sisaldus Võru valla territooriumi pinnaseõhus 1 m sügavusel otsemõõdetult, eU järgi arvutatult ning Rn-risk

Up nr	Lt	Latitude	Longitude	Rn 1m	Rn_eU	Risk	LK
				kBq/m ³			%
EST-017Gr	ml	57,797440	27,222430	78	31,6	78	55
02Rn-0183	ml	57,917778	27,485500	58	58,5	59	68
02Rn-0184	ml	57,891417	27,315611	127	74,0	127	73
02Rn-0186	ml	57,748917	27,274306	60	50,8	60	58
02Rn-0187	ml	57,706889	27,264611	42	53,0	53	57
02Rn-0246	ml	57,894300	26,968567	7	22,1	22	52
02Rn-0247	lgs	57,890650	26,804817	123	31,8	123	86
02Rn-0248	ml	57,841850	26,811167	22	29,8	30	56
02Rn-0250	ml	57,863983	27,044133	34	44,2	44	77
02Rn-0251	lgs	57,845817	27,098983	50	31,8	50	74
03Rn-0511	ml	57,772167	27,036167	71	23,2	71	35
03Rn-0519	lgl	57,855028	26,885056	11	11,0	11	25
03Rn-0633	ml	57,911817	26,957267	59	32,0	59	56
03Rn-0658	ml	57,880667	26,869400	3	45,3	45	73
03Rn-0661	ml	57,836717	26,692000	0	39,8	40	68
08Rn-2003	lgl	57,867540	27,479690	31	20,9	31	35
08Rn-2005	ml	57,794010	26,962340	112	39,8	112	53
08Rn-2004	ml	57,928860	26,753310	58	34,2	58	57
18Rn-2971	ml	eraisik		31	67,4	67	74
18Rn-2973	ml	eraisik		9	31,8	32	33
18Rn-2975	lgs	eraisik		38	69,3	69	92
18Rn-2976	lgs	eraisik		20	58,5	58	72
18Rn-2977	lgs	eraisik		28	49,0	49	62
18Rn-2978	lgl	eraisik		45	42,9	45	51
19Rn-3042	fgl	57,687960	27,342980	44	50,4	50	51
19Rn-3043	b	eraisik		9	20,7	21	23
19Rn-3044	fgl	57,726170	27,219540	53	48,3	53	46
19Rn-3045	fgl	eraisik		56	58,6	59	56
19Rn-3046	lga	eraisik		22	37,6	38	47
19Rn-3047	ml	eraisik		29	58,5	59	57
19Rn-3048	ml	eraisik		67	79,5	80	73
19Rn-3049	ml	57,902500	26,991450	0	92,9	93	89
19Rn-3050	ml	57,862150	26,910560	76	65,2	76	67
19Rn-3051	ml	57,923870	27,125370	25	38,7	39	36
19Rn-3052	ml	eraisik		93	63,0	93	59
19Rn-3053	lga	57,813130	27,306310	48	52,3	52	56
19Rn-3063	b	57,927268	27,435008	12	18,9	19	21
19Rn-3077	b	57,830470	26,983550	41	53,8	54	63

Up nr	Lt	Latitude	Longitude	Rn 1m	Rn_eU	Risk	LK
				kBq/m ³			%
19Rn-3078	fgl	57,764450	27,269628	14	35,4	35	38
19Rn-3081	ml	eraisik		20	61,8	62	63
19Rn-3082	ml	57,896430	26,874170	33	63,0	63	62
19Rn-3083	lga	eraisik		0	71,6	72	102
Max				127	93	127	102
AG				32	39,7	47	53
SG				2,7	2,1	2,2	1,6
Valdav sisaldus	$x_g : s_g^2$ kuni $x_g \times s_g^2$			4-234	9-175	10-228	21-136



Joonis 7.2.1.2. Võru valla territooriumil 1 m sügavusel otsemõõdetud Rn-sisalduste võrdlus eU sisalduste järgi arvutatud potentsiaalsete radoonisisaldustega pinnaseõhus



Joonis 7.2.1.3. Korrelatsioonigraafik otsemõõdetud ja eU järgi arvutatud Rn-sisalduse vahel

7.2.2. Rn siseõhus

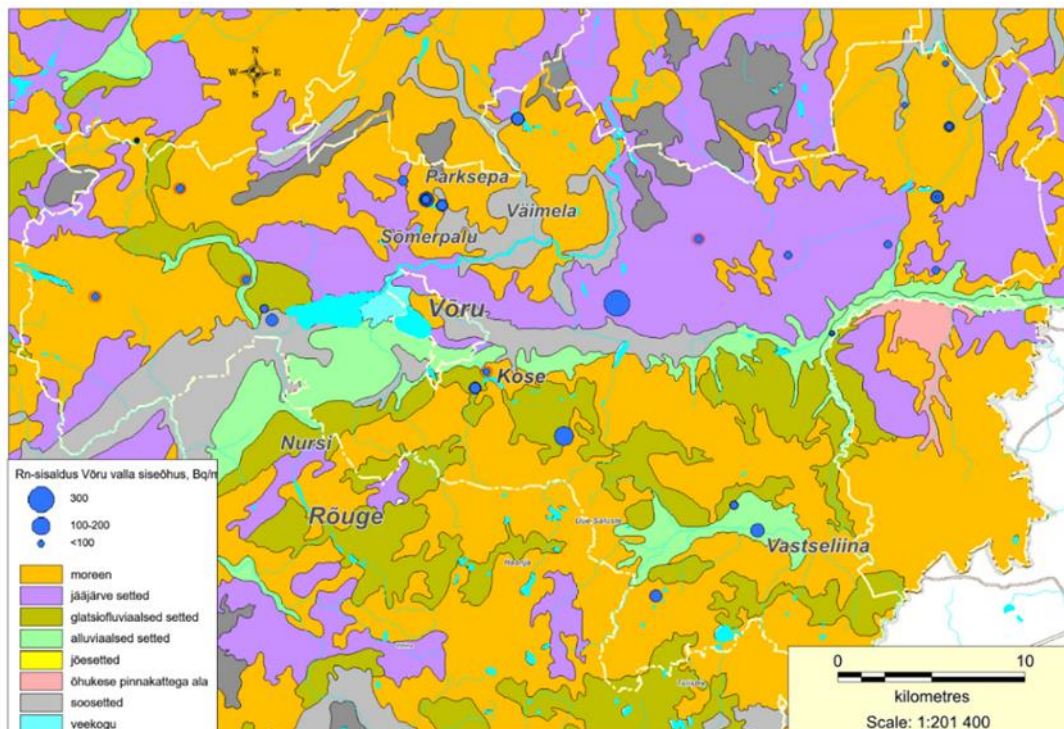
Siseõhu Rn-mõõtmistena käsitletakse hoonetes tehtud üksikute mõõtmiste keskmisi. Võru vallas on erinevus elu- ja magamistubade vahel 2,5%.

Rn-sisaldused hoonete siseõhus jäävad kõik mõõtmised allapoole viitetaset (alla 300 Bq/m³). Valdav tulemuste vahemik on 6–120 Bq/m³ (tabel 7.2.2.1), tulemustest 8% ületavad valdavalt sisaldust. Maksimaalne siseõhus mõõdetud Rn-sisaldus 296 Bq/m³ jääb madalamaks viitetasemest, kuid ulatub viimasele väga lähedale (tabel 7.2.2.1).

Maksimaalne Rn-sisaldus (296 Bq/m³) on mõõdetud hoones (uuringupunkt 19Rn-3083), mis asub väga savisel pinnasel, jääjärvesetete alal, see on erandlik tulemus (joonis 7.2.2.1). Siseõhu mõõtmistel on aga suur osa hoone konstruktsioonil ja vundamendi ning põranda ehituskvaliteedil. Hoonete ehituslikud omadused jäävad selle töö uuringualast välja.

Tabel 7.2.2.1. Rn-sisaldused Võru valla hoonete siseõhus

Up nr	Rn-sisaldus siseõhus	Up nr	Rn-sisaldus siseõhus
	Bq/m ³		Bq/m ³
3921	12	5315	48
3926	40	5318	99
3928	41	5319	53
3929	40	5325	85
3930	41	19Rn-3043	77
3931	46	19Rn-3045	175
3942	8	19Rn-3046	33
3945	40	19Rn-3047	37
3947	20	19Rn-3048	48
3953	25	19Rn-3052	40
5233	102	19Rn-3081	40
5239	45	19Rn-3083	296
5253	70	Max	296
5277	82	A	63
5280	45	S	57
5312	68	σV	90%



Joonis 7.2.2.1. Rn-sisaldus Võru valla hoonete siseõhus (Aluskaart: Kajak, 1999)

7.3. Võru vallas Rn-uuringu põhjal tehtud otsus

Eelnevale uuringule tuginedes saab väita, et **Võru vald liigitub I prioriteediga omavalitsuseks, kus on kõrgendatud Rn-risk**, kus enam kui 10% radooni aktiivsuskontsentratsiooni määrangutest ehk Rn-risk pinnaseõhus ületab 75 kBq/m^3 .

Vastavalt Eesti Ehitustandardis kehtestatud juhiste (EVS:840 2017) on Võru valla territooriumil vajalik mõõta Rn-sisaldust enne uute ehituste püstitamist, et selgitada radoonivastaste meetmete kasutamise vajalikkust või mittevajalikkust.

8. Rn-uuringud Rõuge vallas

Rõuge valla territooriumil oli enne tööde planeerimist Rn-mõõtmisi tehtud 26 uuringupunkti. Valda planeeriti 12 uuringupunkti, töö käigus rajati Rõuge valda 13 uuringupunkti (kaart 4).

Keskmiselt on Rõuge valla territooriumil pärast uuringut üks radooniuuringupunk 24 km² kohta.

Siseõhuuuringuid tehti töö käigus seitsmes elumajas. Koos varasemate siseõhuuuringutega on Rõuge linnas siseõhu Rn-sisaldust mõõdetud 36 hoones.

8.1. Rõuge valla territooriumi reljeef, geomorfoloogia ja geoloogia

Rõuge valla territoorium on uuritud valdadest suuruselt teine (928 km²). Vald on kaarjalt välja venitatud ida-läänesuunaliselt ja linnulennul 52 km pikk, põhja-lõunasuunaline mõõt on 24 km piires. Valla põhjaosa ulatub Võru-Petseri ürgoru alale, seal on reljeefi absoluutne kõrgus kõige madalam (75 m). Reljeef kõigub valla lääneosas 80–100 m piires, valla keskosas Rõuge aleviku ümbruses tõuseb maapinna absoluutne kõrgus 200 m-ni. Rõuge alevikku läbiv org on aleviku keskel 75 m sügav.

Kõige kõrgem on valla idaosa, kus Haanja kõrgustikul asub Haanja looduspark ja selle territooriumil asub Eesti kõrgeim mägi, Suur Munamägi (318 m). Haanja looduspargis asub ka Eesti kõrguselt teine suurküngas ehk Vällamägi, mille suhteline kõrgus on Eesti suurim, jalamilt tippu on 84 m.

Kvaternaari ajastu on ka Rõuge vallas esindatud valdavalt Võrtsjärve alamkihistusse kuuluvate glatsiogeensete, jääjärve- ja glatsiofluviaalsete setetega. Kõige savikamad on tavaliselt jääjärvesetted ja kõige jämedateralisemad glatsiofluviaalsed setted (joonis 8.1.1).

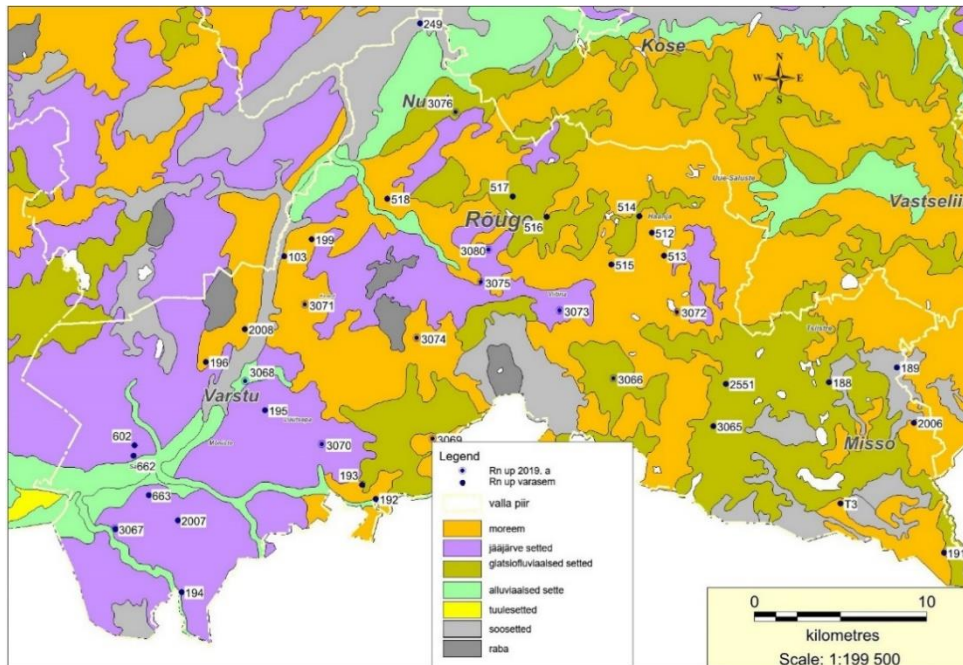
Rõuge valla edela- ja lääneosa katavad valdavalt jääjärvesetted, mille all on tavaliselt moreen, tihti ka glatsiofluviaalsete setete kiht. Kvaternaari- ehk pinnakattesette paksus kõigub seal suuresti. Valla lõunaosas Peetri jõe maastikukaitsealal avanevad Peetri jõe kallastel Plavinase lademe karbonaatsed kivimid. Mõni kilomeeter eemal Karisöödi külas on nende pinnakattesetete paksuseks 15,5 m (hüdrogeol pa 10 907), 11 km põhja pool Koemetsa külas hüdrogeoloogilise puuraugu 14 001 andmetel juba enam kui 80 m. Krabi külas on 125 m absoluutse kõrguse juures moreeni paksuseks 161 m (hüdrogeol pa 10 913).

Valla keskosas Rõuge alevikus on pinnakatte paksus 75 m, kuid Rõugest mõni kilomeeter kagus künklikul moreenmaastikul (hüdrogeol pa 20 616) (kaart 4), kus absoluutne kõrgus on 235 m, muutub ka pinnakate paksemaks, ulatudes 121 m-ni.

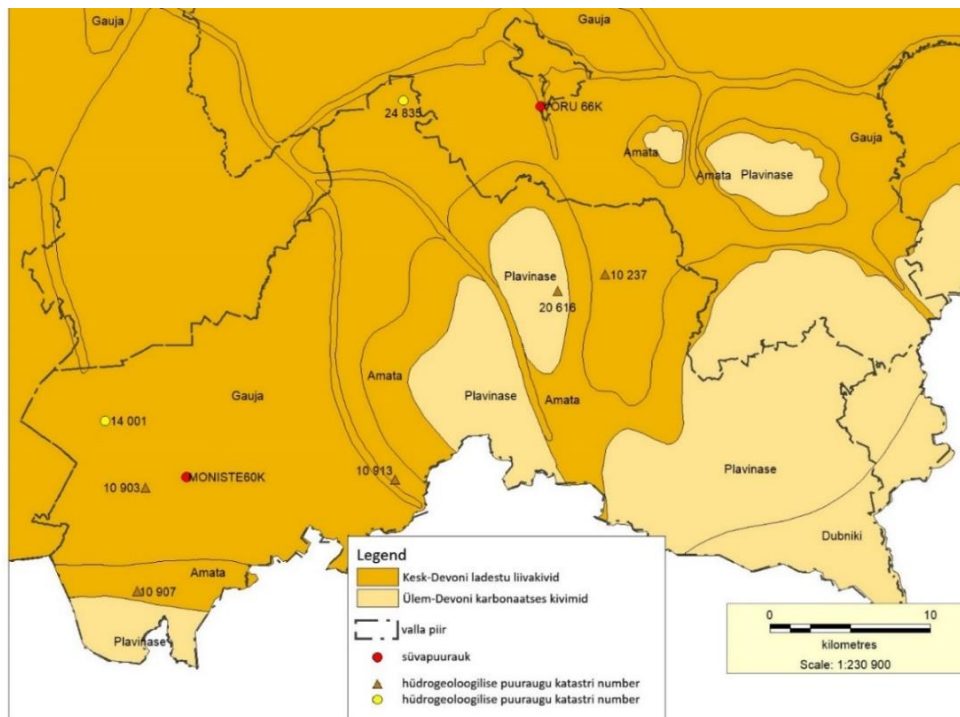
Kõige paksem on pinnakate Haanja kuhjekõrgustikul, ulatudes hüdrogeoloogilise puuraugu 10 237 andmetel 160 meetrini.

Aluspõhja kivimitest avanevad Kvaternaarisetete all peamiselt Kesk-Devoni ladestiku Gauja lademe liivakivid, valla edela- ja keskosas levivad Amata lademe liivakivid. Valla päris edela-lõunatipus, kesk- ja kaguosas levivad Ülem-Devoni Plavinase lademe karbonaatsed kivimid. Valla kagutipus levivad Ülem-Devoni Dubniki lademe karbonaatsed kivimid, dolomiidid ja domeriidid (joonis 8.1.2). Rõuge valla lõunaosas Mõniste-Lokno aluskorrakerkel asub süvapuuraug Mõniste 60K. Puuraugu kirjeldus pole saadaval, kuid kuna aluskorra kivimid on selles puuraugus 296 m sügavusel, siis suure tõenäosusega on läbilõikes esindatud vaid Devoni ladestu kivimid, võib-olla ka veel Siluri ladestu päris ülemine osa. Seda

võib järeldada, kui vaadata Devoni kivimete paksust Võru süvapuuraugus 11293, seal on Devoni ladestu paksus 274 m. Võru süvapuuraug asub Mõnistest 20 km põhja pool ja kuna aluspõhja kivimid on ~3 kraadi lõuna poole kaldu, peaks Devoni ladestu paksus Mõniste puuraugus olema tunduvalt suurem kui 296 m. Radooni jõudmine maapinnale 296 m sügavuselt on vähetõenäoline.



Joonis 8.1.1. Rõuge valla skemaatiline Kvaternaari kaart ja Rn uuringupunktid (Kajak, 1999)



Joonis 8.1.2. Rõuge valla skemaatiline aluspõhja kaart (Kajak, 1995)

8.2. Rõuge valla Rn-uuringu tulemused

8.2.1. Rn pinnaseõhus

Rõuge vallas on Rn pinnaseõhu uuringupunktide võrk suhteliselt ühtlane, suuremad tühimikud on Haanja looduspargi alal ja Pikasillas ning Ubajärve raba vahel valla lääneosas (kaart 4). Rn-uuringupunktide arv vallas on 36 (tabel 8.2.1.1, joonis 8.2.1.1).

Rõuge valla geomeetriline keskmine otsemõõtmistulemus on 30 kBq/m³, eU järgi arvutatud potentsiaalne Rn-sisaldus 37 kBq/m³ ja Rn-risk 43 kBq/m³.

Kui vaadata geomeetrilist standardhälvet, mis on kordaja, siis on see kõige suurem otsmõõtmiste puhul (2,2). eU järgi arvutatud Rn-sisalduse ja Rn-riski varieerumine on võrdsed (1,7). Kõige stabiilsem on looduskiirus, mille geomeetriline standardhälve on 1,4.

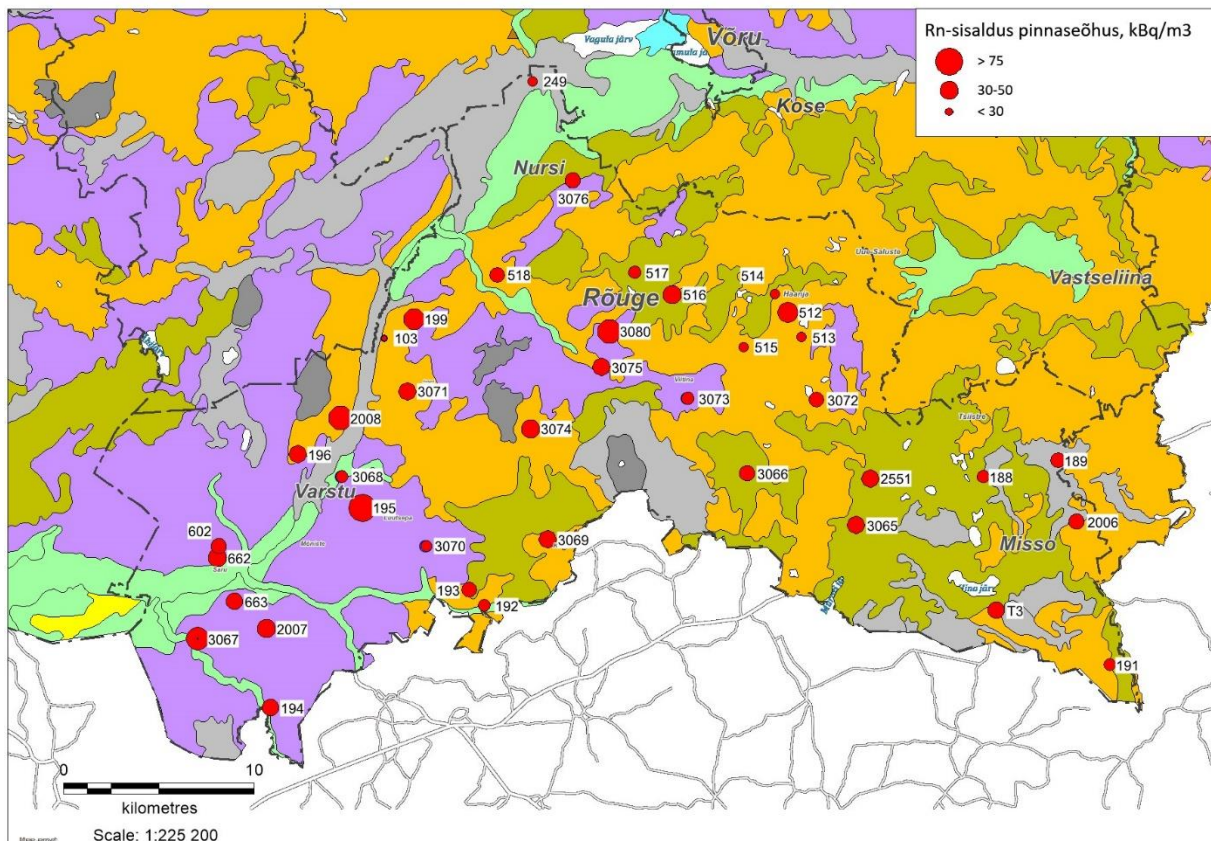
Keskmine pinnaseõhus mõõdetud Rn-sisaldused jäävad madalamaks Rn-viitetasemele vastavast pinnaseõhu Rn-sisaldusest 75 kBq/m³ (RT I, 03.08.2018, 4) ja madalamaks ka ehitustegevuses Rn-vastaste meetmete rakendamist nõudvast Rn-sisaldusest (50 kBq/m³) (EVS 840:2017).

Maksimaalne otsemõõdetud Rn-sisaldus on 117 kBq/m³ ja eU järgi arvutatult 85 kBq/m³. Need mõlemad tulemused ületavad eelnimetatud kriteeriumeid (tabel 8.2.1.1). Kõrgeim otsemõõtmistulemus on pärit Lõuna-Eesti moreenist (02Rn-0193 (117 kBq/m³) Varstu aleviku lähistelt ja eU järgi arvutatud potentsiaalne Rn-sisaldus jääjärve savisetetest Tiitsa külast (19Rn-3067 (85 kBq/m³)).

Vaadates tulemuste varieerumist, on näha, et neljal juhul ületavad viitetaset otsemõõtmistulemused ja ühel juhul on potentsiaalne Rn-sisaldus viitetasemest kõrgem (joonis 8.2.1.2).

32% otsemõõtmistulemustest on kõrgemad kui eU järgi arvutatud potentsiaalsed Rn-sisaldused pinnaseõhus (joonis 8.2.1.2). Seega üks kolmandik mõõtmistest on suhteliselt ettearvamatud, kuna otsemõõtmise-tulemuste kõikumine on suurem kui eU järgi arvutatud tulemustel, esimeste standardkordaja on 2,2, ja teistel 1,7 (tabel 8.2.1.1).

Keskmine looduskiirus on Rõuge vallas 52% (tabel 8.2.1.1), see on Eesti keskmisest veidi kõrgem (49%; Petersell jt., 2017). Pinnase maksimaalne looduskiirguse tase 111% on kõrgem kui 100% ja ühtib liivakruusapinnaste maksimaalse looduskiirguse tasemega (Petersell jt., 2017). See näitab, et üksikjuhtudel võib pinnasest saadav efektiivdoos olla mõnevõrra kõrgem kui 1 mSv/a.



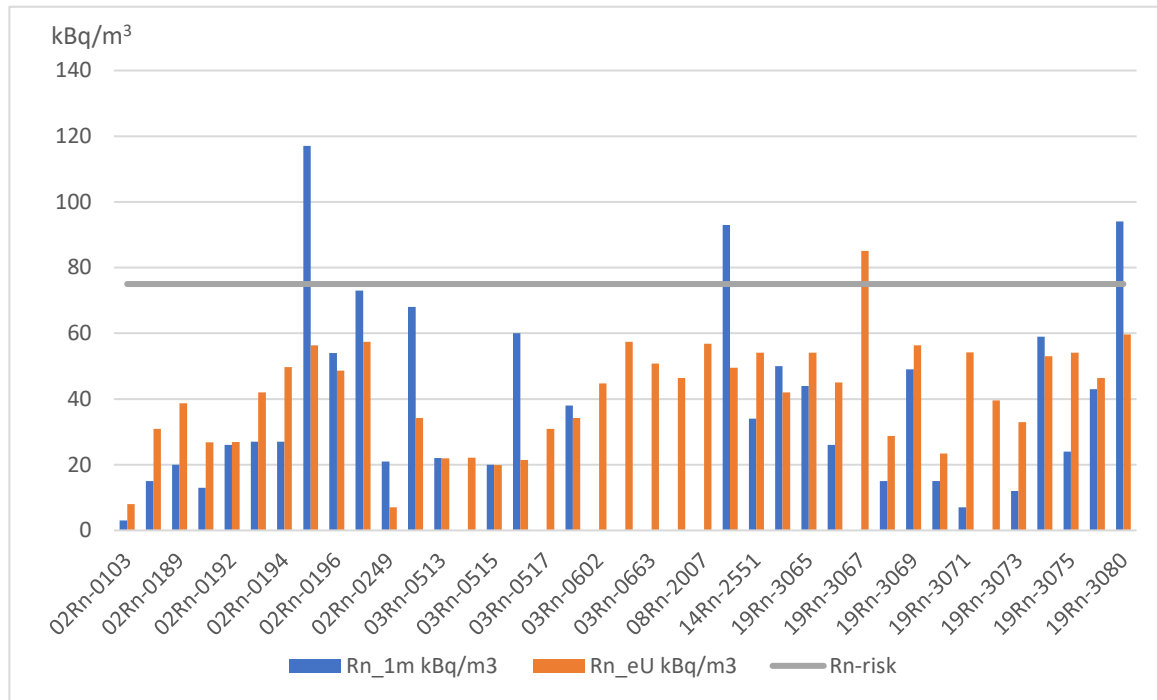
Joonis 8.2.1.1. Rn-risk Rõuge valla pinnaseõhus (Aluskaart: Kajak, 1999)

Tabel 8.2.1.1. Rn-sisaldus Rõuge valla pinnaseõhus 1 m sügavusel otsemõõdetult, eU järgi arvutatult ning Rn-risk ning looduskiirgus

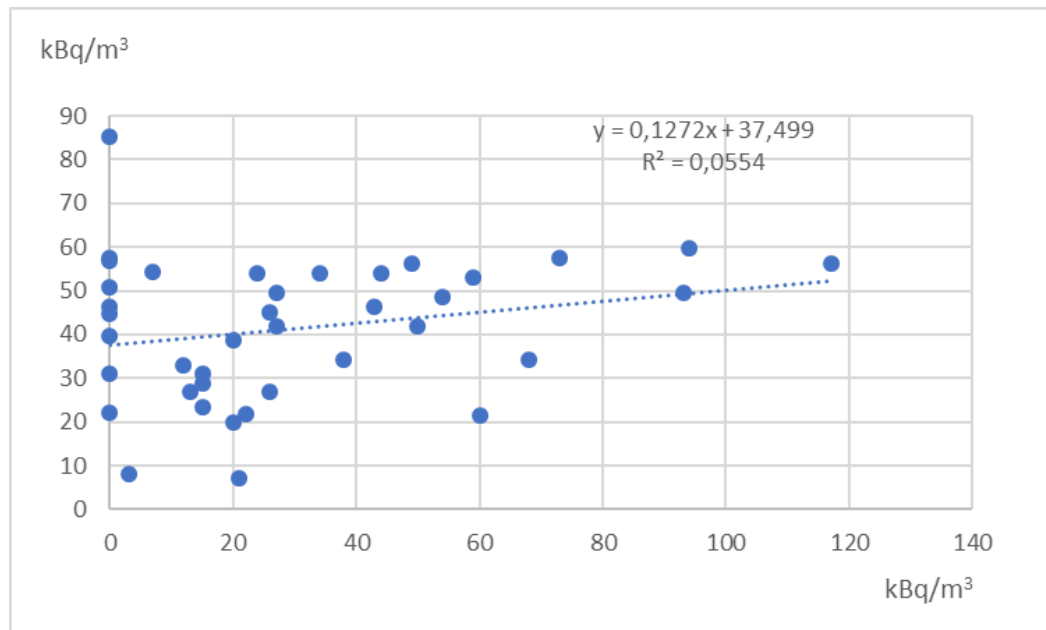
Up nr	Lt	Latitude	Longitude	Rn_1m	Rn_eU	Risk	LK
				kBq/m ³			%
02Rn-0103	lgl	57,709889	26,703083	3	8	8	25
02Rn-0188	lgl	57,632139	27,224750	15	31	31	52
02Rn-0189	ml	57,638222	27,291000	20	39	39	46
02Rn-0191	fgl	57,540861	27,327528	13	27	27	41
02Rn-0192	lgl	57,582194	26,781972	26	27	27	42
02Rn-0193	ml	57,589917	26,768889	27	42	42	55
02Rn-0194	ml	57,537972	26,590944	27	50	50	64
02Rn-0195	ml	57,630528	26,678444	117	56	117	62
02Rn-0196	ml	57,656917	26,623028	54	49	54	59
02Rn-0199	ml	57,718389	26,730361	73	57	73	62
02Rn-0249	lgl	57,827817	26,843883	21	7	21	25
03Rn-0512	ml	57,713944	27,059972	68	34	68	52
03Rn-0513	lgl	57,701944	27,070778	22	22	22	40
03Rn-0514	ml	57,722944	27,048833	0	22	22	41
03Rn-0515	lgl	57,698528	27,019639	20	20	20	40
03Rn-0516	fgl	57,724667	26,958639	60	21	60	36

Up nr	Lt	Latitude	Longitude	Rn_1m	Rn_eU	Risk	LK
				kBq/m ³			%
03Rn-0517	ml	57,735917	26,926639	0	31	31	46
03Rn-0518	ml	57,737583	26,805278	38	34	38	54
03Rn-0602	lgs	57,615033	26,550917	0	45	45	85
03Rn-0662	ml	57,609600	26,549317	0	57	57	92
03Rn-0663	ml	57,588750	26,562783	0	51	51	82
08Rn-2006	ml	57,608960	27,304970	0	46	46	62
08Rn-2007	lgs	57,575300	26,589730	0	57	57	88
08Rn-2008	lga	57,673080	26,661910	93	50	93	68
14Rn-2551	ml	57,633870	27,125230	34	54	54	64
16Rn-T3	ml	57,569050	27,230350	50	42	50	54
19Rn-3065	ml	eraisik		44	54	54	55
19Rn-3066	fgl	57,638980	27,017220	26	45	45	47
19Rn-3067	lgs	eraisik		0	85	85	111
19Rn-3068	b	eraisik		15	29	29	35
19Rn-3069	ml	eraisik		49	56	56	52
19Rn-3070	b	eraisik		15	23	23	31
19Rn-3071	lgs	eraisik		7	54	54	63
19Rn-3072	lgl	57,672090	27,081660	0	40	40	58
19Rn-3073	lgl	eraisik		12	33	33	41
19Rn-3074	ml	eraisik		59	53	59	46
19Rn-3075	ml	57,692070	26,893150	24	54	54	54
19Rn-3076	ml	57,780650	26,875450	43	46	46	46
19Rn-3080	ml	eraisik		94	60	94	54
Max				117	85	117	111
AG				30	37	43	52
SG				2,2	1,7	1,7	1,4
Valdav sisaldus	x _g : s _g ² kuni x _g × s _g ²			6-143	13-108	15-124	26- 102

Korrelatsioonigraafikut vaadates (joonis 8.2.1.3) on näha, et korrelatsioon otsemõõdetud ja eU-sisalduse järgi arvutatud Rn-sisalduse vahel puudub, (korrelatsioonikoefitsient $r = -0,0554$). See kinnitab eelpool esitatud väidet, et savipinnastes, kus eU sisaldus on kõrge ja arvutuslik potentsiaalne Rn-sisaldus on kõrge, pinnaseõhus radooni ei ole, sest gaasid selles keskkonnas ei liigu. Vastupidine on olukord kerge lõimise pinnastes, kus radoon jõuab maapinnale sügavamalt, kuid pinnase ülaosas on Rn-allikaks olevaid uraani-raadiumirikkaid mineraale väga vähe.



Joonis 8.2.1.2. Rõuge valla territooriumil 1 m sügavusel otsemõõdetud Rn-sisalduste võrdlus eU sisalduste järgi arvatud potentsiaalsete radoonisisaldustega pinnaseõhus



Joonis 8.2.1.3. Korrelatsioonigraafik otsemõõdetud ja eU järgi arvatud potentsiaalse Rn-sisalduse vahel

Lähtudes etteantud kriteeriumitest kuulub Rõuge vald **III prioriteediga valdade hulka**, radoonirisk on seal pigem keskmine või madal. Valla territooriumil mõõdetud 39-st uuringupunktis 35-s (~90%) on Rn-risk pinnaseõhus madalam kui 75 kBq/m³.

8.2.2. Rn siseõhus

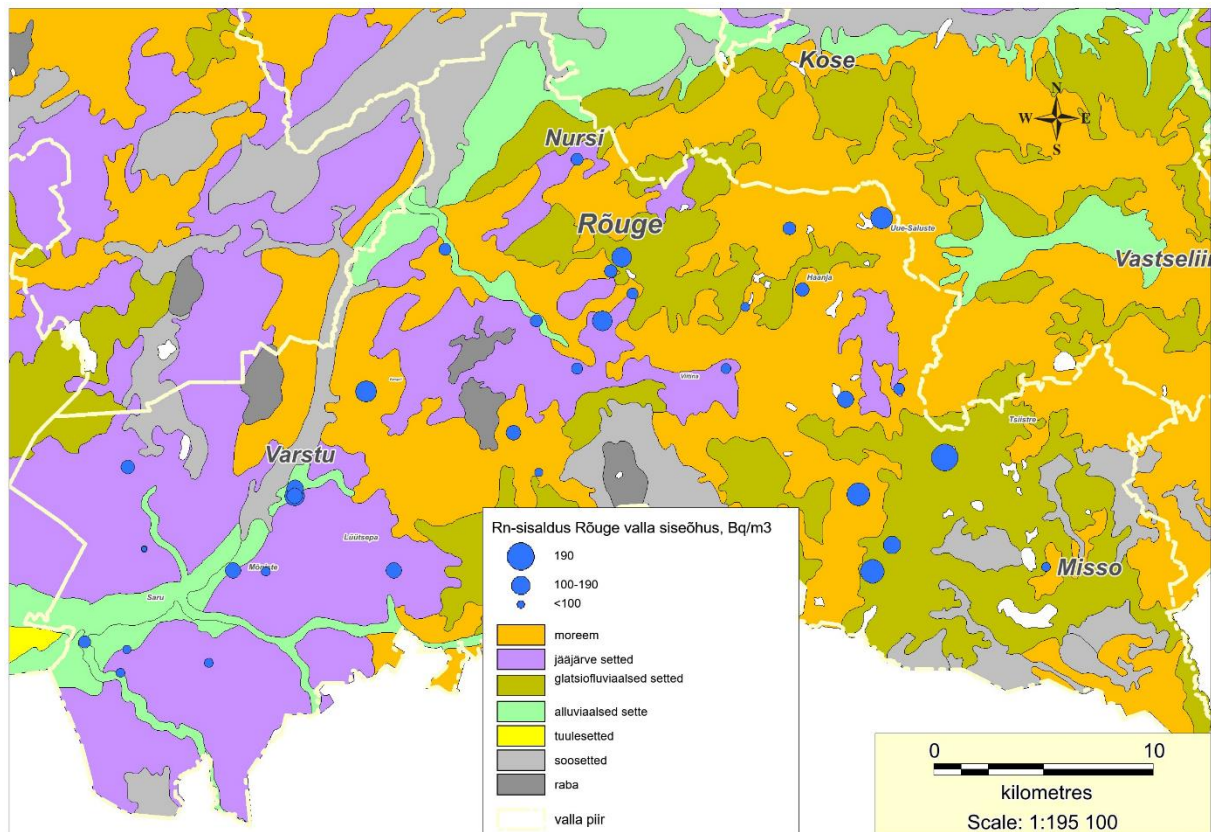
Siseõhu Rn-mõõtmistena käsitletakse hoonetes tehtud üksikute mõõtmiste keskmisi. Rõuge vallas on erinevus elu- ja magamistubade vahel 9%.

Rn-sisaldused hoonete siseõhus jäävad kõik allapoole viitetaset (300 Bq/m^3). Valdav tulemuste vahemik on $25\text{--}109 \text{ Bq/m}^3$ (tabel 8.2.2.1), tulemustest 19% mõõtmistest ületavad valdavalt sisaldust, kuid maksimaalne siseõhu sisaldus 183 Bq/m^3 jääb madalamaks viitetasemest ja madalamaks ka ehitusstandardi EVS 840:2017) Rn-vastaste meetmete kasutamise või neist loobumise juhises antud piirist, mille kohaselt uute ehitiste püstitamisel ei tohiks Rn-sisaldus siseruumides ületada 200 Bq/m^3 .

Siseõhu mõõtmistulemuste jaotumine pinnakattekaardil näitab, et kõrgemad Rn-sisaldused jäävad glatsfluviaalsete setete ja moreeniga kaetud aladele (joonis 8.2.2.1).

Tabel 8.2.2.1. Rn-risk Rõuge valla hoonete siseõhus

Up nr	Rn-sisaldus siseõhus	Up nr	Rn-sisaldus siseõhus
	Bq/m^3		Bq/m^3
5162	27	5217	40
5163	27	5222	57
5168	21	5226	53
5170	42	5228	51
5172	149	5231	114
5176	24	5232	43
5180	69	5235	52
5184	29	5238	130
5186	13	5252	46
5188	104	19Rn-3065	94
5192	88	19Rn-3068	84
5197	141	19Rn-3069	106
5199	24	19Rn-3070	70
5201	55	19Rn-3071	120
5203	183	19Rn-3074	65,5
5205	74	19Rn-3080	114
5207	37	Max	183
5209	35	A	56
5211	39	S	42
5215	38	σV	74%



Joonis 8.2.2.1. Rn-sisaldus Rõuge valla hoonete siseõhus (Aluskaart: Kajak, 1999)

8.3. Rõuge vallas Rn-uuringu põhjal tehtud otsus

Käesolevale uuringule tuginedes saab väita, et **Rõuge vald liigitub III prioriteediga omavalitsuseks, kus radoonirisk on pigem keskmine või madal.**

Rõuge valla elu- ja tööruumides siseõhus ei ole mõõdetud viitetaset ületavat Rn-sisaldust.

Vastavalt Eesti Ehitustandardis kehtestatud juhiste (EVS:840 2017) on Rõuge valla territooriumil soovitatav mõõta Rn-sisaldust enne uute ehituste püstitamist, et selgitada radoonivastaste meetmete kasutamise vajalikkust või mittevajalikkust.

9. Rn-uuringud Setomaa vallas

Setomaa vald on uuritavatest Lõuna-Eesti valdadest kõige väiksem (463 km²). Enne tööde planeerimist oli valla territooriumil Rn-mõõtmisi tehtud 8 uuringupunktis. Valda planeeriti 9 uuringupunkti, töö käigus rajati Seto valda 10 uuringupunkti (kaart 5).

Keskmiselt on Setomaa valla territooriumil pärast käesolevat uuringut üks Rn-uuringu punkt 25,6 km² kohta.

Siseõhuuuringuid tehti töö käigus 6 elumajas. Koos varasemate siseõhu uuringutega on Setomaa vallas siseõhu Rn-sisaldust mõõdetud 16 hoones.

9.1. Setomaa valla reljeef, geomorfoloogia ja geoloogia

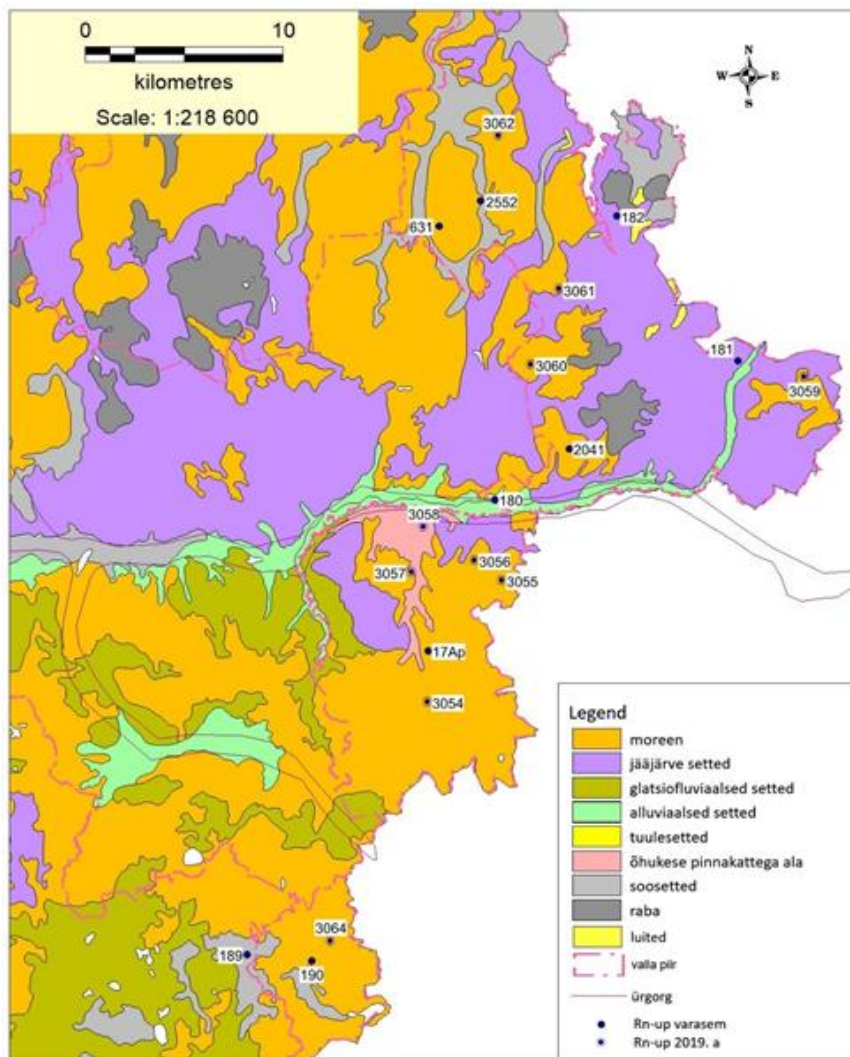
Setomaa valla territoorium koosneb kolmest eraldi osast. Põhjapoolne ja keskmine osa on teineteisest eraldatud Piusa jõega ja kõige väiksem lõunaosa Võru vallaga. Põhjast lõunasse on linnulennul 60 km ja laius kõige laiemas osas idast läände on 15 km. Valla põhjaosa asub Peipsi järve nõos. Päris põhjatipu soos suubub Peipsi järve Võhandu jõgi, seal asuvas Beresje külas on maapinna kõrgus 38 m. Võhandu suudme soostunud alast edelas on Korsna soo. Värskast itta jääv ala on samuti soostunud, absoluutsed kõrgused Värska ümbruses on 40 m ümber. Eraldi põhjaosa Idapoolsel alal on maapind kõrgem. Uuringupunktis 19Rn-3060 Nedsaja külas küünib maapind 65 m kõrgusele (kaart 5). Piusa jõe kallastel tõuseb tasane platoo 80 m kõrgusele. Jõgi on sellesse platoosse uuristanud 30 m sügavuse oru. Valla keskmises osas on Piusa jõest lõunasse jääv ala kõrgem, Obinitsa alevikus on maapinna absoluutne kõrgus mõni meeter üle 100 m. Maastiku teeb seal vaheldusrikkaks 40 m sügavamal orus asuv Obinitsa järv. Meremäe küla ümbruses tõuseb maapinna absoluutne kõrgus 140–150 m-ni, külast lõunas künklikul maastikul veel paarkümmend meetrit kõrgemale. Lõunapoolsel lahustükil on maastik künklik, kõrgus küünib sel alal 200 m-ni ja veidi enam. Luhamaa piiripunktis on maapinna kõrgus 190 m. Paarkümmend meetrit madalam on soostunud ala Riia-Pihkva maanteest lõunas (joonis 9.1.1).

Setomaa valla aladel esindavad **Kvaternaari ajastut** Võrtsjärve alamkihistu setted. Valla põhjaosas levivad valdavalt jääjärvesetted, loodes ja keskosas glatsiogeensed setted, milleks on Lõuna-Eesti moreen, keskosas on kaks suurt raba, kuid väiksemaid rabasid leidub kõikjal. Peipsi äärsel alal on kauneid tuulte kuhjatud luitestikke.

Valla keskmisel lahusosal prevaleerib ida- ja lõunaosas moreen, loodes ja põhjas laiuvad jääjärvesetted. Piusa jõe ääres on ulatuslik õhukese pinnakattega ala, seal ulatuvad maapinnani Kesk-Devoni Gauja lademe liivakivid.

Kõige lõunapoolsemal lahustükil on Kvaternaari ajastu seteteks peamiselt moreenid. Leidub ka soosetteid, kuid suure tõenäosusega on ka soosetete all moreen.

Kvaternaarisetete paksus Setomaa valla territooriumil varieerub põhjast lõunatipuni 20-30 m vahel. Koidula piiripunkti lähedal Petseri puuraugus 330 (kaar 5) on pinnakatte paksus 29 m, Värska puuraugus IIIV 20 m ja Hindsa külas uuringupunkti 19Rn-3064 lähedal 24 m. Piusa jõe lõunakaldal aga puudub pinnakate üldse. Pinnakate on 5–6 m paks valla keskosa idapiiril Marinova külas, kus kaevandatakse dolomiiti (foto 9.1.1).



Joonis 9.1.1. Setomaa valla skemaatiline Kvaternaari kaart ja Rn uuringupunktid (Kajak, 1999)

Aluspõhja moodustavad Setomaa põhjaosas Kesk-Devoni ladestiku Gauja lademe liivakivid, Värskas ümbruses Burtnieki lademe liivakivid. Valla keskosas jätkuvad põhjast kagusse Kesk-Devoni ladestiku Gauja ja Amata lademete liivakivid. Keskosa kaguosas avanevad Ülem-Devoni Plavinase lademe dolomiidid, domeriidid. Valla idaosas asub ka Marinova karjäär, kus kaevandatakse dolomiiti (Joonis 9.1.2).

Seto valla territooriumile jääb 2 süvapuuraugu: 3V (3 Värskas, ka III Värskas) ja 330 Petseri (Puursüdamike andmebaas, Maa-amet).

Kvaternaari setete all avanevad nii 3V Värskas kui ka 330 Petseri puuraugus Kesk-Devoni Gauja lademe liivakivid. Värskas puuraugus on kvaternaari- ehk pinnakattesetete paksus 20 m, puuraugus 330 Petseri 30 m. Kesk-Devoni liivakivid ulatuvad Värskas puuraugus 291 m sügavuseni, Petseri puuraugus 337 m-ni. Alam-Devoni kivimite paksus 3V (Värskas) puuraugus on 19 m ja 330 Petseri puuraugus vaid 2,7 m. Kogu Devoni ajastu kivimid ulatuvad Värskas 310 m ja Petseri puuraugus 339 m sügavuseni.

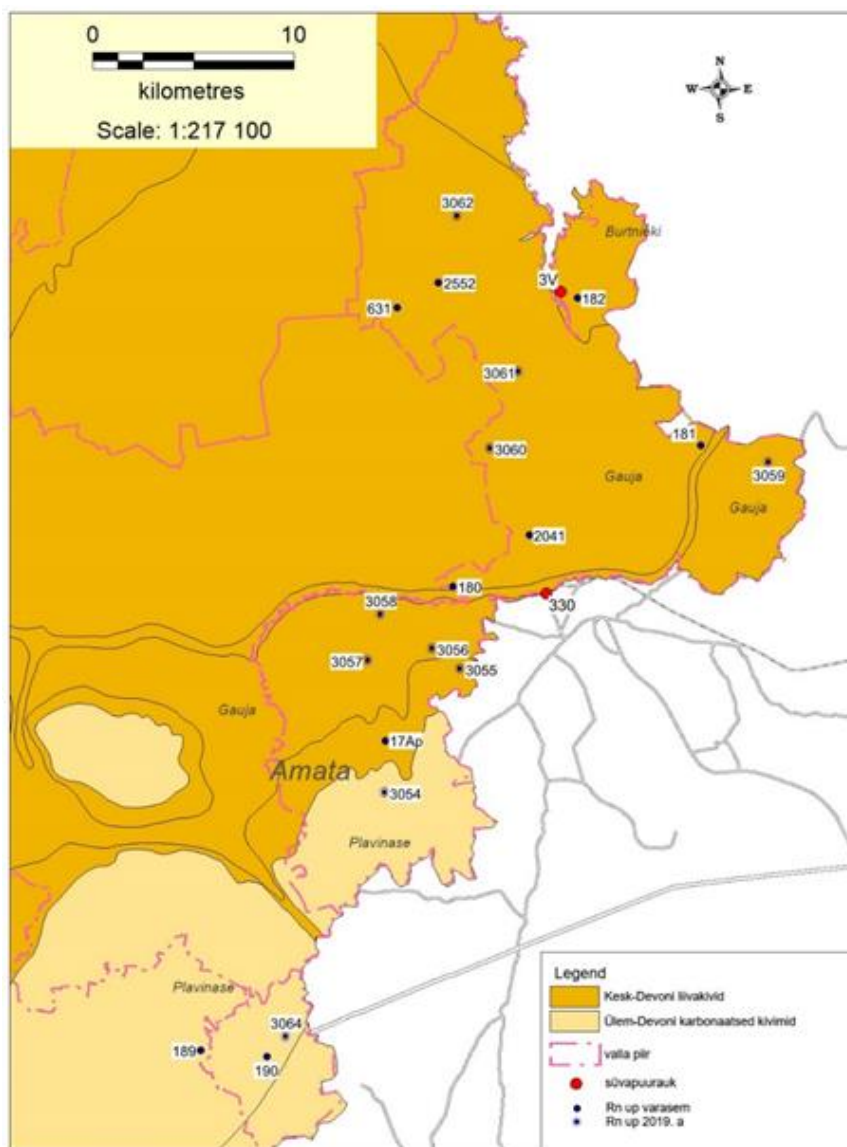
Ordoviitsiumi ajastu karbonaatsed kivimid ulatuvad Värskas puuraugus 458 m sügavuseni ja Petseri puuraugus 441 m-ni. Alam-Ordoviitsiumi kivimeid ei ole kummaski puuraugus Ülem-Kambriumi liivakividest eristatud, kuid on vähe tõenäoline, et radoon Ordoviitsiumi karbonaatse kivimkihi alt enam kui 400 m sügavuselt maapinnani kanduks.

Ülem-Kambriumi kivimite sügavuseks on Värskas 475 m ja Petseri puuraugus 457 m. Kambriumi ladestu terrigeensete kivimite sügavuseks on Värskas puuraugus 537 m ja Petseri puuraugus 515 m.

Ediacara alumiseks piiriks Värskas on 600 m ja Petseris 571 m.

Värskas puuraugus märgitakse kristalse aluskorra sügavuseks 600 m.

Petseri puuraugus 330 on see aga 571 m. Petseri puuraugus moodustavad aluskorra granitoidsed kivimid. Ei ole tõenäoline, et radoon kristalse aluskorra kivimitest enam kui 500 m sügavuselt maapinnale jõuaks.



Joonis 9.1.2. Setomaa valla skemaatiline aluspõhja kaart (Suuroja, 1997)



Foto 9.1.1. Marinova dolokivi karjääris kaevandatakse Ülem-Devoni Plavinase lademe Pskovi kihistu dolomiite (Foto: Anne Pöldvere)

9.2. Setomaa valla Rn-uuringu tulemused

9.2.1. Rn pinnaseõhus

Seto valla territooriumil on Rn pinnaseõhu uuringupunktide võrk ebaühtlane nagu ka valla asustus (kaart 5). Statistilises andmetöötluses oli Setomaa vallas kasutada 18 pinnaseõhu uuringupunkti andmed (tabel 9.2.1.1, joonis 9.2.1.1).

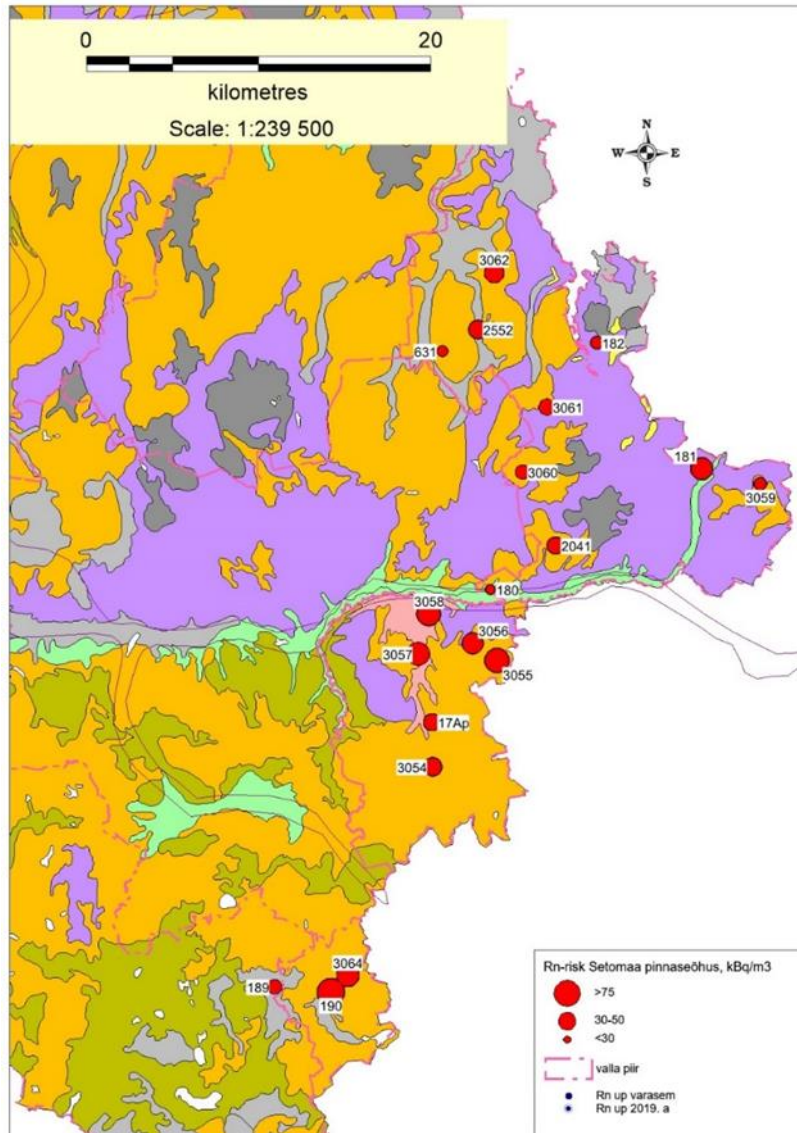
Enamus uuringupunktidest on rajatud moreenpinnasele, sest moreenialad on kõrgemad ja kuivemad ning seal paikneb enamus asulatest. Üheks erandiks on Mikitamäe alevik, mis on rajatud jääjärvesavidele.

Setomaa valla otsemõõtmistulemuste geomeetriline keskmine on 32 kBq/m^3 , eU järgi arvutatud potentsiaalne Rn-sisaldus 45 kBq/m^3 ja Rn-risk 56 kBq/m^3 . Kaks viimast keskmist mõõtmistulemust on võrreldes kõikides teistes valdades käesoleva töö käigus mõõdetud tulemustega kõige kõrgemad.

Võrreldes otsemõõdetud Rn-sisaldusi eU järgi arvutatud potentsiaalsete radooni-sisaldusega, siis otsemõõtmistulemuste maksimaalne Rn-sisaldus on suurem kui eU järgi arvutatud maksimaalne Rn-sisaldus, aga keskmine sisaldus on madalam kui eU järgi arvutatud Rn-sisaldus (tabel 9.2.1.1).

Keskmiised mõõtmistulemused, nii otse kui eU järgi arvutatud, on madalamad Rn-viitetasemele vastavast pinnaseõhu Rn-sisaldusest 75 kBq/m^3 . Viitetasemest madalam on ka Rn-risk.

Võrrelda neid tulemusi Eesti Ehitusstandardi juhistes piiranguteta ehitustegevusele kehtestatud pinnaseõhu Rn-sisalduse piirväärtusega (50 kBq/m^3), siis keskmine Rn-risk (56 kBq/m^3) ületab seda (EVS 840:2017).



Joonis 9.2.1.1. Rn-risk Setomaa pinnaseõhus (Aluskaart: Kajak, 1999)

Maksimaalsed Rn-sisaldused, 117 kBq/m^3 otsemõõdetult ja 95 kBq/m^3 eU järgi arvutatult, ületavad mõlemat radooniohu kriteeriumit (tabel 9.2.1.1 ja joonis 9.2.1.2). Mõlemad kõrgeimad tulemused on mõõdetud Lõuna-Eesti moreenis. Kõrgeim otsemõõtmistulemus on mõõdetud valla kõige lõunapoolsemas lahusosas Koidula piiripunkti lähistel kergema lõimisega moreenis (02Rn-0190). Kõrgeim potentsiaalne Rn-sisaldus on aga mõõdetud Piusa jõe äärsel õhukese pinnakattega alal (19Rn-3058). Tabelist 9.2.1.1 on näha, et otsemõõdetud tulemuste geomeetriline standardhälve (2,8) on peaaegu kaks korda suurem kui eU järgi arvutatud Rn-sisalduste puhul (1,5), sellest järeldub, et potentsiaalne Rn-sisaldus on suhteliselt ühtlane, kuid otsemõõdetud tulemused võivad ületada ülikõrgeid Rn-sisaldusi (250 kBq/m^3), sest valdav sisaldus kõigub laias vahemikus ($4\text{--}250 \text{ kBq/m}^3$) (tabel 9.2.1.1).

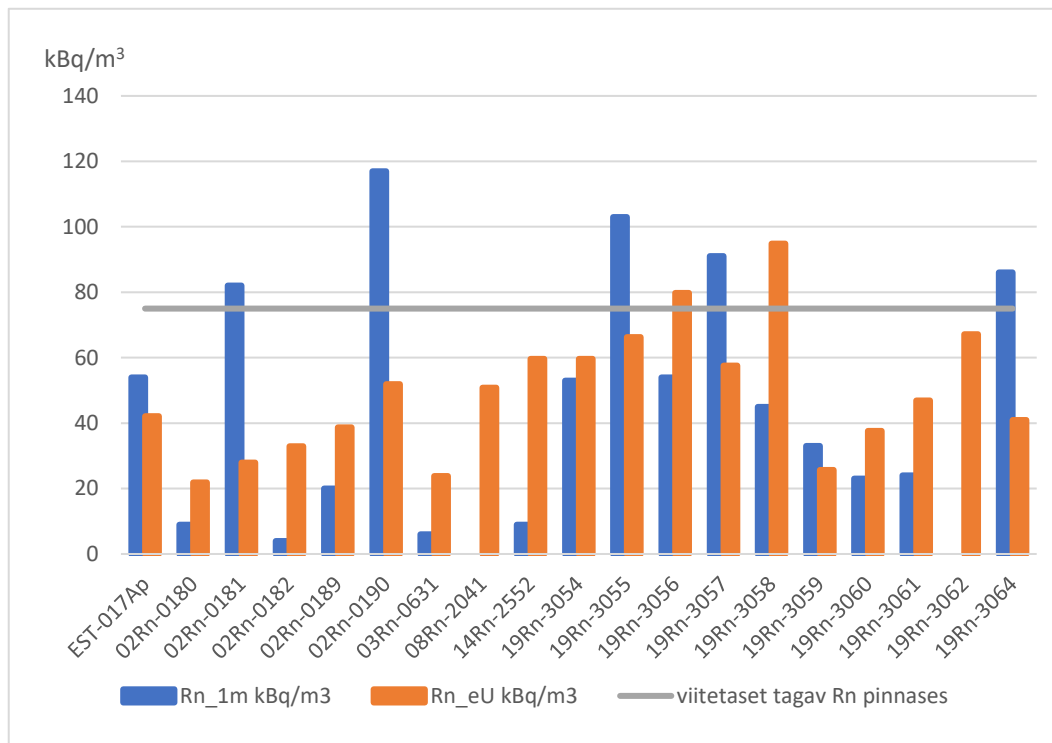
Keskmine looduskiirgus (54%) on kõrgem Eesti geomeetrilisest keskmisest (49%), kuid jääb madalamaks Lõuna-Eesti moreeni keskmisest (59%) (Petersell jt., 2017), ka maksimaalne looduskiirguse tase (88%) ei ületa Setomaal 100%. Aastane elanike poolt saadud efektiivdoos jääb Setomaal madalamaks kui 1 mSv.

Vaadates tulemuste varieerumist on näha, et viiel juhul ületavad otsemõõtmistulemused viitetaset ja kahel juhul on potentsiaalsed Rn-sisaldused viitetasemest kõrgemad. Enama kui ühe neljandiku mõõtmiste puhul ületavad otsemõõtmistulemused eU järgi arvutatud potentsiaalseid Rn-sisaldusi (joonis 9.2.1.2). See asjaolu suurendab ettearvatust, kuna otsemõõtmistulemuste varieerumine on pea 2 korda suurem kui eU järgi arvutatud tulemustel (tabel 9.2.1.1, joonis 9.2.1.2).

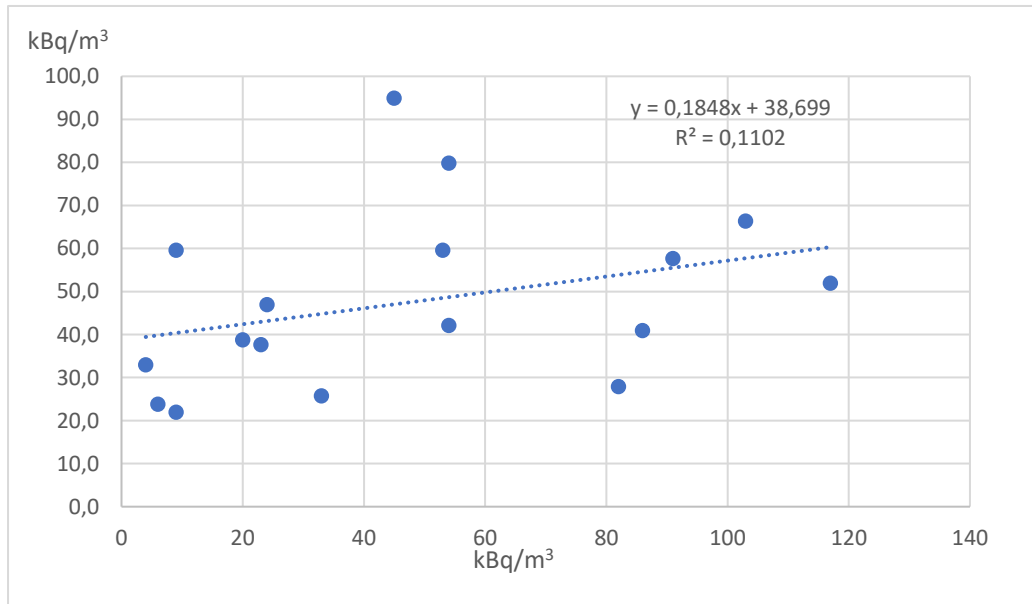
Korrelatsioonigraafikut vaadates (joonis 9.2.1.3) on näha, et koefitsient ($r=0,11$) ei kinnita otsemõõtmiste ja potentsiaalsete Rn-sisalduste omavahelist seost. See kinnitab eespool esitatud väidet, et savipinnastes, kus eU sisaldus on kõrge, radooni pinnases ei ole, sest gaasid väga savises pinnases peaaegu ei liigu. Kerge lõimise pinnased, kus radoon jõuab maapinnale sügavamalt, sisaldavad uraanirikkaid mineraale väga vähe.

Tabel 9.2.1.1. Rn-sisaldus Setomaa valla territooriumi pinnaseõhus 1 m sügavusel otsemõõdetult, eU järgi arvutatult ning Rn-risk

Number	Latitude	Longitude	Lt	Rn_1m	Rn_eU	Risk	Lk
				kBq/m ³			%
EST-017Ap	57,77175	27,45681	ml	54	42	54	67
02Rn-0180	57,83878	27,52014	b	9	22	22	27
02Rn-0181	57,89564	27,73278	lgl	82	28	82	33
02Rn-0182	57,96411	27,63661	lgl	4	33	33	47
02Rn-0189	57,63822	27,29100	ml	20	39	39	46
02Rn-0190	57,63414	27,34533	ml	117	52	117	58
03Rn-0631	57,96400	27,48532	lga	6	24	24	41
08Rn-2041	57,85983	27,58577	ml	0	51	51	62
14Rn-2552	57,97430	27,52103	ml	9	60	60	80
19Rn-3054	57,74849	27,45493	ml	53	60	60	59
19Rn-3055	eraisik		ml	103	66	103	62
19Rn-3056	eraisik		ml	54	80	80	83
19Rn-3057	eraisik		lgs	91	58	91	76
19Rn-3058	eraisik		ml	45	95	95	83
19Rn-3059	eraisik		lga	33	26	33	31
19Rn-3060	eraisik		lga	23	38	38	40
19Rn-3061	57,9323	27,5848	lgl	24	47	47	47
19Rn-3062	eraisik		lgs	0	67	67	88
19Rn-3064	eraisik		lgl	86	41	86	47
Maksimaalne				117	95	117	88
AG				32	45,0	56	54
SG				2,8	1,5	1,6	1,4
Valdav sisaldus	$x_g : s_g^2$ kuni $x_g \times s_g^2$			4-251	20-101	22-143	27-105



Joonis 9.2.1.2. Seto valla territooriumil 1 m sügavusel otsemõõdetud Rn-sisalduste eU sisalduste järgi arvutatud potentsiaalsete radoonisisalduste ning Rn-viitetaseme võrdlus pinnaseõhus



Joonis 9.2.1.3. Korrelatsioonigraafik otsemõõdetud ja eU järgi arvutatud Rn-sisalduse vahel

Lähtudes etteantud kriteeriumist, mille kohaselt kuulub vald I prioriteediga omavalitsuste hulka juhul, kui rohkemates kui 10% uuringupunktidest ületab Rn-risk 75 kBq/m³, tuleb Seto vald lugeda I prioriteediga vallaks, kuna 37% uuringupunktidest (7 uuringupunktis 19-st) on Rn-risk pinnaseõhus kõrgem kui 75 kBq/m³.

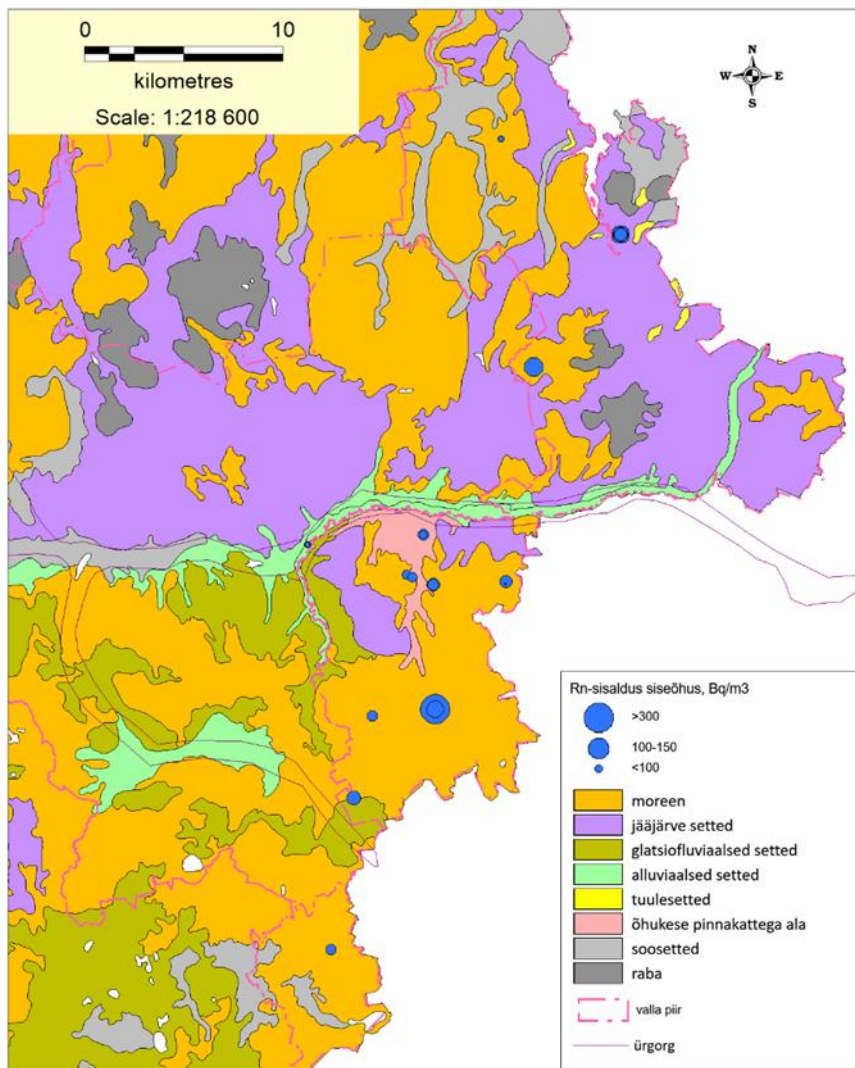
9.2.2. Rn siseõhus

Siseõhu Rn-mõõtmistena käsitletakse hoonetes tehtud üksikute mõõtmiste keskmisi. Setomaa vallas on erinevus elu- ja magamistubade vahel 21%, kusjuures magamistubades on Rn-sisaldus kõrgem. Rn-sisaldused hoonete siseõhus jäävad kõik peale ühe mõõtmistulemuse allapoole viitetaset. Valdav tulemuste vahemik on 12–178 Bq/m³ (tabel 9.2.2.1), tulemustest 12,5% ületavad valdavat sisaldust.

Tabel 9.2.2.1. Rn-sisaldused Setomaa valla hoonete siseõhus

Up nr	Rn-sisaldus siseõhus	Up nr	Rn-sisaldus siseõhus
	Bq/m ³		Bq/m ³
3118	102	5258	83
3119	137	5266	41
3921	12	5275	30
3970	73	5276	61
3971	78	19Rn-3055-1	15
4048	59	19Rn-3055-2	72
4049	70	19Rn-3057	44
4060	233	19Rn-3060	151
4061	290	19Rn-3062	20
5223	88	19Rn-3064	54
5241	50	Max	333
5247	121	AG	95
5248	333	S	83
5257	59	σV.	87%

Maksimaalne siseõhu Rn-sisaldus 333 Bq/m³ ületab viitetaset (tabel 9.2.2.1; joonis 9.2.2.1). Maja asub 10 m paksusel moreenil, mille all on 5 m paksuselt Ülem-Devoni Plavinase dolomiite ning nende all Kesk-Devoni liivakivid (hüdrogeoloogilise puuraugu 10 682 andmed). 12,5% siseõhu mõõtmistest ületavad ehitatavate hoonete ehitusstandardi (EVS 840:2017) juhistes siseruumidele eesmärgiks seatud taset 200 Bq/m³.



Joonis 9.2.2.1. Rn-risk Setomaa siseõhus (Aluskaart: Kajak, 1999)

9.3. Setomaa vallas Rn-uuringu põhjal tehtud otsus

Käesolevale uuringule tuginedes saab väita, et **Setomaa vald liigitub I prioriteediga omavalitsuseks, kus on kõrgendatud Rn-risk**, sest enam kui 10% radooni aktiivsuskontsentratsiooni määrangutest ehk Rn-risk pinnaseõhus ületab 75 kBq/m³.

Setomaa valla elu ja tööruumide siseõhus on ühel juhul mõõdetud viitetaset ületavat Rn-sisaldust. Vastavalt Eesti Ehitustandardis kehtestatud juhiste (EVS:840 2017) on Setomaa valla territooriumil vajalik mõõta Rn-sisaldust enne uute ehituste püstitamist, et selgitada radoonivastaste meetmete kasutamise vajalikkust või mittevajalikkust.

10. Rn-uuringud Ruhnu vallas

Ruhnu vallas varasemad Rn-uuringud puudusid, sinna planeeriti 3 uuringupunkti, otstarbekaks osutus rajada 6 uuringupunkti (kaart 6). Keskmiselt rajati saarele 1 uuringupunkt 2 km² kohta. Siseõhu-uuringud tehti kahes hoones Ruhnu koolihoones ja ühes elamus.

10.1. Ruhnu saare reljeef, geomorfoloogia ja geoloogia

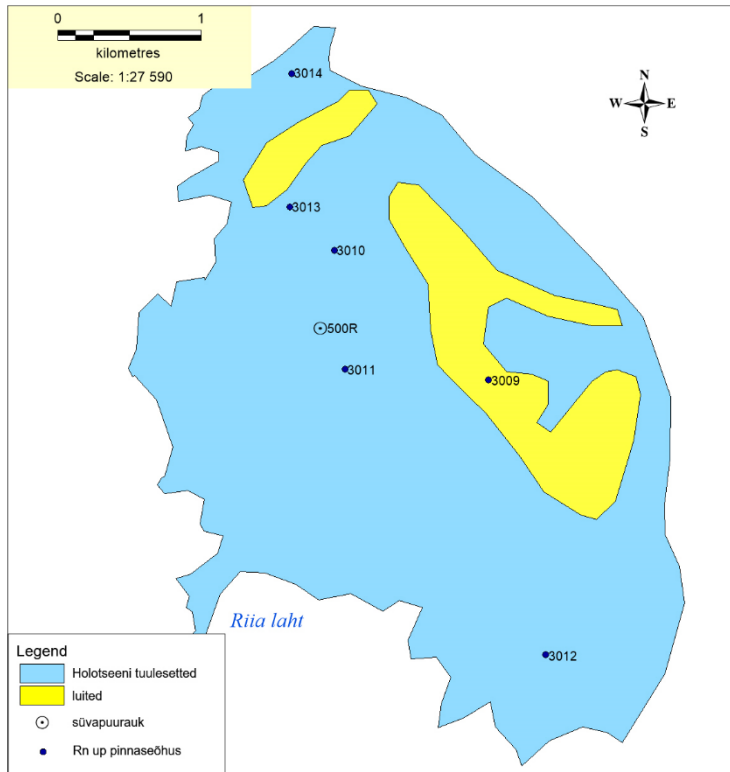
Ruhnu saar on Liivi lahe keskosas asuva loode–kagusuunalise seljandiku kõige kõrgem veepealne osa. Seljandik on liustikulise tekkega voorelaadne moodustis. Saare idapoolset osa katab luitestik, mille suurim kõrgus ulatub 29,6 m-ni. See ongi saare kõrgeim koht. Saare lääneosas ulatub maapind vaid 2-3 m merepinnast kõrgemale. Küla on ehitatud luitestiku jalamile, 5-6 m kõrgusele, kuid küla idapoolsed majad ja uus ning vana kirik on merepinnast 14 m kõrgusel. Saare idapoolses osas on 4 m kõrgune „Flisbacka järsak“ (foto 10.1.1).



Foto 10.1.1. Flisbacka järsak kaitseb Ruhnu kirderanda jahedate vesikaare tuulte eest. (Foto: K. Täht-Kok)

Kvaternaariseteteks on Ruhnu saarel peeneteralised tuuletekkelised liivad (joonis 10.1.1), nende all lasub moreen. Seega on Kvaternaaraajastu setted saarel kahekihilised, ülemise, peenliiva paksus saare keskel on 4,6 m ja selle all asuva moreeni paksus on 3,2 m. Kõik andmed Ruhnu saare sügavama geoloogia kohta

pärinevad küla keskel asuvast Eesti sügavuselt teisest puuraugust. Saare lõunaosas levivad ka veeriselised rannavallisetted. Saarel on ka mõni soolaiguke, suurim neist on Haubjerre soo, kuhu suurvee ajal tekib järv.



Joonis 10.1.1. Ruhnu saare skemaatiline Kvaternaari kaart (Kajak, 1999)

Aluspõhja moodustavad saarel Kesk-Devoni Narva lademe punakaspruuni-hallikirjud aleuoliidid vaheldumisi savi ja liivakividega (fotod 10.1.2 ja 10.1.3).

Geoloogilise läbilõike aluspõhja ja aluskorra kivimitest annab süvapuuraug 500 Ruhnu.

Narva lademele järgnevad Pärnu lademe liivakivid. Devoni ajastu terrigeensete kivimite paksus ulatub 146 m-ni.

Siluri ladestu karbonaatsed kivimid Ruhnus on väga paksud, koguni 455 m, Siluri ladestu ulatu 601 m sügavuseni.

Ülem- ja Kesk-Ordoviitsiumi karbonaatsed kivimid ulatuvad 706 m sügavuseni.

Alam-Ordoviitsiumi uraanirikas Pakerordi lade Ruhnus peaaegu puudub, puursüdamikus on märgitud selle paksuseks vaid 0,1 m. Kogu Alam-Ordoviitsiumi paksus on puuraugus 0,9 m ja Ordoviitsiumi ladestu lasub vahemikus 601–707 m.

Kambriumi liivakivid lasuvad sügavuses 707–784 m.

Ediacara terrigeensed kivimid Ruhnu puuraugus peaaegu puuduvad, nende paksus on vaid 0,3 m.

Aluskorra kivimid, milleks on graniit, algavad Ruhnu puuraugus 784 m sügavuselt. Aluskorra kivimid on läbi puuritud 3,2 m paksuselt (Pöldvere, 2003).

Nagu süvapuuraugu kirjeldusest näha, puuduvad Ruhnu saare aluspõhjas uraanirikkad kivimkihid, mis võiksid olla intensiivseks Rn-allikaks. Ainsaks potentsiaalseks kõrgendatud uraanisisaldusega setteks on Holotseeni tuulesetete all lasuv moreen.



Joonis 10.1.2. Devoni aluspõhjapaljand, siin paljanduvad Narva lademe punakaspruuni-hallikirjud aleuoliidid (Foto: K. Täht-Kok)



Foto 10.1.2. Mõnekümne meetri kaugusel aleuoliitide paljandist on näha nende all lamavat savilasundit. Kuna savikivim on pehmem, siis on see ka rohkem porsunud (Foto: K. Täht-Kok)

10.2. Ruhnu saare Rn-uuringu tulemused

10.2.1. Rn pinnaseõhus

Radooni otsemõõtmise läbiviimine Ruhnu saarel oli suuremalt osalt hõlbus kerge liivase pinnase tõttu, samal ajal soodustas pinnase kerge lõimis ülemiste kihtide head aereerumist ja see asjaolu suurendas kadusid otsemõõtmisel. Kahes kolmandikus uuringupunktidest ei olnudki võimalik radooni otsemõõtmistulemust saada. Peamisteks põhjusteks oli pinnasevee kõrge tase või hõreda huumuskihi kuivus (tabel 10.2.1.1). Samal ajal pärsib kõrge pinnasevee tase radooni liikumist ja vähendab radooni kogunemist hoonetesse. Kõrgeim otsemõõdetud Rn-sisaldus oli saare lõunaosas rannavalli setetes.

Kõige kõrgem eU järgi arvutatud Rn-sisaldus mõõdeti saare põhjaosas (19Rn-3014) liigniiskel alal, selle põhjustas veetaseme pideva muutumise käigus 60–70 cm sügavusele tekkinud kõva rauastunud kiht.

Ruhnu pinnases on eU järgi arvutatud keskmine Rn-sisaldus oluliselt suurem kui otsemõõdetud Rn-sisaldus.

Looduskiirgusest saadav aastane efektiivdoos jääb Ruhnu saarel väiksemaks kui 1 mSv.

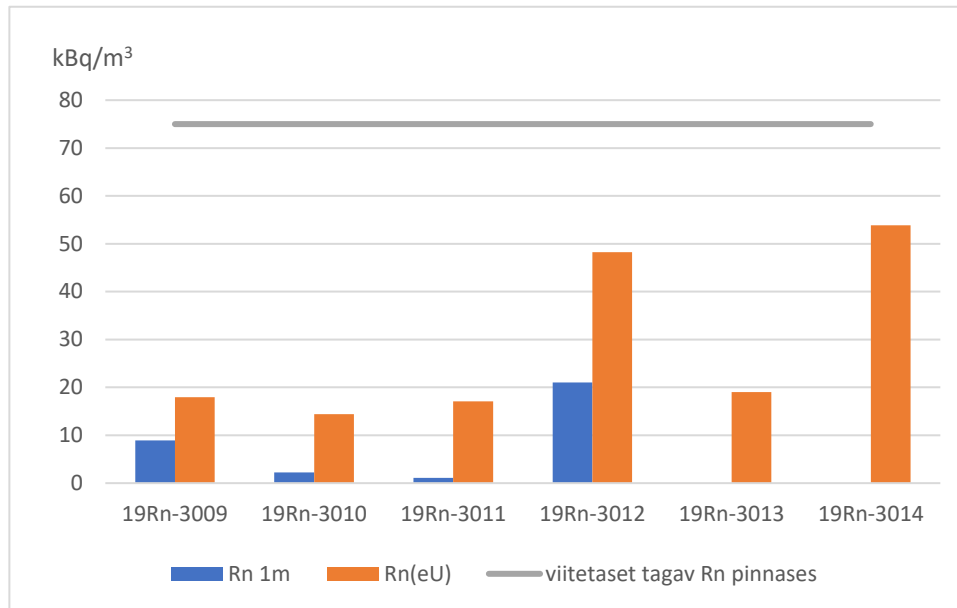
Ruhnu saare tulemusi analüüsides torkab silma radooni otsemõõtmistulemuste suur varieeruvus. Kõige vähem varieerub looduskiirgus (tabel 10.2.1.1).

Suurtele kõikumistele vaatamata jäävad ka kõik maksimaalsed Rn mõõtmistulemused madalamaks viitetasemele vastavast pinnaseõhu Rn-sisaldusest 75 kBq/m³ (tabel 10.2.1.1, joonis 10.2.1.1).

Eesti ehitusstandardi EVS 840:2017 nõudmisi tuleks rakendada uute ehitiste püstitamisel saare lõunaossa, kus levivad rannavallisetted.

Tabel 10.2.1.1. Rn-sisaldus Ruhnu saare territooriumi pinnaseõhus 1 m sügavusel otsemõõdetult, eU järgi arvutatult ning Rn-risk ja looduskiirgus

Up nr	Lt	Latitude	Longitude	Rn_1m	Rn_eU	Risk	LK
				kBq/m ³			%
19Rn-3009	b	57,80005	23,26117	9	18	18	25
19Rn-3010	b	eraisik		2	14	14	20
19Rn-3011	b	eraisik		1	17	17	24
19Rn-3012	fgl	57,78292	23,26818	21	48	48	39
19Rn-3013	lga	57,810709	23,237644	0	19	19	29
19Rn-3014	lga	57,81906	23,237721	0	54	54	59
Max				21	54	54	59
AG				4,7	25	25	31
SG				3,2	1,7	1,7	1,4
Valdav sisaldus	$x_g : s_g^2$ kuni $x_g \times s_g^2$			0,5-48	8,7-72	8,7-72	16-61



Joonis 10.2.1.1. Ruhnu saarel 1 m sügavusel otsemõõdetud Rn-sisalduste võrdlus eU sisalduste järgi arvutatud potentsiaalsete radoonisisaldustega pinnaseõhus

10.2.2. Rn siseõhus

Siseõhumõõtmisi tehti Ruhnu saarel koolimajas ja ühes elumajas. Koolimaja asub saare tasasel osal, elumaja aga luite tõusunõlva alguses. Mõõtmistulemused näitavad, et mõlemas hoones on Rn-sisaldus siseõhus madal. Koolimajas tehti 4 mõõtmist, mis olid kõik väga sarnased. Mõõdetud tulemused (tabel 10.2.2.1) jäävad kordi madalamaks, kui on WHO soovitus (100 Bq/m³) (WHO, 2009).

Tabel 10.2.2.1. Rn-sisaldused Ruhnu saare hoonete siseõhus

Up nr	Rn-sisaldus siseõhus
	Bq/m³
19Rn-3011	27
19Rn-3010	19
Max	27
A.	23
Se	5,7
σV	25

10.3. Ruhnu saare Rn-uuringu põhjal tehtud otsus

Eelnevale tuginedes saab väita, et **Ruhnu saar liigitub III prioriteediga omavalitsuseks, kus radoonirisk on keskmine või madal.**

Vastavalt Eesti Ehitustandardis kehtestatud juhiste (EVS:840 2017) on Ruhnu vall territooriumil soovitatav teha Rn-uuringuid pinnases enne hoone püstitamist rannavalli setete alal saare lõunaosas.

11. Soovitused

Uuringu tulemusena soovib autor Keila ja Võru linnas, Rõuge, Võru ja Setomaa vallas teha Rn-uuringud enne uusehituste püstitamist. See on kooskõlas kehtiva Eesti standardi juhistega (EVS 840:2017). Ruhnu vallas on soovitatav teha Rn-uuringuid pinnases enne hoone püstitamist rannavalli setetele saare lõunaosas.

Praegustel ja varasematel radooni otsemõõtmistel kogetud probleemide lahendamiseks tuleks Eestis kasutusele võtta Rn-mõõtmine ekshalatsiooni meetodil. Selleks, et varasemaid tulemusi ekshalatsioonimeetodil mõõdetud tulemustega võrrelda ja aparatuuri testida, oleks vaja rajada looduslikule mitteharitavale pinnasele Rn-mõõtmiste testala.

12. Kokkuvõte

2019. aastal Keila ja Võru linna, Rõuge, Võru, Setomaa ja Ruhnu valla ning Ruhnu saare pinnase- ja siseõhus tehtud Rn-uuringud näitasid, et kõige kõrgem on keskmine Rn-risk Setomaa valla pinnaseõhus (tabel 11.1). Järgnevad Võru vald ja Võru linn. Rõuge vald, Keila linn ja Ruhnu vald.

Valdade keskmiste eU järgi arvatatud Rn-sisalduste mõõtmistulemuste järjekord ühtib Rn-riski järjestusega, kuid otsemõõdetud Rn-sisalduste keskmiste suuruste järjestus on erinev. Rõuge valla keskmine otse-mõõdetud Rn-sisaldus on kolmandiku võrra suurem kui Võru linnas, see tuleneb asjaolust, et Rõuge vallas on enamus asulaid rajatud moreenile ja liustiku vooluvee setetele, kus gaaside liikumine pinnases on intensiivsem kui jääjärve savistes setetes, mis on laialt levinud Võru linnas.

Tabel 11.1. Uuritud valdade geomeetrilised keskmised Rn-sisaldused pinnaseõhus

Omavalitsus	Risk	Rn_1m	Rn_eU
	kBq/m ³		
Seto vald	56	32	45
Võru vald	47	32	40
Võru linn	44	20	38
Rõuge vald	43	30	37
Keila linn	35	18	32
Ruhnu vald	31	4,7	25

Kui võrrelda uuritud valdade keskmisi siseõhu Rn-sisaldusi (tabel 11.2), siis kõige kõrgem on keskmine Rn-sisaldus siseõhus Keila linnas, järgneb Setomaa vald, Rõuge vald, Võru linn, Võru vald ja Ruhnu vald.

Nagu näha, lahkneb siseõhu keskmiste Rn-sisalduste pingerida pinnaseõhu keskmiste pingereast. Keila linna kõrged Rn-sisaldused siseõhus kinnitavad asjaolu, et õhukese pinnakattega alal on Rn-mõõtmine pinnaseõhus komplitseeritud.

Tabel 11.2. Uuritud valdade aritmeetilised keskmised Rn-sisaldused siseõhus

Omavalitsus	Rn-siseõhus	Max
	Bq/m ³	
Keila linn	118	347
Setomaa	96	333
Rõuge vald	67	186
Võru linn	65	190
Võru vald	63	296
Ruhnu vald	23	27

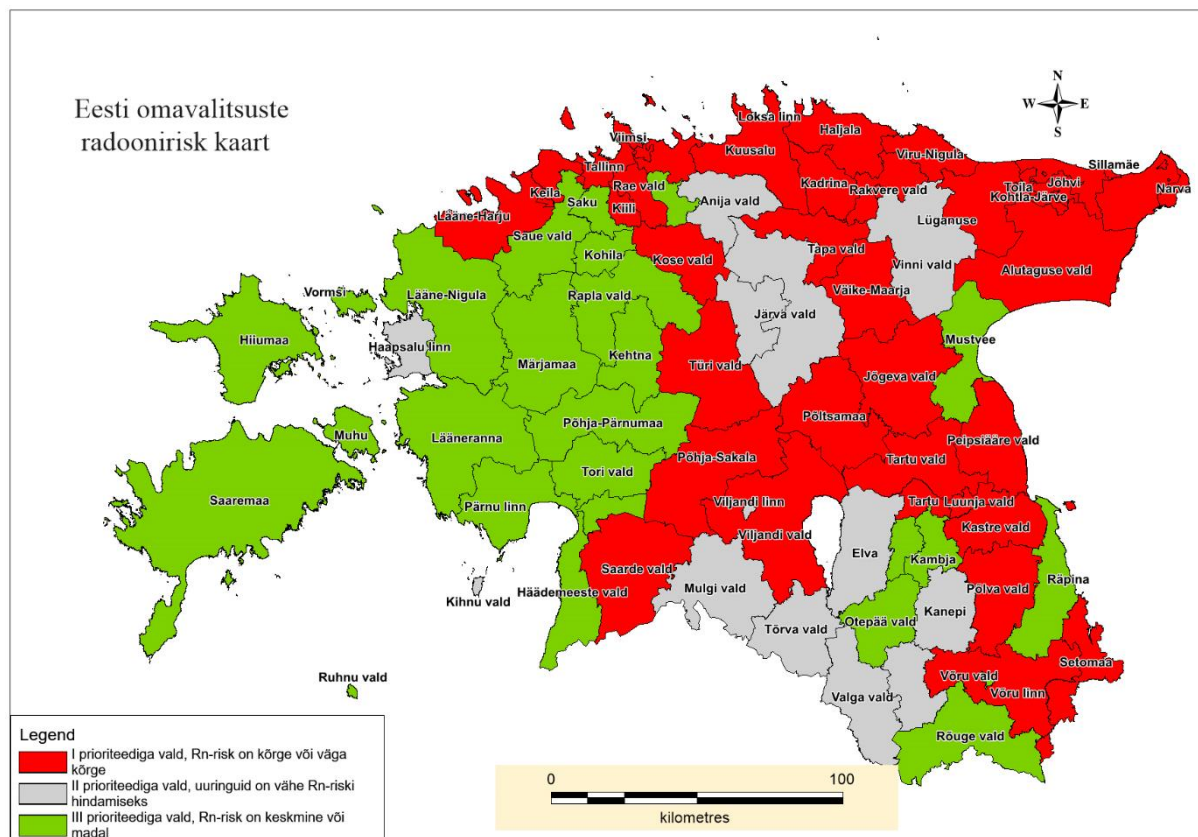
Lähtudes Keila ja Võru linna, Rõuge, Võru, Setomaa ning Ruhnu valla pinnase- ja siseõhus 2019. aastal tehtud Rn-uuringutest ning kõikidest varasematest Eesti Geoloogiateenistuse andmebaasis olevatest pinnase- ja siseõhu Rn-uuringutest, jaotusid uuritud vallad Rn-ohhtlikkuselt vastavalt tabelile 11.3.

Tabel 11.3. Keila ja Võru linna, Rõuge, Võru ja Setomaa ning Ruhnu valla klassifitseerimine prioriteetsuse alusel

Omavalitsus	valla prioriteet
Keila vald	I prioriteediga vald
Võru linn	III prioriteediga vald
Võru vald	I prioriteediga vald
Rõuge vald	III prioriteediga vald
Setomaa vald	I prioriteediga vald
Ruhnu vald	III prioriteediga vald

- 1) **I prioriteediga** alad on kõrgendatud radooniriskiga haldusüksused, neis haldusüksustes on vähemalt 10% radooni aktiivsuskontsentratsiooni määrangutest ehk Rn-risk pinnaseõhus $>75 \text{ kBq/m}^3$;
- 2) **II prioriteediga** alade valikus on täiendava uuringuvajadusega haldusüksused, kus on liiga vähe andmeid radooniohtlikkuse hindamiseks;
- 3) **III prioriteediga** alad on sellised, mille puhul nende geoloogilist ehitust ja radooni mõõtmistulemusi arvesse võttes oli võimalik järeldada, et radoonirisk on seal pigem keskmine või madal.

Töö tulemusena vähenes II prioriteediga valdade arv 19-lt 13-le (joonis 11.1) ja I prioriteediga valdade arv suurenes 37-lt 40-le.



Joonis 11.1. Eesti omavalitsuste Rn-riski kaart aastal 2020

Keskkonnaministri 06.08.2018 määruses nr 28 “Tööruumide õhu radoonisisalduse viitetase, õhu radoonisisalduse mõõtmise kord ja tööandja kohustused kõrgendatud radooniriskiga töökohtadel” lisas toodud kõrgendatud radooniriskiga maa-alade loetelu täienes Keila linna, Setomaa ja Võru vallaga (tabel 11.4).

Tabel 11.4. Kõrgendatud radooniriskiga maa-alade loetelu 2020. a (RT I, 03.08.2018, 4)

Järj. nr	Kõrgendatud radooniriskiga maa-ala	Järj.nr	Kõrgendatud radooniriskiga maa-ala
1	Alutaguse vald	21	Põhja-Sakala vald
2	Haljala vald	22	Põltsamaa vald
3	Harku vald	23	Põlva vald
4	Jõelähtme vald	24	Rae vald
5	Jõgeva vald	25	Rakvere linn
6	Jõhvi vald	26	Rakvere vald
7	Kadrina vald	27	Saarde vald
8	Kastre vald	28	Setomaa vald
9	Keila linn	29	Sillamäe linn
10	Kiili vald	30	Tallinn
11	Kohtla-Järve linn	31	Tapa vald
12	Kose vald	32	Tartu linn
13	Kuusalu vald	33	Tartu vald
14	Luunja vald	34	Toila vald
15	Lääne-Harju vald	35	Türi vald
16	Lüganuse vald	36	Viimsi vald
17	Maardu linn	37	Viljandi vald
18	Narva linn	38	Viru-Nigula vald
19	Narva-Jõesuu vald	39	Väike-Maarja vald
20	Peipsiääre vald	40	Võru vald

Kasutatud kirjandus

BSS 2013. Euroopa Liidu Nõukogu direktiiv 2013/59/Euratom, Euroopa Liidu Teataja, 2014.

Clavensjö, B., Åkerblom, G., 1994. The Radon book, Measures against radon, Stockholm, 129 p.

Eesti Tuletorni Selts.

<http://www.etts.ee/EE/tuletornid/tuletornide-nimekiri/saaremaa/990-ruhnu-tuletorn> - vaadatud 20.01.2020.

EVS 840:2017. Eesti Standardikeskus 04.04.2017 "Juhised radoonikaitse meetmete kasutamiseks uutes ja olemasolevates hoonetes".

<https://www.evs.ee/tooted/evs-840-2017> (vaadatud 22.11.2019)

Isakar, M. 2016. Eesti aluspõhja geoloogilise kaardi näidis (Mare Isakari kogust). Internetis: Maavarade uuringud ei tähenda pelgalt puurimist.

<https://eestigeoloog.ee/kategooriad/geoloogia-ja-maavarad/maavarade-uuringud-ei-tahenda-pelgalt-puurimist>. – vaadatud 10.01.2020.

Kajak K. 1999. Eesti kvaternaarisetete kaart 1:400 000. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 50lk.

[Pinnakatte kaart](#), Maa-amet 2020.

Keskkonnaministri 06.08.2018. a määrus nr 28 „Tööruumide õhu radoonisisalduse viitetase, õhu radoonisisalduse mõõtmise kord ja tööandja kohustused kõrgendatud radooniriskiga töökohtade“.

Keskkonnaministri 06.08.2018 määrus nr 28 „Tööruumide õhu radoonisisalduse viitetase, õhu radoonisisalduse mõõtmise kord ja tööandja kohustused kõrgendatud radooniriskiga töökohtadel“ Lisa „Kõrgendatud radooniriskiga maa-alade loetelu“.

Keskkonnaministri 25.11.2016. a määrus nr 54 „Kiirgustöötaja ja elaniku efektiivdooside seire ja hindamise kord, radionukliidide sissevõtmist põhjustatud dooside doosikoefitsientide ning kiirgus- ja koefaktori väärtused ning nende mõõtmise kord“.

Keskkonnaministri määruse „Tööruumide õhu radoonisisalduse viitetase, õhu radoonisisalduse mõõtmise kord ja tööandja kohustused kõrgendatud radooniriskiga töökohtadel“ eelnõu seletuskiri; https://www.koda.ee/sites/default/files/content-type/content/2018-06/radoon-_SK.pdf.

Maa-ameti aluskaart, 2020. <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Aluskaartide-luhitutvustused-p500.html>. – vaadatud 20.01.2020.

Maa-ameti põhikaart, 2020. <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Aluskaartide-luhitutvustused-p500.html>. – vaadatud 20.01.2020.

Majandus-ja kommunikatsiooniministri 22.02.2019. a määruse nr 49 „Ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord“.

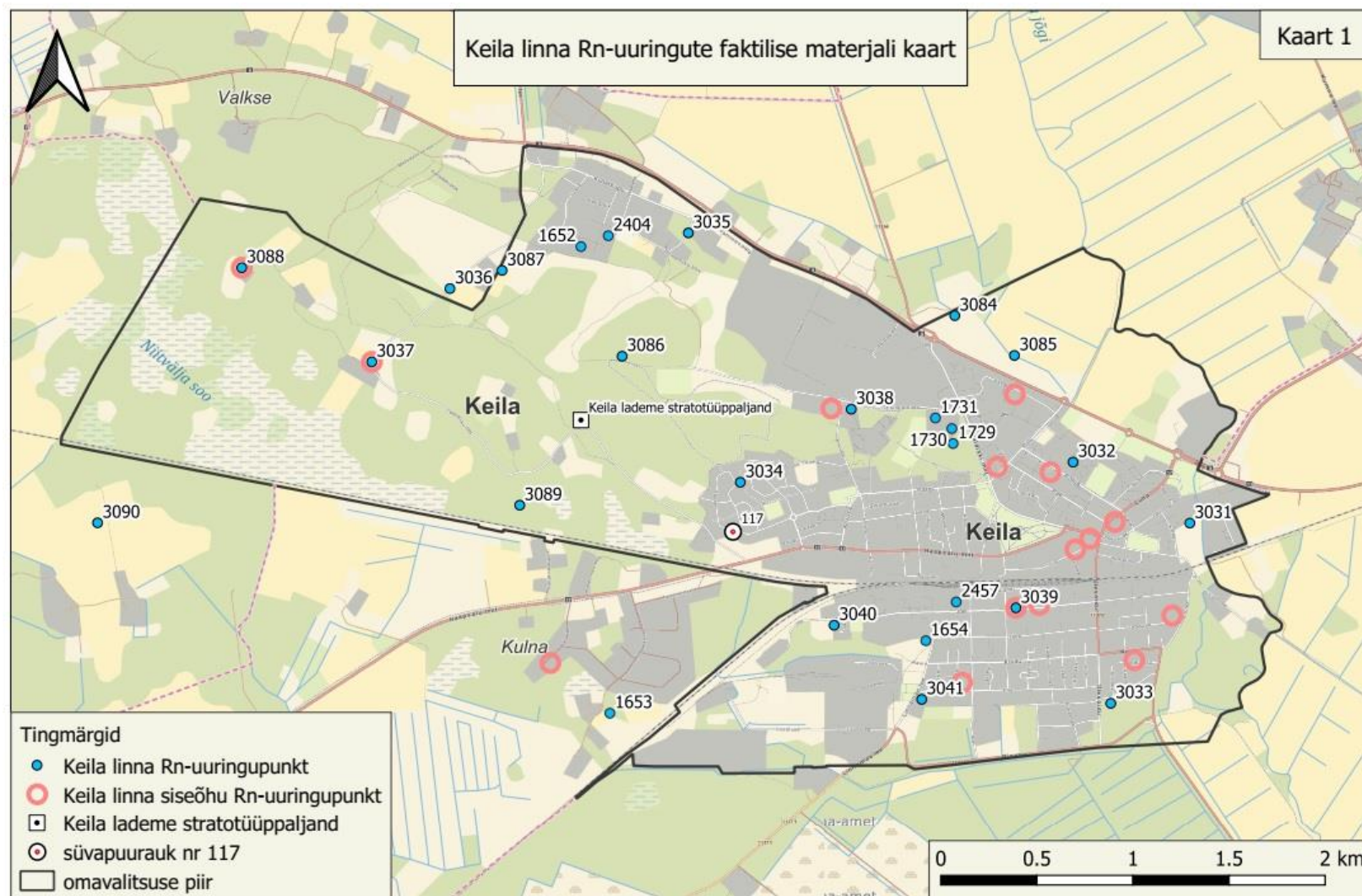
Petersell, V., Åkerblom, G., Ek, B.-M., Enel, M., Möttus, V., Täht, K. 2004. Eesti radooniriski kaart. Seletuskiri. Tallinn-Stockholm, 52.

Petersell, V., Täht-Kok, K., Karimov, M., Lehtmets, K. 2009. Rakvere linna territooriumi radooni-ohtlikkuse uuringu aruanne. EGF 8096.

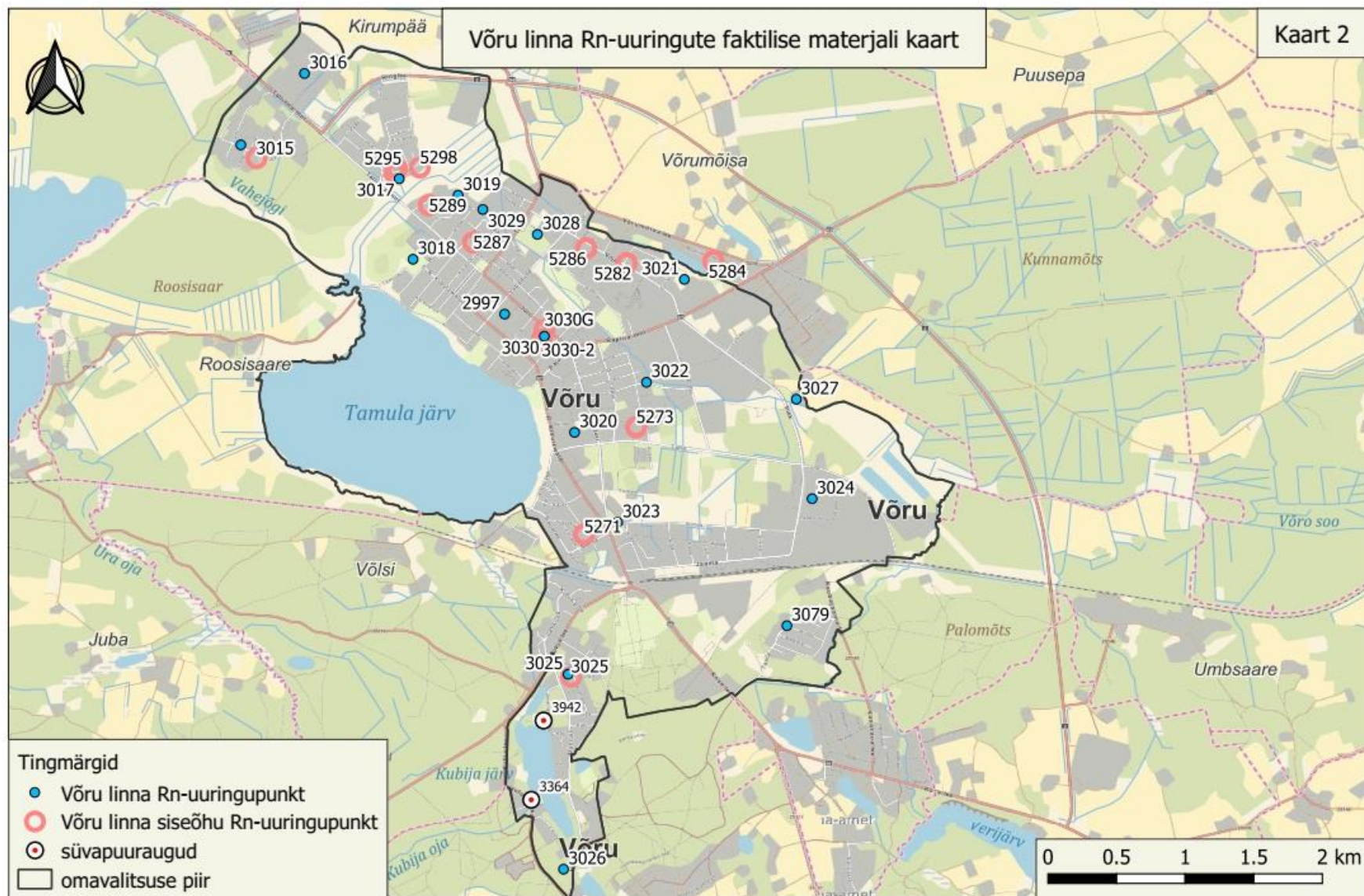
- Petersell, V., Karimov, M., Täht-Kok, K., Shtokalenko, M., Nirgi, S., Saarik, K., Milvek, H. 2017. Eesti pinnase radooniriski ja looduskiirguse atlas. The Atlas of Radon Risk and Natural Radiation in Estonian Soil. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn, 89.
https://www.envir.ee/sites/default/files/eesti_rn_atlas_2017_kyljendatud.pdf (vaadatud 27.11.2019).
- Puursüdamike andmebaas. Maa-amet, 2020. https://geoportaal.maaamet.ee/index.php?action=viewPA&page_id=382&pa_id=4406, vaadatud 20. dets 2019.
- Puuraukude andmebaas VEKA
<https://veka.keskkonnainfo.ee/veka.aspx?type=artikkel&id=21445-7803> vaadatud 12.01.2020.
- Pöldvere, A. 2003. Ruhnu (500) Drill Core. Estonian Geological Sections : Bulletin 5. Eesti Geoloogiakeskus. 76 lk.
- Pöldvere, A., Pöldvere, A., Grünberg, R., Ariva, K., Rohtla, R., All, T. 2016. Baaskaardi Võru (5422) lehe kaardikomplekti koostamine ja digitaalse andmebaasi loomine. Seletuskiri. Tartu, 135 lk.
<https://geoportaal.maaamet.ee/docs/geoloogia/5422Seletuskiri.pdf> vaadatud 15.01.2020.
- Radooni aktiivsuskontsentratsiooni mõõtmine. 2016 (RAM 2016). Keskkonnaministeerium.
https://www.envir.ee/sites/default/files/radooni_mootmise_juhend.pdf (nähtud 27.11.2019)
- Sammet, E.J., Nasonova, L.D., Kiseljov, V. I., 1974. Otčet o rezul'tatah proverki redkometal'nogo orudeneniya v verhnedevonskih otloženiya Pskovskoj oblasti v 1973–1974 gg. Leningrad, EGF 3280.
- Soesoo, A., Miidel, A., Hints, O., Bauert, H., 2006. Põhja-Eesti klint. MTÜ GEOGuide Baltoscandia. Tallinn, 30 lk.
http://gi.ee/geoturism/BKlint_EST_062011_100dpiS.pdf, vaadatud 12. jaan 2020
- Savitskaja, L., Viigand, A. 1994. Aruanne Kambrium-Vendi veekompleksi põhjavee mikrokomponentide ja isotoopkoostise uurimisest joogivee kvaliteedi hindamiseks. Tallinn. EGF 4870.
- Suuroja, K. 1997. Eesti aluspõhja geoloogiline kaart mõõtkavas 1:400 000. Seletuskiri. Eesti Geoloogiakeskus, 60 lk.
- Suuroja, K., Ploom, K., Mardim, T., Morgen, E., Kaljulätte, K., Shtokalenko, M., Vahtra, T. 2014. Eesti geoloogilise baaskaardi Keila (6331) leht.
<https://geoportaal.maaamet.ee/docs/geoloogia/6331Seletuskiri.pdf>, vaadatud 2. dets 2019.
- Täht-Kok, K., Petersell, V., Shtokalenko, M. 2012. High concentrations of Rn in soil air reveal a fracture zone in the bedrock of the Tapa area. 11th International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, 18–19 Sept., Praha.
- Täht-Kok, K. 2018. Radooniuuringute meetodika täiendava uuringuvajadusega haldusüksustele. Rakvere, EGF 8965.
- UNSCEAR 1993. United Nations Scientific Committee on the effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations 54. ISBN 92-1-1-142200-0.
- UNSCEAR 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. (Vol 1, Annex B: Exposures of The Public and Workers from Various Sources of Radiation, p. 404.) New York, 2010.

World Health Organization. 2009. WHO handbook on indoor radon, a public health perspective. H.Z.a.F. Shannoun (Ed.), World Health Organization, Geneva.

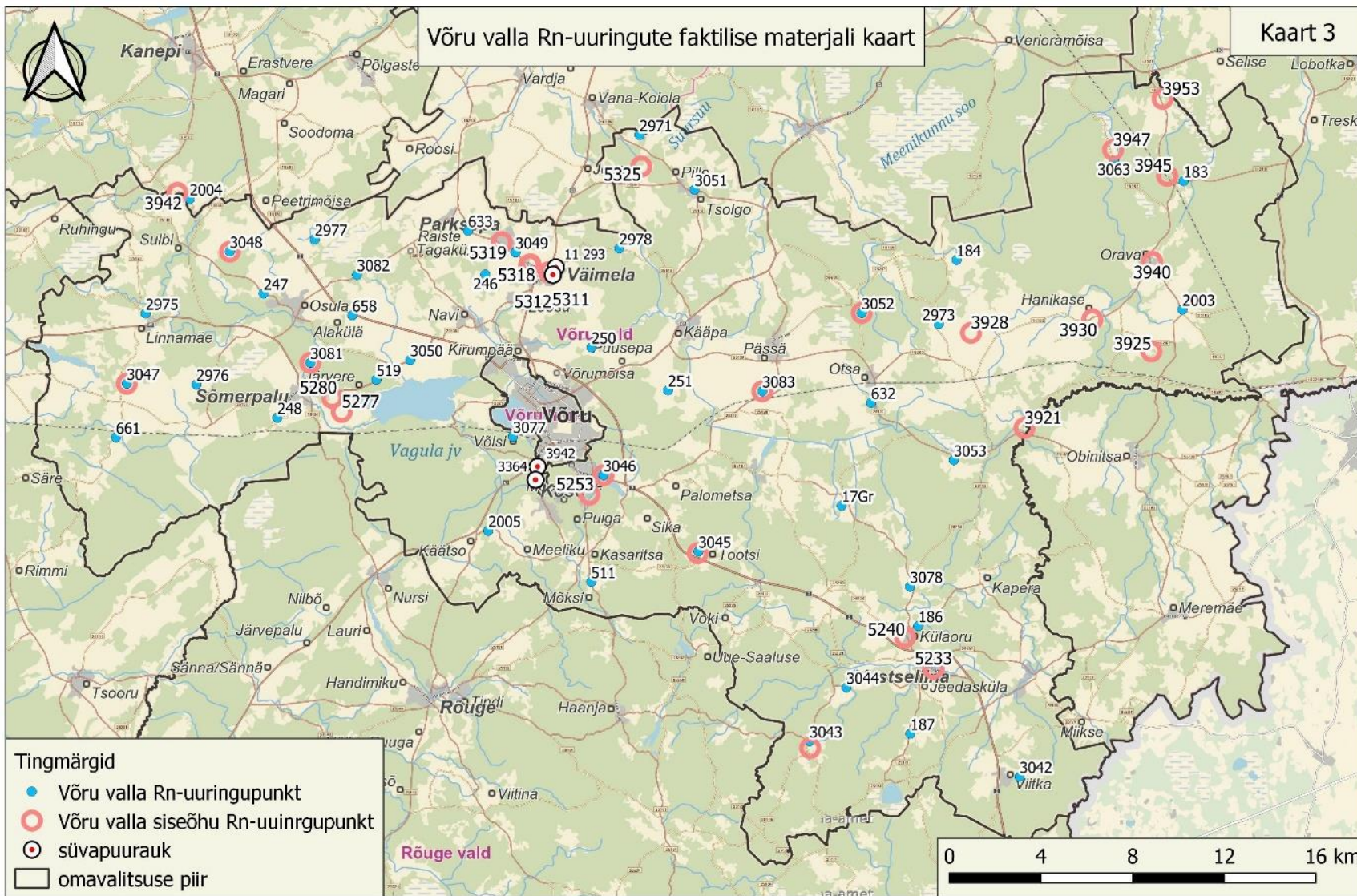
Lisa 1



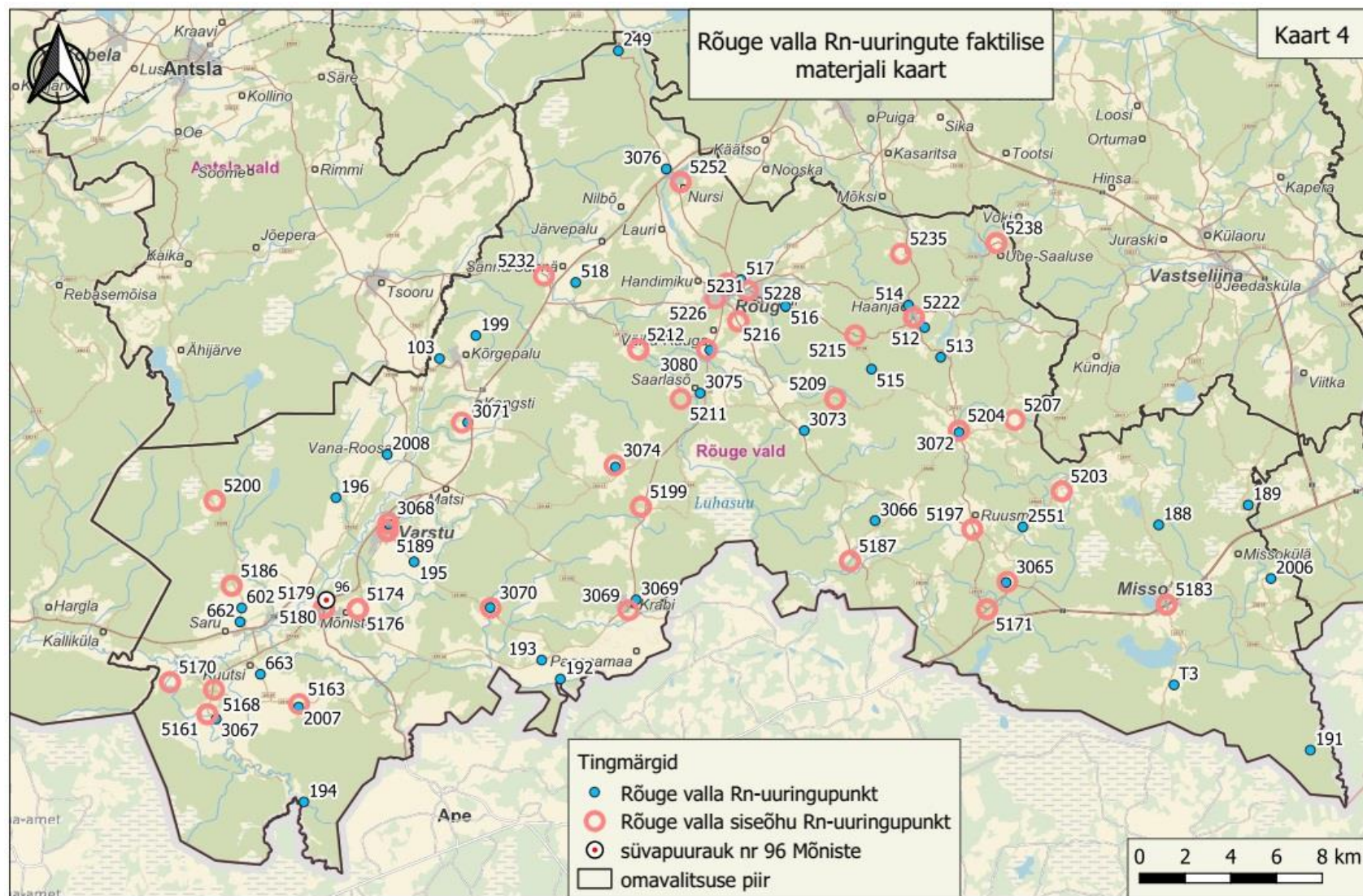
Kaart 1. Keila linna Rn-uuringute faktilise materjali kaart



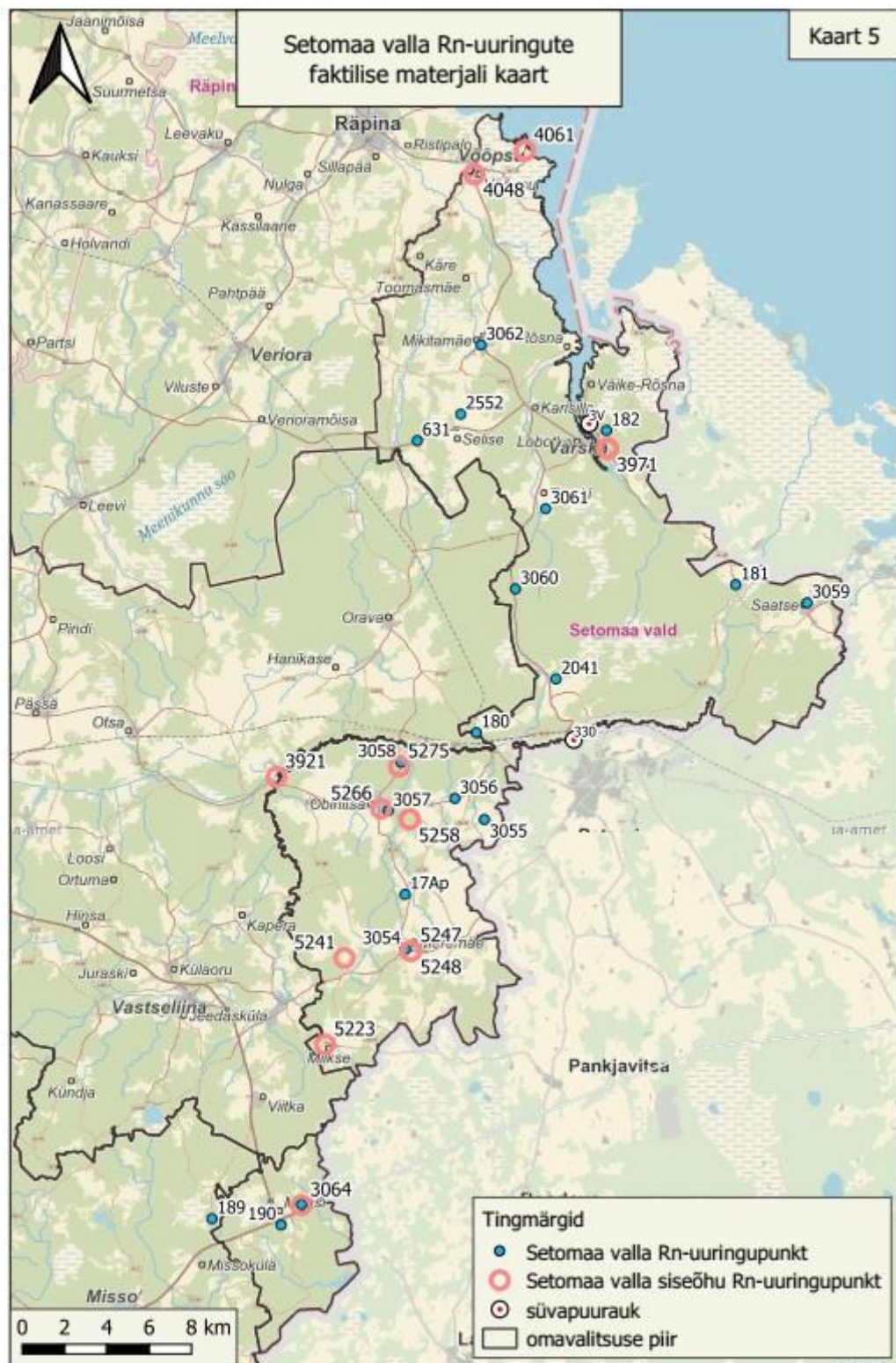
2. Kaart 2. Võru linna Rn-uuringute faktilise materjali kaart



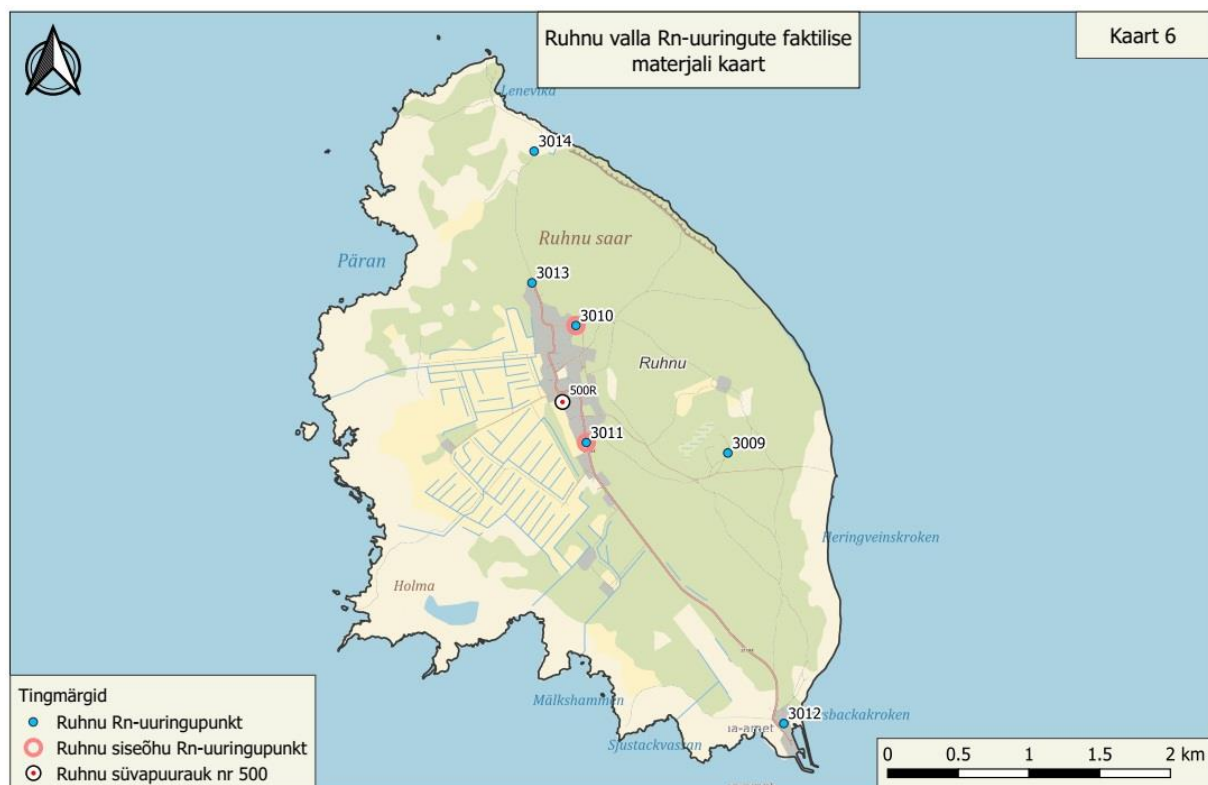
3. Kaart 3. Võru valla Rn-uuringute faktilise materjali kaart



4. Kaart 4. Rõuge valla Rn-uuringute faktilise materjali kaart



5. Kaart 5. Setomaa valla Rn-uuringute faktilise materjali kaart



6. Kaart 6. Ruhnu saare Rn-uuringute faktilise materjali kaart