



KESKKONNAINVESTEERINGUTE KESKUS

Hüdrogeoloogiline uuring kloriidide
päritolu ja sisalduse tõusu põhjuste
väljaselgitamiseks Gdovi põhjaveekogumis
Ahtme ja Rakvere piirkonnas
(LIFE IP CleanEST, tegevuse C.9 aruanne)

Rakvere 2020

KINNITATUD
Eesti Geoloogiateenistuse
Teadusnõukogu otsusega

Hüdrokeoloogiline uuring kloriidide päritolu ja sisalduse tõusu põhjuste väljaselgitamiseks Gdovi põhjaveekogumis
Ahtme ja Rakvere piirkonnas

ARUANNE

Töögrupi juht: Merle Truu
Töögrupi liikmed: Valle Raidla

Soovitav viitamine: Raidla, V., Truu, M., 2020. Hüdrokeoloogiline uuring kloriidide päritolu ja sisalduse tõusu põhjuste väljaselgitamiseks Gdovi põhjaveekogumis Ahtme ja Rakvere piirkonnas. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Aruanne on valminud LIFE IP CleanEST projekti raames, mida rahastavad Euroopa Komisjoni LIFE programm ja SA Keskkonnainvesteeringute Keskus. LIFE programmi rahastusleping nr LIFE17 IPE/EE/000007. Aruanne kajastab autori seisukohti ja Euroopa Komisjon ei vastuta sisu kasutamise eest.

Sisukord

Tabelite nimekiri.....	4
Jooniste nimekiri	4
Annotatsioon.....	6
1. Sissejuhatus.....	7
2. Uuringu ala ülevaade	11
2.1. Kambriumi-Vendi Gdovi ja Voronka põhjaveekogumid.....	11
2.2. Ahtme veehaarde kirjeldus.....	14
2.3. Piira veehaarde kirjeldus.....	16
3. Metoodika	19
4. Tulemused ja analüüs.....	24
5. Soovitused	36
Kokkuvõte.....	37
Summary.....	38
Kasutatud kirjandus.....	40
Lisad.....	43

Tabelite nimekiri

Tabel 1. Seire- ja tarbepuurkaevud, millest käesoleva uuringu raames võeti 2019. a veeproovid..... 20

Tabel 2. Käesoleva uuringu raames kogutud veeproovide isotoop- ja keemilised analüüsid..... 25

Jooniste nimekiri

Joonis 1. Riiklikusse põhjaveeseiresse kaasatud Gdovi põhjaveekogumit avavate puurkaevude pikaajalised kloriidi sisaldused koos veetvõtuga 8

Joonis 2. Balti arteesiabasseini hüdroteoloogiline läbilõige 9

Joonis 3. Kambriumi-Vendi Gdovi ja Voronka põhjaveekogumite piirid 11

Joonis 4. Kirde-Eesti hüdroteoloogilise läbilõike skeem. 12

Joonis 5. Voronka ja Gdovi põhjaveekogumite puurkaevude ning Ahtme veehaarde (punane ovaal) paiknemine 14

Joonis 6. Aasta keskmine veevõtt ja Cl^- sisaldus Ahtme veehaarde puurkaevudes aastatel 2011 – 2019 15

Joonis 7. Voronka ja Gdovi põhjaveekogumite puurkaevude ning Piira veehaarde (punane ring) paiknemine 17

Joonis 8. Aasta keskmine veevõtt ja Cl^- sisaldus Piira veehaarde puurkaevudes aastatel 1984 – 2019 18

Joonis 9. Puurkaevude asukohad, kust käesoleva uuringu raames koguti 2019. aastal veeproove 19

Joonis 10. Uuringus kasutatud Voronka puurkaevude asukohad 22

Joonis 11. Uuringus kasutatud Gdovi ja Gdov+Voronka tüüpi puurkaevude asukohad 23

Joonis 12. Piper diagramm uuringus kasutatud Virumaa Voronka ja Gdovi puurkaevudega 24

Joonis 13. Voronka põhjaveekogumi Cl^- sisaldus. Ruut – Gdov+Voronka tüüpi puurkaev; ring – Voronka puurkaev 27

Joonis 14. Voronka põhjaveekogumi isotoopkoostis. Ruut – Gdov+Voronka tüüpi puurkaev; ring – Voronka puurkaev 27

Joonis 15. Voronka veekihi võimalik sooldumise skeem läbi reservis oleva Gdov+Voronka tüüpi puurkaevu 28

Joonis 16. Gdovi põhjaveekogumi isotoopkoostis. Ruut – Gdov+Voronka tüüpi puurkaev; ring – Gdovi puurkaev	29
Joonis 17. Gdovi põhjaveekogumi Cl^- sisaldus. Ruut – Gdov+Voronka tüüpi puurkaev; ring – Gdovi puurkaev	29
Joonis 18. Ahtme veehaarde lähikonna Gdovi ja Gdov+Voronka tüüpi puurkaevude veevõtt ja kloriidi sisaldused aastate lõikes	30
Joonis 19. Piira veehaarde lähikonna Gdovi ja Gdov+Voronka puurkaevude veevõtt ja kloriidi sisaldused aastate lõikes.....	31
Joonis 20. Ca^{2+} ja Na^+ suhte muutus põhjavees tulenevalt kloriidi allikast	32
Joonis 21. Kloriidi allikat indikeeriva Ca^{2+} ja Na^+ suhte variatsioon Gdovi põhjaveekogumis. Ruut – Gdov+Voronka tüüpi puurkaev; ring – Gdovi puurkaev.....	33
Joonis 22. Kloriidi sõltuvus Gdov+Voronka tüüpi puurkaevude filtrite pikkuste suhtest uuringuala piires	34

Annotatsioon

Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekogumi hea keemilise seisundiklassi üheks tingimuseks on kloriidi kontsentratsiooni kasvusuundumuste puudumine, mis viitaks inimtegevusest tingitud põhjavee sooldumisele. Gdovi põhjaveekogumis on registreeritud joogivee piirsisaldusest kõrgemaid kloriidi sisaldusi, mis piirab selle põhjavee kasutamist joogiveena. Uurigu eesmärgiks on selgitada kloriidi päritolu ja sisalduste tõusu põhjuseid Kohtla-Järve linna Ahtme veehaarde ja Rakvere linna Piira veehaarde Gdovi ja Voronka veekihte avavates puurkaevudes.

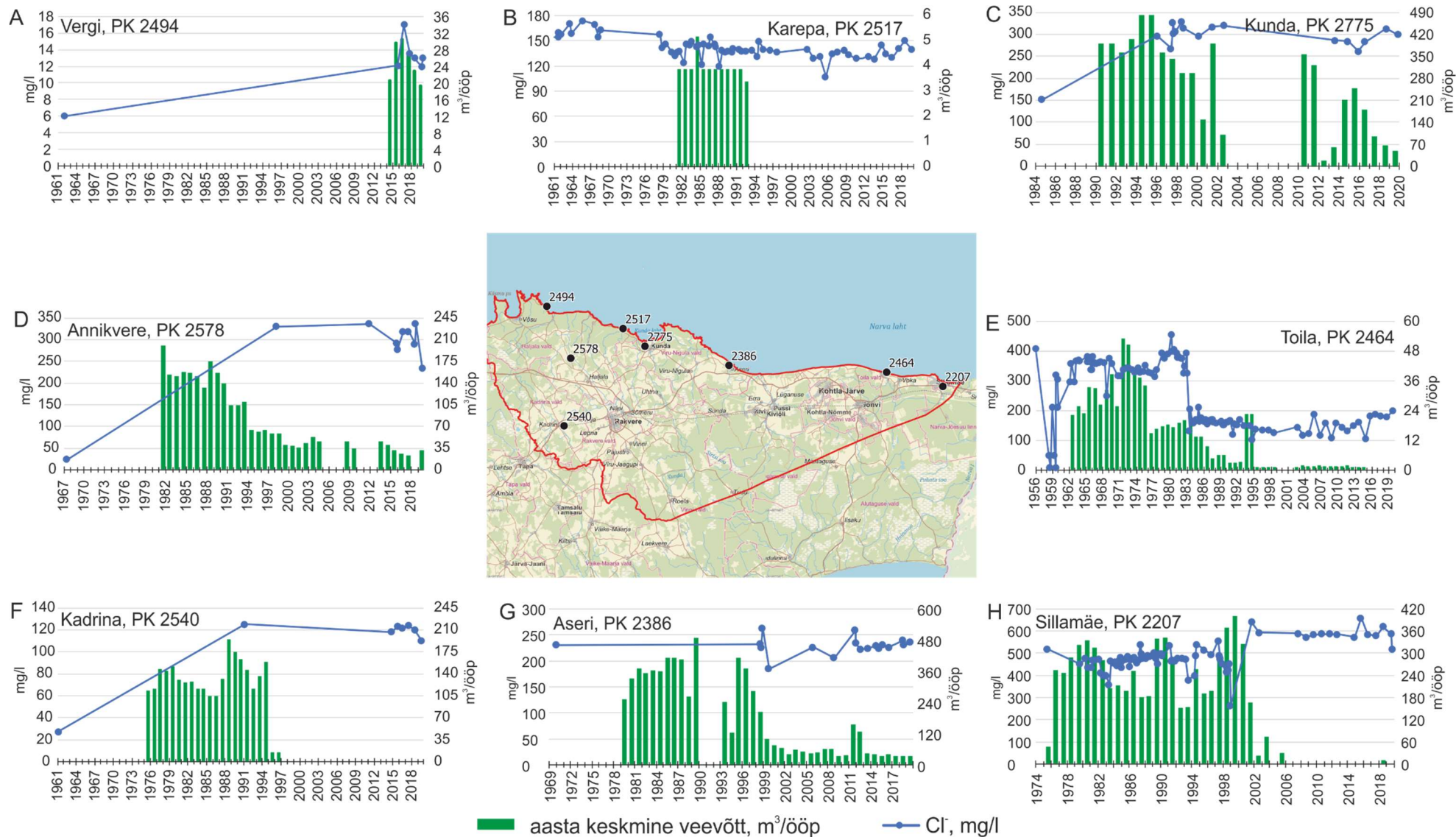
Uuringu läbiviimiseks koguti 41 Voronka ja Gdovi põhjaveekogumisse kuuluvast puurkaevust veeproove põhjavee keemilise ja isotoopkoostise analüüsimiseks. Uuringu tulemusena järeldus, et kloriidi sisalduse tõus Rakvere linna Piira veehaarde Gdovi ja Voronka veekihte koos avavates puurkaevudes tuleneb tõusvast soolase vee sissevoolust aluskorrast ning Ahtme veehaardes lõunapoolsema, kõrge kloriidisisaldusega põhjavee sissetungist ja võimalikust magedama Voronka veekihi ammendumisest veehaarde keskosas.

Välitöödel osalesid ja töö koostasid Valle Raidla ja Merle Truu.

1. Sissejuhatus

23. oktoobril 2000. a võeti vastu Euroopa Parlamendi ja Euroopa Nõukogu direktiiv 2000/60/EÜ, millega kehtestati ühenduse veepoliitikaalane tegevusraamistik. Direktiivi lisa V punkti 2 alusel on liikmesriigid kohustatud läbi viima põhjaveekogumite koguselist ja keemilist seiret, et hinnata põhjaveekogumite seisundit ning direktiivikohaste keskkonnanäesmärkide saavutamist. Põhjaveekogumi hea keemilise seisundiklassi üheks tingimuseks on kloriidi kontsentratsiooni kasvusuundumuste puudumine, mis viitaks inimtegevusest tingitud põhjavee sooldumisele. Seoses veevõtuga Tallinnas ja selle lähikonnas on Kambriumi-Vendi (Cm-V) põhjaveekihi täheldatud olulist soolsuse suurenemist, mida on seletatud kloriidirikka põhjavee tõusuga lamavast aluskorrast (Karro jt, 2004; Raidla jt, 2020). Ka Virumaal on Cm-V põhjaveekompleksis levivale veele piirkonniti omane joogivee piirsisaldusest 250 mg/l (Sotsiaalministri 24.09.2019 määrus nr 61) kõrgemad kloriidi sisaldused (joonis 1), mis piirab Gdovi põhjaveekogumi (põhjaveekogum nr 1) põhjavee kasutamist joogiveena. Seisundi indikaatoriks Gdovi põhjaveekogumis on sätestatud kloriidi läviväärtuse 500 mg/l ületamine (Keskkonnaministri 01.10.2019 määrus nr 48). Riikliku põhjaveeseire käigus on täheldatud kloriidi läviväärtusest kõrgemaid kloriidi sisaldusi seni vaid Sillamäe seirekaevus (PK 2207; joonis 1), mille tehniline seisukord on aga hinnatud küsitavaks (Raidla jt, 2019a).

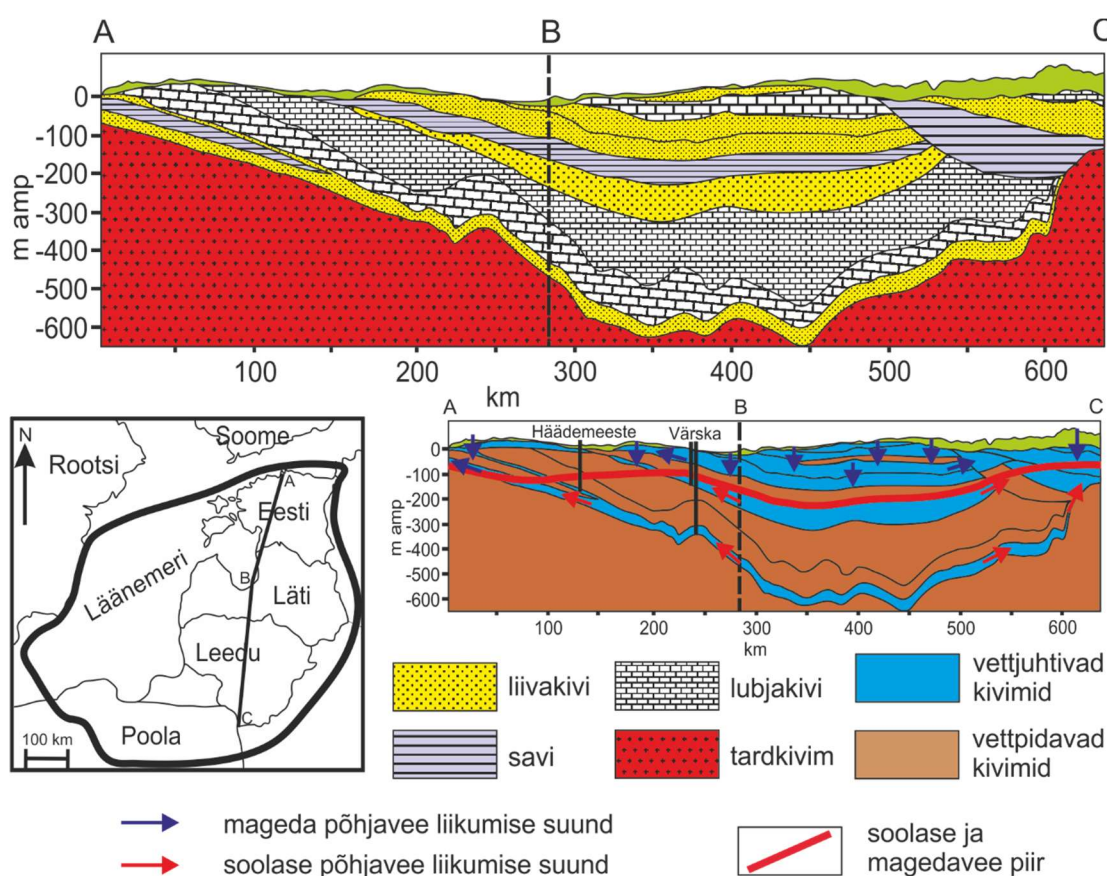
Gdovi põhjaveekogumi kõrgemaid kloriidi sisaldusi on selgitatud põhjavee survepinna alanemisest põhjustatud soolasema vee sissetungiga aluskorra murenemiskoorikust (nt Savitskaja ja Viigand, 1994; Perens jt, 2010; Raidla jt 2012; Marandi jt, 2019). Lisaks on Gdovi kogumi kõrget kloriidi sisaldust seostatud lõunapoolse soolasema põhjavee sissetungiga (Savitskaja ja Viigand 1994; Raidla jt, 2009; Perens jt, 2010). Eesti asub Balti arteesiabasseini põhjanõlval, mis on osa suuremast Lääne-Venemaa settebasseinist. Tegemist on maakoore süviku ehk sünekliisiga, mis on pika geoloogilise aja jooksul (600 kuni 300 miljonit aastat) täitunud erinevate setetega (joonis 2), mille pooriruumi jäi ka suures koguses settimisaegset merevett (Pirrus, 2001). Tänapäevaks on see iidne merevesi ehk süngeneetiline põhjavesi (*syn* - kreeka keelest sama(aegne)) säilinud arteesiabasseini sügavamas osas (Lätis, Leedus, Kaliningradi oblastis, Poolas), kus mageda põhjavee sissetungi mõju on jäänud piiratuks või puudub hoopiski. Olemuslikult on Eesti Kambriumi-Vendi ja Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihtides leiduvate mineraalvete (nt Värskas, Häädemeeste) puhul tegemist erinevat päritolu vete seguga, kus keemiliselt domineerib eelmainitud iidne, merelise päritoluga vesi (Raidla jt, 2009; Pärn jt, 2016; Gerber jt, 2017). Selle soolasema põhjavee täpne levik Põhja-Eestis on piiritlemata ning on võimalik, et kogumi piirialadel toimub süngeneetilisest signaali kandva põhjavee pealetung, mis on tõstnud ka põhjavee soolsust Gdovi põhjaveekogumi lõunapoolsetes veehaardetes.



Joonis 1. Riiklikusse põhjaveeseiresse kaasatud Gdovi põhjaveekogumit avavate puurkaevude pikaajalised kloriidi sisaldused koos veetvõtuga

Gdovi põhjaveekogumi põhjaosas esineb aga ka puurkaeve, kus kloriidi sisaldused on märgatavalt madalamad kui kogumis tavapäraselt. Selle põhjuseks on sügavad ürgorud, mis lõikuvad sügavale aluspõhja, kohati kuni Gdovi liivakivini. Läbi nende veepideme katkestuste toimub oluline magedama põhjavee infiltreerumine Gdovi kogumisse põhjustades lokaalseid põhjavee magedumise ilminguid.

Gdovi põhjaveekogumisse olid arvatud ka Gdov+Voronka tüüpi puurkaevud, kuigi Gdovi ja Voronka põhjaveekihtid erinevad oluliselt oma loodusliku kloriidi sisalduse poolest, vastavalt 200 – 600 mg/l ja 10 – 200 mg/l (Savitskaja ja Viigand, 1994; Raidla jt, 2009). See on muutnud küsitavaks Gdovi ja segutüüpi (Gdov+Voronka) puurkaevude soolsuse võrreldavuse kuna magedam Voronka vesi võib avaldada olulist lahjendavat mõju puurkaevu vee soolsusele.



Joonis 2. Balti arteesiabasseini hüdroteoloogiline läbilõige (tehtud Raidla jt 2016 põhjal)

Töö peamiseks eesmärgiks oli kloriidi tõusust ohustatud alade detailsem piiritlemine ning kloriidi päritolu ja sisalduse tõusu põhjuste väljaselgitamine Gdovi põhjaveekogumis. Samuti täpsustati Gdovi ja Voronka põhjaveekogumite ala, kus ürgorgudest lähtuv ülemiste põhjaveekihtide põhjavee sissevool mõjutab nende kogumite kloriidi sisaldust. Uuringus võeti suurema tähelepanu alla Rakvere linna Piira veehaare ja Kohtla-Järve linna Ahtme veehaare, kus kloriidi sisaldused erinevad märkimisväärselt kuigi hüdroteoloogiliste ja tehniliste näitajate poolest on veehaarded väga sarnased. Töö käigus selgitati,

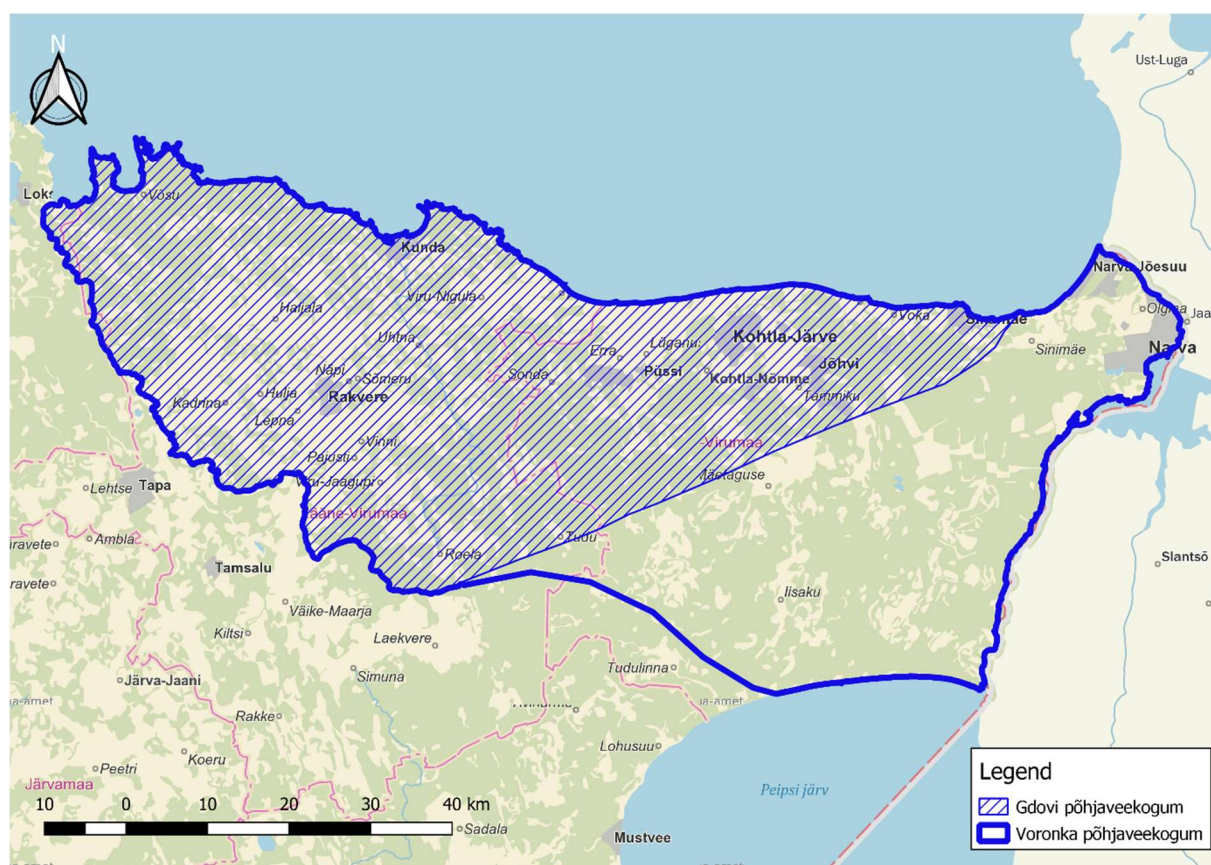
kas nende veehaarete Gdov+Voronka tüüpi puurkaevude kloriidi sisalduste ja veevõtu vahel esineb selget seost ning kas kaevudes domineerib pigem Gdovi või Voronka veekihile omane põhjavesi.

Käesolev hüdroteoloogiline uuring on koostatud vastavalt Keskkonnaministeeriumi ja Eesti Geoloogiateenistuse (EGT) vahel 17. juulil 2019 sõlmitud koostöökokkuleppe lepingule nr 4-6/50/3. Nimetatud partnerlusleping on sõlmitud seoses projektiga LIFE IP CleanEST (LIFE Grant Agreement no LIFE17 IPE/EE/000007; 14. detsember 2018). EGT poolt läbi viidavad uuringud aitavad täita LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C.9 eesmärgi, mis on vajalikud veemajanduskava (VMK) 2015–2021 perioodi põhjavee meetmeprogrammi täitmise tagamiseks ja sisendiks järgneva perioodi VMK koostamisel. Uuring aitab kaasa Vabariigi Valitsuse 07. jaanuaril 2016. aastal kinnitatud Ida-Eesti vesikonna veemajanduskava vee kaitse ja kasutamise abinõude planeerimisele Ida-Eesti vesikonnas ja seatud eesmärkide elluviimisele.

2. Uuringu ala ülevaade

2.1. Kambriumi-Vendi Gdovi ja Voronka põhjaveekogumid

Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekogum paikneb Ida-Eesti vesikonnas Ida- ja Lääne-Viru maakonna territooriumil, levides Loksalt kuni Sillamäe idapiirini (joonis 3). Põhjaveekogumi piirid on määratletud võrdlemisi tinglikult. Kogumi põhjapiir kattub rannajoonega, kuid magedat vett on märkimisväärses koguses ka mere all (Perens jt, 2012). Põhjaveekogumi lõuna- ja idapiir on veelgi tinglikum kuna markeerib vaid kloriidi sisaldust 350 mg/l, mis oli varasemalt Gdovi põhjaveekogumi põhjaveele kehtestatud läviväärtus. Kogumi piirist väljaspool (ida ja lõuna suunas) Gdovi veekiht jätkub, kuid kuna seda ei ole seal võimalik suure soolsuse tõttu veevarustuses kasutada, siis on see osa veekihist põhjaveekogumist välja arvatud.



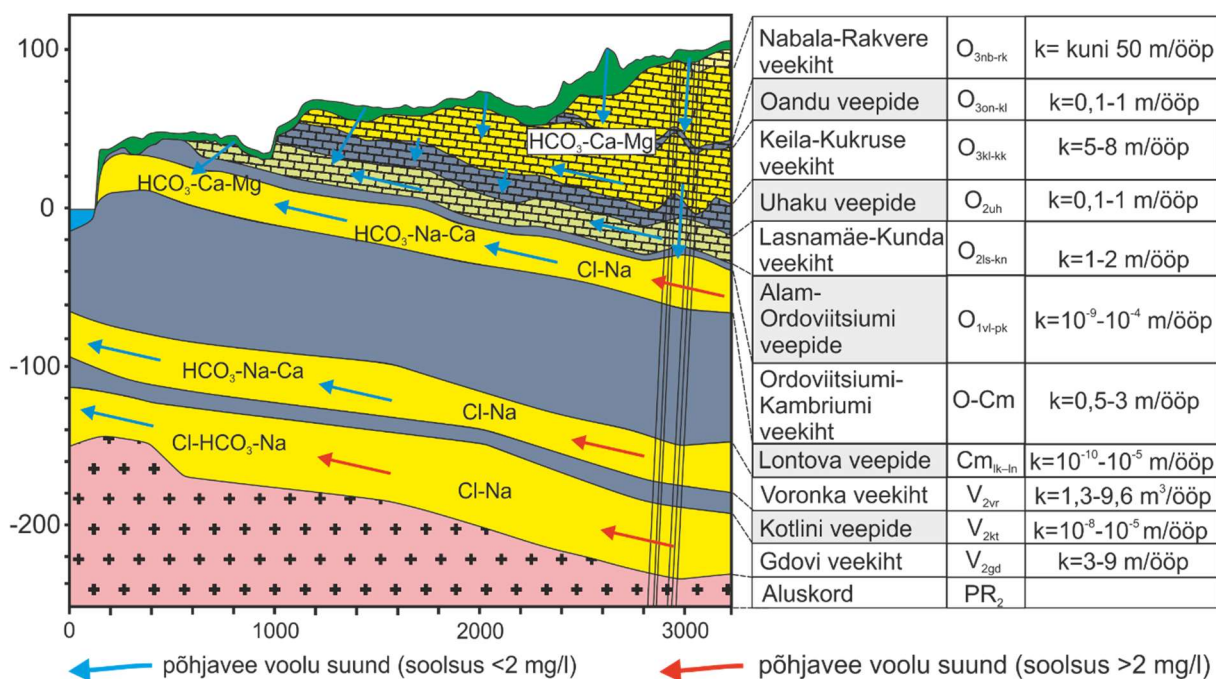
Joonis 3. Kambriumi-Vendi Gdovi ja Voronka põhjaveekogumite piirid

Gdovi põhjaveekogumi vettandva kivimi moodustab peamiselt segateraline Ediacara liivakivi ja aleuroliit, mille paksus Soome lahe rannikul ulatub 40 kuni 60 m, kuid väheneb lõuna suunas (joonis 4). Lateraalne filtratsioonikoefitsient on valdavalt 3 kuni 9 m/ööp. Liivakivi poorsus muutub vahemikus 0,05 kuni 0,5. Põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivus on 100 kuni 500 m²/ööp (keskmine 240 m²/ööp; Marandi jt, 2019).

Lasuvaks veepidemeks on Kotlini lademe (V_{2kt}) aleuoliidid ja savid, mis levivad enamuse Virumaa ulatuses kuni 50 m paksuse lasundina, kiildudes välja Kunda-Tapa joonel (Vallner, 1997). Veepideme vertikaalne filtratsioonikoefitsient jääb vahemikku 10^{-8} kuni 10^{-5} m/ööp, mis näitab tugevat isolatsioonivõimet (Marandi jt, 2019). Põhjaveekogumi lamavaks veepidemeks on kristalne aluskord, mis juhib vähesel määral vett ainult selle murenenud ülemises osas (erideebit kaevudes vaid 0,1 kuni 0,2 l/(m·s); Perens ja Vallner, 1997). Murendi paksus Virumaal ulatub 20 kuni 60 m.

Kuigi Gdovi põhjaveekogum on ülemisest Voronka põhjaveekogumist isoleeritud, on kogumite vahel loodud hüdrokeoloogiline seos läbi veehaarete, kuhu on rajatud n-ö segutüüpi kaevud (V_{2gd+vr}), mis avavad nii Gdovi kui Voronka veekihte koos. Seega võib põhjaveekogumi teiseks lasuvaks veepidemeks lugeda Lükati–Lontova (C_{lk-ln}) regionaalset veepidet, kus levivad samanimeliste Alam-Kambriumi kihistute aleuoliidid ja savid. Veepideme maksimaalsed paksused Kirde-Eesti rannikualadel ulatuvad 90 kuni 100 m, vähenedes lõuna suunas. Veepide on väga tugeva isolatsioonivõimega ja selle vertikaalne filtratsioonikoefitsient jääb enamasti vahemikku 10^{-10} kuni 10^{-5} m/ööp (Marandi jt, 2019). Lontova savid on osaliselt säilitanud oma plastsuse ning tektoonilised rikked neis ei mõjuta oluliselt lasumi filtratsiooniomadusi. Küll aga teevad seda sügavad ürgorud, mis kohati lõikavad veepideme täies ulatuses läbi. Seda peamiselt kogumi loodenurgas, kus glatsiaalsed päritolu põhjaveed on ulatuslikul alal segunenud pindmiste põhjavetega või nende poolt täielikult asendatud.

Lasuv Voronka põhjaveekogum kattub lääneosas Gdovi kogumiga, aga ida pool levib kuni Narva jõeni ja Peipsi järveni (joonis 3). Filtratsiooni parameeter on Voronka veekihi enamasti väiksem kui Gdovi veekihi ning ka vee soolsus ja kloriidi sisaldus on väiksem.



Joonis 4. Kirde-Eesti hüdrokeoloogilise läbilõike skeem

Põhjavesi liigub Gdovi (kui ka Voronka) põhjaveekogumis looduslikult loode suunas jälgides Balti arteesiabasseini alumiste põhjaveekihtide vete üldist liikumissuunda. Põhjaveekogumi looduslikuks väljelaaks on Soome laht. Seoses kunagise intensiivse põhjaveevõtiga on väljakujunenud põhjaveevoolu suuna muutus Soome lahelt maismaa suunas ning põhjaveevool on jagunenud suuremate veehaarete (Rakvere, Jõhvi ja Kohtla-Järve) suunas (Vallner, 1997). Gdovi kogumi põhjavee looduslik survepind oli 0 kuni 2 m üle merepinna, kuid seoses intensiivse põhjavee tarbimisega on survepind oluliselt langenud. 1990ndate aastate alguseks oli põhjavee survepind kohati alanenud esialgsest looduslikust tasemest madalamale, kuni 50 m alla merepinna (Pererns jt, 2012). Hiljem on survepind tõusnud kuni praeguse tasemeni, 5 kuni 10 m alla Soome lahe veetaset. Viimastel aastatel on veetaseme tõus olnud 0,1 kuni 0,8 m aastas (Keskkonnaagentuur, 2019).

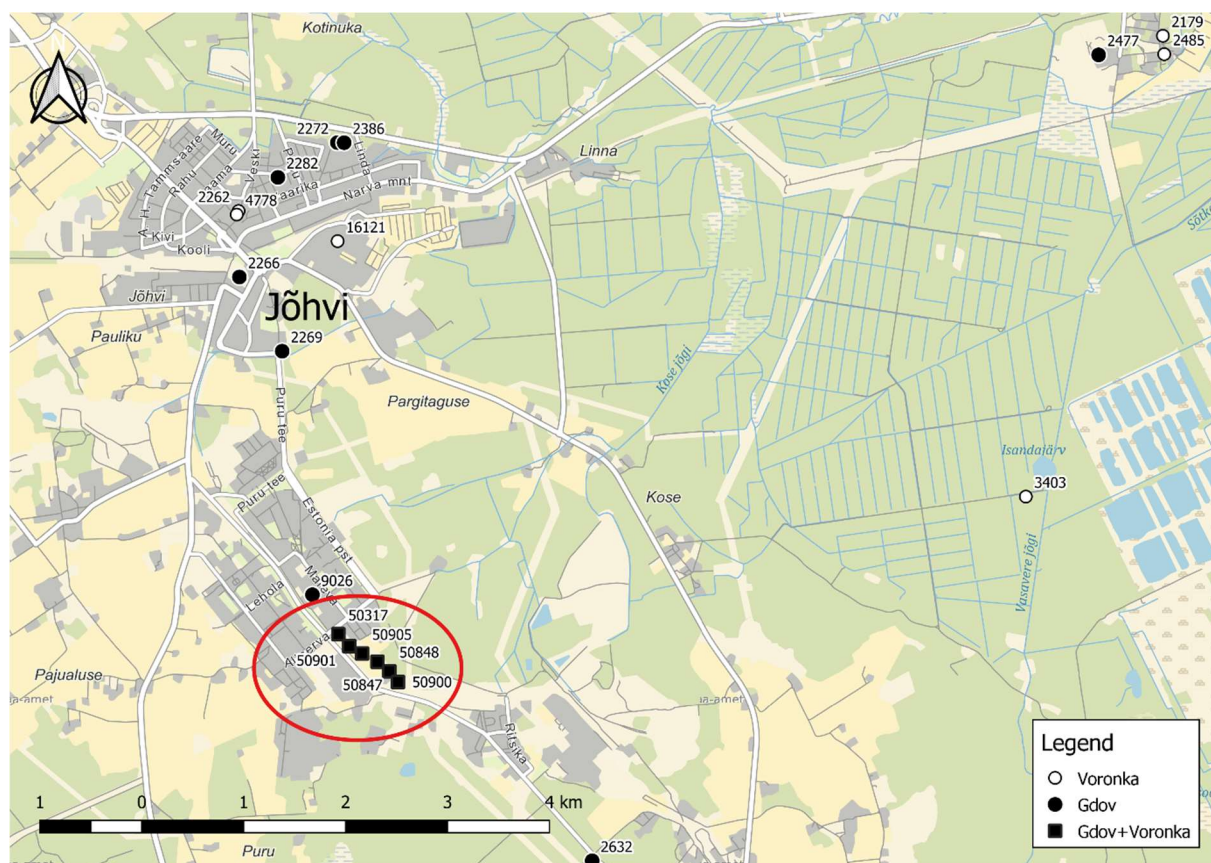
Nii Gdovi kui lasuva Voronka põhjaveekogumite veed on kujunenud enam kui 10 000 aastat tagasi Eesti ala katnud mandriliustiku sulavetest tekkinud põhjavee ja lõunapoolse relikitse Na-Cl tüüpi süngeneetilise põhjavee segunemisel (Raidla jt, 2009) ning põhimõtteliselt on tegemist taastumatu loodusvaraga. Kogumid toituvad looduslikult basseini lõunapoolsete vete arvelt ja ürgorgude kohal läbi Kvaternaari setete infiltreeruvast sademete veest (näiteks Toila alevik, kus $\delta^{18}\text{O}$ väärtus on $-15,7\text{‰}$, Vaikmäe jt, 2020). Oluline ürgorgude mõju Gdovi põhjaveekihi toitumisele võib olla ainult kogumi loodeosas (Kundast läänes), kus levib laialdane aluskorrani ulatuvate ürgorgude võrgustik. Samuti on ürgorgudest pärineva noorema põhjavee esinemine väga iseloomulik Voronka põhjaveekogumi loodeosale, kus glatsiaalne komponent põhjavees jääb valdavalt alla 10% (Raidla jt, 2009) ning levib kogumile ebatüüpiliselt madala kloriidisisaldusega Ca-HCO_3 tüüpi põhjavesi, mis oma isotoopkoostiselt vastab pindmistele põhjavetele (Raidla jt, 2009, 2016).

Gdovi põhjaveekogumi põhjavesi on keemiliselt koostiselt Na-Cl- HCO_3 -tüüpi, mineraalsusega 0,4–1,4 g/l sõltudes erineva geneesiga (glatsiaalne, süngeneetiline või meteoorne) põhjavete segunemisvahekordadest. Põhjavee mineraalsus suureneb kogumis ida ja lõuna suunas. Keemilist koostist on kujundanud ka liustiku sulavete poolt sisse kantud orgaanilised ühendid, mis on andnud põhjaveele looduslikult kõrged gaaside (peamiselt metaani ja lämmastiku) ning NH_4^+ sisaldused (Raidla jt 2019b).

Gdovi põhjaveekogumisse kuuluvaid puurkaeve omavad mitmed suuremad Virumaa veehaarded (nt Kunda, Aseri, Toila, Ahtme, Sillamäe ja Rakvere). Kundas ja Sillamäel igapäevast veevõttu Gdovi veekihi siiski ei toimu, kuid Aseri ja Toila veevarustus sõltub suures osas Gdovi veekihi. Rakvere ja Ahtme veevarustus baseerub aga peamiselt n-ö segutüüpi kaevudel, mis avavad nii Gdovi kui Voronka põhjaveekogumeid koos.

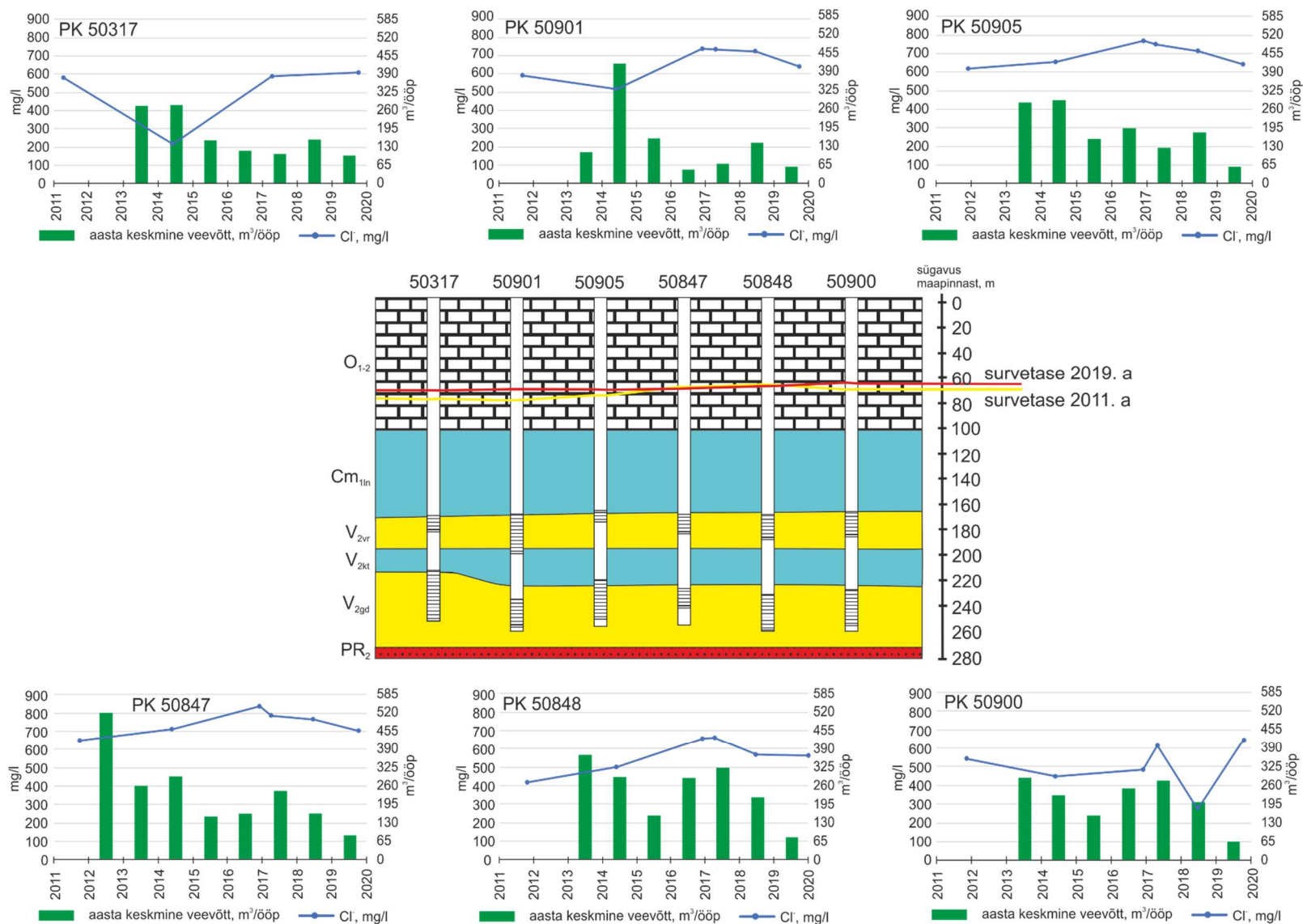
2.2. Ahtme veehaarde kirjeldus

Ahtme veehaardesse kuuluvad 6 Gdov+Voronka tüüpi puurkaevu (katastrinumbrid: 50900, 50848, 50847, 50905, 50901, 50317), mis rajati 2011. aastal ning need paiknevad suhteliselt lähestikku Kohtla-Järve linna Ahtme linnaosa keskel (joonised 5 ja 6). Kohtla-Järve linna Järve ja Ahtme linnaosades varustatakse tarbijaid 2012. a rajatud Ahtme veetöötlusjaamas käideldud veega, kusjuures veeallikaks on Illuka vallas asuvad Kurtna-Vasavere Kvaternaari kaevud, millele võetakse lisavett eespool loetletud Ahtme veehaarde puurkaevudest (Metspalu jt, 2014). Lisaks varustab Ahtme veetöötlusjaam ka Kukruse linnaosa ja Jõhvi linna. Puurkaevud asuvad maa-alustes kambrites, betoonelementidest rajatud süvendites, mis on pealt kaetud paneelidega. Sisepääs pumplatesse on tagatud läbi maa peale avaneva luugi. Puurkaevudesse on paigaldatud sügavveepumbad, pumpade uputussügavus on 102 m (Metspalu jt, 2014). Ahtme piirkonna vee-ettevõtjaks on OÜ Järve Biopuhastus, kes teostab vastavalt vee erikasutusloale (L.VV/321751) vee kvaliteedi seiret Ahtme veehaarde puurkaevudes sagedusega üks kord kolme aasta jooksul (KOTKAS, 2020).



Joonis 5. Voronka ja Gdovi põhjaveekogumite puurkaevude ning Ahtme veehaarde (punane ovaal) paiknemine

Veevõtt veehaardes on olnud kaevu põhiselt varieeruv (joonis 6, lisa 1). Üldiselt on siiski veehaardes terviklikult veevõtt vähenenud. 2013. ja 2014. aastal oli kuue kaevu veevõtt kokku keskmiselt 1600 – 1800 m³/ööp (48 – 55 tuhat m³/kuu; 580 tuhat kuni 660 tuhat m³/a). Järgneval neljal aastal



Joonis 6. Aasta keskmine veevõtt ja Cl⁻ sisaldus Ahtme veehaarde puurkaevudes aastatel 2011 – 2019

oli kuue kaevu veevõtt kokku keskmiselt 925 – 1100 m³/ööp (28 – 33 tuhat m³/kuu; 340 tuhat – 400 tuhat m³/a). 2019. aastal on veehaarde kaevudest kokku võetud kuni 5 korda vähem vett kui algusaastatel – 360 m³/ööp (vahemikus 2,5 – 21 tuhat m³/kuu; 130 tuhat m³/a) (KAUR, 2020).

Veehaarde rajamise ajal (2011. a) oli põhjavee survetase puurkaevudes 65,9 – 78,2 m sügavusel maapinnast (1,5 – 9,7 m alla merepinna; VEKA, 2020) ning 2019. aastal 64,9 – 71,0 m sügavusel (1,6 – 3,7 m alla merepinna; KAUR, 2020). Ahtme veehaarde kaevude puhul on iseloomulik vee kõrge soolsus, seejuures kloriidi sisalduse joogivee piirsisaldust (250 mg/l) ületavad kõikide puurkaevude veed. Kloriidi sisaldused ja nende amplituudid on kaevudes olnud üsna erinevad (magedaimal kaevul 215 kuni 609 mg/l ja soolaseimal 650 kuni 834 mg/l; joonis 6).

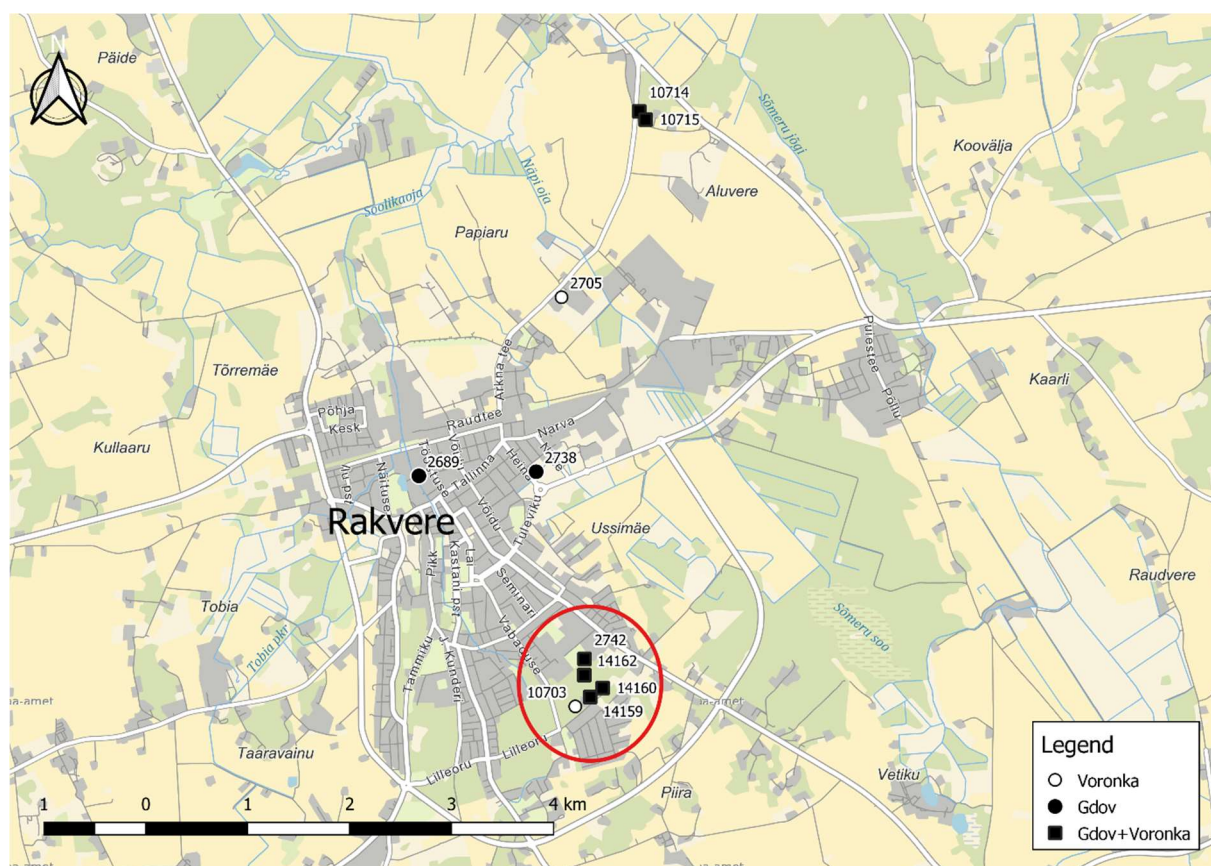
2.3. Piira veehaarde kirjeldus

Rakvere linnas on kaks veehaaret: Piira veehaare ning Rakvere veehaare. Rakvere veehaarde kaevud on reservis. Piira veehaardesse kuuluvad 4 Gdov+Voronka tüüpi puurkaevu (katastrinumbrid: 2742, 14159, 14160, 14162) ja üks Voronka veekihti avav puurkaev (katastrinumbriga 10703), mis paiknevad suhteliselt lähestikku linna kaguosas (joonis 7) ning on Rakvere linna ühisveevärgi joogiveeallikaks. Piira veehaarde viie puurkaevu toorvesi pumbatakse ja puhastatakse 2001. aasta lõpuks valminud Piira veetöötlusjaamas. Rakvere linna veevõrguga on ühendatud Sõmeru ja Näpi alevik, Roodevälja, Taaravainu, Tõrma, Tõrremäe, Ussimäe, Mäetaguse ja Piira küla (Tamberg jt, 2018). Ühisveevarustuse ja -kanalisatsiooni haldajaks on AS Rakvere Vesi, kellele on väljastatud vee erikasutusluba nr L.VV/328140 (kehtivuse algus 01.09.2020), mille kohaselt tuleb Piira veehaarde puurkaevudes teostada vee kvaliteedi seiret sagedusega üks kord kolme aasta jooksul kaevudes 10703 ja 14159 ning teistes sagedusega üks kord aastas (KOTKAS, 2020).

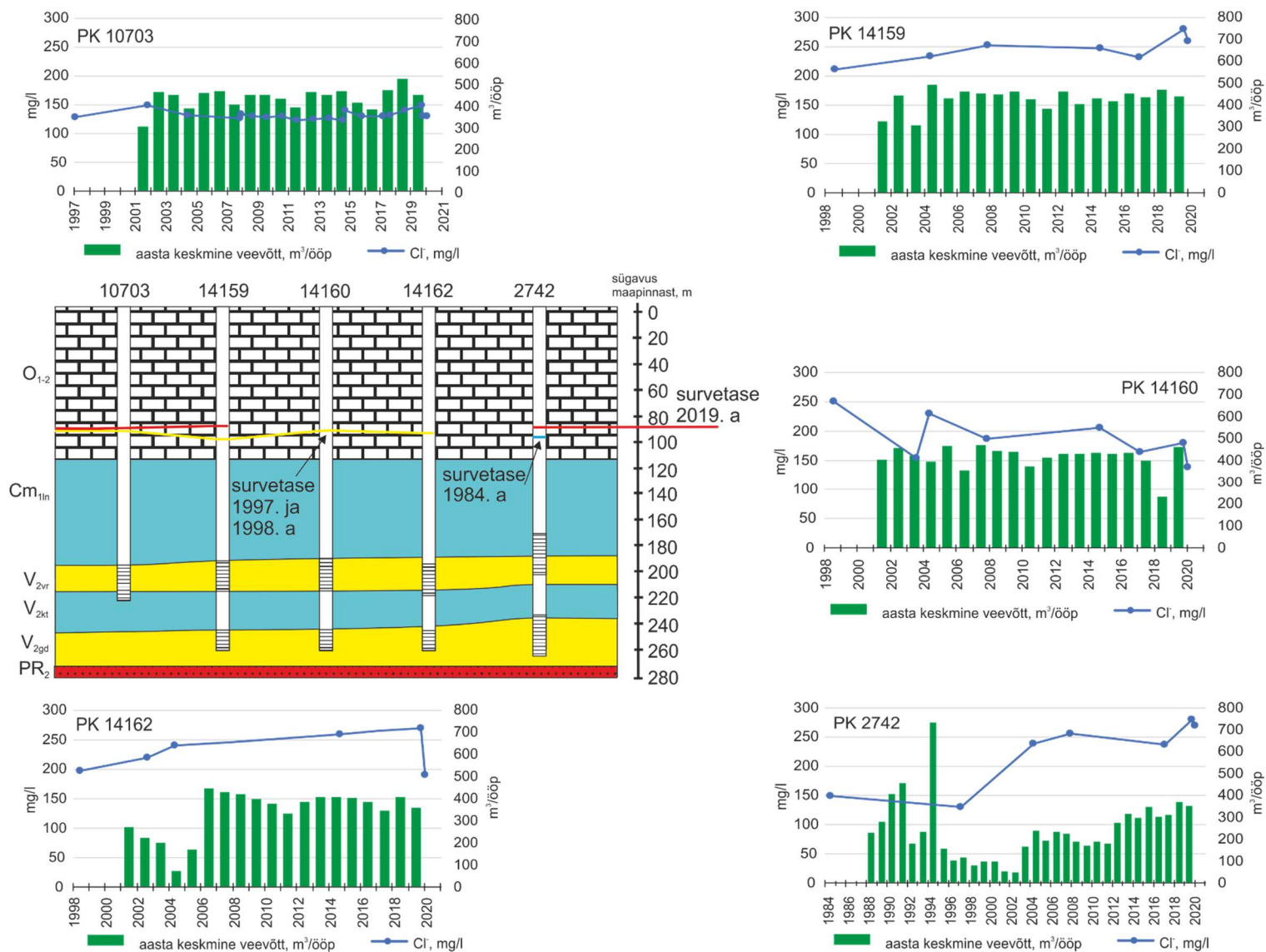
Piira veehaare on aktiivses kasutuses alates 2001. aastast. Voronka veekihti avav puurkaev puuriti 1997. a ja alates 2007. a kuulub kaev riiklikku põhjaveeseiresse (Voronka põhjaveekogumi iga aastane keemiline seire). Gdov+Voronka tüüpi kaevud 14159, 14160 ja 14162 rajati aastal 1998, ainult puurkaev 2742 (Päikese tn) oli rajatud juba varem – 1984. aastal. 1990ndate aastate lõpus rajatud puurkaevude veevõtt on läbi aastate olnud suhteliselt stabiilne, jäädes valdavalt vahemikku 330 – 500 m³/ööp (10 – 15 tuhat m³/kuus; joonis 8 ja lisa 2). Mõnevõrra väiksem on veevõtt olnud kaevust 14162, kust algusaastatel võeti vett 160 – 250 m³/ööp (5 – 7 tuhat m³/kuus). Pikemalt on kasutuses olnud Päikese tn kaev 2742, mille veevõtt on olnud varieeruv – vahemikus 40 – 730 m³/ööp (1 – 30 tuhat m³/kuus). Aastatel 2001 – 2005 oli viie Piira veehaarde puurkaevu veevõtt kokku keskmiselt 1200 – 1500 m³/ööp (450 tuhat kuni 560 tuhat m³/a). Aastatel 2006 kuni 2019 veehaarde veevõtt suurenes – olles keskmiselt 1700 – 2000 m³/ööp (620 tuhat kuni 720 tuhat m³/a ; KAUR, 2020).

Voronka veekihti avava puurkaevu 10703 põhjavee survetase oli 1997. a 97,0 m sügavusel maapinnast (11,5 m alla merepinna) ning 2004. aastal 95,0 m sügavusel (9,5 m alla merepinna; EGT, 2020). Gdov+Voronka tüüpi puurkaevude (14159, 14160, 14162) puurimisaegne (1998. a) põhjavee survetase oli 91,0 – 102,0 m sügavusel maapinnast (12 – 19 m alla merepinna) ning puurkaevu 2742 veetase oli 1984. a 93,1 m sügavusel maapinnast (13,1 m alla merepinna; joonis 8). Gdov+Voronka tüüpi puurkaevude 2742 ja 14159 põhjavee survetase oli 2004. a vastavalt 88,0 ja 91,0 m sügavusel maapinnast (8 m alla merepinna; EGT, 2020).

Piira veehaarde Voronka veekihi puurkaevu 10703 põhjavee kloriidi sisaldus on olnud stabiilne, vahemikus 123,4 – 150,0 mg/l (joonis 8). Gdov+Voronka tüüpi puurkaevude puhul on põhjavee kloriidi sisaldused erinevad ja esineb joogivee piirsisalduse 250 mg/l ületamist. Alates 1998. a, mil uus veehaare rajati, on Gdov+Voronka tüüpi kaevudes 2742, 14159 ja 14162 märgata vähest Cl⁻ sisalduse suurenemist (190 – 280 mg/l), samas on aga kaevus 14160 Cl⁻ sisaldus vähenenud (251,8 – 140 mg/l).



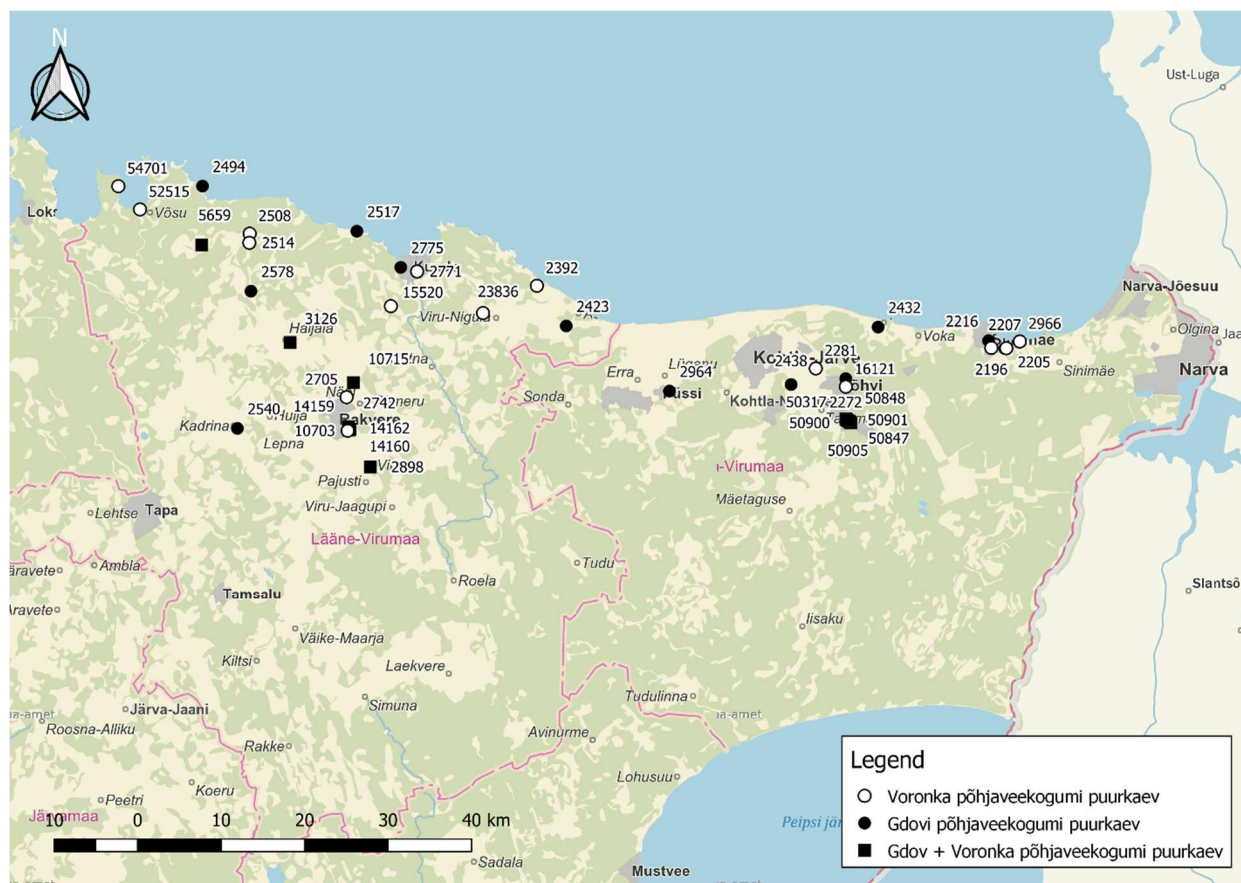
Joonis 7. Voronka ja Gdovi põhjaveekogumite puurkaevude ning Piira veehaarde (punane ring) paiknemine



Joonis 8. Aasta keskmine veevõtt ja Cl^- sisaldus Piira veehaarde puurkaevudes aastatel 1984 – 2019

3. Metoodika

Uuringu läbiviimiseks koguti veeproove 41 Voronka ja Gdovi põhjaveekogumisse kuuluvast puurkaevust (asukohad ja andmed on esitatud joonisel 9 ja tabelis 1). Kaevude valikul lähtuti printsiipest, et saaks käsitleda kloriidi ruumilist variatsiooni (soolasema/magedama vee piirkond) ning Ahtme ja Piira veehaarde kaevude Cl^- muutuseid. Väliparameetrid – vee elektrijuhtivus, pH, hapniku sisaldus ja temperatuur, mõõdeti EGT multimeetritega WTW Multi 3630 ja YSI Pro Plus nr 13L101287. Kogutud veeproovidest määrati Eesti Keskkonnauuringute Keskuse OÜ laboris Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , F^- , $\text{Fe}_{\text{üld}}$, Fe^{2+} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Mn^{2+} , vaba CO_2 , SiO_2 sisaldused, PHT (permanganaatne hapnikutarve), üldkaredus, kuivjääk, värvus, läbipaistvus, hägusus ja lõhnaläve indeks. Osadest puurkaevudest võeti veeproovid ainult Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Mn^{2+} sisalduste ja PHT (permanganaatne hapnikutarve) määramiseks. Põhjavee isotoopsuhted, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ määrati Picarro analüsaatoriga Läti Ülikooli Geoloogiliste protsesside uurimis- ja modelleerimiskeskuses. Aruandes esitatud kaartide loomisel on kasutatud Maa-ameti WMS kaarditeenust seisuga september 2020.



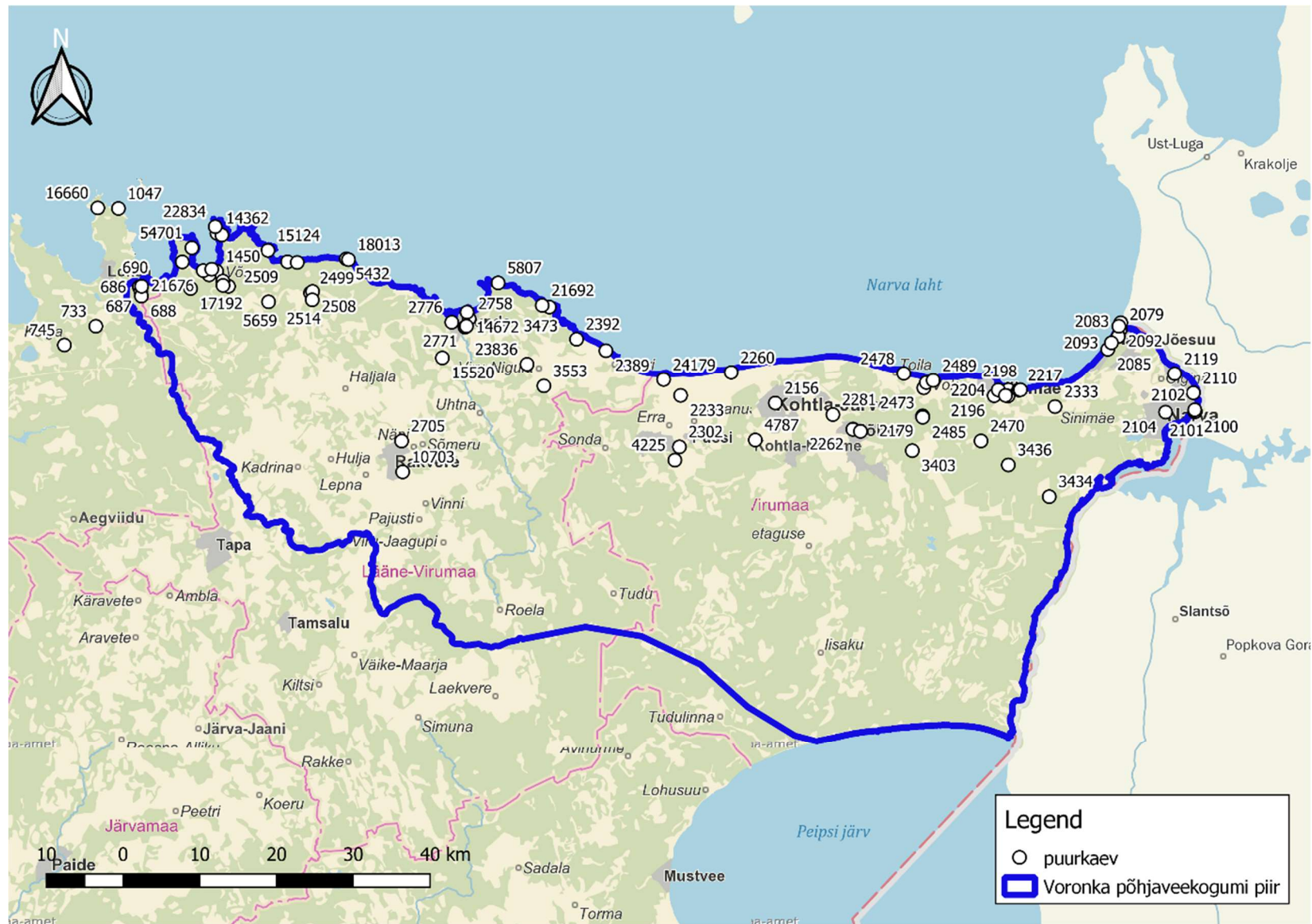
Joonis 9. Puurkaevude asukohad, kust käesoleva uuringu raames koguti 2019. aastal veeproove

Tabel 1. Seire- ja tarbepuurkaevud, millest käesoleva uuringu raames võeti 2019. a veeproovid

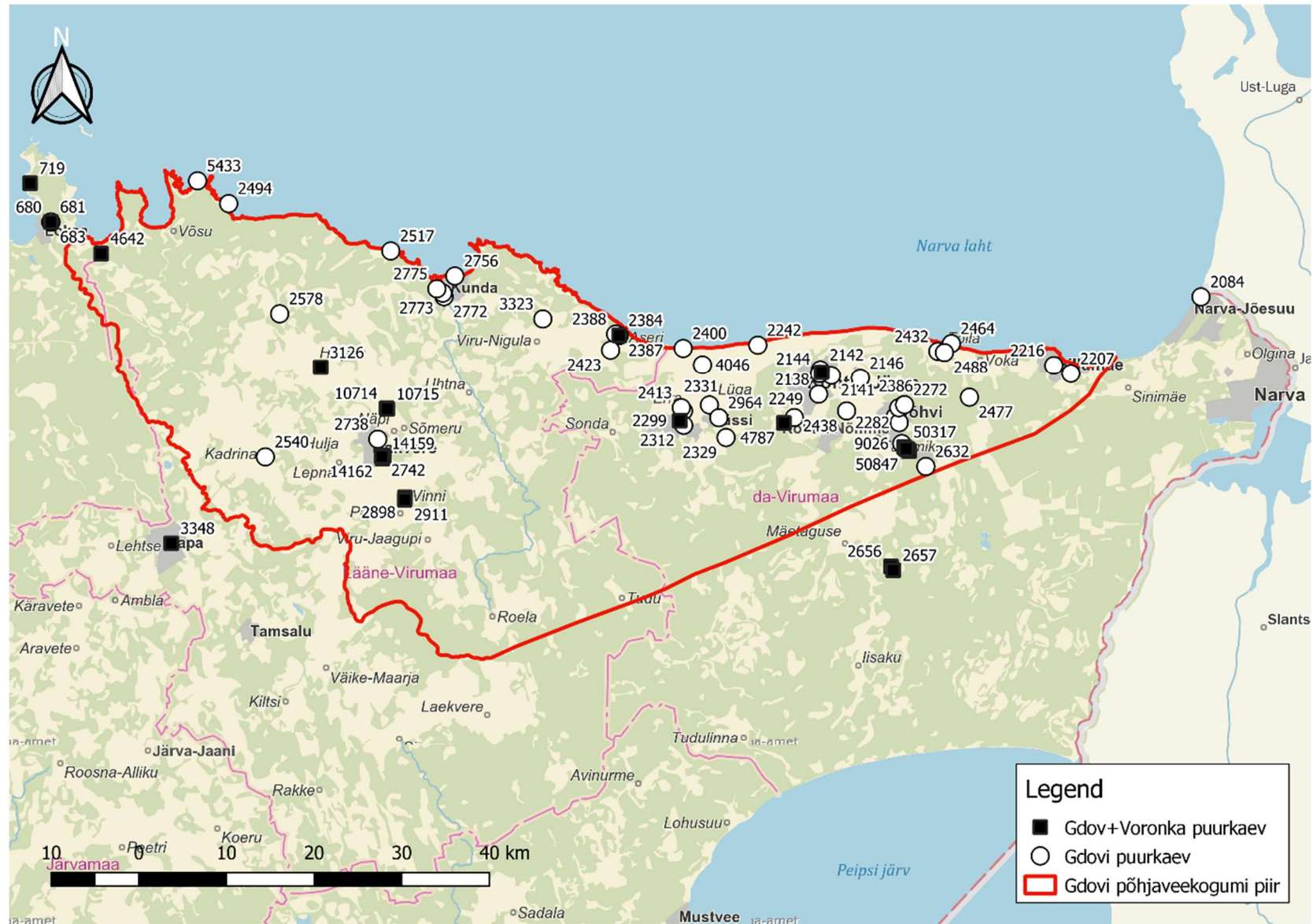
Kat. nr	KKR kood	Puurkaevu aadress	L- EST_X	L- EST_Y	veekiht	ülemise filtri algus	ülemise filtri lõpp	alumise filtri algus	alumise filtri lõpp
						m maapinnast			
2966	PRK002966	Perjatsi küla, pumbamaja 28	6590247	715882	V _{2vr}	94,0	115,2		
2196	PRK002196	Sillamäe, Tervise tn 16	6589481	712469	V _{2vr}	131,0	154,0		
2205	PRK002205	Sillamäe, Tallinna mnt 12d	6589437	714261	V _{2vr}	106,0	135,0		
16121	PRK016121	Jõhvi, Malmi tn 6a	6584830	695043	V _{2vr}	153,2	169,7		
2281	PRK002281	Edise küla, Aiandi keskus 5	6587017	691450	V _{2vr}	162,0	195,0		
10703	PRK010703	Piira veehaare, Ööbiku tn. 25a	6579562	635396	V _{2vr}	197,6	222,7		
2705	PRK002705	Roodevälja küla, Arkna tee 54	6583573	635261	V _{2vr}	178,9	206,9		
23836	PRK023836	Vasta küla, Saeveski maaüksus	6593639	651601	V _{2vr}	125,0	142,0		
2392	PRK002392	Kalvi mõis	6596908	658052	V _{2vr}	95,0	115,0		
2771	PRK002771	Kunda, Jaama tn 13	6598622	643706	V _{2vr}	101,3	121,5		
15520	PRK015520	Andja küla, Virukivi maaüksus	6594470	640566	V _{2vr}	130,0	145,0		
5659	PRK005659	Sagadi küla, Mõisa kinnistu	6601789	617922	V _{2vr}		160,0		
2514	PRK002514	Tiigi küla, Soone kinnistu	6602050	623618	V _{2vr}	122,0	150,0		
2508	PRK002508	Vihula küla, Pumbamaja kinnistu	6603144	623656	V _{2vr}	100,0	133,0		
52515	PRK052515	Võsu alevik, Vabaduse tn 18	6606044	610525	V _{2vr}	51,0	80,0		
54701	PRK054701	Käsmu küla, Hundisoo tn 3	6608825	607932	V _{2vr}	60,0	80,6		
2578	PRK002578	Annikvere küla	6596260	623813	V _{2gd}			162,6	228,5
2540	PRK002540	Kadrina, Kauba tn 27	6579842	622185	V _{2gd}			199,0	271,0
2517	PRK002517	Karepa küla, Kullo suvelaager	6603435	636493	V _{2gd}			100,0	120,5
2207	PRK002207	Sillamäe, Tallinna mnt 12c	6589404	714083	V _{2gd}			163,0	215,0
2216	PRK002216	Sillamäe, pumbamaja 24	6590339	712138	V _{2gd}			165,0	221,0
2964	PRK002964	Püssi, Jõe tn 8	6584310	673918	V _{2gd}			176,0	227,0
2272	PRK002272	Jõhvi, Linda tn 15	6585797	695041	V _{2gd}			214,0	265,0

Kat. nr	KKR kood	Puurkaevu aadress	L- EST_X	L- EST_Y	veekiht	ülemise	ülemise	alumise	alumise
						filtr algus	filtr lõpp	filtr algus	filtr lõpp
m maapinnast									
2432	PRK002432	Toila sanatoorium	6591963	698908	V _{2gd}			188,0	230,0
2438	PRK002438	Sompa küla, Kasepõllu kinnistu	6585091	688496	V _{2gd}			224,0	248,0
2775	PRK002775	Kunda, Koidu tn	6599111	641753	V _{2gd}			148,0	200,0
2423	PRK002423	Rannu küla, Pumbamaja kinnistu	6592099	661567	V _{2gd}			165,0	208,4
2494	PRK002494	Vergi küla, Sadama tee 35	6608834	618003	V _{2gd}			82,6	117,0
50317	PRK050317	Ahtme, Ahtme mnt 75	6580973	695050	V _{2gd+vr}	167,6	182,6	212,6	252,6
50905	PRK050905	Ahtme, Ahtme mnt 75b	6580783	695283	V _{2gd+vr}	165,2	174,0	220,0	250,0
50901	PRK050901	Ahtme, Ahtme mnt 75a	6580855	695158	V _{2gd+vr}	168,0	198,0	234,0	254,0
50847	PRK050847	Ahtme, Ahtme mnt 75c	6580702	695434	V _{2gd+vr}	165,6	182,4	224,4	254,4
50900	PRK050900	Ahtme, Ahtme mnt 77c	6580503	695635	V _{2gd+vr}	164,0	184,0	226,0	256,0
50848	PRK050848	Ahtme, Ahtme mnt 77	6580609	695550	V _{2gd+vr}	167,0	187,0	229,0	259,0
14159	PRK014159	Rakvere, Ööbiku tn 25b	6579654	635542	V _{2gd+vr}	193,0	216,0	243,0	260,0
14160	PRK014160	Rakvere, Ööbiku tn 25c	6579743	635665	V _{2gd+vr}	191,0	216,0	246,0	260,0
14162	PRK014162	Rakvere, Ööbiku tn 25d	6579869	635484	V _{2gd+vr}	193,0	218,0	244,0	260,0
2742	PRK002742	Rakvere, Päikese tn 9	6580027	635486	V _{2gd+vr}	172,0	203,0	234,0	264,0
10715	PRK010715	Roodevälja küla, Veehaarde kinnistu	6585315	636086	V _{2gd+vr}	158,0	178,0	197,8	225,0
3126	PRK003126	Haljala küla, Rakvere mnt 10a	6590119	628496	V _{2gd+vr}	165,0	198,0	220,0	240,0
2898	PRK002898	Vinni alevik, Põllu tn 3	6575227	638102	V _{2gd+vr}	212,6	241,3	262,5	306,9

Gdovi ja Voronka põhjaveekogumite iseloomustamiseks ja Cl⁻ tõusust mõjutatavate veehaarete selgitamiseks kasutati Keskkonnaseire andmete kogumise ja avalikustamise infosüsteemi (KESE) andmeid, Eesti Looduse Infosüsteemi (EELIS andmekogu, VEKA veebileht), tarbekaevu omanikelt saadud andmeid, Keskkonnaagentuurilt (KAUR) saadud andmeid ning käesoleva töö raames kogutud veeproovide tulemusi. Valimist jäeti välja analüüsid, mille lahustunud ionide laengutasakaal ületas 5% või analüüsis esines enam kui 50% ioonsisalduse kõrvalekalle pikaajalisest keskmisest. Seire- ja tarbekaevude pikaajaline veevõtu andmestik on koostatud KAURilt saadud andmetest ja EGT andmebaasidest. Lisaks saadi täiendavaid veeproovide analüüside tulemusi TTÜ Geoloogia instituudi andmebaasist (Vaikmäe jt, 2020). Käesolevas uuringus kasutati joonistel 10 ja 11 esitatud seire- ja tarbekaevude andmeid. Kõik uuringus kasutatud keemiliste analüüside tulemused on esitatud lisas 3.



Joonis 10. Uuringus kasutatud Voronka puurkaevude asukohad

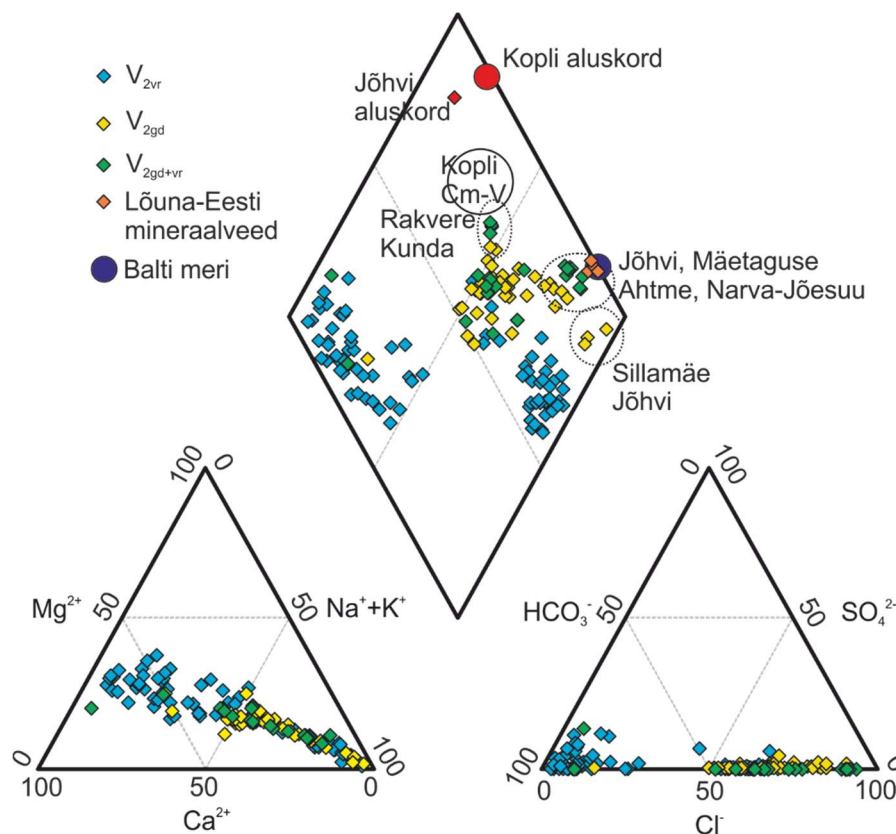


Joonis 11. Uuringus kasutatud Gdovi ja Gdov+Voronka tüüpi suurkaevude asukohad

4. Tulemused ja analüüs

Uuringu käigus kogutud keemiline andmestik on esitatud tabelis 2.

Segutüüpi (Gdov+Voronka) puurkaevude võrdlemisel ilmnes nende sarnasus pigem Gdovi kui Voronka põhjaveega (joonis 12). Vaid Gdovi kogumi loodeosas, kus segutüüpi puurkaevud on oluliselt magedamad kui mujal kogumis, domineeris segutüüpi puurkaevudes väga kloriidivaene vesi, mis on pigem sarnane sealsele Voronka veekihi (joonis 13). Voronka veekihi põhjavee isotoopkoostis (joonis 14) näitab, et laial rannikualal, Võsust kuni Kalvi mõisani, on Voronka veekiht avatud ülemisele, noorele põhjaveele tänu ulatuslikule Lontova veepidemesse lõikuvale ürgorgude võrgustikule. Kuna ürgorgudes täiteks oleva Kvaternaari setete (valdavalt liiv) veejuhtivus on üldjuhul parem kui Gdovi kivimitel siis pärineb enamik sealsete Gdov+Voronka tüüpi puurkaevude veest pigem Voronka kui Gdovi veekihist. Ürgorgudest läbindatud piirkonda jäävad vaid üksikud segutüüpi puurkaevud. Valdavalt on segutüüpi puurkaeve rajatud Kohtla-Järve, Jõhvi ja Rakvere ümbrusse, kus ürgorgude mõju pole täheldatud. Eespool toodule tuginedes võib Gdov+Voronka tüüpi puurkaeve käsitleda kui Gdovi põhjaveekogumi kaeve, välja arvatud kogumi loodeosas. Siiski võivad seisvad või halvasti tamponeeritud Gdov+Voronka tüüpi puurkaevud mõjutada Voronka põhjaveekogumi seisundit, põhjustades sealse põhjavee sooldumise kui põhjavee survetase Gdovi põhjaveekogumis kujuneb kõrgemaks kui lasuvas Voronka põhjaveekogumis (joonis 15).



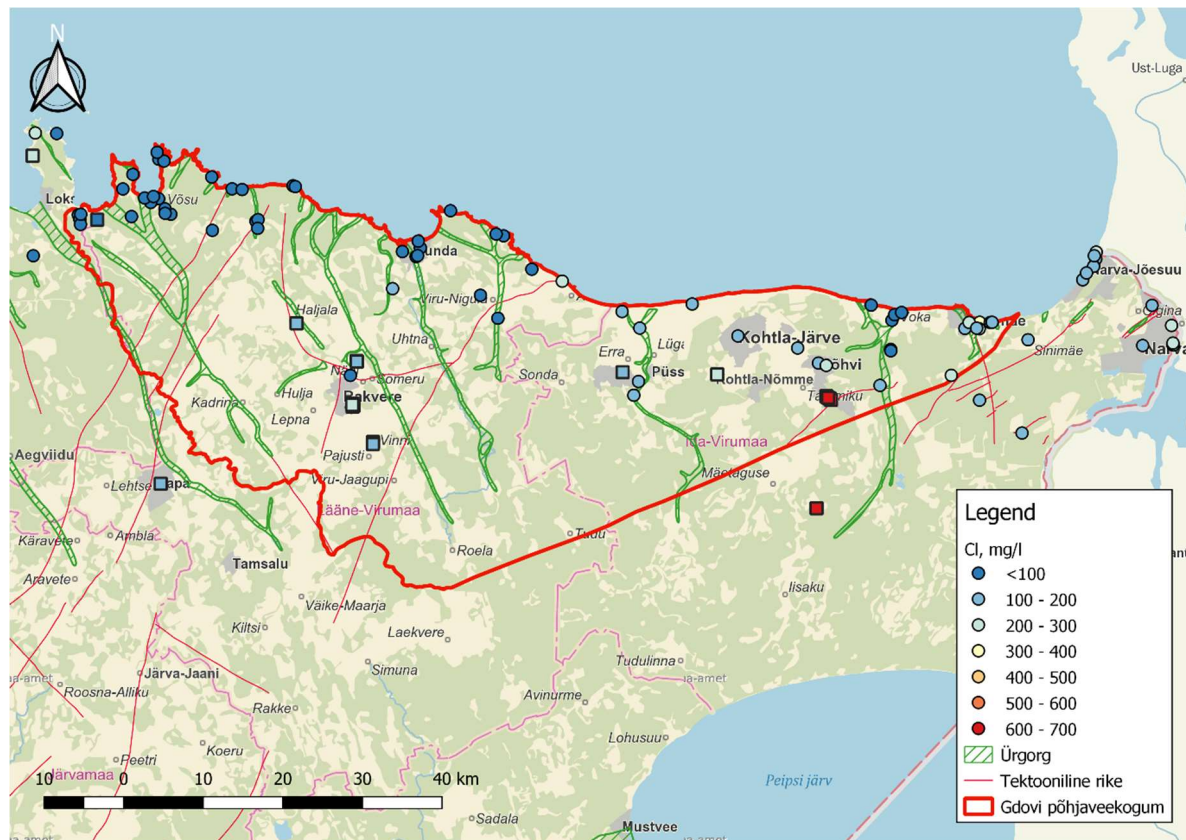
Joonis 12. Piper diagramm uuringus kasutatud Virumaa Voronka ja Gdovi puurkaevudega

Tabel 2. Käesoleva uuringu raames kogutud veeproovide isotoop- ja keemilised analüüsid

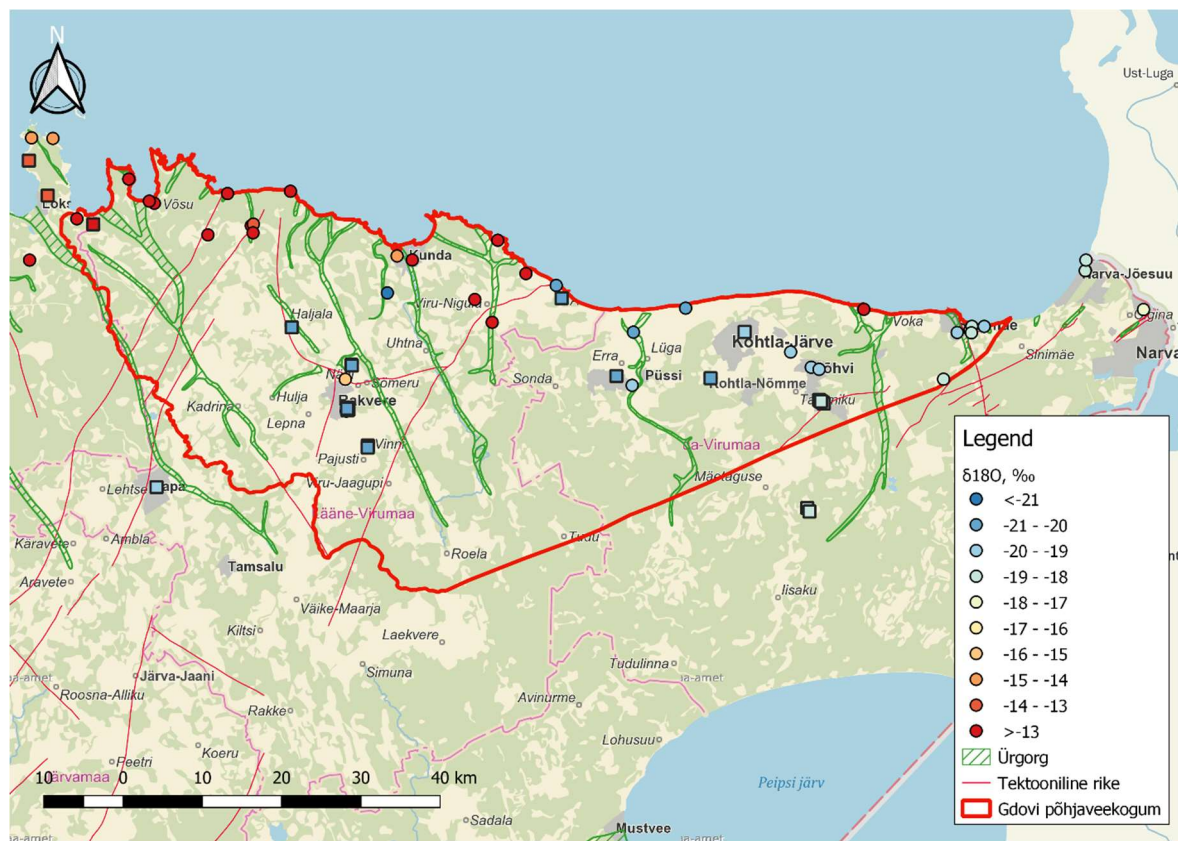
nr	Kat. nr	Veekiht	Proovivõtu kuupäev	Temp.	Lah. O ₂	El. juht. 25° C	pH	δ ¹⁸ O	δ ¹² H	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	SiO ₂	Vaba CO ₂	Kuiv-jääk	Fe _{üld}	Fe ²⁺	Mn,	KHTMn	Üld-karedus	Värvus	Läbi-paistvus	Hägusus	Lõhna-läve indeks
				°C	mg/l	µS/cm		%o, VSMOW				mg/l										µg/l		mgO/l	mg-ekv/l	mg/l Pt	cm	NTU				
1	2966	V _{2vr}	01.10.2019	10,4	0,036	845	8,6	-19,7	-147,2	5,4	190	9,6	4,38	242	170	5	0,66	0,1	<0,007	0,165	6	<1,0	514	140	110	11	2,2	0,42	20	>60	< 0,5	1
2	2196	V _{2vr}	01.10.2019	10,5	0,017	870	8,8	-19,4	-144,8	6,1	190	11	5,83	180	200	<5	0,52	<0,09	<0,007	0,201	6,8	<1,0	509	120	104	21	2,9	0,51	20	>60	< 0,5	1
3	2205	V _{2vr}	01.10.2019	10,4	0,036	1342	8,1	-18,8	-139,2	7,4	270	24	11	217	300	<5	0,56	<0,09	<0,007	0,241	6,6	1,5	804	170	86	30	2,8	1,04	20	>60	< 0,5	1
4	2281	V _{2vr}	15.10.2019	12,7	0,1	849	8,2	-19,4	-144,9	5,5	180	12	6,1	196	166	<5	0,69	0,09	<0,007	0,176	7,3	1,1	470	200	180	21	2,3	0,54	20	>60	< 0,5	1
5	16121	V _{2vr}	16.10.2019	11,5	0,1	912	8,2	-19,4	-144,1	5	200	12	10	190	206	<5	0,58	<0,09	0,011	0,072	6,9	<1,0	483	190	139	39	2,4	0,55	20	>60	< 0,5	1
6	10703	V _{2vr}	17.10.2019	11,7	0,1	665	7,4	-20,2	-150,8	7,5	100	33	14	180	130	<0,2	0,49	<0,20	<0,016	0,21	6,5	2,5	520	370	370	62	1,2	2,8	20	>30	1	1
7	2705	V _{2vr}	22.10.2019	8,2	0,2	394	7,4	-15,1	-111,1	9,3	40	30	15	230	16	1,3	0,6	<0,20	<0,016	0,23	6,4	5,3	380	660	640	29	< 1	2,8	30	>30	5	1
8	23836	V _{2vr}	19.11.2019	12	0,06	409	7,6	-12,4	-89,7	6,3	14	53	16	269	6,4	7		<0,09		0,304						99	1,1					
9	2392	V _{2vr}	19.11.2019	9,8	0,15	454	7,4	-11,9	-85,5	4,9	6,3	68	20	314	4,2	10		0,25		0,245						150	1,6					
10	2771	V _{2vr}	19.11.2019	10,1	0,04	466	7,8	-12,5	-90,1	8,4	25	55	21	317	8,7	8		0,14		0,312						67	1,3					
11	15520	V _{2vr}	19.11.2019	8,7	0,06	715	8,3	-20,3	-157,2	8,6	100	32	14	195	130	<5		0,18		0,404						33	2,2					
12	2514	V _{2vr}	21.11.2019	9,6	1,9	320	8,1	-12,3	-87,7	7,4	23	40	7,8	220	7	<0,2		<0,20		0,4						34	2,4					
13	2508	V _{2vr}	21.11.2019	10,2	0,03	366	8,2	-13,7	-99,4	7,5	51	34	14	180	36	<0,2		<0,20		0,37						42	1,8					
14	52515	V _{2vr}	21.11.2019	8,3	0,07	160	8,1	-12,3	-87,9	1,7	4,6	22	6,8	110	2	1,4		<0,20		0,19						140	1,1					
15	54701	V _{2vr}	21.11.2019	7,7	0,01	180	8,5	-12,1	-86,2	3,2	9,7	22	5,8	120	3,9	1,1		<0,20		0,6						89	1,6					
16	2578	V _{2gd}	11.09.2019	12,5	0,1	1338	7,8	-21,1	-158,1	9,4	140	98	17	364	235	<5	0,71	0,14	<0,007	0,726	7,2	6,2	996	670	380	69	3,5	3,12	50	58	9,34	1
17	2540	V _{2gd}	11.09.2019	10,3	0,1	706	8,3	-20,5	-152,8	8	81	38	12	191	110	<5	0,61	0,11	<0,007	0,25	6,7	3,1	363	710	630	59	3,2	1,45	50	57	8,05	1
18	2517	V _{2gd}	24.09.2019	8,9	1,8	770	8,0	-21,5	-161,1	7,6	87	40	15	190	140	<5	0,85	0,09	<0,007	0,927	6,4	4,8	382	1200	1000	42	2,4	1,6	40	41	8,22	1
19	2207	V _{2gd}	01.10.2019	12,1	0,03	1955	8,5	-18,8	-140,0	8,3	420	16	9	157	520	<5	0,82	0,1	<0,007	0,196	7	2,4	1123	370	255	84	1,7	0,78	30	>60	4,31	1
20	2216	V _{2gd}	01.10.2019					-18,3	-138,2	15	340	7,2	2,43	66	440	<5	0,78	0,11	<0,007	0,486	0,38	pH>8,3	906	4400	1850	110	3,7	0,28	30	14	56,4	1
21	2964	V _{2gd}	15.10.2019	12,2	0,1	920	7,8	-20,0	-148,9	8	130	50	18	170	220	<5	0,95	0,13	<0,007	0,214	6,5	4,8	560	500	420	78	< 1	1,99	20	60	4,03	1
22	2272	V _{2gd}	16.10.2019	13,3	0,2	1759	7,9	-19,0	-141,5	10	290	60	24	167	460	5	0,88	0,09	0,012	0,133	6,9	2,9	1143	230	209	130	1,8	2,47	20	>60	1,57	1
23	2432	V _{2gd}	16.10.2019	13,4	0,1	1432	8,0	-19,4	-144,2	9,2	230	52	19	156	380	<5	0,86	0,11	0,012	0,112	7,7	3,1	929	240	220	130	2,7	2,06	20	>60	0,96	1
24	2438	V _{2gd}	16.10.2019					-19,6	-147,1	15	210	11	2,43	95	270	9	0,43	0,18	<0,007	1,631	0,48	pH>8,3	559	7600	5300	570	9,4	0,37	30	6	54,72	2
25	2775	V _{2gd}	30.10.2019	10,5	0,7	1423	7,4	-21,5	-162,0	11	150	82	27	237	300	<5	0,85	<0,09	<0,007	0,485	7	8,8	893	1600	209	120	3,6	6,29	50	33	22	1
26	2423	V _{2gd}	19.11.2019	11,4	0,04	980	8,1	-20,9	-155,7	9,9	110	69	20	242	200	<5		0,15		0,346						76	2,9					
27	2494	V _{2gd}	21.11.2019	8,8	0,05	333	8,2	-12,2	-86,8	6,4	20	40	12	210	13	<0,2		<0,20		0,76						48	1,4					
28	5659	V _{2gd+vr}	21.11.2019	10,9	0,09	269	7,8	-12,0	-84,5	4,4	9,9	30	15	190	3	<0,2		<0,20		0,24						120	2,1					
29	50317	V _{2gd+vr}	15.10.2019	13,3	0,1	2203	7,8	-18,5	-137,0	12	360	63	30	117	609	<5	0,74	<0,09	<0,007	0,229	7,4	3,9	1414	300	273	180	3,4	2,8	20	>60	2,99	1
30	50905	V _{2gd+vr}	15.10.2019	13,3	0,1	2348	7,8	-18,5	-137,4	12	390	29	29	115	641	<5	0,75	<0,09	<0,007	0,249	7,4	3,8	1599	310	232	170	2,9	2,78	20	>60	3,08	1
31	50901	V _{2gd+vr}	15.10.2019	13,3	0,1	2272	7,8	-18,5	-137,5	12	370	63	28	115	622	<5	0,74	0,13	<0,007	0,232	7,7	4,1	1476	280	226	170	1,44	2,73	20	>60	2,51	1
32	50847	V _{2gd+vr}	15.10.2019	13,7	0,1	2536	7,8	-18,3	-135,9	12	420	65	31	114	701	<5	0,69	0,14	<0,007	0,236	7,5	4	1626	280	250	160	4,8	2,9	20	>60	2,78	1
33	50900	V _{2gd+vr}	15.10.2019	13,3	0,2	2367	7,8	-18,5	-137,6	12	390	63	29	115	644	<5	0,71	0,13	<0,007	0,242	7,3	4	1539	290	210	170	2,3	2,77	20	>60	2,17	1

nr	Kat. nr	Veekiht	Proovivõtu kuupäev	Temp.	Lah.	El.	pH	δ ¹⁸ O	δ ¹² H	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	SiO ₂	Vaba CO ₂	Kuiv- jääk	Fe _{üld}	Fe ²⁺	Mn,	KHTMn	Üld- karedus	Värvus	Läbi- paistvus	Hägusus	Lõhna- läve indeks			
					O ₂	juht.																													
				°C	mg/l	µS/cm		‰, VSMOW										mg/l										µg/l		mgO/l	mg-ekv/l	mg/l Pt	cm	NTU	
34	50848	V _{2gd+vr}	15.10.2019	13,2	0,1	2211	7,8	-18,6	-138,0	10	350	54	27	121	563	<5	0,69	0,18	<0,007	0,24	7,3	3,6	1285	260	240	160	4,8	2,41	20	>60	1,84	1			
35	14159	V _{2gd+vr}	17.10.2019	12,4	0,1	1065	7,5	-20,2	-150,5	9,2	100	72	25	160	280	<0,2	0,83	<0,20	<0,016	0,25	6,4	4,8	840	1200	1200	65	< 1	5,6	50	>30	5,6	1			
36	14160	V _{2gd+vr}	17.10.2019	11,8	0,1	802	7,7	-20,2	-150,7	8,1	92	41	19	180	180	<0,2	0,58	<0,20	<0,016	0,21	6,8	3,4	580	580	580	62	1,1	3,7	20	>30	2	1			
37	14162	V _{2gd+vr}	17.10.2019	12,2	1,8	1034	7,6	-20,0	-149,2	9,1	100	68	23	170	270	<0,2	0,84	<0,20	<0,016	0,25	6,4	4,8	830	1400	1200	59	< 1	5,3	50	>30	6,2	1			
38	2742	V _{2gd+vr}	17.10.2019	12	0,1	1072	7,8	-20,2	-150,8	9,2	100	70	24	160	280	<0,2	0,87	<0,20	<0,016	0,25	6,8	4,8	780	1200	1200	56	< 1	5,5	50	>30	5,1	1			
39	10715	V _{2gd+vr}	22.10.2019	10,9	0,1	804	7,2	-20,6	-153,2	8,3	100	43	21	170	190	<0,2	0,53	<0,20	<0,016	0,23	6,9	3,3	540	590	520	25	1,1	3,7	20	>30	2,1	1			
40	3126	V _{2gd+vr}	19.11.2019	10,7	0,013	664	8,2	-20,7	-154,0	8,8	81	35	18	194	120	<5		0,1		0,223						26	1,5								
41	2898	V _{2gd+vr}	19.11.2019	12	0,02	789	8,1	-20,0	-149,2	8,2	100	47	16	175	170	<5		0,1		0,217						69	< 1								
Piirsisaldus*							6,5- 9,5											250	250	1,5	50		0,5		200		50								
Voronka põhjaveekogumi läviväärtus**																	250																		
Gdovi põhjaveekogumi läviväärtus**																	500																		

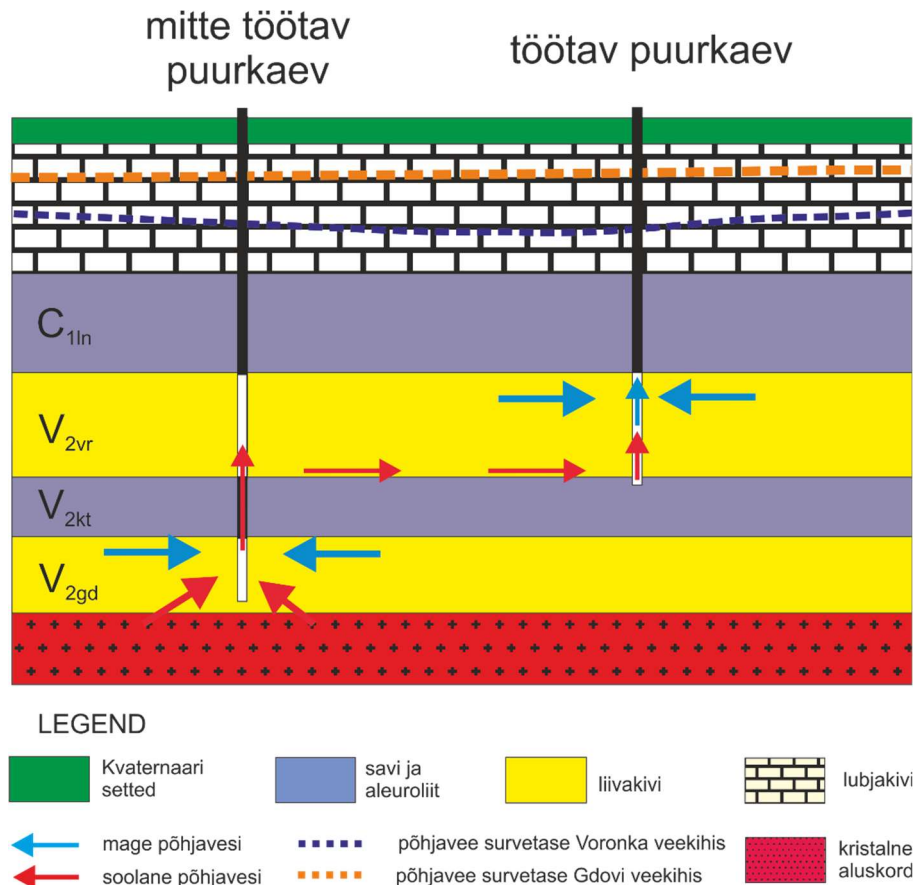
*Sotsiaalministri määrus 61; ** Keskkonnaministri määrus 48



Joonis 13. Voronka põhjaveekogumi Cl⁻ sisaldus. Ruut – Gdov+Voronka tüüpi puurkaev; ring – Voronka puurkaev



Joonis 14. Voronka põhjaveekogumi isotoopkoostis. Ruut – Gdov+Voronka tüüpi puurkaev; ring – Voronka puurkaev

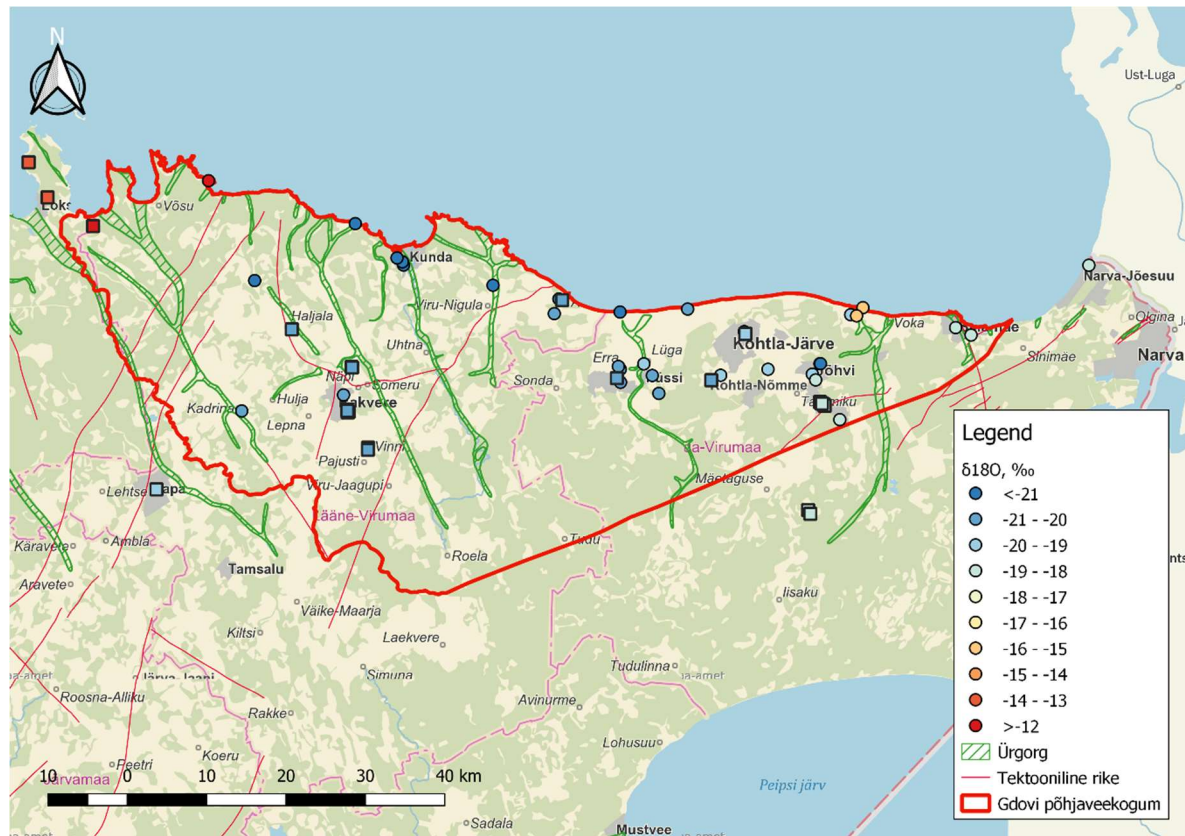


Joonis 15. Voronka veekihi võimalik sooldumise skeem läbi reservis oleva Gdov+Voronka tüüpi puurkaevu

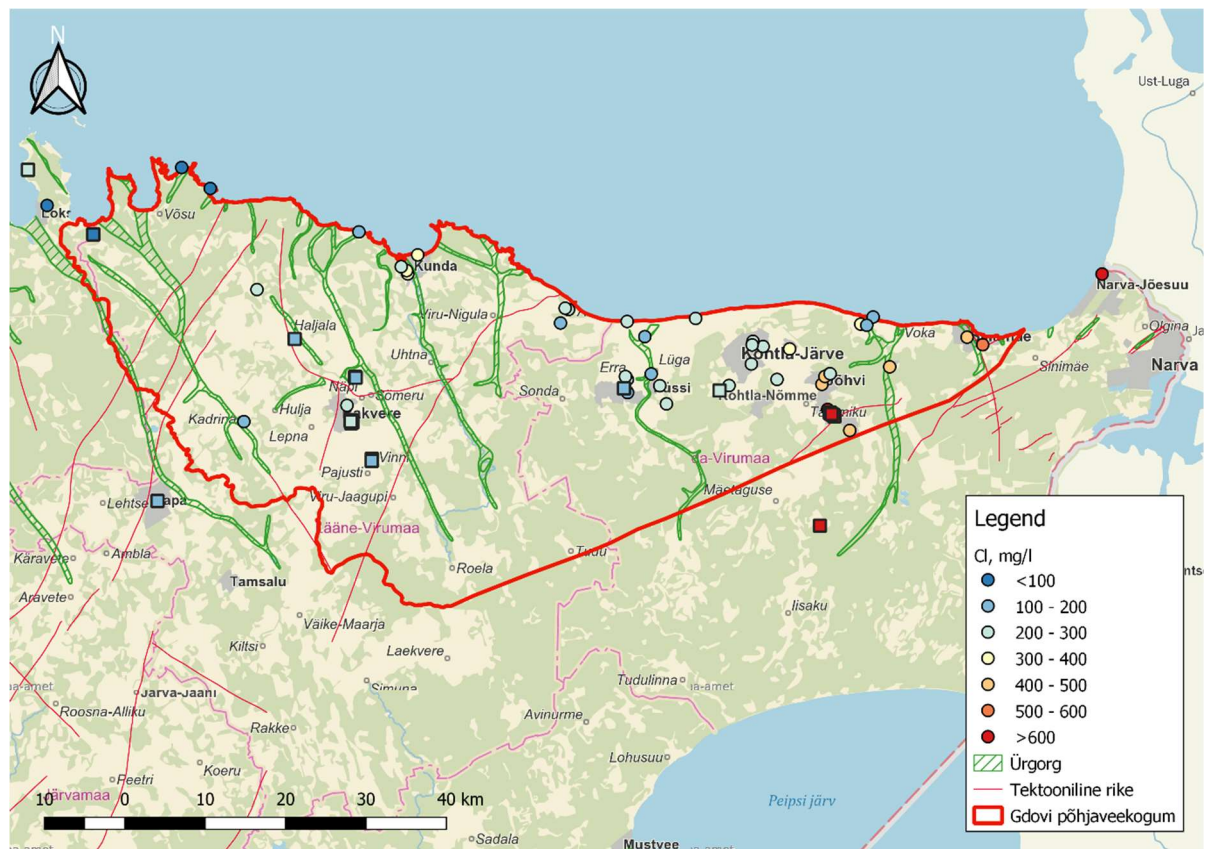
Ürgorgudest mõjutamata Gdovi põhjaveekogumi osas ($\delta^{18}\text{O}$ on väiksem kui -18 ‰; joonis 16) jäävad kloriidi sisaldused valdavalt vahemikku 250 kuni 400 mg/l (joonised 17 ja 18). Märgatavalt kloriidirikkamad on vaid idapoolsed veehaarded Sillamäel ja Ahtmes (400 – 900 mg/l). Veelgi soolasemat põhjavett on leitud Narva-Jõesuust ja Mäetaguse küla piirkonnas (Savitskaja ja Viigand, 1994; Raidla jt, 2009, 2019b). Tinglikult võibki Sillamäe ja Jõhvi vahele tõmmata mõttelise joone, mis jaotab Gdovi põhjaveekihi läänepoolseks magedamaks (kattub suures osas ka Gdovi põhjaveekogumiga) ja idapoolseks soolasemaks osaks (joonis 17).

Kuigi Gdovi põhjaveekogumi puurkaevudes esineb kloriidi sisalduste kõikumisi (joonised 1, 18, 19) ei saa neid üheselt siduda pikaajalise veevõtuga. Põhjuseks võib olla nii kohalik hüdrokeoloogia kui ka pikaaegsete kloriidisisalduse andmeridade vähesus. Veevõtu vähenemisele on järgnenud oluline kloriidi sisalduse langus vaid Toila puurkaevus nr 2464 (joonis 1E). Kuna puurkaev asub Toila ürgoru idanõlval, siis võib magedustumist seostada eelkõige ürgoru mõjuga ja pidada lokaalseks muutuseks, mis ei kirjelda kogu põhjaveekogumit. Kloriidi sisalduse järsu languse põhjuseks puurkaevus nr 2464 võib olla ka Toila veevarustussüsteemi moderniseerimine 1983. ja 1984. aastal. Moderniseerimise käigus rajati asula lääneossa Gdovi veekihti avavad puurkaevud ning nende veevõtt muutis oluliselt kohaliku põhjavee bilanssi ja dünaamikat.

Rakvere piirkonnas

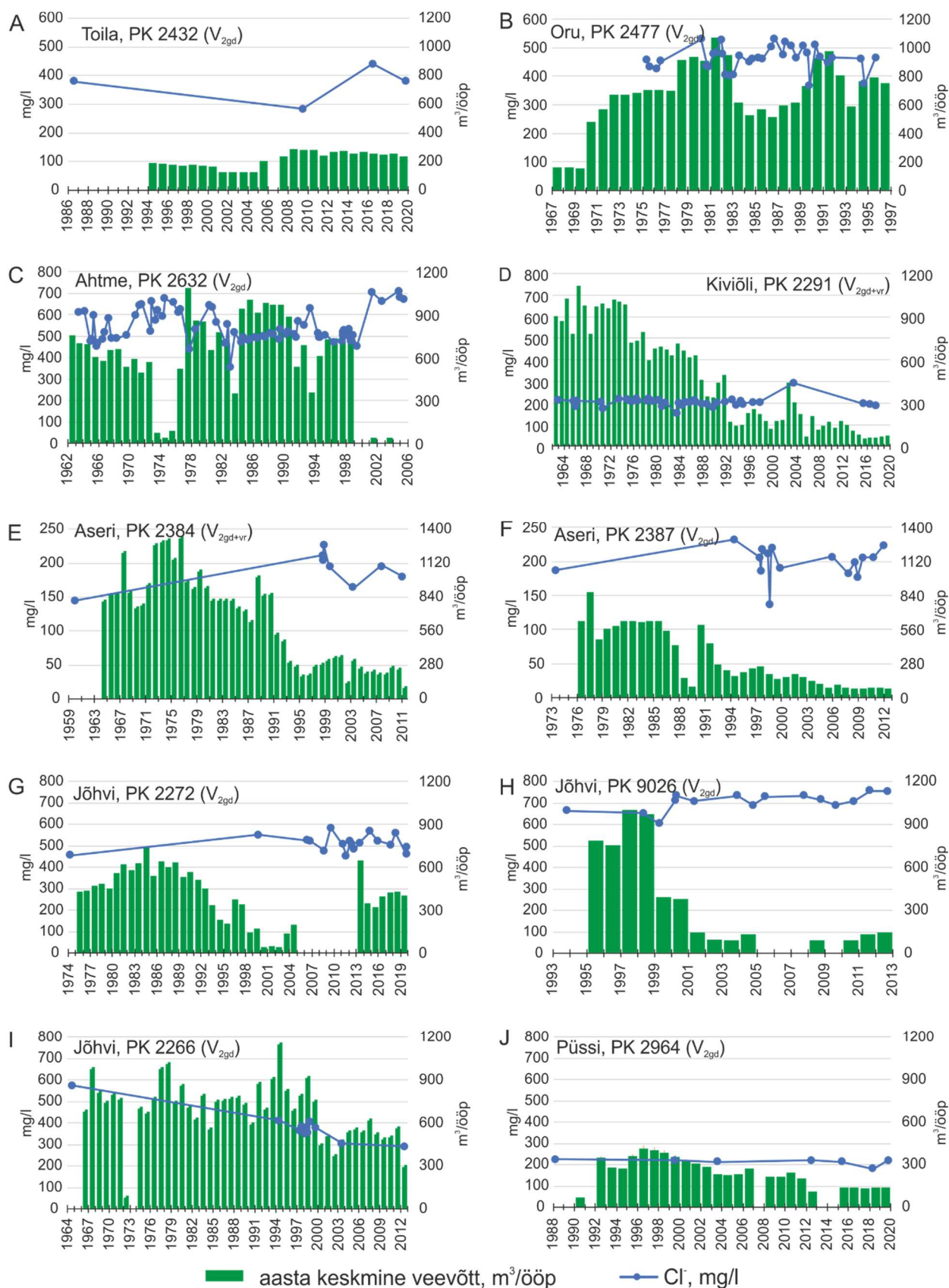


Joonis 16. Gdovi põhjaveekogumi isotoopkoostis. Ruut – Gdov+Voronka tüüpi puurkaev; ring – Gdovi puurkaev



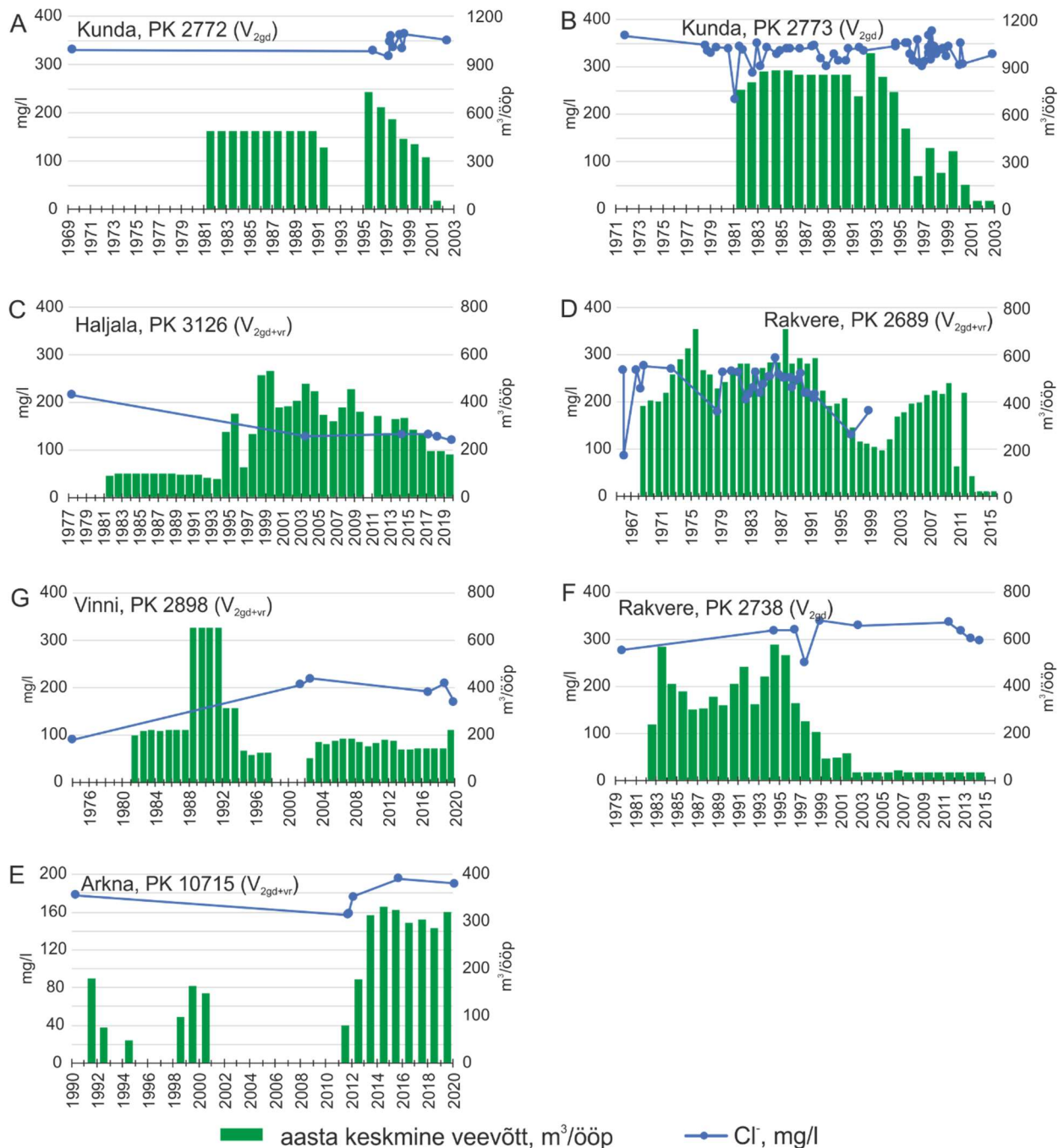
Joonis 17. Gdovi põhjaveekogumi Cl⁻ sisaldus. Ruut – Gdov+Voronka tüüpi puurkaev; ring – Gdovi puurkaev

Rakvere piirkonnas



Joonis 18. Ahtme veehaarde lähikonna Gdovi ja Gdov+Voronka tüüpi puurkaevude veevõtt ja kloriidi sisaldused aastate lõikes

Rakvere piirkonnas

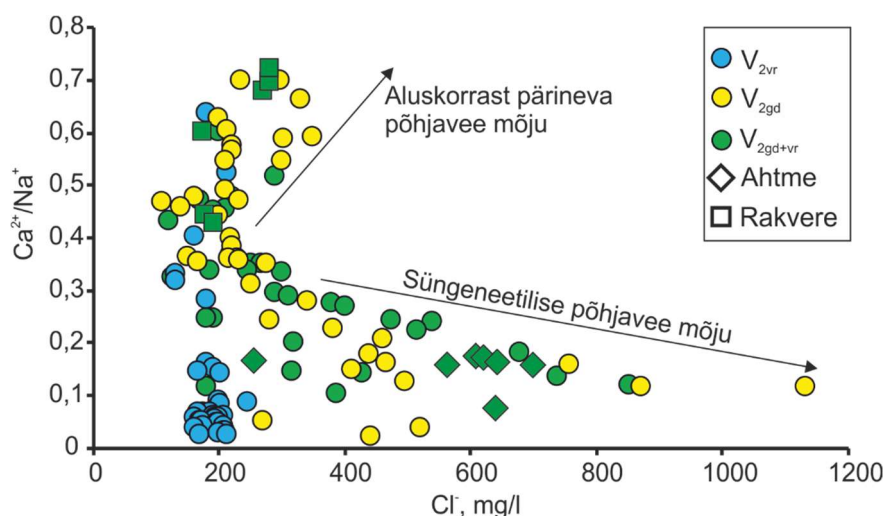


Joonis 19. Piira veehaarde lähikonna Gdovi ja Gdov+Voronka puurkaevude veevõtt ja kloriidi sisaldused aastate lõikes

Valdavalt on põhjavee sooldumise protsesse Virumaal põhjendatud vöörvõe sissetungiga aluskorrast või veekihtide lõunapoolsest sügavamast osast (Savitskaja ja Viigand 1994; Raidla jt, 2009; Pärn jt 2016). Lõunapoolse süngeneetilise põhjavee keemiliste omaduste ja formeerumise kohta on avaldatud mitmeid uurimusi (Mokrik, 1997; Raidla jt, 2009; Pärn jt, 2016; Gerber jt, 2017). Teadmised aluskorra kivimites leviva põhjavee keemilise kui ka isotoopkoostise kohta on üsna piiratud ja usaldusväärset andmestikku on vaid üksikutest kaevudest. Ainuke pikem andmerida pärineb Kopli poolsaarelt (Karro jt, 2004). Hiljuti

lisandus keemilist andmestiku ka Jõhvi süvapuuraududest PA1 ja PA2 (puuriti 2019. – 2020. a EGT tellimusel). Erinevalt süngeneetilise päritoluga põhjaveest on seni Põhja-Eesti aluskorrast saadud põhjavesi Cl-Ca, mitte Cl-Na tüüpi (Vingisaar, 1978) ning nii Kopli poolsaarelt pärinev kui ka Jõhvi süvapuuraududest saadud põhjaveed paigutuvad Piperi diagrammil eemale süngeneetilise signaaliga põhjavetest (joonis 12).

Piperi diagrammi „lahutusvõime“ ei anna siiski ühest vastust kui suurt osakaalu omab Gdovi põhjaveekogumi kloriidi sisaldustes aluskorra või süngeneetilise põhjavee mõjutused. Kloriidi kasvuga kaasnev Ca^{2+} või Na^+ osakaalu muutus annab märksa selgema kaksikjaotuse indikeerimaks aluskorra või süngeneetilise põhjavee mõju puurkaevu vee keemilisele koostisele (joonis 20). Kloriidi tõusuga kaasnev Ca^{2+} osakaalu suurenemine on omane Gdovi põhjaveekogumi lääneosale, kus kloriidi kasv tuleb aluskorra põhjavee arvelt ning Na^+ osakaalu kasv kogumi idaosas viitab süngeneetilise põhjavee mõjule (joonis 21). Ka Ahtme ja Sillamäe puurkaevude keemilise andmestiku nihkumine Piperi diagrammil Lõuna-Eesti mineraalvete ning Rakvere ja Kunda puurkaevude nihkumine aluskorraliste põhjavete suunas kinnitab (joonis 12), et süngeneetilise signaaliga põhjavee mõju on oluline vaid kogumi idaosas ning jääb marginaalseks lääneosas. Seega võib eeldada, et kui Gdovi põhjaveekogumi lääneosas veevõtt Gdovi veekihiest kas väheneb või lakkab, jääb kloriidi sisalduse suurenemine ajutiseks, sest aluskorra veeand on väga väike ning horisontaalsuunaline põhjavee vool magestab peagi lokaalse sooldumise. Kogumi idaosas on aga põhjavee hilisem magestumine vähetõenäoline kuna kogumi lõunapoolse soolasema põhjavee survetase on kõrgem kui rannikualal ning kohalike survetasemete depressioonide täitumine toimub valdavalt lõuna suunast. Kuna põhjavee keemiline andmestik Ida-Virumaalt on enne ulatuslikku põhjaveevõttu (50ndate esimene pool) äärmiselt lünklik või ebausaldusväärne, ei saa kindlalt väita, et sealne süngeneetilise põhjavee mõju Gdovi põhjavee keemilisele koostisele on ulatusliku inimõju tulem. Võimalik, et piirkonnas on juba looduslikult olnud põhjavesi soolasem ning inimtegevus suuri muutusi pole põhjustanud.

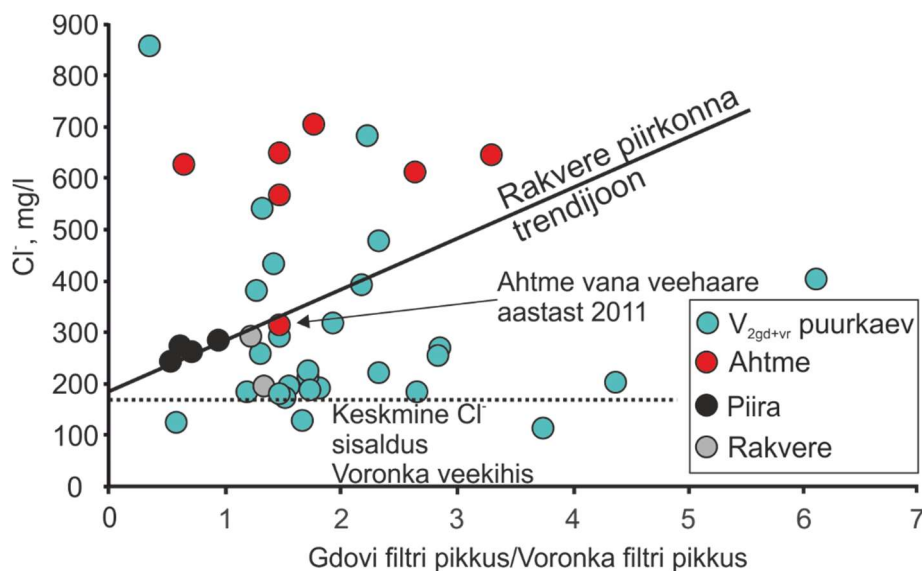


Joonis 20. Ca^{2+} ja Na^+ suhte muutus põhjavees tulenevalt kloriidi allikast

Kloriidi sisalduse muutused Ahtme ja Piira veehaaretes

Piira veehaardel, kus Gdovi põhjavesi saab täiendavat kloriidi aluskorrast, võib veevõtu kõrval sooldumist kontrollivaks teguriks olla lasuva murenemiskooriku paksus ja veeand (poorsus). Nii lühikesel lõigul (700 m), kus asuvad Piira veehaarde kaevud, ei tohiks suuri kõikumisi murenemiskooriku paksuses ja veeannis olla. Samas erinevad kloriidi sisaldused veehaarde puurkaevudes ning on olnud peale veehaarde kasutusse võttu (2001. a) kerges kasvutrendis. Kloriidi sisalduse kasv on eriti selgelt ilmnenud puurkaevus

nr 2474 peale veehaarde laiendust 2001. aastal, hoolimata veevõtu vähenemisest nimetatud puurkaevus (joonis 8). Teistest erineb puurkaev nr 14160, kus kloriidi sisaldused pigem langevad. Nimetatud puurkaev asub küll teistest veehaarde puurkaevudest ainult ≈ 200 m eemal, kuid ammutatava vee väiksem kloriidi sisaldus tuleneb pigem filtrite pikkustest (pikem filtri osa jääb Voronka veekihti ja lühem Gdovi veekihti). Ka teistes Piira veehaarde puurkaevudes ilmnes seos maksimaalsete kloriidi sisalduste ning Voronka ja Gdovi veekihte avavate filtrite pikkuste suhtest (joonis 22). Kuigi kloriidi sisaldused on Piira veehaarde puurkaevudes kasvanud tänu aluskorralise põhjavee tõusvale voolule on antud veehaardes kloriidi sisaldust kontrollivaks parameetriks pigem Voronka magedama põhjavee lahjendav mõju. Kui Voronka veekihti avava filtri osakaal kogu puurkaevu filtrist on väike kaasneb suurem tõenäosus ammutatava põhjavee sooldumiseks.



Joonis 22. Kloriidi sõltuvus Gdov+Voronka tüüpi puurkaevude filtrite pikkuste suhtest uuringuala piires

Ahtme veehaardes puurkaevu filtrite suhte ja maksimaalse kloriidi sisalduse vahel seost ei ilmnenud. Kuna Ahtme veehaardes levivad kloriidid pärinevad valdavalt basseini süngeneetilisest veest, mitte aluskorrast, siis peaks just nimelt siin selgelt ilmnema kaevu filtrite pikkuste suhte seos kloriidi sisaldusega. Ahtme veehaarde keskel asuvatel puurkaevudel oli väga sarnane kloriidi kõikumiste trend, mis ei sõltunud kaevu veevõtust. Veehaarde äärtel paiknevates puurkaevudes on kloriidi sisalduste kõikumised erinevad veehaarde keskel asuvatest puurkaevudest. Ühtlasi olid äärmiste puurkaevude kloriidi sisaldused ka tunduvalt madalamad kui veehaarde keskel (joonis 6). Valdavalt jäävad kloriidi sisaldused Jõhvi lähiümbruses alla 600 mg/l (joonis 18) kuid Ahtme veehaardes registreeritud maksimaalsed kloriidi sisaldused on ulatunud kuni 850 mg/l. Selle üheks põhjuseks on ulatuslik kõrgema mineraalsusega süngeneetilise põhjavee sissetung. Erinevused kloriidi sisaldustest veehaarde äärtel ja keskmises tulenevad Voronka veekihi madalamast veejuhtivusest võrreldes Gdovi veekihihiga, mille tulemusena moodustuvad esimeses märksa ulatuslikumad põhjavee survetaseme alandused kui Gdovi

veekihis (Raidla jt, 2019a). Võimalik, et veehaarde poolt tekitatud lokaalse depresioonilehtri keskmesse jäävates puurkaevudes on Voronka veekihi survetase kriitiliselt madal ning veeand Voronka veekihti avavates filtrites on langenud nulli lähedaseks. Selle tulemusel on Voronka põhjavee magestav mõju Ahtme veehaarde keskmistes puurkaevudes praktiliselt kadunud ning ammutatava vee kloriidi sisaldus vastab Gdovi veekihi põhjavee kloriidi sisaldusele. Viimastel aastatel on veevõttu Ahtme veehaardest oluliselt vähendatud, millele on järgnenud ka mõningane kloriidi sisalduste langus. Võimalik, et veevõtu vähenemisega on põhjavee survetase Voronka veekihis tõusnud, millega koos on vähesel määral taastunud ka Voronka põhjavee magestav mõju puurkaevudes. Veehaarde seiskamisel võiks eeldada veehaarde keskel asuvate puurkaevude kloriidi sisalduste langemist äärmiste puurkaevude tasemele.

Puurkaevu filtrite suhte ja maksimaalse kloriidi sisalduse vahelise seose üldistamine teistele veehaardetele jääb siiski küsitavaks. Kuigi joonisel 22 esitatud joone lähedusse jääb teisigi puurkaeve, seal hulgas ka Rakverest põhjapool asuv puurkaev nr 10711, võib nende paiknemine seal olla juhuslik. Joonisel 22 esitatud Rakvere piirkonna trendijoonest allapoole jäävate kaevude kloriidi sisaldused on küllalt ühtlased ja lähedased Voronka veekihi keskmisele kloriidi sisaldusele. Võimalik, et antud kaevudes on veevõtt nii väike, et valdav osa väljapumbatavast veest pärineb pumbale lähemast Voronka filtrist. Samas ei asetu need segukaevud Piperi diagrammil mitte Voronka vaid Gdovi põhjaveele tüüpilisele väljale.

Olemasolevale andmestikule toetudes kujuneb arvamus, et nii Gdov+Voronka tüüpi kui ka Gdovi põhjaveekogumisse kuuluva üksiku puurkaevu sooldumine on eelkõige sõltuv ümbritsevas kivimis leviva põhjavee kloriidi sisaldusest. Teised mõjurid (veevõtt puurkaevust ja/või lähikonna puurkaevudest, filtrite pikkus ja asetus kivimi suhtes) omavad ka osa kloriidi maksimaalse sisalduse kujunemisel, kuid nende avaldumine on puurkaevuspetsiifiline (lokaalne) ning laiemates üldistustes nendele parameetritele tugineda ei saa.

5. Soovitused

- Vältida Gdovi põhjaveekogumis põhjaveevõtu kontsentreerumist mingile kitsale alale (vahemaa kaevude vahel vähem kui 300 m), kuna sellega kaasneb ala keskmesse jäävate kaevude sooldumine.
- Vältida segutüüpi (Gdov+Voronka) puurkaevude rajamist. Konserveerituna võivad seda tüüpi puurkaevud soodustada Voronka põhjavee sooldumist.
- Seadusandluses võiks selgesõnaliselt reglementeerida, et puurkaevu rajamise käigus tohib olla avatud ainult üks põhjaveekiht. Tuleks vältida nii ülemiste põhjaveekihtide vee sissevoolu puurkaevuga avatavasse alumisse põhjaveekihti kui ka alumiste veekihtide soolasema vee sissevoolu ülemisse puurkaevuga avatavasse põhjaveekihti.
- Vältida suuremahuliste veehaarete rajamist Gdovi põhjaveekogumi ida- ja kaguosas, kuna sealsed veehaarded võivad peagi soolduda süngeneetilist signaali kandva põhjaveega. Tegemist on ilmselt pöördumatu protsessiga.
- Hetkel on riiklik põhjavee seirevõrk koondunud põhjarannikule ning kogumi lõunaosas, kus on suur sooldumise risk, ei asu ühtegi seirekaevu. Eelkõige peaks seirevõrku täiendama piirkondades, kus toimub ulatuslik veevõtt (nt Rakvere ja Jõhvi piirkond).
- Praegu on riiklikus seires ka kaks rannikul asuvat seirekaevu (PK 2494 ja PK 2464), mille isotoopkoostis näitab selgelt ürgorgude magestavat mõju. Sellised kaevud mõjutavad põhjaveekogumi seisundi hindamisel arvutatavaid põhjaveekogumi keskmiseid väärtuseid. Ka see asjaolu kinnitab seirevõrgu täiendamise vajalikkust eelkõige kogumi lõunaosas.

Kokkuvõte

Omaaegne Gdov+Voronka tüüpi puurkaevude arvamine Gdovi põhjaveekogumisse on üldiselt põhjendatud, kuid jääb küsitavaks kogumi loodeosas. Sealne Voronka põhjaveekogum on oluliselt mõjutatud ürgorgudest ning nende mõju võib ulatuda ka Gdovi põhjaveekogumisse läbi segutüüpi puurkaevude. Seega sarnaneb Gdovi kogumi loodeosas segutüüpi puurkaevude vesi Voronka põhjaveele.

Kloriidi kasv Gdovi kogumis tuleneb kahest allikast, aluskorrast pärineva soolasema põhjavee tõusev vool ja/või lõuna ning idapool leviva süngeneetilise signaaliga kloriidirikka põhjavee sissetung Gdovi põhjaveekogumisse. Süngeneetilise signaaliga põhjavesi põhjustab ilmselt pöördumatu kloriidi sisalduse kasvu. Eelkõige on sooldumisest ohustatud Gdovi põhjaveekogumi kaguosa, kust toimub ka Ahtme piirkonna veevõtt. Voronka põhjaveekogumis sooldumisest ohustatud alasid ei tuvastatud, küll on aga kogumi loodeosa avatud ülemistele põhjaveekihtidele ning seega maapinnalt pärinevale reostusele.

Selget seost põhjavee tarbimise ja kloriidide kasvu vahel Gdovi ja Gdov+Voronka tüüpi puurkaevudes ei tuvastatud. Gdovi kogumi puurkaevude kloriidi sisaldused on eelkõige kontrollitud ümbritsevas kivimis leviva põhjavee kloriidi sisaldusest. Teised mõjurid (veevõtt puurkaevust ja/või lähikonnast, filtrite pikkus, asetus kivimi suhtes) omavad ka osa kloriidi sisalduse kujunemisel, kuid nende avaldumine on puurkaevu spetsifiline (lokaalne) ning kogumiülestes üldistustes neid parameetreid kasutada ei saa või tuleb neisse suhtuda ettevaatlikult.

Hetkel toimub kõige suuremahulisem Gdovi põhjaveekogumi vee tarbimine Piira ja Ahtme veehaardes. Kloriidi tõus Rakvere ümbruse Gdovi kogumisse kuuluvates puurkaevudes tuleneb tõusvast soolase vee sissevoolust aluskorrast. Ahtme veehaarde puhul tuleb valdav kloriidi sisalduse kasv Gdovi veekihi lõunapoolsemate vete sissetungist ja magedama Voronka veekihi ammendumisest veehaarde keskosas.

Summary

This hydrogeological study has been conducted in accordance with the cooperation agreement no. 4-6/50/3 concluded on 17 July 2019 between the Ministry of the Environment and the Geological Survey of Estonia. This partnership agreement has been concluded in connection with the LIFE IP CleanEST project (LIFE Grant Agreement no. LIFE17 IPE/EE/000007; 14 December 2018).

One of the conditions for good chemical status of the Cambrian-Vendian Gdov groundwater body is the absence of upward trends in chloride concentrations, which could indicate salinisation of groundwater due to human activities. However, chloride concentrations higher than the limit value for drinking water have been observed in the Gdov groundwater body, which limits the use of this groundwater as a drinking water source. The aim of the study was to clarify the origin and the reason for the increase of chloride concentrations in the Ahtme and Piira water intakes (wells opening both the Gdov and Voronka aquifers simultaneously). The correlation between chloride content and water abstraction in these wells was also studied. The goal was also to clarify if the water quality in these wells is mainly related to the Voronka or Gdov aquifer. During the study, the origin and the reason for the increase in chloride content in Gdov groundwater body as a whole was also studied.

During the study period, water samples were collected from 41 wells (opening Gdov and Voronka aquifers) for analysis of groundwater chemical and isotopic composition. The study concluded that the increase in chloride content in the wells of Piira water intake is due to the increasing inflow of saline water from the underlying crystalline basement. The increase in chloride content in the wells of Ahtme water intake is due to the intrusion of chloride-rich water from the southern deeper part of the Gdov aquifer. Additional cause for an increase in Ahtme water intake is the depletion of Voronka aquifer in the middle of the intake. The Voronka aquifer which has lower chloride concentration can cause dilution in the center of intake, but due to the depletion of Voronka aquifer Ahtme intake consumes water from Gdov aquifer (higher chloride contents). Clearly identifiable correlation between chloride content and water abstraction of the wells in these intakes was not detected. The wells which open the Gdov and Voronka aquifers simultaneously have more similarities to wells opening the Gdov aquifer than Voronka.

Looking at the Gdov groundwater body as a whole, the study concluded that there are two reasons for the increase in chloride content. Firstly, the chloride comes from the underlying crystalline basement and this was mainly observed in the western part of the groundwater body. In the eastern part of the Gdov groundwater body the increase in chloride is due to the invasion of chloride-rich water (formation water) from the southern and eastern parts of the aquifer itself. Inflow of formation water is likely to cause an

irreversible increase in chloride. The south-eastern part of Gdov groundwater body is most likely vulnerable to this kind of salinisation (similar to the area near the Ahtme water intake).

Based on the study, no threat to salinisation in the Voronka groundwater body was detected. However, there are areas in north-western part of Voronka groundwater body which are impacted by ancient buried valleys. In these areas Voronka and partly Gdov aquifers are connected to upper aquifers, which causes them to have lower chloride concentrations. These areas are also more easily exposed to pollution from the ground surface.

Kasutatud kirjandus

EGT hüdroteoloogiline andmebaas (vaadatud oktoober 2020).

Gerber, C., Vaikmäe, R., Aeschbach, W., Babre, A., Jiang, W., Leuenberger, M., Lu, Z.-T., Mokrik, R., Müller, P., Raidla, V., Saks, T., Waber, H.N., Weissbach, T., Zappala, J.C., Purtschert, R., 2017. Using 81Kr and noble gases to characterize and date groundwater and brines in the Baltic Artesian Basin on the one-million-year timescale. *Geochim. Cosmochim. Acta* 205, 187–210.

Karro, E.; Marandi, A.; Vaikmäe, R. The origin of increased salinity in the Cambrian-Vendian aquifer system on the Kopli Peninsula, northern Estonia. *Hydrogeol. J.* 2004, 12, 424–435.

KAUR, 2020. Keskkonnaagentuuri infopäringu vastus (juuli 2020).

Keskkonnaagentuur, 2019. Põhjaveekogumite seire 2018. aasta aruanne. Tallinn
<http://kaur.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=7ca1cfe4685143c8896e63abbbee1b70#>

Keskkonnaministri 01.10.2019 määrus nr 48 "Põhjaveekogumite nimekiri ja nende eristamise kord, seisundiklassid ja nende määramise kord, seisundiklassidele vastavad keemilise seisundi määramiseks kasutatavate kvaliteedinäitajate väärtused ja koguselise seisundi määramiseks kasutatavate näitajate tingimused, põhjavett ohustavate saasteainete nimekiri, nende sisalduse läviväärtused põhjaveekogumite kaupa ja kvaliteedi piirväärtused põhjavees ning taustataseme määramise põhimõtted"

Keskkonnaseire andmete kogumise ja avalikustamise infosüsteem (KESE)
<https://kese.envir.ee/kese/welcome.action>

Koistinen, T. (toimetaja), 1994. Precambrian basement of the Gulf of Finland and surrounding area, 1:1 mill. Geological Survey of Finland, Espoo.

KOTKAS, 2020. Keskkonnaotsuste infosüsteem. <https://kotkas.envir.ee/>

Liivamägi, S.; Somelar, P.; Mahaney, W.C.; Kirs, J.; Vircava, I.; Kirsimäe, K. Late Neoproterozoic Baltic paleosol: Intense weathering at high latitude? *Geology* 2014, 42, 323–326.

Marandi, A., Osjamets, M., Polikarpus, M., Pärn, J., Raidla, V., Tarros, S., Vallner, L., 2019. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine, koormusallikate hindamine ja hüdroteoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Metspalu, H., Pekri, L., Hansen, R., Kärmas, K., OÜ Järve Biopuhastus, 2014. Kohtla-Järve linna ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2015-2026. Töö nr 250-14 (JB19), AS Infragate Eesti, Tallinn.

Mokrik, R., 1997. The Palaeohydrogeology of the Baltic Basin. Tartu University Press, Tartu, 1-138.

Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.

Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Truu, M., Häelm, M., Jaštšuk, S., 2010. Eesti põlevkivimaardla põhjaveearule hinnangu andmine. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Pirrus, E., 2001. Eesti geoloogia. TTÜ Mäeinstituut, Tallinn, 1-72.

Pärn, J., Raidla, V., Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Mokrik, R., Erg, K., 2016. The recharge of glacial meltwater and its influence on the geochemical evolution of groundwater in the Ordovician-Cambrian aquifer system, northern part of the Baltic Artesian Basin. Applied Geochemistry 72: 125–135.

Raidla, V., Kirsimäe, K., Vaikmäe, R., Jõelet, A., Karro, E., Marandi, A., Savitskaja, L., 2009. Geochemical evolution of groundwater in the Cambrian-Vendian aquifer system of the Baltic Basin. Chemical Geology, 258, 219–231.

Raidla, V., Kirsimäe, K., Vaikmäe, R., Kaup, E., Martma, T., 2012. Carbon isotope systematics of the Cambrian–Vendian aquifer system in the northern Baltic Basin: implications to the age and evolution of groundwater. Applied Geochemistry, 27, 2042–2052.

Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvāns, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R., 2016. A $\delta^{18}\text{O}$ isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. Journal of Hydrology 542: 254–267.

Raidla, V., Polikarpus, M., Pärn, J., Tarros, S., 2019a. Põhjavee kloriidide sisalduse tõusu põhjuste ja päritolu uuring Sillamäel. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Raidla, V., Pärn, J., Schloemer, S., Aeschbach, W., Czuppon, G., Ivask, J., Marandi, A., Sepp, H., Vaikmäe, R., Kirsimäe, K., 2019b. Origin and formation of methane in groundwater of glacial origin from the Cambrian-Vendian aquifer system in Estonia. Geochem. Cosmochim. Acta 251, 247–264.

Raidla, V., Tarros, S., Pärn, J., Hunt, M., 2020. Viimsi valla ja Prangli saare joogi- ja põhjavee seire 2019. aastal. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere, 1-44.

Savitskaja, L., Viigand, A., 1994. Aruanne kambriumi-vendi veekompleksi põhjavee mikrokomponentide ja isotoopkoostise uurimisest joogivee kvaliteedi hindamiseks Põhja-Eestis. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Sotsiaalministri 24.09.2019 määrus nr 61 „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid¹”

Tamberg, I., Uus, E., 2018. Rakvere linna ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2018–2030. Töö nr 15-18, Keskkonnalahendused OÜ, Tallinn.

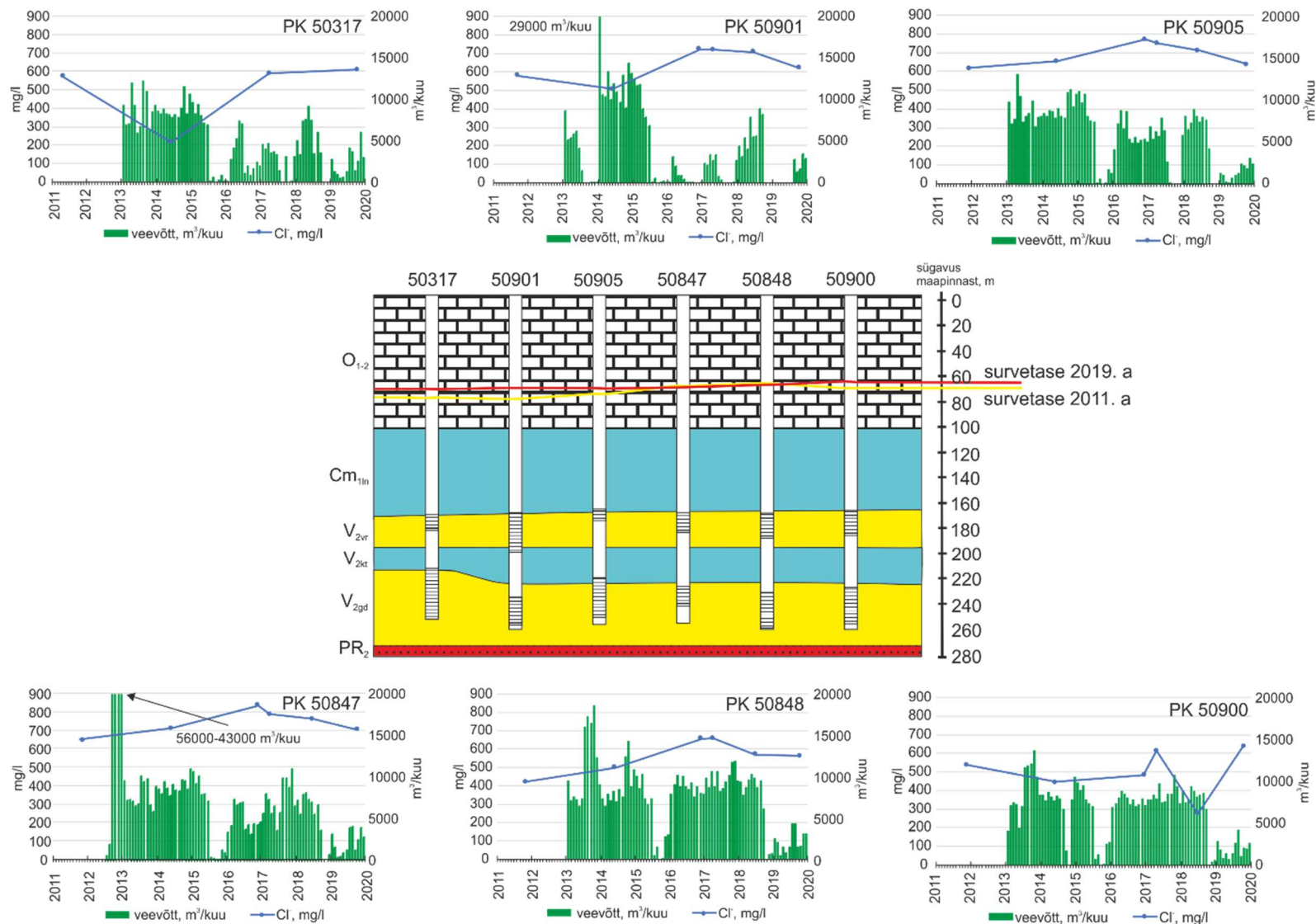
Vingisaar, P., 1978. Eesti mineraalveed ja nende kasutamine. Toim: Kumari, E., Heinsalu, Ü., Viiding, H., Hang, V., Põhjavee Kasutamisest ja kaitsest Eesti NSV. ENSV Teaduste Akadeemia, Tallinn, 54-71.

Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Kaup, E., Raidla, V., Rajamäe, R., Vallner, L., Mokrik, R., Samalavičius, V., Kalvāns, A., Babre, A., Marandi, A., Hints, O., Pärn, J. 2020. Baltic groundwater isotope-geochemistry database. Department of Geology, Tallinn University of Technology. <https://doi.org/10.15152/GEO.488>.

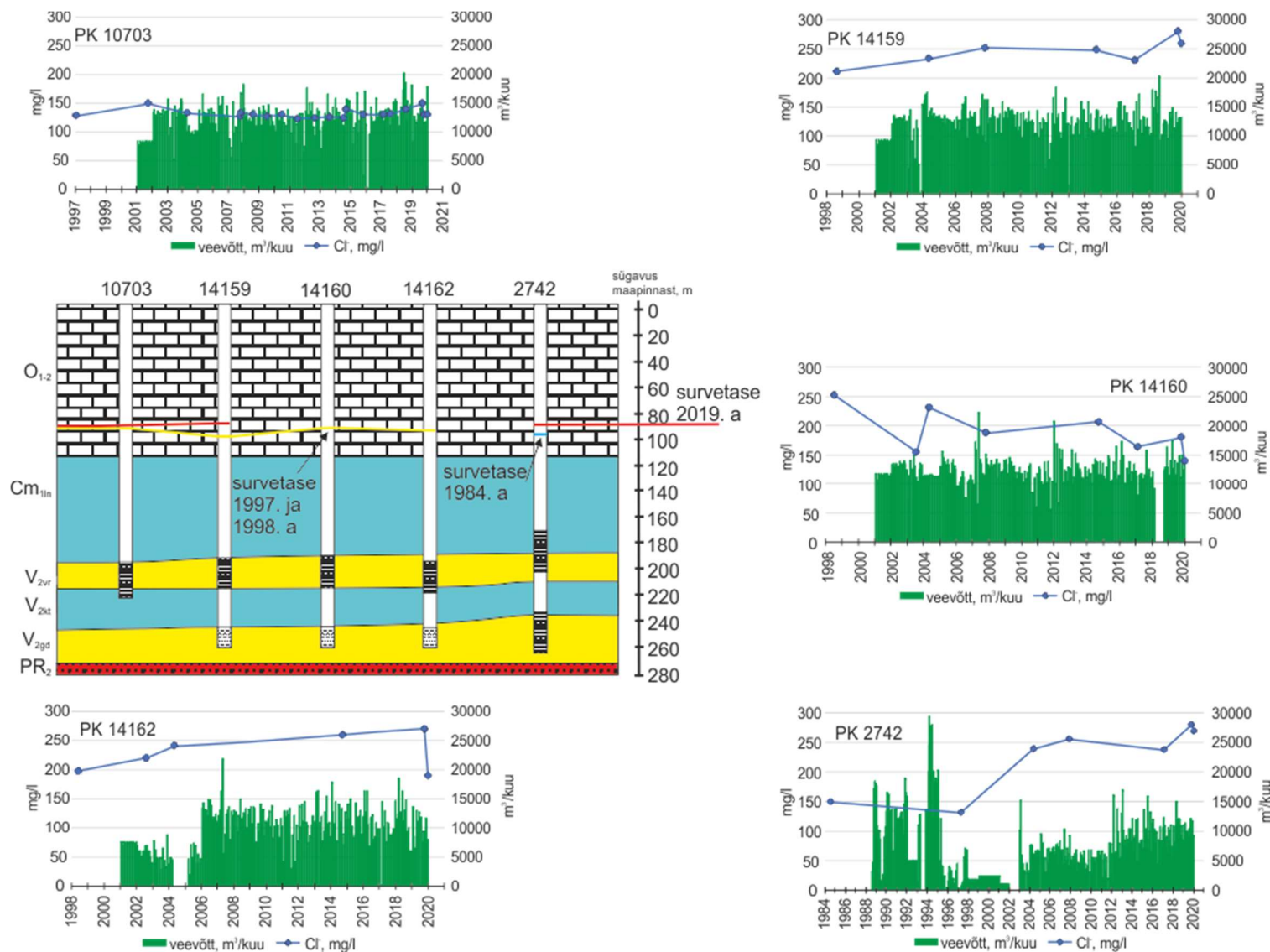
Vallner, L., 1997. Groundwater flow. Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 145–152.

VEKA veebileht, 2020 (Keskkonnaagentuuri poolt hallatav Eesti Looduse Infosüsteem /EELIS andmekogu/. VEKA veebileht on EELIS andmekogu osa, kus leidub veevaldkonnaga seotud info.) <https://veka.keskkonnainfo.ee/veka.aspx?type=artikkel&id=214457803>

Lisa 1. Kuupõhine veevõtt ja Cl⁻ sisaldus Ahtme veehaarde puurkaevudes aastatel 2011 – 2019



Lisa 2. Kuupõhine veevõtt ja Cl⁻ sisaldus Piira veehaarde puurkaevudes aastatel 1984 – 2019



Lisa 3. Uuringupiirkonna iseloomustamiseks kasutatud keemiliste ja isotoopanalüüside tulemused

LIFE IP CleanEST projekti raames kogutud veeproovide tulemused ja lisa andmed: a - Vaikmäe jt, 2020; b - VEKA, 2020.

Kat. nr	Vee-kiht	L-EST X	L-EST Y	Kuupäev	Kaevu sügavus	Filtrasiukoht				Veetase (toru suudmest)	Temp	Lah. O ₂	El. juht.	pH	δ ¹⁸ O	δ ² H	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe _{üld}	Fe ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	Kuivjääk	Vaba CO ₂	SiO ₂	Mn	KHT _{Mn}	Üldkaredus	Värvus	Läbi- paistvus	Hägu- sus																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
						V _{vr_alg}	V _{vr_lõpp}	V _{gd_alg}	V _{gd_lõpp}						‰	‰	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l</

Kat. nr	Vee-kiht	L-EST X	L-EST Y	Kuupäev	Kaevu sügavus	Filtri asukoht				Veetase (toru suud-mest)	Temp	Lah. O ₂	El. juht.	pH	δ ¹⁸ O																δ ² H																K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe _{üld}	Fe ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	Kuiv-jääk	Vaba CO ₂	SiO ₂	Mn	KHT _{Mn}	Üld-karedus	Vär-vus	Läbi-paistvus	Hägu-sus																		
						%																%																K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe _{üld}	Fe ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻																							SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	Kuiv-jääk	Vaba CO ₂	SiO ₂	Mn	KHT _{Mn}	Üld-karedus	Vär-vus	Läbi-paistvus	Hägu-sus					
						%																%																																																																
					m				°C				mg/l				‰, VSMOW																mg/l																				µg/l				mgO ₂ /l				mg-ekv/l				mg/l Pt				cm				NTU													
2775	V _{2gd}	6599111	641753	30.10.2019	205					10,5	0,7	1423	7,4	-21,5	-162,0	11,0	150,0	82,0	27,0	0,49	1,60	0,21	237,0	300,0	< 5	<0,09	<0,007	0,85	893	8,8	7	120	3,6	6,29	50	33	22,0																																																	
2964	V _{2gd}	6584310	673918	15.10.2019	235					12,2	0,1	920	7,8	-20,0	-148,9	8,0	130,0	50,0	18,0	0,21	0,50	0,42	170,0	220,0	< 5	0,1	<0,007	0,95	560	4,8	6,5	78	<1	1,99	20	60	4,0																																																	
3323 ^a	V _{2gd}	6595669	653841	12.11.2007	207							1027	10,1	-21,1																																																																								
4046 ^b	V _{2gd}	6590411	672055	28.02.1987	225								7,7			9,2	111,2	39,3	16,3			1,10	195,3	167,0			0,05			7																																																								
5433 ^b	V _{2gd}	6611439	614449	21.06.1991	103								7,8			6,3	25,8	43,1	9,7			1,07	231,9	25,5			1,95			8,7																																																								
9026 ^b	V _{2gd}	6581360	694796	18.09.2012	270								7,5			10,8	400,0	63,7	31,1	0,13		0,42	122,0	756,2	16,5	0,4	0,031			5,1																																																								
2772	V _{2gd}	6598168	642593	19.11.2019	225			170,0	220,0																																																																													
2143 ^a	V _{2gd+vr}	6589550	685648	26.04.2006	255	138,0	170,2	212,5	250,0			813	7,7	-19,2									195,3																																																															
2145 ^b	V _{2gd+vr}	6587803	684073	27.03.1962	266	148,0	166,9	211,4	266,0				7,4				142,8	50,1	19,9	<0,05	<0,30		170,9	267,7	<3,3	<0,40	<0,003																																																											
2149 ^b	V _{2gd+vr}	6589266	685538	21.10.1972	260	148,0	168,0	225,0	255,0				7,6			10,3	160,0	47,5	20,1	<0,05	0,30		164,7	289,0	<3,3	<0,40	<0,003																																																											
2184 ^b	V _{2gd+vr}	6590080	683294	3.04.1979	246	136,3	153,1	191,9	240,1								142,3	50,1	20,7		0,75		195,3	250,9	5,2																																																													
2185 ^b	V _{2gd+vr}	6590290	683533	23.05.1978	247												147,6	50,1	18,2		0,60		213,6	245,0	<3,3																																																													
2219 ^b	V _{2gd+vr}	6588623	687787	13.02.1987	263	164,3	180,3	212,2	255,0								170,0	20,0	6,1	0,14	0,26		195,3	180,0	2,5	1,3	0,012																																																											
2248 ^b	V _{2gd+vr}	6583282	680459	2.04.1959	263	150,0	170,8	217,0	263,0				7,6				291,1	30,0	6,1	0,05	0,05		213,5	388,1	10,0																																																													
2274 ^b	V _{2gd+vr}	6585797	695045	4.07.1978	270												254,8	57,1	37,1		0,39		146,4	514,5	3,6																																																													
2275 ^b	V _{2gd+vr}	6585535	694132	16.07.1979	260	150,5	165,0	216,0	250,0								245,8	60,1	24,3		1,26		140,3	473,8	1,5																																																													
2279 ^b	V _{2gd+vr}	6584844	692949	6.03.2000	265	165,0	185,0	220,0	259,0				8,1			6,7	211,1	31,1	11,8	<0,05	0,28	0,28	158,6	315,2	<3,3	<0,40	<0,003																																																											
2280 ^b	V _{2gd+vr}	6585463	694166	1.10.1953	261	168,0	176,0	206,0	255,0				7,2				229,5	62,0	16,9	0,04	1,25	1,19	170,8	399,1	20,0																																																													
2286 ^b	V _{2gd+vr}	6584531	693538	18.07.1961	260	174,6	194,9	232,8	260,0				7,8				274,0	65,4	26,6		0,10		134,2	538,2			0,03																																																											
2291 ^b	V _{2gd+vr}	6582833	667146	22.05.1986	262	140,0	155,0	221,2	256,5				7,7			6,9	120,0	43,9	14,2	<0,05	0,18		183,1	217,4	<3,3	<0,40	0,026							< 1																																																				
2299 ^a	V _{2gd+vr}	6583980	669460	6.09.2016	255	140,0	162,4	221,0	248,3			877	8,2	-20,0	-150,1	7,6	130,0	32,0	13,0	<1,4			152,6	180,0	<3,3	<1,8	<1,4	1,10																																																										
2315 ^b	V _{2gd+vr}	6583447	669886	18.12.1984	255	149,3	175,0	201,4	246,2				8,0				114,1	52,1	17,0	0,16	0,05		183,0	210,0	2,0	<0,40	0,003																																																											
2327 ^b	V _{2gd+vr}	6583986	668980	17.12.1987	245	145,5	170,5	196,5	240,0								105,0	50,1	30,4	0,22	0,48		183,1	220,0	1,0	<0,40	<0,003							2,30																																																				
2328 ^b	V _{2gd+vr}	6584024	672639	21.07.1999	250	145,5	161,7	215,9	244,5				8,1			6,5	102,4	34,5	15,4	0,17	0,38	0,34	158,6	185,8	7,2	0,6	<0,003																																																											
2331 ^a	V _{2gd+vr}	6585771	672849	26.08.2002	225	124,0	145,0	187,0	220,0			867	7,9	-19,9		8,3	130,0	32,1	12,4		0,09		190,0	190,0	0,2					3,3				2,40																																																				
2349 ^b	V _{2gd+vr}	6582642	686347	14.04.1970	262								7,1				193,3	38,7	15,7	<0,05			158,6	318,8	2,0	<0,40	0,03																																																											
2350 ^b	V ₂																																																																																					

Kat. nr	Vee-kiht	L-EST X	L-EST Y	Kuupäev	Kaevu sügavus	Filtri asukoht				Temp	Lah. O ₂	El. juht.	pH	δ ¹⁸ O	δ ² H	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe _{üld}	Fe ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	Kuiv-jääk	Vaba CO ₂	SiO ₂	Mn	KHT _{Mn}	Üld-karedus	Vär-vus	Läbi-paistvus	Hägu-sus
						V _{vr_alg}	V _{vr_lõpp}	V _{gd_alg}	V _{gd_lõpp}																												
						m																															
10715	V _{2gd+vr}	6585315	636086	22.10.2019	235	158,0	178,0	197,8	225,0	10,9	0,1	804	7,2	-20,6	-153,2	8,3	100,0	43,0	21,0	0,23	0,59	0,52	170,0	190,0	<0,2	<0,20	<0,016	0,53	540	3,3	6,9	25	1,1	3,7	20	>30	2,1
14159	V _{2gd+vr}	6579654	635542	17.10.2019	260	193,0	216,0	243,0	260,0	12,4	0,1	1065	7,5	-20,2	-150,5	9,2	100,0	72,0	25,0	0,25	1,20	1,20	160,0	280,0	<0,2	<0,20	<0,016	0,83	840	4,8	6,4	65	<1	5,6	50	>30	5,6
14160	V _{2gd+vr}	6579743	635665	17.10.2019	260	191,0	216,0	246,0	260,0	11,8	0,1	802	7,7	-20,2	-150,7	8,1	92,0	41,0	19,0	0,21	0,58	0,58	180,0	180,0	<0,2	<0,20	<0,016	0,58	580	3,4	6,8	62	1,1	3,7	20	>30	2
14162	V _{2gd+vr}	6579869	635484	17.10.2019	260	193,0	218,0	244,0	260,0	12,2	1,8	1034	7,6	-20,0	-149,2	9,1	100,0	68,0	23,0	0,25	1,40	1,20	170,0	270,0	<0,2	<0,20	<0,016	0,84	830	4,8	6,4	59	<1	5,3	50	>30	6,2
50317	V _{2gd+vr}	6580973	695050	15.10.2019	259	167,6	182,6	212,6	252,6	13,3	0,1	2203	7,8	-18,5	-137,0	12,0	360,0	63,0	30,0	0,23	0,30	0,27	117,0	609,0	<5	<0,09	<0,007	0,74	1414	3,9	7,4	180	3,4	2,8	20	>60	2,99
50847	V _{2gd+vr}	6580702	695434	15.10.2019	256	165,6	182,4	224,4	254,4	13,7	0,1	2536	7,8	-18,3	-135,9	12,0	420,0	65,0	31,0	0,24	0,28	0,25	114,0	701,0	<3,3	0,1	<0,007	0,69	1626	4	7,5	160	4,8	2,9	20	>60	2,78
50848	V _{2gd+vr}	6580609	695550	15.10.2019	260	167,0	187,0	229,0	259,0	13,2	0,1	2211	7,8	-18,6	-138,0	10,0	350,0	54,0	27,0	0,24	0,26	0,24	121,0	563,0	<5	0,2	<0,007	0,69	1285	3,6	7,3	160	4,8	2,41	20	>60	1,84
50869 ^b	V _{2gd+vr}	6588507	687173	26.07.2011	260	165,0	185,0	227,0	257,0				8,0			8,4	171,0	49,5	19,0	0,23	0,33		115,9	310,0	<3,3	<0,45	0,011										
50900	V _{2gd+vr}	6580503	695635	15.10.2019	260	164,0	184,0	226,0	256,0	13,3	0,2	2367	7,8	-18,5	-137,6	12,0	390,0	63,0	29,0	0,24	0,29	0,21	115,0	644,0	<5	0,1	<0,007	0,71	1539	4	7,3	170	2,3	2,77	20	>60	2,17
50901	V _{2gd+vr}	6580855	695158	15.10.2019	260	168,0	198,0	234,0	254,0	13,3	0,1	2272	7,8	-18,5	-137,5	12,0	370,0	63,0	28,0	0,23	0,28	0,23	115,0	622,0	<5	0,1	<0,007	0,74	1476	4,1	7,7	170	1,4	2,73	20	>60	2,51
50905	V _{2gd+vr}	6580783	695283	15.10.2019	257	165,0	174,0	220,0	250,0	13,3	0,1	2348	7,8	-18,5	-137,4	12,0	390,0	29,0	29,0	0,25	0,31	0,23	115,0	641,0	<5	<0,09	<0,007	0,75	1599	3,8	7,4	170	2,9	2,78	20	>60	3,08
51040 ^b	V _{2gd+vr}	6593782	662539	24.04.2012	192	82,4	118,4	136,4	190,4				8,1			9,0	94,2	65,5	20,2	0,38	0,09		256,3	178,0	<3,3	<0,45	0,007										
683 ^a	V _{2vr}	6606739	597714	15.06.1990	81									-13,4																							
686 ^b	V _{2vr}	6603741	601080	28.02.1990	69								7,5			7,0	44,6	24,5	10,6	0,05	0,10		134,2	73,8							6,4						
687 ^b	V _{2vr}	6603167	601275	11.04.1997	85								7,9			4,2	21,7	22,7	6,0	0,15	0,28		109,8	25,5	2,0	0,1	0,003	0,60			6,1						
688 ^b	V _{2vr}	6602537	601357	28.02.1990	85								7,7			8,5	50,8	53,1	13,0	0,05	0,08		170,9	87,9	18,0		0,004				6,9						
690 ^a	V _{2vr}	6603814	601389	27.08.2013	103								8,1	-12,3	-87,6	3,3	7,5	18,8	4,3	<0,07		0,13	97,6	5,0	<3,3	<0,4	<0,004	0,23									
719 ^a	V _{2vr}	6611155	595331	28.08.2002	154							986	7,8	-13,8		7,7	93,0	77,8	13,1		0,88	0,55		220,0	0,2						5,2						
733 ^a	V _{2vr}	6598607	595423	28.08.2002	112							330	7,6	-12,6		5,5	18,0	36,1	9,5		0,31	0,14	190,0	13,0	1,9						3,6						
745 ^a	V _{2vr}	6596155	591319	25.09.2007	192							159	8,1	-12,0		6,9	22,4	4,1					109,8	6,4	<3,3												
1047 ^a	V _{2vr}	6613954	598365	01.07.2016	119							755	7,9	-14,1	-102,4	6,7	66,0	68,0	9,6	3,40			261,6	100,0	<4,5	<1,8	<1,4	0,63									
1450 ^a	V _{2vr}	6605772	611159	28.06.1994	103								7,6	-12,3		4,2	5,0	23,2	8,9				109,8	7,4	<3,3						11,4						
2079 ^b	V _{2vr}	6598198	728906	10.03.1992	119								8,1			4,5	179,0	9,8	4,1	0,38	0,08		207,5	193,6	<3,3	3,3	0,003				8,1						
2083 ^a	V _{2vr}	6597293	728649	4.07.1994	120								7,4	-18,5		4,0	182,5	8,8	4,1				195,3	199,6	1,7						4,5						
2085 ^b	V _{2vr}	6595586	727269	29.06.1999	115								8,1			4,4	177,8	6,8	2,3	0,06	0,53		219,6	161,7	2,0	0,4	0,006	0,65			5,9						
2088 ^a	V _{2vr}	6597265	728629	10.09.2014	120																																

Kat. nr	Vee-kiht	L-EST X	L-EST Y	Kuupäev	Kaevu sügavus	Filtrasiukoht				Veetase (toru suudmest)	Temp	Lah. O ₂	El. juht.	pH	δ ¹⁸ O	δ ² H	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe _{üld}	Fe ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	Kuiiv-jääk	Vaba CO ₂	SiO ₂	Mn	KHT _{Mn}	Üld-karedus	Värvus	Läbi-paistvus	Hägu-sus		
						V _{vr_alg}	V _{vr_lõpp}	V _{gd_alg}	V _{gd_lõpp}																															
															m				°C	mg/l		%o, VSMOW												mg/l						
15124 ^b	V _{2vr}	6608488	617844	4.02.2000	79								8,1			5,7	9,0	38,9	11,2	0,52	1,06		201,3	7,4	2,0	0,4	0,006													
15375 ^b	V _{2vr}	6606919	621660	29.07.2000	80								6,9			5,3	11,3	30,1	11,2	0,26	0,12		189,1	7,4	2,0	0,4	0,003													
15520	V _{2vr}	6594470	640566	19.11.2019	145					8,7	0,06	715	8,3	-21,4	-159,5	8,6	100,0	32,0	14,0	0,40			195,0	130,0	< 5	0,18						33	2,2							
16121	V _{2vr}	6584830	695043	16.10.2019	180					11,5	0,1	912	8,2	-19,4	-144,1	5,0	200,0	12,0	10,0	0,07	0,19	0,14	190,0	206,0	< 5	<0,09	0,011	0,58	483	<1,0	6,9	39	2,4	0,55	20	>60	< 0,5			
16660 ^a	V _{2vr}	6614025	595672	01.07.2016	109							1604	7,8	-14,9	-108,4	7,0	160,0	150,0	8,8	1,20			337,9	260,0	<4,5	<1,8	<1,4	0,72												
16735 ^b	V _{2vr}	6610495	611837	12.04.2003	84								7,7			5,3	15,7	28,3	7,7	1,42	1,31		164,7	10,3	2,0	0,4	0,034													
17192 ^b	V _{2vr}	6603525	607765	21.04.1999	110								7,9			4,2	18,8	13,8	4,3	0,05	0,61		97,6	11,0	11,3	0,4	0,016				5,7									
18013 ^a	V _{2vr}	6607289	628340	27.08.2013	86								7,9	-12,4	-87,8	6,0	23,8	31,7	9,6	1,19		1,11	213,5	10,3	<3,3	<0,4	<0,004	0,56												
19316 ^b	V _{2vr}	6604498	611972	21.09.1995	90								8,1			15,6	24,2	14,0	9,7	0,05	0,24		128,1	5,0	36,5	0,4	0,003													
21676 ^b	V _{2vr}	6605857	609417	19.04.2006	100								7,6			1,0	3,5	20,4	5,0	0,07	0,77		79,2	7,1	9,7	0,4	0,005				10,6									
21692 ^b	V _{2vr}	6601328	653576	27.04.2006	82								7,6			3,5	4,5	56,3	16,8	0,43	0,93		256,3	7,1	15,2	0,4	0,004				18									
22834 ^b	V _{2vr}	6611586	610980	21.06.2008	95								7,0			6,5	35,4	29,3	8,3	0,66	0,06		213,5	20,2	3,3	0,4	0,004													
23836	V _{2vr}	6593639	651601	19.11.2019	142					12	0,06	409	7,6	-12,4	-89,7	6,3	14,0	53,0	16,0	0,30			269,0	6,4	7,0	<0,09					99	1,1								
24135 ^b	V _{2vr}	6606989	606682	28.06.2008	113								6,5			2,0	5,3	22,0	4,7	0,10	0,17		97,6	8,5	3,3	0,4	0,004				10,3									
24179 ^b	V _{2vr}	6591593	669395	20.08.2008	99								8,4			10,0	92,0	37,1	14,2	0,07	0,06		176,9	161,7	3,3	0,4	0,004				5,5									
25533 ^b	V _{2vr}	6603933	611986	1.10.2009	92								8,1			2,0	4,0	15,8	4,9	0,07	0,42		73,2	6,7	3,3	0,4	0,004	0,50												
52515	V _{2vr}	6606044	610525	21.11.2019	80					8,3	0,07	160	8,1	-12,3	-87,9	1,7	4,6	22,0	6,8	0,19			110,0	2,0	1,4	< 0,20					140	1,1								
54701	V _{2vr}	6608825	607932	21.11.2019	80					7,7	0,01	180	8,5	-12,1	-86,2	3,2	9,7	22,0	5,8	0,60			120,0	3,9	1,1	< 0,20					89	1,6								
PA1*	PR ₂			05.03.2020	700									-11,7	-80,9	9,2	592	2380	47,6				4157,1	31,2																
PA2*	PR ₂			05.03.2020	700									-11,7	-81,9	7	181	650	28					89,4	23,6															

*Aluskorra puuraukude keemiliste analüüside tulemused on esialgsed