



KESKKONNAINVESTEERINGUTE KESKUS

Hüdrogeoloogiline uuring seirekaevu
katastri nr 4019 (Iisaku vald, Sõrumäe
küla) piirkonnas
(LIFE IP CleanEST, tegevuse C.9 aruanne)

Rakvere 2020

KINNITATUD
Eesti Geoloogiateenistuse
Teadusnõukogu otsusega

Hüdrokeoloogiline uuring seirekaevu katastri nr 4019 (Iisaku vald, Sõrumäe küla) piirkonnas

VAHEARUANNE

Töögrupi juht: Merle Truu

Töögrupi liikmed: Valle Raidla, Siim Tarros, Maile Polikarpus

Soovitav viitamine: Raidla, V., Truu, M., Tarros, S., Polikarpus, M., 2020. Hüdrokeoloogiline uuring seirekaevu katastri nr 4019 (Iisaku vald, Sõrumäe küla) piirkonnas. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Tegemist on vahearuandega LIFE IP CleanEST projekti aruandest "Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogumi Ida-Eesti vesikonnas hüdrokeoloogilised uuringud".

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. Põhjaveekogumi ja seirekaevu ülevaade	8
2.1. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas.....	8
2.2. Seirekaevu katastri nr 4019 kirjeldus.....	11
3. Metoodika	14
4. Tulemused	19
5. Analüüs.....	25
6. Soovitused	30
Kokkuvõte	32
Summary.....	33
Kasutatud kirjandus.....	34
Lisad	36

Tabelite nimekiri

Tabel 1. Uuringus kasutatud O-Cm veekihti avavad seire- ja tarbekaevud.....	15
Tabel 2. Põhjavee keemiline- ja isotoopkoostis seirekaevu nr 4019 lähiümbruse Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihi puurkaevudes 2019. aastal.....	20
Tabel 3. Geofüüsikaliste mõõtmiste käigus tuvastatud anomaaliade esinemise sügavusvahemikud (m).....	24

Jooniste nimekiri

Joonis 1. Põhjavee veetasemed seirekaevu nr 4019 seiregrupis	7
Joonis 2. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas asukoht.....	8
Joonis 3. Kirde-Eesti hüdroteoloogilise läbilõike skeem	9
Joonis 4. Seirekaevu nr 4019 paiknemine Sõrumäe külas, allmaakaevanduse strekkide suhtes.....	11
Joonis 5. Seirekaevu nr 4019 konstruktsiooni ja läbilõike skeem.....	12
Joonis 6. Põhjaveetaseme ja vee keemilise koostise muutused seirekaevudes nr 4016, 4017 ja 4019	13
Joonis 7. Uuringus kasutatud puurkaevude asukohad.	14
Joonis 8. Täiendavalt uuringus kasutatud Lasnamäe-Kunda ja O-Cm veekihte avavate puurkaevude asukohad	16
Joonis 9. Tsementatsiooni logi interpretatsiooni näited.	17
Joonis 10. Seirekaevu nr 4019 lähiümbruse (raadius 6 km) Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihti avavate puurkaevude vee Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- ja SO_4^{2-} sisaldused	19
Joonis 11. Piper diagramm seirekaevu nr 4019 vee keemilise koostise muutlikkusest aastatel 2004–2019 võrreldes teiste veekihtide ja Estonia kaevanduse ning Anne veehaarde vee keemilise koostisega	21
Joonis 12. Cl^- sisaldused Ordoviitsiumi-Kambriumi (suured punktid) ja Lasnamäe-Kunda (väiksed punktid) veekihtides.	22
Joonis 13. $\delta^{18}\text{O}$ väärtused Ordoviitsiumi-Kambriumi (suured punktid) ja Lasnamäe-Kunda (väiksed punktid) veekihtides	22
Joonis 14. Seirekaevu nr 4019 põhjavee elektrijuhtivuse, temperatuuri ja voolukiiruse muutlikkus nii staatilises kui dünaamilises režiimis.....	23
Joonis 15. Uuringuala kaevude põhjavee survetasemed ja veevõtu andmed	25

Joonis 16. Sõrumäe küla seirekaevu gruppide veetaseme muutused	26
Joonis 17. Hüdrokeoloogilise olukorra kontseptuaalne mudel seirekaevu nr 4019 piirkonnas. (A) olukord, enne Estonia kaevanduse laienemist seirekaevuni. (B) olukord, pärast streki rajamist 2012. aastal	27

Annotatsioon

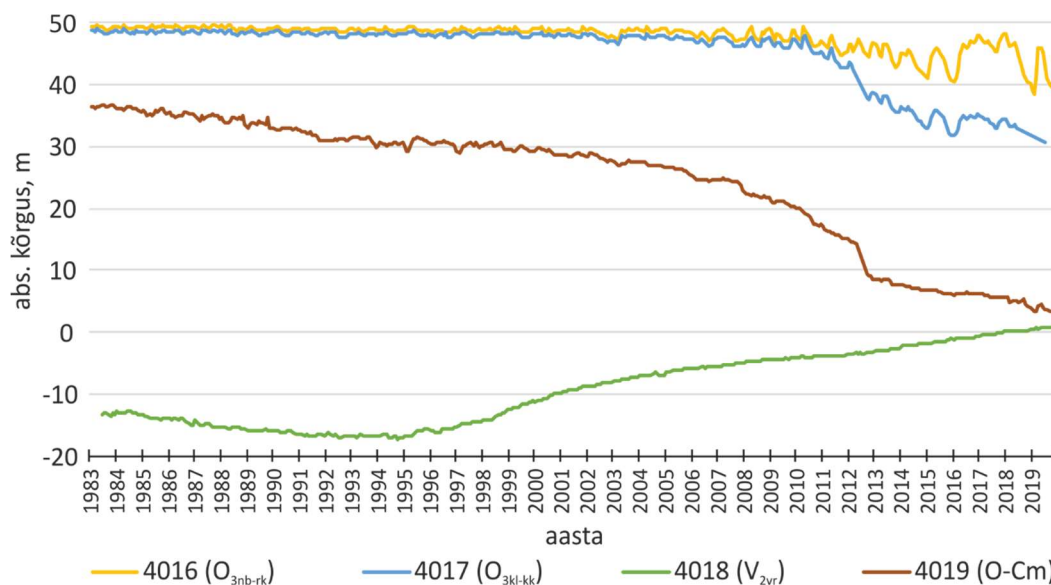
Põhjavee survetase seirekaevus katastri nr 4019 (Ordoviitsium-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas, nr 5a) on viimase 20 aasta jooksul alanenud 26 m. 2012. aastal koguni 6,5 m. Ühtlasi on seirekaevu vesi rikastunud naatriumi ja kloriidi ionidega, mistõttu on vesi hakanud soolduma. Töö eesmärk oli selgitada kas tegemist on ainult seirekaevule nr 4019 iseloomulike muutustega või peegeldavad eelkirjeldatud muutused ulatuslikumaid protsesse.

Uuringu käigus viidi seirekaevus nr 4019 läbi geofüüsikalised mõõtmised hindamaks seirekaevu tehnilist seisundit. Samuti võeti veeproove põhjavee keemilise ja isotoopkoostise analüüsimiseks seirekaevu lähikonna Ordoviitsium-Kambriumi veekihi puurkaevudest hüdroteokeemiliste taustatasemete määramiseks. Uuringu tulemustest selgus, et tehniliselt on seirekaev nr 4019 mitterahuldavas seisukorras ning tuvastati manteltoru lekkekohad, kust toimub seirekaevust vee väljavool. Seirekaevu vee keemiline koostis on iseloomulik piirkonna Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihti avavatele puurkaevudele. Seirekaevu vee soolsuse (Cl^- ja Na^+) kasvu põhjus pole üheselt tuvastatav. Võib vaid oletada, et varasematel proovivõttudel (aastad 2004–2007) pole alati jälgitud korrektset metoodikat. Uuringu käigus kogutud keemiline ja isotoopandmestik viitab O-Cm ja Lasnamäe-Kunda põhjaveekihi hüdrodünaamilisele seotusele Ahtme rikkevööndis.

Välitöödel osalesid ja töö koostasid Valle Raidla ja Merle Truu; geofüüsikalised mõõtmised ja andmete analüüsi teostas Siim Tarros; varasema hüdroteoloogilise andmestiku koondasid Merle Truu ja Maile Polikarpus.

1. Sissejuhatus

Põhjavee survetase seirekaevus katastri nr 4019 (Ordoviitsium-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas, nr 5a) on viimase 20 aasta jooksul alanenud 26 m. Kõige ulatuslikum alanemine (16 m) on toimunud aastatel 2007–2013, 2012. aastal koguni 6,5 m. Kuigi viimastel aastatel on seirekaevu survetase püsinud stabiilsemana jätkub siiski alanemise trend (joonis 1). Seirekaevu vee keemiline tüüp on jäänud muutumatuks, kuid soolsus on tõusnud enam kui kaks korda.



Joonis 1. Põhjavee veetasemed seirekaevu nr 4019 seiregrupis

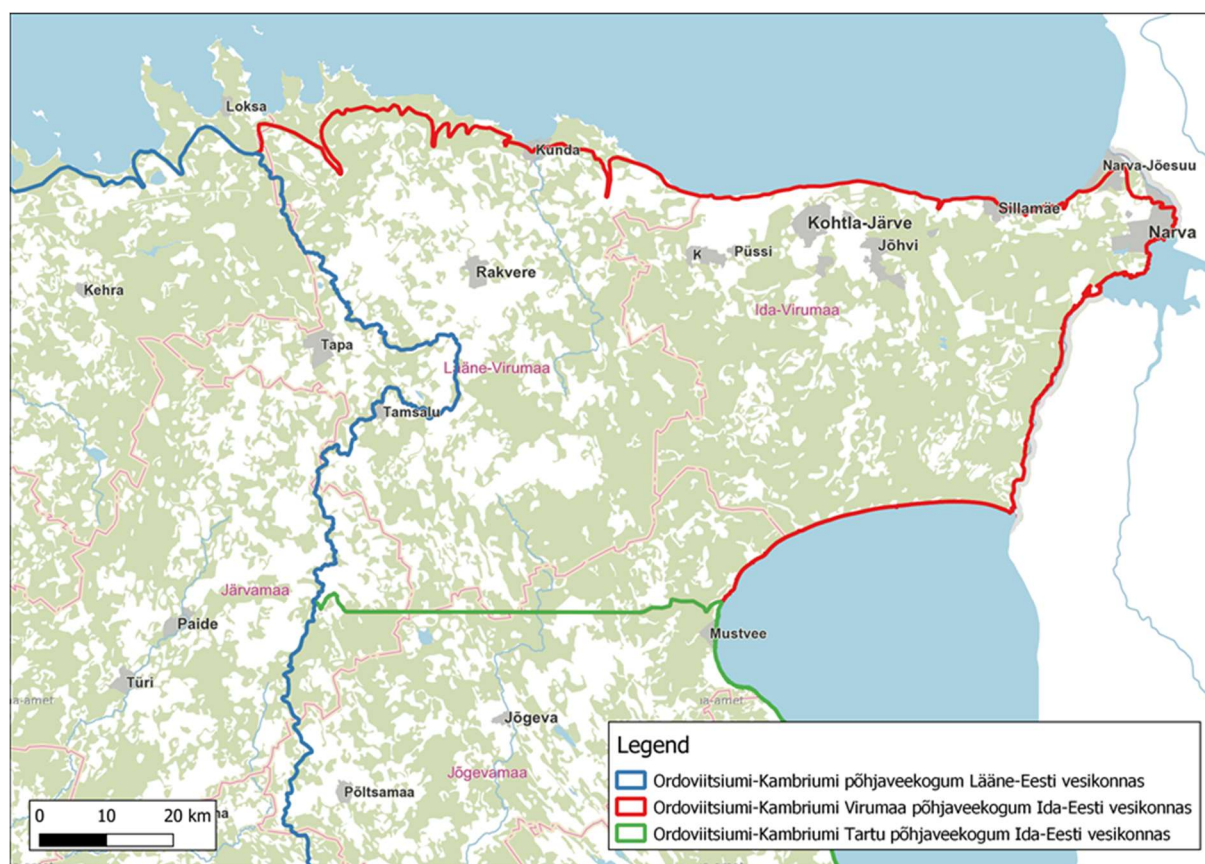
Töö eesmärk oli uurida seirekaevu nr 4019 piirkonnas põhjavee keemilisi protsesse ja võimalikku erinevatest veekihtidest pärineva põhjavee segunemist. Samuti selgitati, kas tegemist on ainult seirekaevule nr 4019 iseloomuliku põhjavee survetaseme muutusega või peegeldavad eelkirjeldatud muutused ulatuslikumaid protsesse. Eeltoodust lähtuvalt viidi seirekaevus nr 4019 läbi geofüüsikalised mõõtmised andmaks hinnangut seirekaevu tehnilisele seisukorrale ja täiendati piirkonna olemasolevat hüdroteokeemilist andmestikku uute keemiliste ja isotoopanalüüsides.

Käesolev hüdroteoloogiline uuring on koostatud vastavalt Keskkonnaministeeriumi (KeM) 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 veemajandus kava (VMK) 2015–2021 perioodi põhjavee meetmeprogrammi täitmise tagamiseks ja sisendiks 2021–2027 perioodi VMK koostamisel. Uuring aitab kaasa Vabariigi Valitsuse 07. jaanuaril 2016. aastal kinnitanud Ida-Eesti vesikonna veemajanduskava vee kaitse ja kasutamise abinõude planeerimisele Ida-Eesti vesikonnas ja seatud eesmärkide elluviimisele.

2. Põhjaveekogumi ja seirekaevu ülevaade

2.1. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas

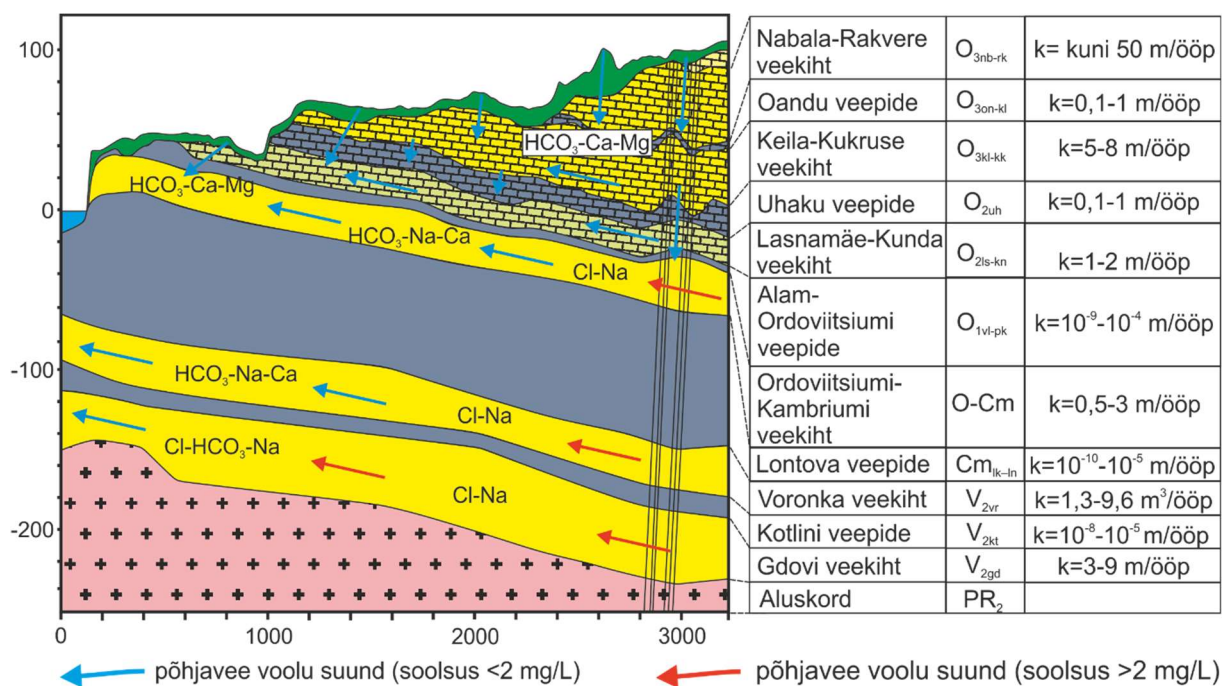
Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas (O-Cm_IdaV, nr 5a; Keskkonnaministri 01.10.2019 määrus nr 48) on Ordoviitsiumi-Kambriumi (O-Cm) põhjaveekompleksi kirdepoolne osa. Administratiivselt paikneb põhjaveekogum valdavalt Ida-Viru ja Lääne-Viru maakonnas ning väheses osas ka Järva ja Jõgeva maakonnas (joonis 2). Põhjaveekogum piirneb läänes Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekogumiga Lääne-Eestis vesikonnas (nr 4) ja lõunas Ordoviitsiumi-Kambriumi Tartu põhjaveekogumiga Ida-Eestis vesikonnas (nr 5b).



Joonis 2. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas asukoht

O-Cm_IdaV põhjaveekogumi põhjapiir kulgeb Põhja-Eesti rannikumadalikul mööda Kambriumi ladestu Tiskre või Kallavere kihistu avamusjoont või vahetult mööda Põhja-Eesti klinti. Idas ühtib põhjaveekogumi piir Eesti-Vene riigipiiriga, kuigi geoloogiliselt jätkub veekiht ka Venemaal, olles seega nii Eesti kui Venemaa veekasutuse mõju all. Peamisteks vettandvateks kivimiteks on Ülem-Kambriumi–Alam-Ordoviitsiumi Kallavere kihistu heledad kvartsiivakivid ja Alam-Kambriumi Tiskre kihistu heledad aleuroliitsed kuni peeneteralised kvartsiivakivid (Perens jt., 2012).

O-Cm_IdaV põhjaveekogumit katab Alam-Ordoviitsiumi Türisalu kihistu graptoliitargilliit, millel lasuvad Varangu, Leetse ja Toila kihistu savid, savikad glaukoniiti sisaldavad liivakivid ja tihedad dolomiitlubjakivid (Alam-Ordoviitsiumi veepide, joonis 3). Veepideme paksus suureneb lõuna suunas, kus lasuva veepideme moodustab kogu Siluri ja Ordoviitsiumi karbonaatkivimite kompleks. Horizontaalsuunaline filtratsioonikoefitsient võib muutuda vahemikus 0,001–1,0 m/ööp, vertikaalne filtratsioonikoefitsient on 10^{-9} – 10^{-4} m/ööp (Perens jt., 2012; Marandi jt., 2019). O-Cm_IdaV põhjaveekogumi lamavaks veepidemeks on Alam-Kambriumi vanusega Lükati–Lontova (Cm_{lk-ln}) regionaalne veepide, mille vertikaalne filtratsioonikoefitsient on 10^{-8} – 10^{-5} m/ööp (Marandi jt. 2019).



Joonis 3. Kirde-Eesti hüdroteoloogilise läbilõike skeem

O-Cm põhjavee survepind on Pandivere kõrgustiku ümbruses absoluutkõrgusel 50–60 m (Perens ja Vallner, 1997), kuid enne ulatuslikku põhjavee tarbimise algust oli sealne survepind absoluutkõrgusel 70 m (Tšeban, 1966). Pandivere kõrgustikult eemal langeb survepind radiaalselt kõigis suundades, jäädes Põhja-Eesti rannikul absoluutkõrgusele 20–30 m (Perens jt., 2012). Intensiivsema veevõtuga piirkondades (Mäetaguse vald, Estonia kaevandus, Kiviõli; Perens jt., 2012) on kujunenud kohalikud alanduslehted.

O-Cm_IdaV põhjaveekogumi vee looduslik liikumissuund on Pandivere kõrgustikult kirde, ida ja kagu suunas (Marandi jt., 2019; Perens jt., 2012). Väljavooluala on väga kitsas ning piirduv kitsa alaga Põhja-Eesti klindi jalamil (Perens jt., 2012). Vettandvate kivimite lateraalne filtratsioonikoefitsient on vahemikus 0,5–3 m/ööp ja väheneb lõuna suunas. Vertikaalne filtratsioonikoefitsient on 0,05–1 m/ööp (Marandi jt., 2019). Liivakivi elastse veemahtuvuse koefitsient on $2,5 \cdot 10^{-5}$ – $6 \cdot 10^{-3}$ ja põhjaveekihtide veejuhtivus 20–50 m²/ööp (Perens jt., 2012; Marandi jt. 2019). Põhjavee liikumise kiirus veekompleksis on väga aeglane.

Virumaade mudeli põhjal arvatult vaid kuni 5 km viimase 5000 aasta jooksul (Jõelet ja Polikarpus, 2018).

O-Cm_IdaV põhjaveekogumi vesi on kujunenud enam kui 10 000 aastat tagasi Eesti ala katnud mandriliustiku sulavetest tekkinud põhjavee ja lõunapoolse relikitse Na-Cl tüüpi süngeneetilise põhjavee segunemisel, mida on kohati (eeskätt kogumi põhjaosas) magestanud tänapäevaste sademete infiltreerumisel tekkinud põhjavesi (Pärn jt., 2016). Kõige olulisemad geokeemilised protsessid, mis on mõjutanud põhjavee keemilise koostise kujunemist, on karbonaatsete mineraalide (dolomiit, kaltsiit) lahustumine, katioonvahetus, püriidi oksüdatsioon ja orgaanilise aine oksüdeerumine (Marandi jt., 2019). Kui karbonaatmineraalide lahustumine on domineeriv protsess rannikualal, siis katioonvahetus ilmneb enam põhjaveekogumi sügavamas osas (Pärn jt., 2016). Seega on kogumi põhjavee keemiline koostis mitmekesine ning sõltub otseselt veevahetuse tingimustest ja vettandvate kivimite lasumussügavusest.

Põhjaveekogumi väljealal ja põhjaosas, kus lasuvate Ordoviitsiumi ladestu kivimite paksus on väike, domineerib $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ või $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ tüüpi põhjavesi, mille mineraalsus jääb vahemikku 0,3–0,5 g/l (Perens jt., 2012, Marandi jt., 2019) ning põhjavee vanusemäärangute järgi on tegemist noore põhjaveega (infiltreerumis aeg 50 kuni 1000 aastat; Pärn jt., 2019). See tänapäevastes hüdroloogilistes tingimustes kujunenud põhjavesi levib ka ürgorgude piirkonnas, kus põhjaveekogumi vee isotoopkoostis sarnaneb maapinnalähedasele põhjaveele ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused ≈ -10 kuni -13 ‰; Pärn jt., 2016; Raidla jt., 2016).

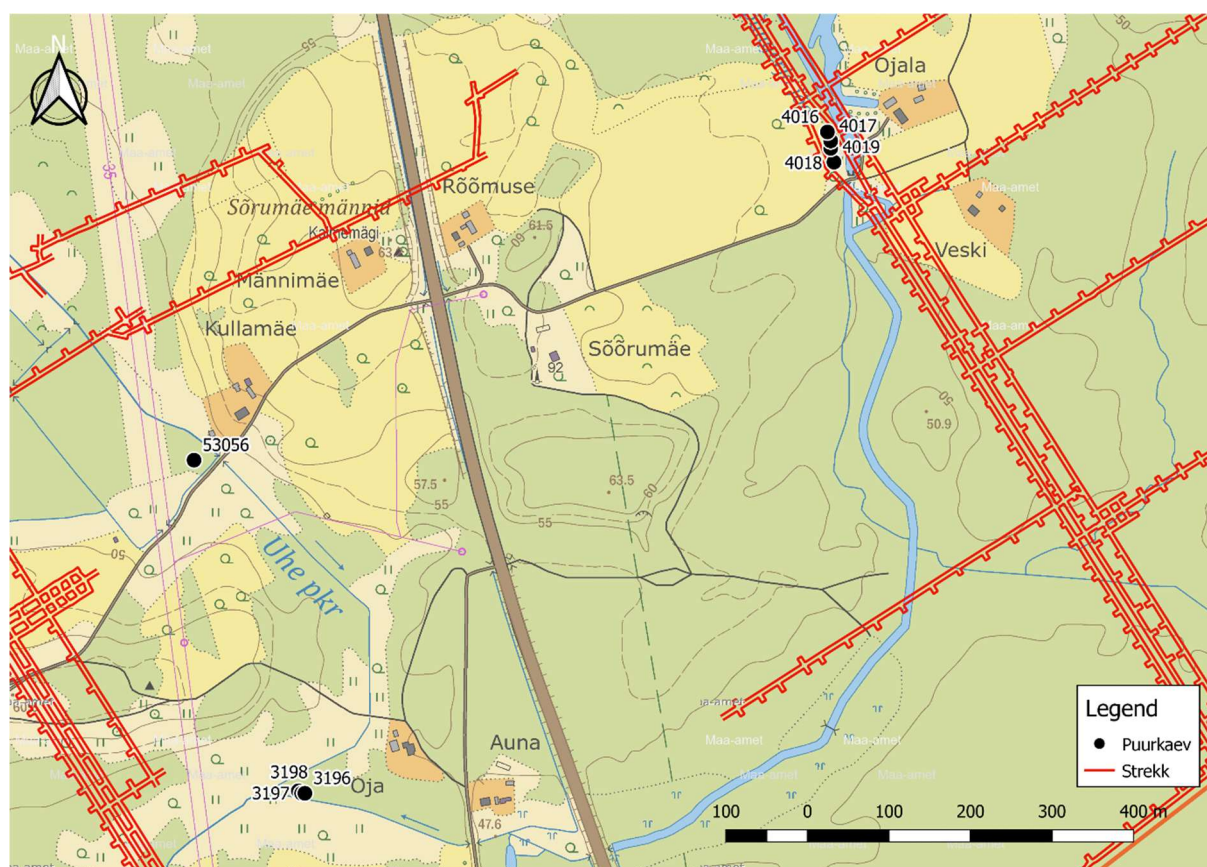
Põhjaveekogumi lõunaosas levib $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ tüüpi põhjavesi mineraalsusega 0,3-0,6 mg/l, mis oma isotoopkoostise järgi ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused ≈ -15 kuni -19 ‰) ei pärine tänapäevasest veeringest ja kuulub pigem aeglase veevahetuse vööndisse (Pärn, 2018). See põhjavesi pärineb enamuses viimasel jääajal Eesti ala katnud mandriliustiku sulavetest (Marandi jt., 2019) ning vanusemäärangute järgi on see põhjavesi >10000 aastat vana ning sisuliselt on tegemist taastumatu ressursiga (Pärn jt., 2019).

O-Cm_IdaV põhjaveekogumi seisundit mõjutab kõikjal veevõtt veevarustuseks ja kogumiga seotud veekompleksi looduslik seisund on kohati säilinud vaid põhjarannikul veekompleksi väljealal, kus veevõtt on suhteliselt väike ning veekompleks jääb aktiivse veevahetuse vööndisse (Perens jt., 2012). Koos põhjaveekogumi lasumussügavuse suurenemisega lõuna suunas väheneb ilmastikutingimuste mõju põhjavee seisundile ning veevahetustingimused halvenevad ja vastavalt suureneb veevõtu mõju põhjavee survetasemele. O-Cm_IdaV põhjaveekogumi seisundit mõjutab ka kaevandusvee ärajuhtimine Keila-Kukruse veekihi. Nimelt drenib Keila-Kukruse veekihi veeärastus nii lasuvat Nabala-Rakvere kui lamavat Lasnamäe-Kunda veekihti. Seega kaevandusvee ärajuhtimine kuivendab kõiki O-Cm veekihi lasuvaid Ordoviitsiumi põhjaveekihte ja seeläbi väheneb ka O-Cm_IdaV põhjaveekogumi toitumine (Perens jt., 2012).

2.2. Seirekaevu katastri nr 4019 kirjeldus

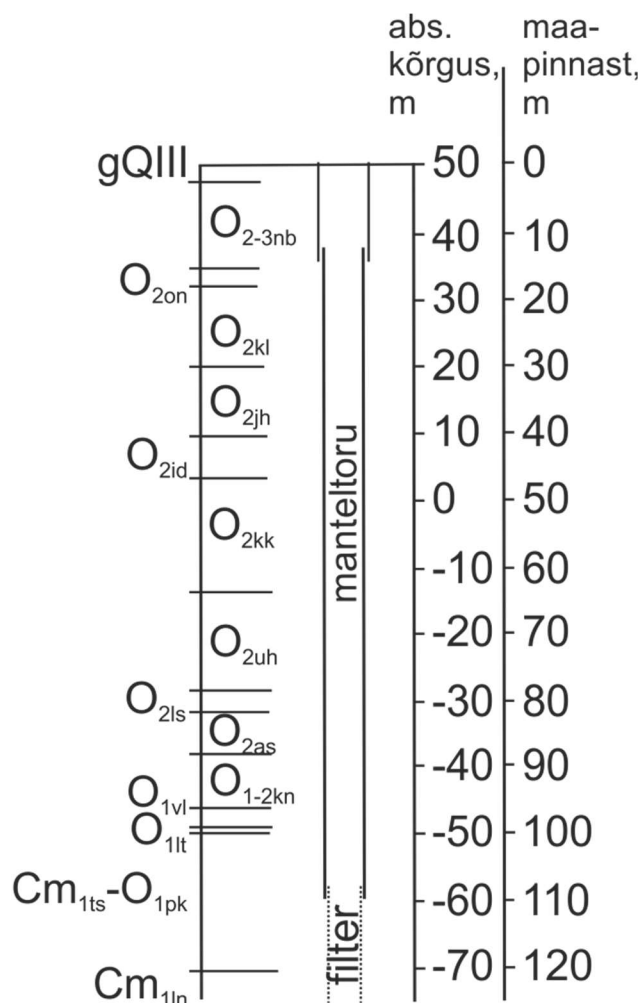
Puurkaev nr 4019 kuulub riiklikusse põhjaveekogumite seirevõrku (keskkonnaregistri kood PRK0004019, katastri nr 4019, seirejaama kood SJA1602000) ja käesolevas aruandes nimetatakse kaevu järgnevalt – seirekaev nr 4019. Kõikide aruandes kasutamist leidnud kaevude puhul kasutatakse nende numeratsioonina vastava kaevu katastri numbrit.

Seirekaev nr 4019 asub Ida-Viru maakonnas Alutaguse vallas Sõrumäe külas Ülase kinnistul (katastriüksuse tunnus 22401:001:0348) Rannapungerja jõe ääres (joonis 4). Keskkonnaregistri andmetel on kaevu sügavus 125,4 m, avades O-Cm_IdaV põhjaveekogumit (kogum nr 5a). Kaevu koordinaadid: X = 6563459 ja Y = 692176 (<https://veka.keskkonnainfo.ee/veka.aspx?ava=PRK0004019>).



Joonis 4. Seirekaevu nr 4019 paiknemine Sõrumäe külas, allmaakaevanduse strekkide suhtes

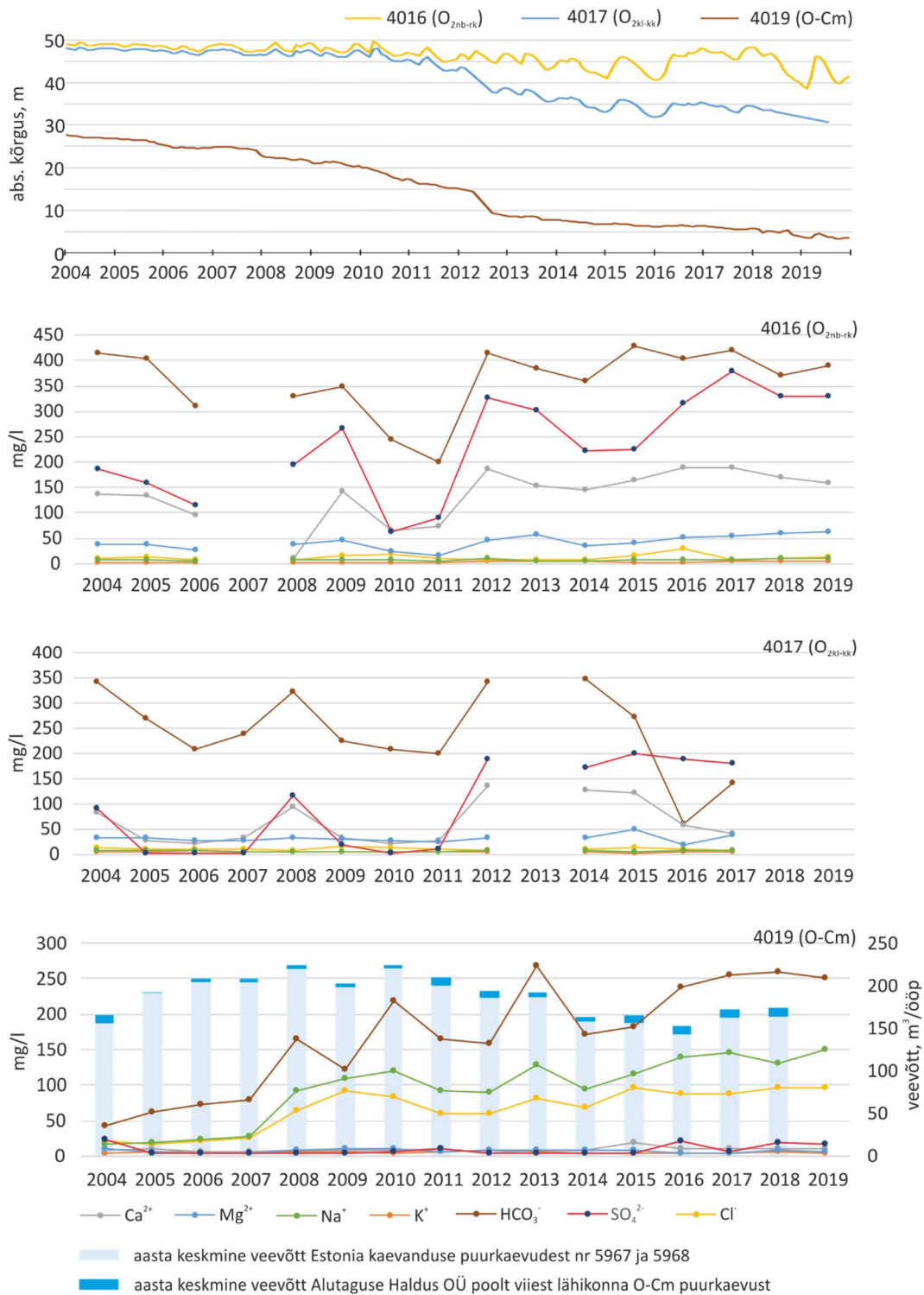
Seirekaev nr 4019 kuulub Estonia kaevanduse mäeeraldisel (joonis 4) asuvasse seirekaevude gruppi, kus on ka Voronka (nr 4018), Keila-Kukruse (nr 4017) ja Nabala-Rakvere (nr 4016) veekihte avavad kaevud. 2012. aastal rajati piirkonda Estonia kaevanduse strekid (tuulutus-, veostrekk jm) ning kõik neli seirekaevu jäid strekikäikude vahelisse tervikusse (joonis 4). Seirekaevude grupist 14 km põhjapoole jääb Ahtme ja 1 km lõunapoole Viivikonna rikketsoon. Skeem seirekaevu nr 4019 puurimisandmetel põhinevast konstruktsioonist ja läbilõikest on esitatud joonisel 5.



Joonis 5. Seirekaevu nr 4019 konstruktsiooni ja läbilõike skeem

Riiklikusse põhjaveetaseme seiresse kuulub kaev nr 4019 alates 1983. aastast ja Keskkonnaseire andmete kogumise ja avalikustamise infosüsteemi (KESE) andmete kohaselt on seirekaevus nr 4019 jälgitud vee keemilise koostise muutumist alates 2004. aastast. Seirekaevu nr 4019 vesi on olnud suhteliselt mage – aastatel 2004–2007 mineraalsusega 0,13–0,16 g/l. Alates 2008. aastast on vee mineraalsus suurenenud (0,36–0,55 g/l) ning vesi on HCO₃-Cl-Na-Mg tüübist muutunud selgelt HCO₃-Cl-Na tüüpi veeks. Lahustunud ionide ajaline variatsioon seirekaevus nr 4019 on esitatud joonisel 6.

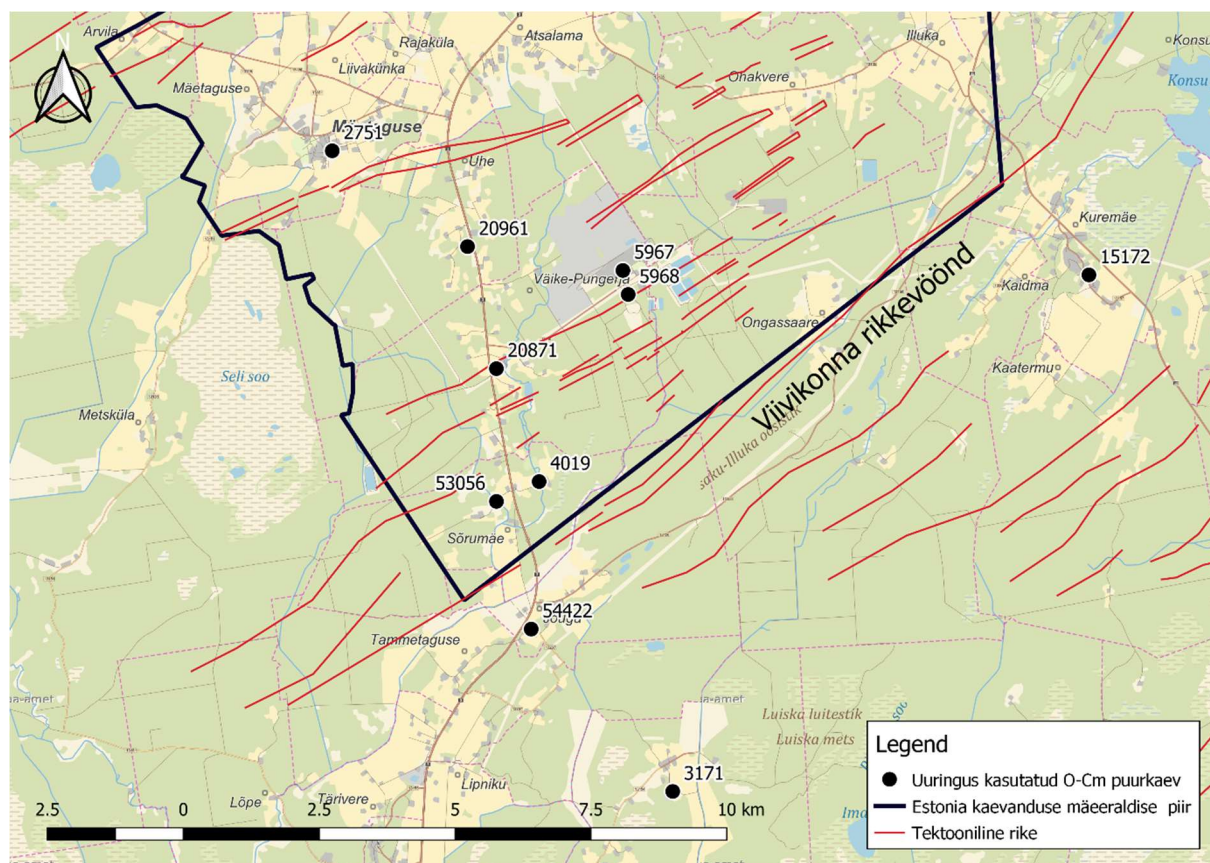
Rajamisaegne põhjavee survetase seirekaevus nr 4019 oli absoluutkõrgusel 35,4 m, kuid see on kaevu rajamisest alates pidevalt langenud (joonised 1 ja 6). Viimase 20 aasta jooksul on põhjavee survetase alanenud 26 m. Intensiivseim alanemine (16 m) on aastate vahemikus 2007–2013, alanedes 2012. aastal koguni 6,5 m. Pärast 2012. aasta survetaseme alanemist on seirekaevu põhjavee survetase püsunud stabiilsem kuid siiski jätkub alanemine.



Joonis 6. Põhjaveetaseme ja vee keemilise koostise muutused seirekaevudes nr 4016, 4017 ja 4019

3. Metoodika

Seirekaevu nr 4019 ja teiste uuringus käsitletud seirekaevude põhjavee kvaliteedi iseloomustamiseks on kasutatud Keskkonnaseire andmete kogumise ja avalikustamise infosüsteemi (KESE) andmeid ning käesoleva töö raames kogutud veeproovide tulemusi. Seirekaevude pikaajaline põhjavee surveaseme andmestik on kokku pandud KESE ja EGT andmebaasidest. Tarbekaevude andmestik on kokku kogutud EGT andmebaasist ja Keskkonnaagentuuri (KAUR) poolt hallatavast Eesti Looduse Infosüsteemist (EELIS andmekogu, VEKA veebileht). Lisaks saadi täiendavaid veeproovide analüüside tulemusi ja põhjavee surveaseme andmeid kirjavahetuses Keskkonnaametiga ja TTÜ Geoloogia instituudi andmebaasist (Vaikmäe jt., 2020). Uuringus kasutatav veevõtu informatsioon pärineb EGT andmebaasist ja viimaste aastate andmed on EGTle edastatud tabelkujul KAURI poolt.



Joonis 7. Uuringus kasutatud puurkaevude asukohad

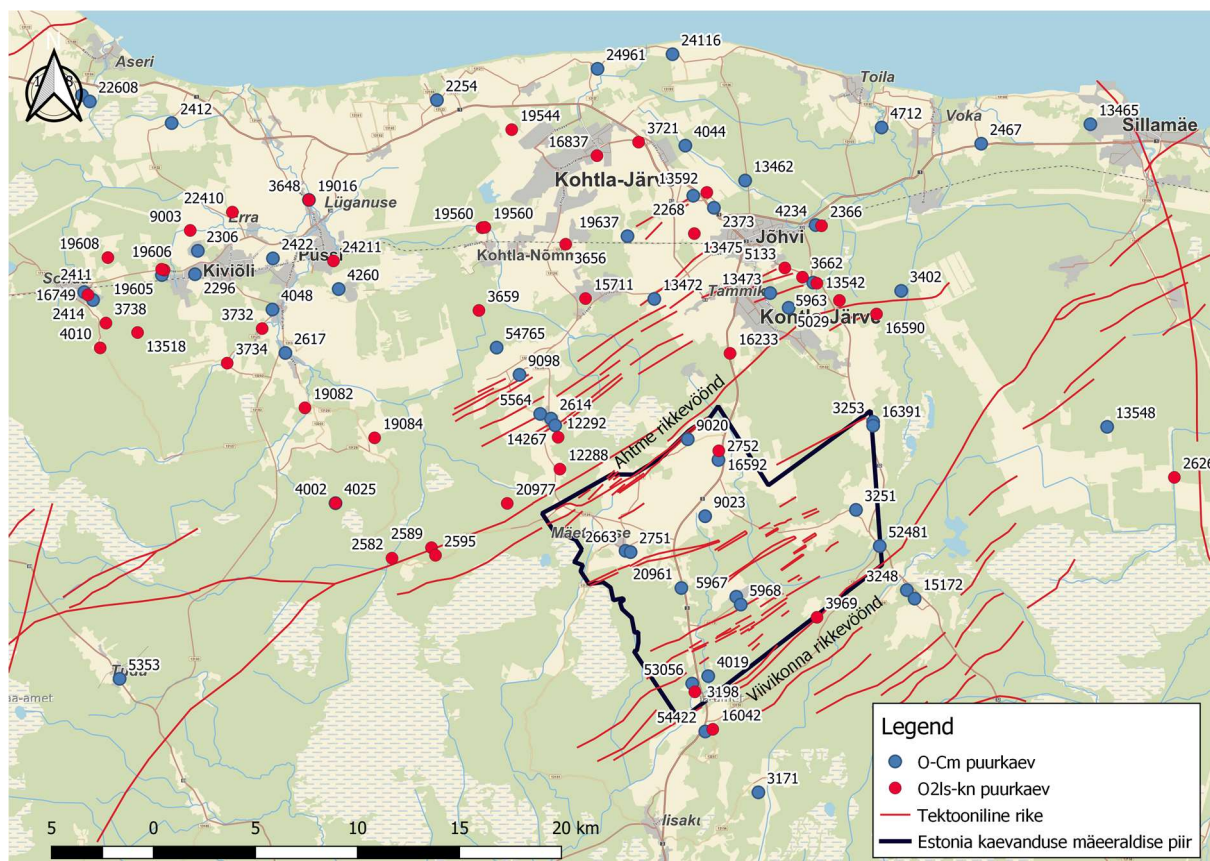
Uuringu läbiviimiseks valiti lisaks kaevule nr 4019 veel kuus O-Cm veekihti avavat tarbekaevu veeproovide võtmiseks (joonis 7, tabel 1). Nende kaevude valikul lähtuti printsiipidest – peab olema tagatud O-Cm veekihist võetavate veeproovide esinduslik ruumiline katvus ja valitud kaevud ei tohi asuda väga kaugel seirekaevust nr 4019. Eeltoodust lähtuvalt moodustus uuringu käigus põhja-lõuna suunaline O-Cm veekihti avavate kaevude lõik (seirekaevust nr 4019 kuni 7 km põhja ja kuni 6 km lõuna suunas).

Seirekaevule lähima ida-lääne suunalise valiku sai teha umbes 10 km kaugusel idas – Kuremäe küla puurkaev nr 15172. Tulenevalt suurest kaevudevahelisest vahemaast ida-lääne suunalist kaevude lõiku ei moodustatud. Uuringus kasutati lisaks veel kolme O-Cm veekihti avava tarbekaevu (nr 20871, 5967 ja 5968) survetaseme, keemia ja veevõtu andmestikku (joonis 7, tabel 1). Parema taustaandmestiku saamiseks kasutati käesolevas uuringus lisaks veel nii Lasnamäe-Kunda põhjaveekihi kui ka O-Cm veekihi keemilist ja isotoopandmestikku, mida koguti erinevate LIFE IP CleanEST projekti uuringute käigus 2019. aastal Ida-Viru maakonna territooriumilt (joonis 8, lisa 4).

Tabel 1. Uuringus kasutatud O-Cm veekihti avavad seire- ja tarbekaevud. Tärniga tähistatud kaevudest on kasutatud ainult varasemaid andmeid, teistest võeti uuringu käigus uued veeproovid.

Kat. nr	KKR kood	Puurkaevu aadress	L-EST_X	L-EST_Y	filtri algus	filtri lõpp
					m maapinnast	
2751	PRK0002751	Mäetaguse alevik, Tamme tn 7A	6569538	688369	104,0	130,0
3171	PRK0003171	Varesmetsa küla, Pumbajaama	6557764	694635	115,5	139,0
4019	PRK0004019	Sõrumäe küla., Ülase kinnistu	6563459	692176	110,4	125,4
5967*	PRK0005967	Estonia kaevandus PK nr 3	6567338	693718	106,4	123
5968*	PRK0005968	Estonia kaevandus PK nr 4	6566898	693815	105,8	125
15172	PRK0015172	Kuremäe küla, Pumba kinnistu	6567257	702293	113,0	121,0
20871*	PRK0020871	Väike-Pungerja küla, Muruoja kinnistu	6565534	691390	107,7	120,7
20961	PRK0020961	Uhe küla, Möldri kinnistu	6567778	690859	106,6	119,9
53056	PRK0053056	Sõrumäe küla, lisaku metskond 201	6563094	691391	105,2	126,6
54422	PRK0054422	Jõuga küla, lisaku metskond 197	6560747	692031	112,0	126,0

Enne veeproovide võtmist teostati kaevude (v.a tarbekaevud) läbi pumpamine ja fikseeriti põhjavee survetase kui see oli võimalik. Seirekaevu nr 4019 pumpamise kestus oli 2 tundi ja 45 minutit tootlikkusega 5,8 l/minutis. Kogutud veeproovidest määrati 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 (üldanalüüs; lisa 4). Põhjavee üldanalüüsid tehti Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ laboris. Väliparameetrid – vee elektrijuhtivus, pH, hapniku sisaldus ja temperatuur, mõõdeti EGT multimeetriga WTW Multi 3630. Põhjavee isotoopsuhted, $\delta^2\text{H}$ ja $\delta^{18}\text{O}$, määrati Picarro analüsaatoriga Läti Ülikooli Geoloogiliste protsesside uurimis- ja modelleerimiskeskuses. Aruandes esitatud kaartide loomisel on kasutatud Maa-ameti WMS kaarditeenust ning Enefit Kaevandused AS saadud Estonia kaevanduse strekkide asukohti.



Joonis 8. Täiendavalt uuringus kasutatud Lasnamäe-Kunda ja O-Cm veekihte avavate puurkaevude asukohad

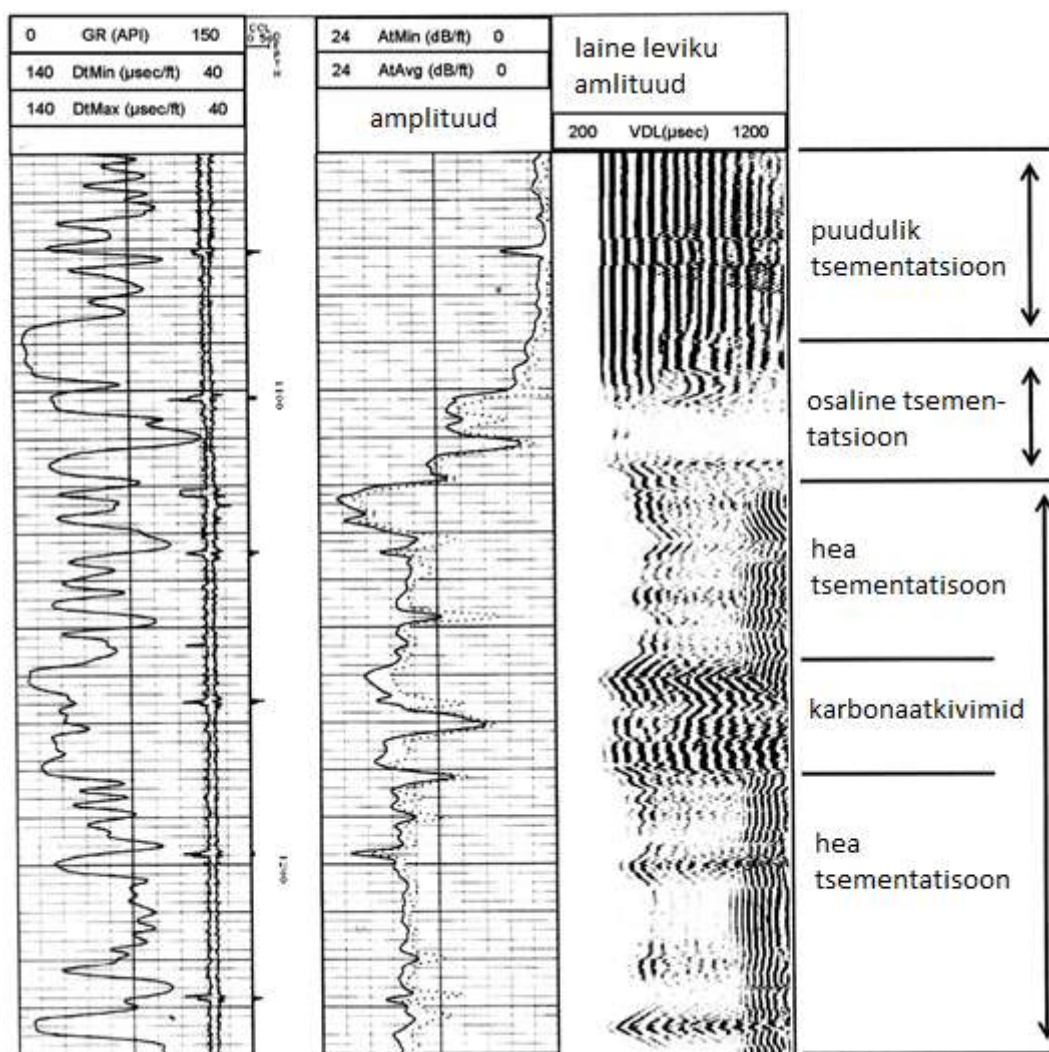
Seirekaevus nr 4019 viidi läbi geofüüsikalised uuringud Robertson-Geo poolt toodetud sondidega, et hinnata kaevu tehnilist seisukorda ning sobivust seirekaevuna. Kõik geofüüsikaliste mõõtmiste andmed on salvestatud Roberson-Geo tarkvaraga WinLogger, OPTV, HiRAT ning andmete töötlemisel ja jooniste koostamisel on kasutatud tarkvara WellCAD 5.3. Geofüüsikalisteks uuringuteks kasutati: optilist kaamerat (*optical televiwer*), akustilist kaamerat ehk kajalokatsiooni (*acoustic televiwer*), seismoakustilist sondi (*full waveform sonic*), kavernomeetria sondi, loodusliku gammakiirguse sondi, kivimi tihedus sondi, veetemperatuuri ja -elektrijuhtivuse sondi ning voolukiiruse mõõtjat (tiivikut). Kõik geofüüsikaliste sondidega saadud mõõtmistulemused on aruandes esitatud manteltoru suudme suhtes v.a geoloogiline ja hüdrogeoloogiline stratigraafia.

Optiline kaamera – salvestab värvilise kõrgresolutsioonilise orienteeritud 360° panoraampildi puurkaevu siseküljest.

Akustiline kaamera – tööpõhimõttelt on tegemist kajalokatsiooniga. Sond saadab välja 360° ulatuses 0,5–1,5 MHz ultrahelisignaali ning seejärel mõõdab tagasipeegeldunud signaali amplituudi ja aega. Pehme pind (nt liiv) annab vastuvõtjale nõrga signaali (heledam värvus), sest suur osa signaali energiast hajub ning tagasi peegeldub vaid murdosa laine energiast. Samas tugev monoliitne pind (nt vähelõheline lubjakivi ja manteltoru) annab selge peegelduse (tume värvus). Signaali peegeldusest tekib kujutis

puurkaevu sisepinna tekstuurist ja lõhedest. Sond töötab ainult vees, kuna ultrahelisignaali summutab kiiresti gaasilises keskkonnas (atmosfääris).

Seismoakustiline sondeerimine (Full Waveform Sonic, FWS) – puuraugus mõõdetakse 20 kHz sagedusega helilaine (piesoakustilise resonaatori) peegeldust. Sondiga on võimalik hinnata manteloru detaguse tsementatsiooni kvaliteeti (CBL – *Cement Bond Log*). Peegeldunud helilaine suur amplituut ja ühtlaselt tihe lainemuster viitab osalisele või puuduvale tsementatsioonile manteloru taga (joonis 9). Võimalik on eristada ka olukorda, kus tsement kinnitub küll manteloru külge aga pole kivimiga seotud. Väiksem amplituut ning muutuv ja hajusam laine muster viitab heale manteloru detagusele tsementeeritusele.



Joonis 9. Tsementatsiooni logi interpretatsiooni näited. Tulbad vasakult paremale – gammakiirgus, manteloru ühendused, laineleviku amplituudi ja esimese saabuva P-laine aja alusel arvutatud amplituud (mV) ja lainete leviku amplituut (VDL - variable density log). (Patterson jt., 2007)

Kavernomeeter – mõõdab kolme sensoriga puuraugu diameetri muutust, mis võimaldab kontrollida puurkaevu manteloru korrasolekut. Puurkaevu avatud osas võimaldab sond fikseerida lõhesid ja kaverne ning nende sügavust.

Kivimite gammakiirguse detektor – võimaldab jälgida litoloogilist muutlikust puurkaevu ümbriskivimis. Suurema savi sisaldusega kivimid annavad üldjuhul kõrgema gammakiirguse signaali kui lubja- ja liivakivid.

Tiheduse mõõtmine (gamma-gamma meetod) – radioaktiivsest kiirgusallikast tulenev gammakiirgus ergastab kivimid puurkaevu seinast u 15 cm raadiuses. Kaks vastuvõtjat (LSD kaugemalt ja HRD lähemalt) mõõdavad radioaktiivsest kiirgusallikast pärineva gammakiirguse tagasi peegeldumist kivimite pinnalt. Mida tihedam on kivim, seda tugevam on tagasi peegeldunud gammakiirguse signaal, põhjustatuna Comptoni efektist. Mõõtmised võimaldavad eristada kivimikihtide piire ning hinnata manteloru tagust tsementatsiooni.

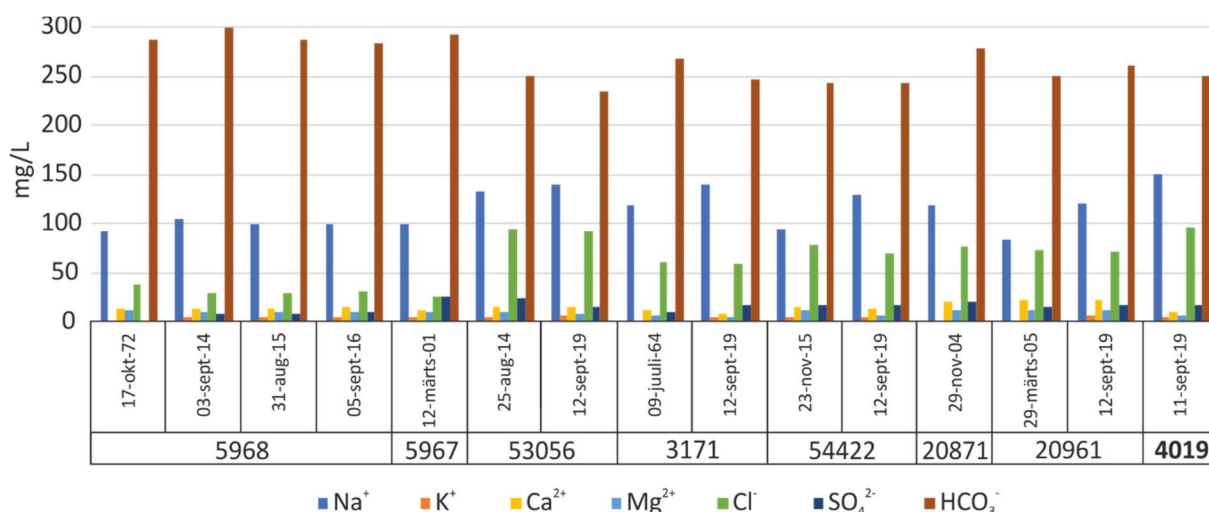
Vee temperatuuri ja elektrijuhtivuse mõõtmine registreerib nimetatud näitajate väärtuste muutused kogu puurkaevu veesamba ulatuses. Mantelorus tehtud mõõtmiste puhul on tavaliselt väärtused stabiilsed. Kui esineb katkiseid kohti, kus puurkaevu voolab teise veekihi vesi, on see selgelt eristatav kõveras tekkiva muutuse põhjal ehk gradiendist. Esimest mõõtmist (staatilisest veesambas) võrreldakse pärast pumpamist tehtud mõõtmisega ning analüüsitakse muutuse põhjuseid.

Voolukiiruse mõõtmised võimaldavad määrata puurkaevu telgmist vee liikuvust, mille kaudu saab hinnata, kust toimub vee sissevool puurkaevu. Voolukiiruse mõõtmised seirekaevus nr 4019 viidi läbi olukorras, kus pump paiknes puurkaevus 52,5 m sügavusel ning väljapumbatava vee vooluhulk oli 0,3 l/s (dünaamilises režiimis). Kaevusisesed voolukiiruse mõõtmised tehti manteloru ühenduskohtades kaheksal sügavusel (56,0 m; 61,5 m; 68,4 m; 74,4 m; 83,7 m; 93,6 m; 102,4 m; 111,3 m) ning kaevu avatud osa (filtri) alguses, sügavusel 112,2 m.

Mõõtmistega tuvastati kaevu sügavus ja täpsustusi puurkaevu puurimisaegsed andmed.

4. Tulemused

Käesoleva uuringu raames võetud veeproovide keemiliste analüüside tulemused on esitatud tabelis 2. Nii vee keemiline kui isotoopkoostis on seirekaevus nr 4019 sarnased lähikonna O-Cm puurkaevude vee koostisele (joonis 10) ning puudub keemiline sarnasus Lasnamäe-Kunda, Keila-Kukruse ja Nabala-Rakvere veekihtidega (joonised 6 ja 11). Samas on nii seirekaevu nr 4019 kui ka teiste ümbruskonna O-Cm kaevude vee Cl^- sisaldused märksa kõrgemad kui O-Cm veekihi tavapärane (joonis 12). Hapniku isotoopkoostis on enam kui 3 promilli võrra negatiivsem Lasnamäe-Kunda veekihi põhjaveest (joonis 13; lisa 4) ja enam kui 6 ‰ negatiivsem aktiivse veevahetustsooni (Nabala-Rakvere ja Keila-Kukruse veekihtid) põhjaveest (Raidla jt., 2016). Samas, Ahtme ja Viivikonna rikkevöönditel levib Lasnamäe-Kunda veekihi põhjavesi, mille keemiline ja isotoopkoostis on väga sarnane piirkonna O-Cm põhjaveele (joonised 12 ja 13; lisa 4).



Joonis 10. Seirekaevu nr 4019 lähiümbruse (raadius 6 km) Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihti avavate puurkaevude vee Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- ja SO_4^{2-} sisaldused

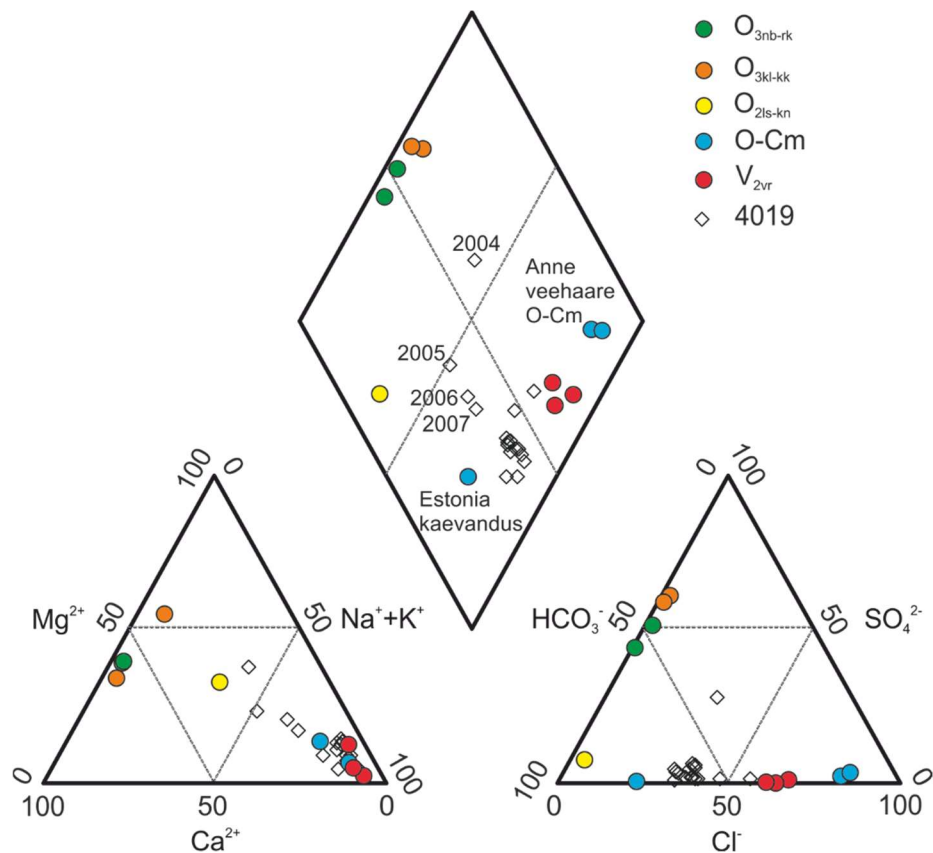
Geofüüsikalised mõõtmised seirekaevus nr 4019 viidi läbi 10. veebruar ja 19. märts 2019 ning tulemused on esitatud lisades 1, 2 ja 3. Kaevu puurimisaegne sügavus oli 125,4 meetrit, mis on käesoleva uuringu ajaks vähenenud 5 m võrra. Geofüüsikaliste sondidega mõõtes saadi kaevu uueks sügavuseks 121,0 m manteltoru otsast ehk 120,4 m maapinnast.

Lisas 1 on esitatud seirekaevu nr 4019 geoloogiline läbilõige, mille rekonstrueerimisel on lähtutud kaevus mõõdetud kivimite gammakiirguse ja tiheduse tasemest. Lisaks on geoloogilise tulba koostamisel kasutatud puurimisaegseid andmeid (VEKA veebileht, 2020), seirekaevu nr 4019 lähedusse 1966. a rajatud struktuurpuuraugu 1S andmeid (Filatova, A. ja Domanova, N., 1966) ja Maa-ameti puursüdamike andmebaasi (Maa-amet, 2020).

Tabel 2. Põhjavee keemiline- ja isotoopkoostis seirekaevu nr 4019 lähiümbruse Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihi puurkaevudes 2019. aastal

Kat. nr	Kuupäev	Temp. °C	pH	SPC µS/cm	Lah. O ₂ mg/l	δ ¹⁸ O ‰ VSMOW	δ ² H	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Fe _{üld}	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	SiO ₂	Mn µg/l
15172	04.09.	9,4	8,11	444	0,016	-14,0	-101,6	23	14	74	5,7	0,097	0,23	5,1	320	0	0,37	0,69	7,1	17
4019	11.09.	9,9	8,1	669	0,11	-18,4	-136,6	11	6,3	150	4,5	0,133	3,9	96	250	17	0,10	0,67	6,6	51
54422	12.09.	8,4	8,39	558	0,024	-19,1	-140,6	13	6,3	130	5,1	0,141	0,46	69	244	18	0	0,58	6,0	11
2751	12.09.	9	8,03	575	0,1	-16,4	-120,7	26	10	120	6,7	0,153	0,15	45	320	16	0,21	0,53	5,9	20
53056	12.09.	8,1	8,41	638	0,024	-18,6	-137,8	16	7,8	140	5,9	0,141	0,36	92	235	16	0	0,58	6,6	11
3171	12.09.	8,5	8,56	537	0,016	-18,8	-139,8	8	4,1	140	4	0,181	0,19	59	246	17	0	0,65	6,9	10
20961	12.09.	8,7	8,04	610	0,017	-18,2	-135,1	22	12	120	7	0,173	0,26	71	261	18	0,09	0,61	6,6	13
Piirsisaldus*			6,5-9,5	2500						200		0,5	0,20	250		250	50	1,5		50
Läviväärtus**																100				

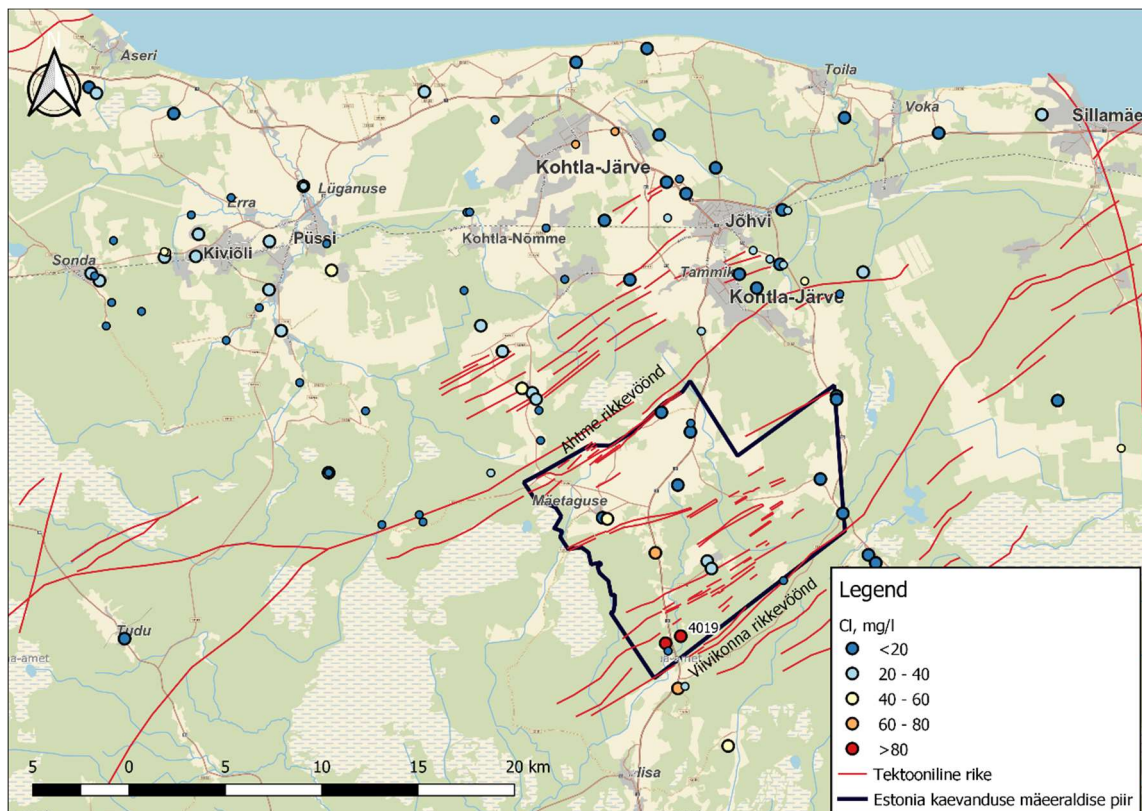
*Sotsiaalministri määrus 61; **Keskkonnaministri määrus 48



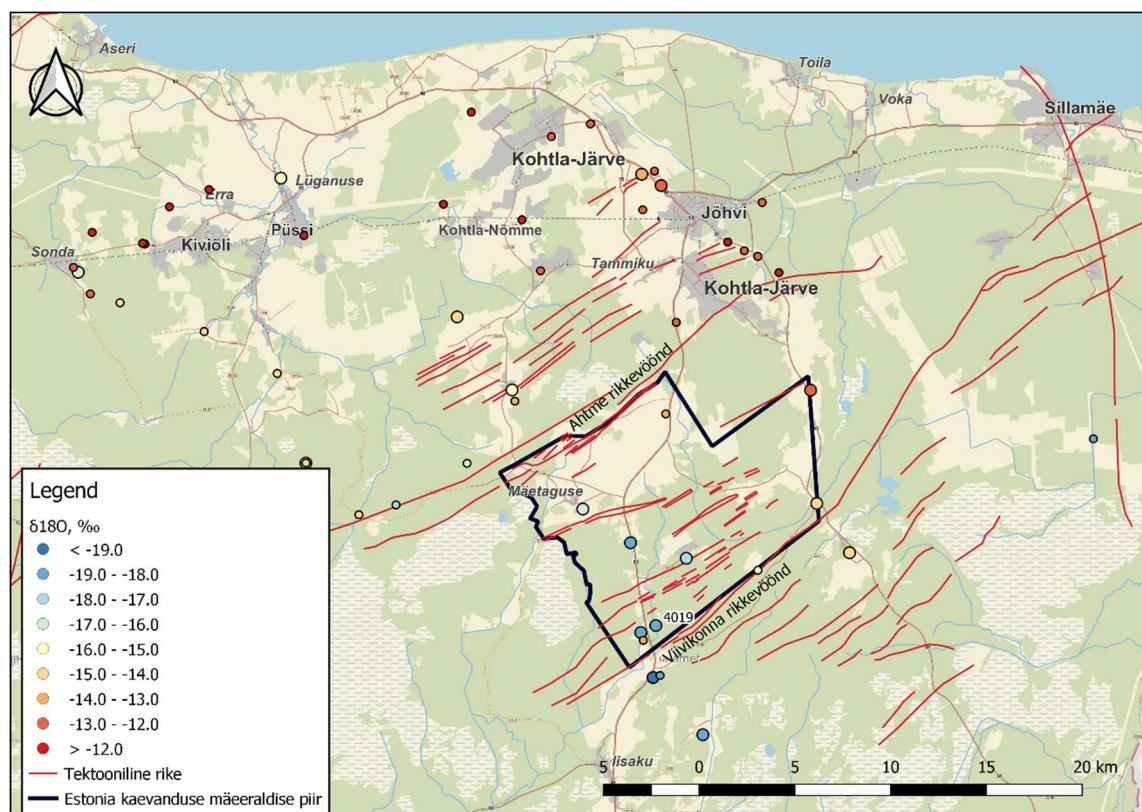
Joonis 11. Piper diagramm seirekaevu nr 4019 vee keemilise koostise muutlikkusest aastatel 2004–2019 võrreldes teiste veekihtide ja Estonia kaevanduse ning Anne veehaarde vee keemilise koostisega

Geoloogilised kihistud ja kihid koondati hüdroteoloogilisteks üksusteks lähtudes Jõelet ja Polikarpus 2018. a „Hüdroteoloogiline modelleerimine“ aruandes esitatud tabelist 1 (Jõelet, A., Polikarpus, M., 2018). Seirekaevu nr 4019 konstruktsioon on koostatud tuginedes VEKA-s esitatud andmetele ning täiendatud vastavalt kavernomeetria sondi, akustilise ja optilise kaamera mõõtmistele. Täpsustunud geoloogiliste kihtide piirid, manteltorude ühenduskohtade sügavused ja üleminek kaevu avatud osale (filtri sügavus) on välja toodud lisa 1.

Kavernomeetriliste mõõtmistega tuvastati manteltorude sisemised diameetrid, torude ühenduskohad ja kaks anomaalset, keskmisest eristuvat, väiksema diameetriga kohta sügavusel 47,2 m ja vahemikus 86,2–86,7 m (lisa 1). Manteltoru sisemise keskmise diameetriga 99,85 mm (minimaalne 96,21 mm ja maksimaalne 100,88 mm) ulatub 0,58 m üle maapinna ning kuni 111,5 m sügavusele. Seirekaevu nr 4019 filtriga (perforeeritud metalltoru) osa asub sügavusvahemikus 111,5–121,0 m ja selle sisemine diameeter on keskmiselt 80,98 mm (minimaalne 78,85 mm ja maksimaalne 81,58 mm).

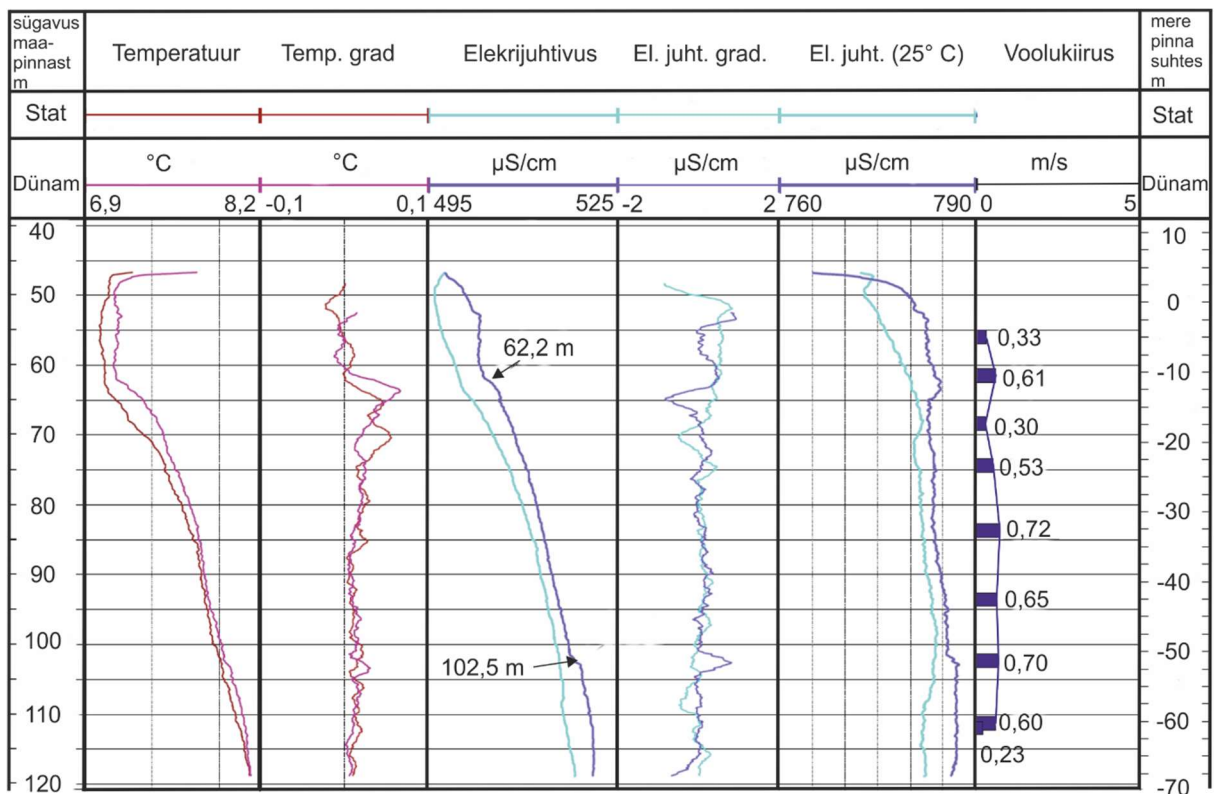


Joonis 12. Cl⁻ sisaldused Ordoviitsiumi-Kambriumi (suured punktid) ja Lasnamäe-Kunda (väiksed punktid) veekihtides



Joonis 13. δ¹⁸O väärtused Ordoviitsiumi-Kambriumi (suured punktid) ja Lasnamäe-Kunda (väiksed punktid) veekihtides

Lisas 2 on esitatud seirekaevus nr 4019 tehtud voolukiiruse mõõtmised enne (nn staatiline veesambas) ja pärast pumpamist (nn dünaamiline veesambas) koos mõõdetud põhjavee temperatuuri ja elektrijuhtivusega. Seirekaevu nr 4019 staatilises veesambas oli põhjavee temperatuur vahemikus 7,0–8,1 °C ja elektrijuhtivus 25°C juures 771,3–784,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Veesamba, v.a ülemised 4 m, suurim temperatuuri gradient oli sügavusvahemikus 63–74 m (joonis 14), mis on ilmselt seotud kaevandusest tuleneva mõjuga. Nimetatud vahemikust sügavamal toimub stabiilne temperatuuri tõus kuni 8,1 °C. Elektrijuhtivus staatilises veesambas kasvas ühtlaselt sügavuse suurenedes. Kuigi seirekaevus nr 4019 tuvastati põhjavee temperatuuri ja elektrijuhtivuse muutlikkus, puudus seisvale (staatilisele) veesambale omane selgepiiriline stratifikatsioon. Pärast pumpamist (n-ö dünaamiline veesambas) suurenes elektrijuhtivus ebaühtlaselt. Elektrijuhtivuse 25 °C alusel eristusid selgelt sügavus 52,5 m (pumba asukoht) ning sügavusvahemikud 62,2–65 m ja 102,5–104 m, kust ilmselt toimus vee liikumine puurkaevu (joonis 14).



Joonis 14. Seirekaevu nr 4019 põhjavee elektrijuhtivuse, temperatuuri ja voolukiiruse muutlikkus nii staatilises kui dünaamilises režiimis

Seirekaevus nr 4019 läbi viidud voolukiiruse mõõtmised ei tuvastanud staatilises veesambas põhjavee liikumist. Dünaamilises režiimis (seirekaevust vett välja pumbates) tehtud voolukiiruse mõõtmised andsid keskmiseks voolukiiruseks manteltorus 0,55 m/s. Olulised voolukiiruse muutused registreeriti sügavusvahemikes 56 kuni 61,5 m (voolukiirused vastavalt 0,33 m/s ja 0,61 m/s) ja 68,4–74,4 m (voolukiirused vastavalt 0,3 m/s ja 0,53 m/s; joonis 14). Voolukiiruse varieerumise põhjuseks on ilmselt

nii vertikaal- kui horisontaalsuunalise vee liikumise olemasolu neis vahemikes. Horisontaalsuunalise liikumise põhjuseks saavad olla lekked kaevu manteltorus. Sügavusvahemikus 83,7–111,3 m registreeriti märksa ühtlasemad voolukiirused (0,65–0,72 m/s), mis viitab vaid vee vertikaalsuunalise liikumise toimumisele. Kõige madalam voolukiirus (0,23 m/s) registreeriti puurkaevu avatud osa alguses (sügavusel 112,2 m).

Visuaalselt nähtavaid kahjustusi (auke) seirekaevu nr 4019 manteltorus optilise kaameraga ei tuvastatud. Siiski viitavad akustilised uuringud seirekaevu ebarahuldavale tehnilisele seisukorrale. Manteltoru sisepind on akustilise kaamera mõõtmiste põhjal kohati väga korrodeerunud (sügavusvahemikes 48,8–50,7 m; 57,0–57,1 m; 59,2–60,5 m; 102,2–110,7; lisa 3) ning metalltoru seina paksus on vähenenud kuni 50 %. Seismoakustilise sondeerimisega tuvastati manteltoru tagune tühimik sügavusvahemikus 48,8–50,5 m, kus tsement on ilmselt tugevasti toru ümber, aga puudub kontakt ümbritseva kivimiga. Arvutatud peegeldunud signaali amplituudi ja laine leviku amplituudi mustri graafiku põhjal võib järeldada, et seirekaevu nr 4019 manteltoru tagune tsementatsioon pole veesamba ulatuses terviklik, kuna peegeldunud signaali amplituudi väärtused on suured. Väiksemad signaali amplituudid vastavad manteltorude ühenduskohtadele (lisa 3). Kivimi tiheduse mõõtmised näitasid puudulikku tsementatsooni või kaevu manteltoru ümbritsevates kivimites suuremaid tühimikke sügavusvahemikes 16,5–18,5 m, 21–24 m, 31 m ja 41,5 m (lisa 1). Viimati nimetatud vahemikud jäid kõrgemale seirekaevu praegusest surveasemest. Erinevate geofüüsikaliste meetoditega tuvastatud anomaaliade esinemised on koondatud tabelisse 3.

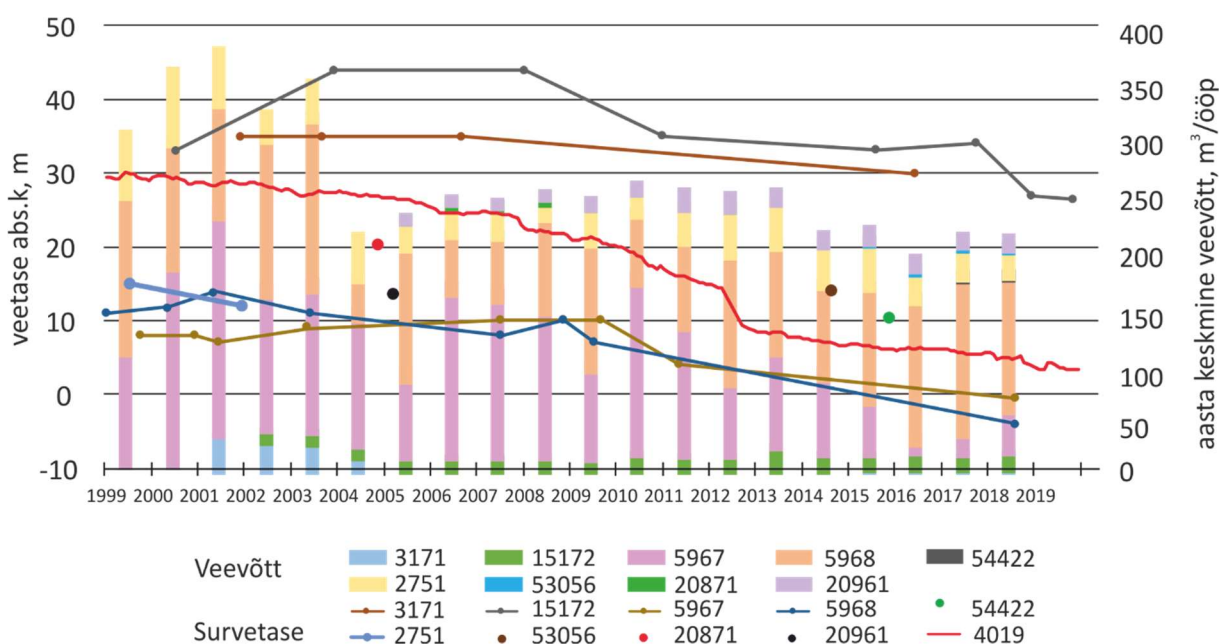
Tabel 3. Geofüüsikaliste mõõtmiste käigus tuvastatud anomaaliade esinemise sügavusvahemikud (m).

Akustiline kaamera	Seismo-akustika	Tihedus	Voolukiirus	Temperatuur (Stat)	Elektrijuhtivus 25°C (Stat)	Elektrijuhtivus 25°C (Dünam)
		16,5–18,5				
		21,0–24,0				
		31,0				
		41,5				
48,8–50,7	48,8–50,5					
57,0–57,1	51,5–111,5					
59,2–60,5			56,0–61,5			
				63,0–74,0		62,2–65,0
			68,4–74,4		69,0–74,5	
102,2–110,7					99,0–108,5	102,5–104

5. Analüüs

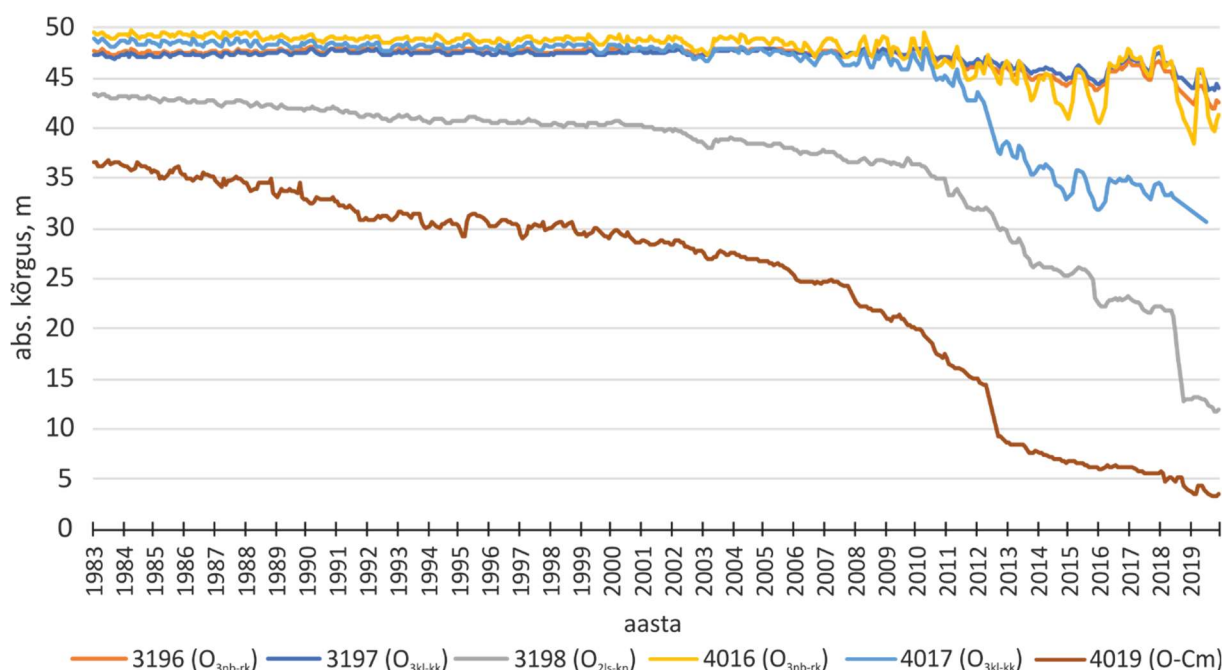
Seirekaevus nr 4019 tehtud geofüüsikalised uuringud (tabel 3) näitasid mitmeid anomaaliaid sügavusintervallides 48,8–50,7 m ja 56–61,5 m (Estonia kaevandusest kõrgemal, Kukruse kiht), 62–74,5 m (kaevanduse juures ja all, Kukruse kiht, Uhaku veepide) ja 99–110,7 m (Alam-Ordoviitsiumi veepide, O-Cm veekiht). Nimetatud vahemikes kas tuvastati vee temperatuuri ja elektrijuhtivuse muutuseid või viitavad voolukiiruse mõõtmised põhjavee sissevoolule kaevu alumises osas ja väljavoolule kaevu ülemises osas. Kõrvalekallete põhjuseks võivad olla manteltoru liitekohtade lekked sügavustel 50,5 m, 61,6 m, 68,55 m ja 102,1 m (lisa 1). Liitekoht sügavusel 102,1 m jääb O-Cm veekihti ning ei oma seetõttu olulist mõju seirekaevu tehnilisele seisukorrale. Kuna vee liikumist staatilises veesambas ei täheldatud, siis lekete ulatus ei ole suur. Samas on see liikumine piisav, et rikkuda tüüpilise stratifikatsiooni kujunemist seisvas veesambas. Akustilise kaamera mõõtmised näitavad mitmeid manteltoru korrodeerunud kohti (arvutuste põhjal metallikuluga kuni 50%). Seismoakustilised mõõtmised viitavad ulatuslikule torutaguse tsementatsiooni puudulikkusele. Mõõtmistulemustele toetudes võib järeldada, et seirekaev nr 4019 ei ole tehniliselt korras.

Võrreldes seirekaevu nr 4019 vee keemilist koostist samasse seirekaevude gruppi jäävate Nabala-Rakvere (4016) ja Keila-Kukruse (4017) veekihte avavate seirekaevude põhjavee keemilise koostisega (joonised 6 ja 11) võib järeldada, et seirekaevu nr 4019 ei toimu ega ole toimunud läbi manteltoru lekkekohtade vöörvee sissevoolu. Ka seirekaevu vee keemilise ja isotoopkoostise sarnasus lähikonna O-Cm veekihti avavate kaevudega (joonised 10, 12, 13) toetab eelnevat järeldust.



Joonis 15. Uuringuala kaevude põhjavee survetasemed ja veevõtu andmed

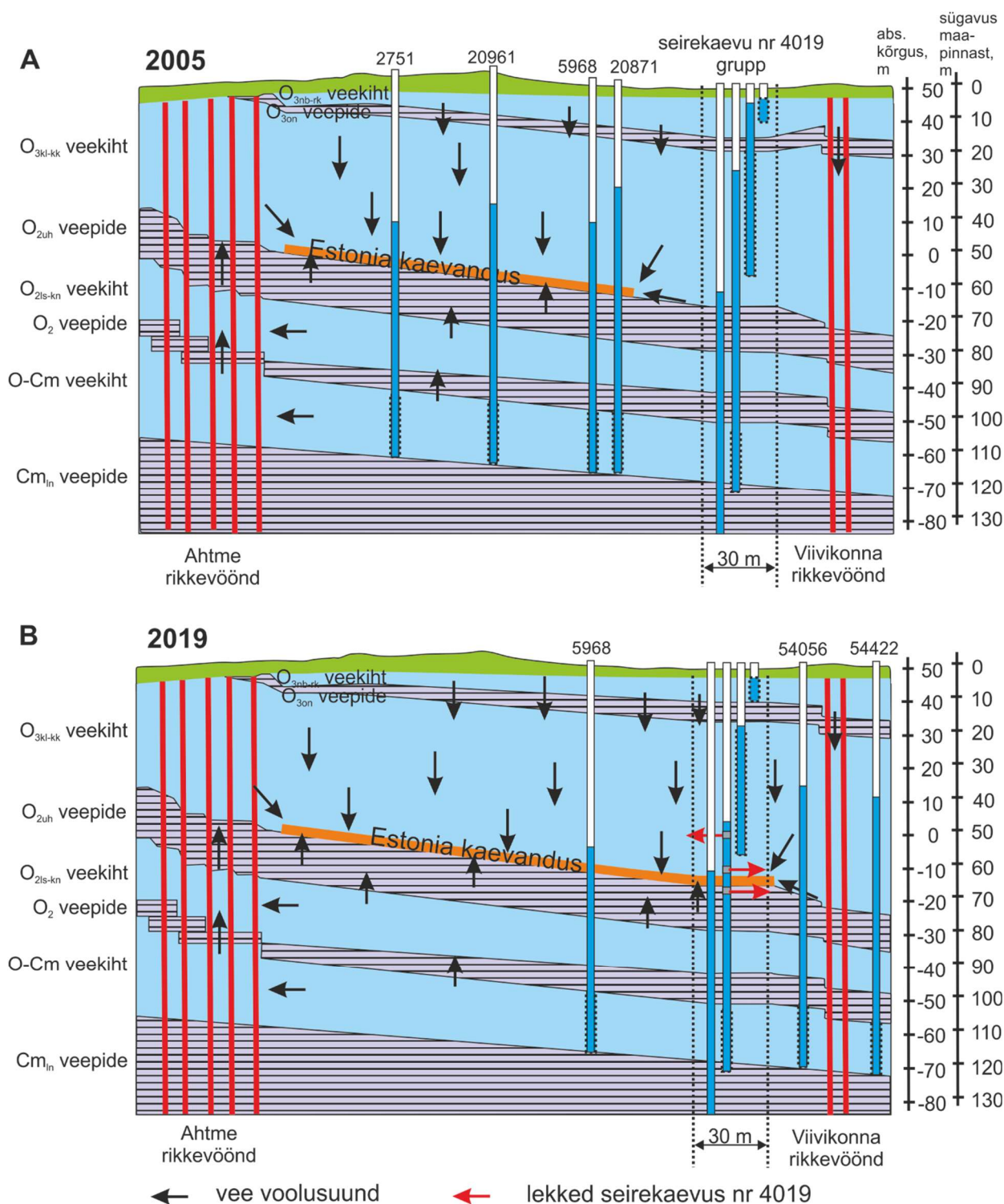
O-Cm põhjaveekihi survetase on uuringu piirkonnas varieeruv, olles mõjutatud inimtegevusest, mis on Mäetaguse aleviku ja Estonia kaevanduse piirkonnas tekitanud O-Cm veekihti lokaalsed survetaseme alanduslehtid. Kuni 2012. aastani on põhjavee survetase seirekaevus nr 4019 jälgitud suurest veevõtust mõjutatud puurkaevude survetaseme alanduste kujunemist (2751, 5967 ja 5968), kuid jäänud kõrgemaks ümbruskonna tarbekaevude survetasemetest (joonis 15). Vaid puurkaevudes nr 3171 ja 15172, mis paiknevad seirekaevust nr 4019 kaugemal (joonis 7), on põhjavee survetase kõrgem. 2012. aastal toimus Estonia kaevanduse lõunapoolse laienemise käigus strekkide rajamine seirekaevu nr 4019 vahetusse lähedusse, millega kaasnes põhjaveetasemete langus nii seirekaevus nr 4019 kui ka Keila-Kukruse seirekaevus nr 4017 ja Nabala-Rakvere seirekaevus nr 4016 (joonis 16). 2015. ja 2016. aastal lähikonda rajatud O-Cm puurkaevude (vastavalt nr 53056 ja 54422) survetasemed olid aga kõrgemad kui seirekaevus nr 4019 (joonised 15 ja 17). Seirekaevu nr 4019 põhjavee survetaseme järsu alanemise põhjuseks 2012. a on ilmselt leke kuivendatavasse Keila-Kukruse veekihti ja/või Uhaku veepidemesse (joonis 17). Vigastuste põhjustajaks võib olla kaevule liiga lähedal läbi viidud lõhketööd (streki kaugus puurkaevust on umbes 10 m), mis on deformeerinud juba niigi avariilises olukorras puurkaevu manteltoru.



Joonis 16. Sõrumäe küla seirekaevu gruppide veetaseme muutused

Seirekaevust nr 4019 1 km edelasse asub seni kaevandustegevusest eemal paiknenud seirekaevude grupp, kus on esindatud ka Lasnamäe-Kunda veekihti avav seirekaev nr 3198, mille põhjavee survetase on alanenud samas rütmis seirekaevu nr 4019 survetasemega kuni 2012. aastani (joonis 16). See viitab nende põhjaveekihtide hüdrodünaamilisele seotusele. Samas, enam kui 8 m survetaseme langusele 2018. aastal seirekaevus nr 3198 olulist survetaseme langust seirekaevus nr 4019 ei järgnenud. Järsu

survetaseme languse täpne põhjus seirekaevus nr 3198 pole teada, kuid see võib olla seotud Estonia kaevanduse laieningisega.



Joonis 17. Hüdrokeoloogilise olukorra kontseptuaalne mudel seirekaevu nr 4019 piirkonnas. (A) olukord, enne Estonia kaevanduse laieningist seirekaevuni. (B) olukord, pärast streiki rajamist 2012. aastal

Kuigi kaevanduse veeärastusse sattuv põhjavesi pärineb Keila-Kukruse veekihist saab see täiendavat toidet pinnaseveest ja sademetest, mis aitab säilitada veekihi survetaset. Seevastu Lasnamäe-Kunda

veekiht on ülemisest aktiivsest veevahetustsoonist hästi isoleeritud. Sellele viitab sademetest oluliselt negatiivsemate $\delta^{18}\text{O}$ (sademetes -10 kuni -12,5 ‰) väärtustega põhjavee esinemine ka Estonia kaevandusest põhjapool, kus Lasnamäe-Kunda veekiht on maapinna lähedasem (joonis 13). Seetõttu on Lasnamäe-Kunda veekihi survetase märksa tundlikum veeärastuse suhtes kui Keila-Kukruse põhjaveekihi ning kaevanduste dreniv mõju ulatub ka Lasnamäe-Kunda veekihti. Lasnamäe-Kunda ja O-Cm seirekaevude survetasemete sarnane käitumine kuni aastani 2012 annab alust arvata, et see mõju ulatub ka O-Cm veekihti. O-Cm survetasemele avaldab mõju seega veevõtt O-Cm veekihist ja kaevandustegevusega Ordoviitsiumi põhjaveekihtide kuivendamine, mis vähendab O-Cm veekihi toitumist. Ka O-Cm ja Lasnamäe-Kunda põhjavete keemilise ja isotoopandmestiku kohatine sarnasus eeskätt Ahtme murranguvööndite piirkonnas (joonised 12 ja 13) annab alust arvata, et läbi tektooniliste rike võib toimuda O-Cm põhjavee infiltreerumine Lasnamäe-Kunda põhjaveekihti (joonis 17). Mõningane O-Cm põhjavee sissevool võib toimuda ka läbi Ordoviitsiumi veepideme, mis on piirkonnas vaid 2–5 m paks ning ei oma väga head isolatsioonivõimet. Kas ja kui ulatuslikult toimub vertikaalne veevahetus mööda Viivikonna rikkevööndit jääb hetke andmestiku põhjal ebaselgeks.

Seirekaevu nr 4019 sooldumine alates 2008. aastast ei ole üheselt interpreteeritav. Suurenenud on eelkõige HCO_3^- , Na^+ ja Cl^- sisaldused (joonis 6). Viimased kaks jäävad siiski väiksemaks joogivee piirsisaldusest, vastavalt 200 ja 250 mg/l (Sotsiaalministri määrus 61). Kõik kolm iooni on üldiselt iseloomulikud O-Cm põhjaveele (Marandi jt., 2019) ja kahe viimase sisaldused suurenevad lõuna suunas, eriti just O-Cm Tartu põhjaveekogumis Ida-Eesti vesikonnas. Siiski on tegemist vaid seirekaevule nr 4019 omase trendiga ning 2019. aastal võetud veeproovi keemiline koostis on sarnane teistele ümbruskonna O-Cm kaevude keemilisele koostisele (joonis 10). Võimalik, et aastatel 2004–2008 ei ole kaevu enne proovi võtmist korralikult läbi pumbatud ning proovid pärinevad veesamba ülemisest osast, kus vesi oli märksa magedam. Samas tuleb märkida, et seirekaevu nr 4019 lähiümbruse kaevude vee Cl^- sisaldused on mitu korda kõrgemad kui piirkonna O-Cm veekihi põhjaveele iseloomulik. Eesti Ordoviitsiumi ega Kambriumi kivimites ei ole tead selliseid Cl^- allikaid (mineraale nagu näiteks haliit), mis võiks tõsta Cl^- sisaldusi mitmekordselt kohalikus põhjavees. Kuigi lamavas Voronka veekihi levib sarnane kloriidirikas põhjavesi (joonis 11), ei saa sealne põhjavesi olla kõrgendatud Cl^- sisalduste põhjustajaks O-Cm veekihi, sest põhjavee tase O-Cm veekihi on kõrgem kui Cm-V veekihi ning võimalik oleks vaid põhjavee vool ülevalt alla. Pealegi eraldab O-Cm ja Voronka veekihte Lontova veepide, mille paksus antud piirkonnas on umbes 70 m ja mis on väga hea isolatsioonivõimega. Jääb oletuslik võimalus, et soolasema vee sissetung toimub edelasuunast mööda Viivikonna rikkevööndit. Kohalik veevarustus vahetult seirekaevu nr 4019 lähiümbruses võtab vett üsna mõõdukalt, kuid seirekaevust kirdepoole jäävas Estonia kaevanduse veehaardes ja põhjapoolse jäävas Mäetaguse alevikus on O-Cm veevõtt oluliselt suurem (joonised 6 ja 15). Võimalik, et nende piirkondade veehaarete veevõtt koos kaevandustegevusega on

tekitanud piirkondliku survetaseme alanduslehti, mis põhjustab lõunapoolse soolasema vee sissetungi piirkonda mööda Viivikonna rikkevööndit.

6. Soovitused

- Arvata seirekaev nr 4019 riiklikust põhjaveekogumite seirest välja, kuna kaev ei ole tehniliselt korras. Geofüüsikaliste mõõtmistega tuvastati manteltoru lekkesid, väljavool puurkaevust, manteltoru osaline korrodeerumine, torutaguse tsementatsiooni puudulikkus.
- Tampoonida seirekaev nr 4019 kuna kaevust toimub põhjavee väljavool. Keila-Kukruse põhjaveekihi veetaseme tõustes (kaevandustegevuse lakkamine) võib toimuda sealse põhjavee tungimine O-Cm veekihti. Erinevate veekihtide vee segunemist peab vältima. Kuna O-Cm veekiht on kohaliku veevarustuse allikaks, siis igasugune risk tarbeveearule peab olema minimeeritud.
- Võimalikud seirekaevude asendused:
 - Alternatiiv I – Rajada samasse seirekaevude gruppi lammutatava seirekaevu nr 4019 asemele uus O-Cm veekihi kaev.
 - Alternatiiv II – Rajada uus O-Cm kaev seirekaevu nr 3198 juurde. Seal oleks olemas lisaks O-Cm kaevule kõik kolm lasuvat Ordoviitsiumi veekihtide kaevu. Eelnevalt tuleks veenduda, et kõik Ordoviitsiumi kaevud on terved ja sobivad seireks.
 - Alternatiiv III – Piirkondliku veerežiimi adekvaatsemaks jälgimiseks soovitame rajada uued seiregrupid väljaspoole kaevandustegevuse piirkonda, nii põhja kui lõuna poole Viivikonna rikkevööndit. Seiregruppi kuuluksid Nabala-Rakvere, Keila-Kukruse, Lasnamäe-Kunda, O-Cm ja Cm-V Voronka veekihi kaevud.

Parimaks lahenduseks hindame III alternatiivi kuna nii jäävad seirekaevud väljapoole Estonia mäeeraldist ja ei oleks mõjutatud vahetust kaevandustegevusest.

- Edasistel maa-aluste rajatiste projekteerimistel tuleks arvestada, et piirkonna põhjaveekihiid võivad omada Ahtme ja Viivikonna rikete kaudu hüdrodünaamilist ühendust ning sõltuvalt põhjaveekihtide survetasemete erinevusest võib toimuda ühe põhjaveekihi vee levimine teise põhjaveekihti.
- Soovitame seirekaevudele, mis läbivad kaevandussügavust, kaevandatavatel aladel kehtestada kaitsetsoon vältimaks kaevude kahjustamist lõhkamistöõde käigus. Kaitsetsooni võimaliku ulatuse määratlemisel küsida arvamust lõhkamistöõde eksperdilt.
- Kuna seirekaevus nr 4019 on täheldatud Na^+ ja Cl^- tõusu, siis tuleks jälgida, kas nimetatud näitajate sisaldused Sõrumäe piirkonnas jätkuvalt suurenevad või on stabiliseerunud. Na^+ ja Cl^- sisalduste tõusu jätkumisel soovitame viia läbi detailsem uuring seirekaevu nr 4019 piirkonnas kõrgendatud kloriidi sisalduste põhjuste selgitamiseks. Uuringusse peaks olema kaastaud lisaks keemilise analüüsi meetodite ka isotoopmeetodid ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{37}\text{Cl}$, $\delta^{81}\text{Br}$).

- Põhjavee keemilise seire käigus (sh ettevõtte omaseire) tuleb määrata alati kõik põhikomponendid (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} ja HCO_3^-).

Kokkuvõte

Tehniliselt on seirekaev nr 4019 mitterahuldavas seisukorras – manteltoru taga esinevad tühimikud (põhjuseks puudulik tsementatsioon), manteltoru sisepind on kohati väga korrodeerunud ning tuvastatud on manteltoru rikkekohad, kust toimub seirekaevust vee väljavool. Olulisemad vigastused manteltorus asuvad Kukruse ja Uhaku kihtides. Kaevanduse veeärastus nimetatud kivimikihtidest koosmõjus O-Cm veekihi alaneva survetasemega Estonia kaevanduse ja Mäetaguse aleviku piirkonnas kontrollib survetaset seirekaevus nr 4019. Seirekaevu põhjavee segunemist ülemiste Ordoviitsiumi veekihtide põhjaveega ei tuvastatud. Kuna seirekaevu manteltoru on katki ja toimub põhjavee väljavool puurkaevust teistesse lasuvatesse veekihtidesse, tuleks katkine seirekaev lammutada. Uuringu käigus kogunenud andmestik viitab hüdroteoloogilisele ühendusele O-Cm ja Lasnamäe-Kunda põhjaveekihtide vahel läbi Ahtme rikkevööndi. Seirekaevus nr 4019 tuvastatud kõrgemad kloriidi sisaldused põhjavees on iseloomulikud mitmetele lähikonna O-Cm põhjaveekihti avavale puurkaevule. Klooririkkamad kaevud paiknevad enamasti Viivikonna rikkevööndi lõunaosas. Naatriumi ja kloriidi sisaldused on nimetatud piirkonnas suuremad kui O-Cm IdaV põhjaveekogumile tavapärane, kuid ei ole nii kõrged, et ohustaks põhjaveekogumi head seisundit. Sooldumise põhjus pole üheselt tuvastatav. Võimaliku kloriidi allikana võib esile tuua kloriidirikkama O-Cm põhjavee liikumise põhjapool asuva lokaalse põhjavee survetaseme alanduse suunas (Estonia kaevanduse ja Mäetaguse aleviku veehaarded) mööda Viivikonna rikkevööndit.

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).

The water level in monitoring well cadastre no. 4019 (Ordovician-Cambrian Virumaa groundwater body in the East-Estonian river basin, no. 5a) has decreased by 26 m during the last 20 years. In 2012, as much as 6.5 m. Additionally, the water in the monitoring well has been enriched with sodium and chloride ions, which has led to salinisation. The aim of the study was to find out whether these changes are specific only to the observation well no. 4019 or do the changes described above reflect more extensive processes. Linked to the above geophysical measurements were carried out in monitoring well no. 4019 to assess the technical condition of the well. Also water samples nearby the monitoring well from boreholes of the Ordovician-Cambrian (O-Cm) aquifer were taken to analyze the chemical and isotopic composition of groundwater to determine hydrogeochemical background levels.

The results of the survey revealed that technically the monitoring well is in insufficient condition, behind the pipe are gaps (due to insufficient cementation), the inner surface of the pipe is partially very corroded. Also leaks were identified in pipe from which the water flows out. The most significant damages in the pipe are located in the area of Kukruse and Uhaku layers. Water discharge of the mine from these rock layers in combination with the decreasing water level of the O-Cm aquifer in the area of the Estonia mine as well as the small town of Mäetaguse monitor the water level in monitoring well no. 4019. Mixing of the groundwater of the monitoring well with the groundwater of the upper Ordovician aquifers was not detected. As the pipe of the monitoring well is broken and the groundwater can flow into other aquifers, the broken monitoring well should be demolished. The data collected during the study refer to the hydrogeological connection between the O-Cm and Lasnamäe-Kunda groundwater aquifers through the Ahtme fault zone. The salinisation of groundwater identified in monitoring well no. 4019 is specific of several boreholes opening the O-Cm aquifer in the area. The wells with saline water are mostly located in the southern part of the Viivikonna fault zone. Sodium and chloride concentrations in this area are higher than normal for O-Cm Virumaa groundwater body in the East-Estonian river basin, but are not so high as to jeopardize the good status of the groundwater body. The cause of salinisation is not unambiguously identifiable. Possible sources of higher chloride content in the area can be caused by the chloride-rich O-Cm groundwater moving towards the local groundwater level lowering in north (water intakes of the Estonia mine and the small town of Mäetaguse) along the Viivikonna fault zone.

Kasutatud kirjandus

Filatova, A., Domanova, N., 1966. Geoloogiline aruanne eeluuringust Eesti põlevkivimaardla Peipsiääre väljal 1965.-1966.a EGF 2859. Sõrumäe 1S struktuurpuuraugu gamma logi ja kirjeldus.

Jõelet, A., Polikarpus, M., 2018. Hüdroteoloogiline modelleerimine. Aruandes: Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. KIK projekt nr. 11808 aruanne. Tartu Ülikool, Tartu.

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>

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.

Patterson, D., Hughes, B., Prenskey, S., 2007. Acoustic Logging. Toim: Holstein, E.D. Petroleum Engineering Handbook. Society of Petroleum Engineers.
https://petrowiki.spe.org/index.php?title=PEH:Acoustic_Logging§ion=0#/editor/0

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., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdroteoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Puursüdami andmebaas. Maa-amet, 2020.

http://geoportaal.maaamet.ee/index.php?&action=viewPA&page_id=382&pa_id=6074WellCAD 5.3,

Pärn, J., 2018. Origin and Geochemical Evolution of Palaeogroundwater in the Northern Part of the Baltic Artesian Basin. Tallinn University of Technology. Doctoral thesis. <https://digi.lib.ttu.ee/i/?10917>

Pärn, J., Walraevens, K., van Camp, M., Raidla, V., Aeschbach, W., Friedrich, R., Ivask, J., Kaup, E., Martma, T., Mažeika, J., Mokrik, R., Weissbach, T., Vaikmäe, R., 2019a. Dating of glacial palaeogroundwater in the Ordovician-Cambrian aquifer system, northern Baltic Artesian Basin. *Applied Geochemistry* 102: 64–76.

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., 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.

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

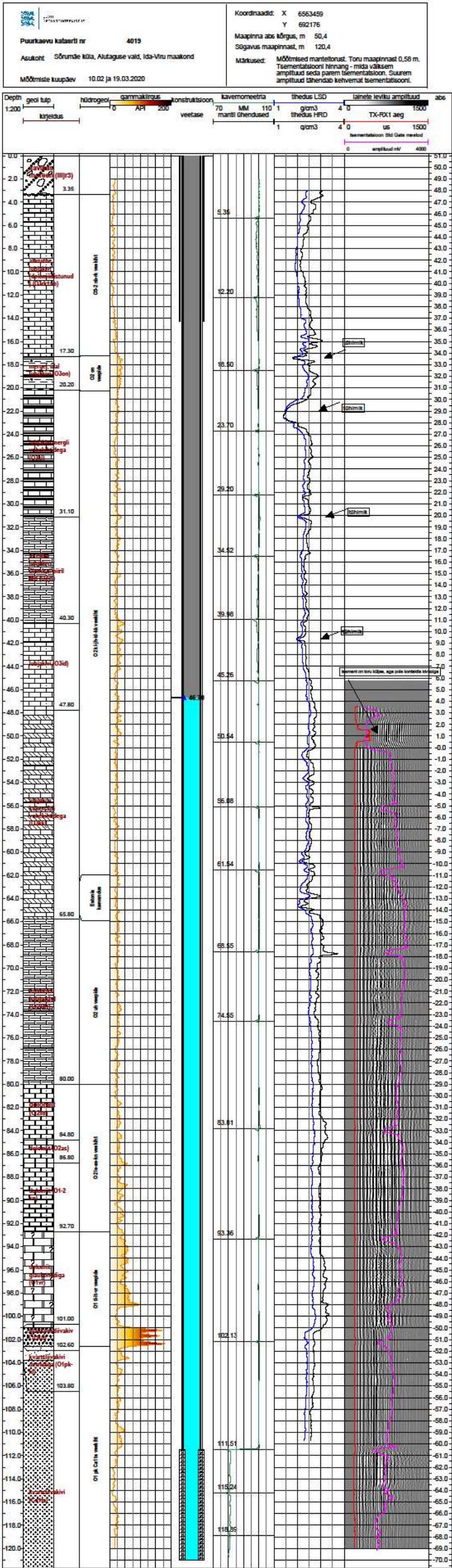
Tšeban, E., 1966. Nõukogude Liidu hüdroteoloogia. Köide XXX (Eesti NSV). (vene keeles)

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>.

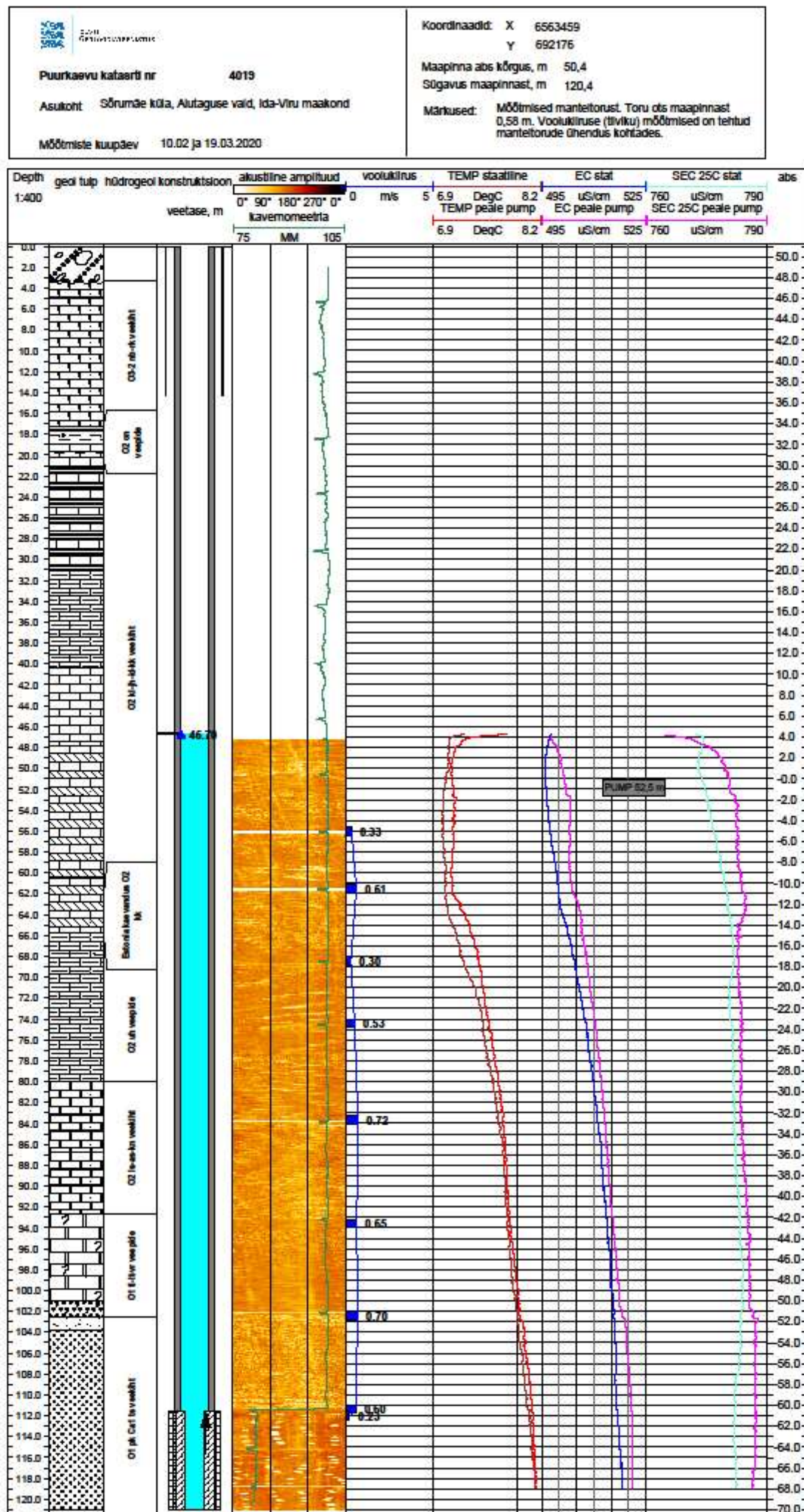
VEKA veebileht, 2020 (Keskkonnaagentuuri poolt hallatav Eesti Looduse Infosüsteem /EELIS andmekogu/. VEGA veebileht on EELIS andmekogu osa, kus leidub veevaldkonnaga seotud info.) <https://veka.keskkonnainfo.ee/veka.aspx?type=artikkel&id=214457803>

Lisad

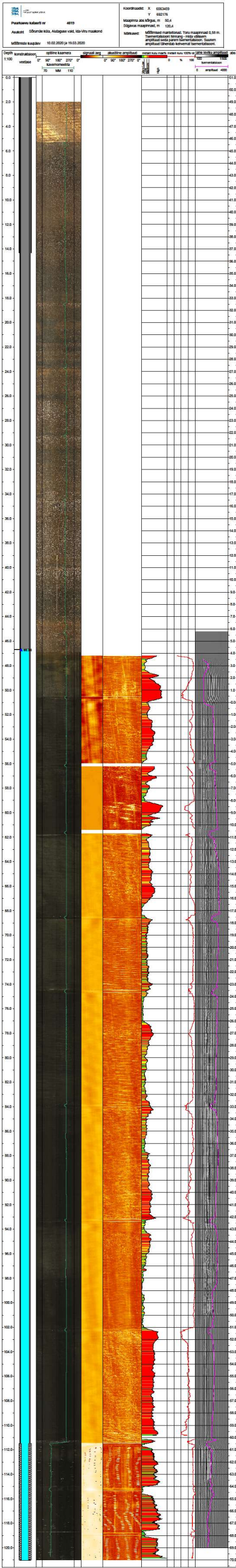
Lisa 1. Geofüüsikaliste mõõtmiste tulemused seirekaevus nr 4019. Litoloogiline ja hüdroteoloogiline läbilõige, looduslik gammakiirgus, puurkaevu konstruktsioon, kavernomeetria, gamma-gamma kiirgus (kivimi tihedus), seisimokustiline logi ehk FWS (tsementatsiooni kvaliteet)



Lisa 2. Geofüüsikaliste mõõtmiste tulemused seirekaevus nr 4019. Litoloogiline ja hüdroteoloogiline läbilõige, puurkaevu konstruktsioon, kavernoomeetria, ultraheli amplituud (toru sisepinna tekstuur), vee voolukiirus, vee temperatuur ja elektrijuhitus staatilises ja dünaamilises režiimis



Lisa 3. Geofüüsikaliste mõõtmiste tulemused seirekaevus nr 4019. Puurkaevu konstruktsioon, optiline kaamera, ultraheli amplituud (toru sisepinna tekstuur), arvutuslik metallikulu (%), seismoakustiline logi ehk FWS (tsementatsiooni kvaliteet)



Lisa 4. Uuringupiirkonna iseloomustamiseks kasutatud keemiliste ja isotoopanalüüside tulemused

LIFE IP CleanEST projekti raames kogutud veeproovide tulemused ja lisa andmed: a-EELIS, 2018; b-Vaikmäe jt., 2020.

Kat.nr	Veekiht	L-EST X	L-EST y	Kuupäev	Sügavus	Mõõd. kaevu sügavus	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 ⁻	Kuiv-jääk	Vaba CO ₂	SiO ₂	Mn	KHT _{Mn}	Üld-karedus	Värvus	Läbi-paistvus	Hägu-sus	Lõhna-läve indeks
					m	°C	mg/l	µS/cm	VSMOW ‰																		mg/l	µg/l	mgO ₂ /l	mg-ekv/l	mg/L Pt	cm	NHÜ			
2366	O ₂ is-O ₃ lt	6585531	697730	28.08.2019	38,0			8,4	0,40	748	7,4	-12,4	-88,3	5,0	20,0	108,0	37,0	0,3	0,7	0,2	372,0	21,0	118,0	0,41	<0,007	0,52	376	20,0	11,0	50	5,3	4,21	40	>60	4,8	2
2582	O ₂ is-kn	6569240	676671	23.09.2019	75,0	65,55	1,84	7,7	0,02	549	7,6	-14,6	-107,0	8,8	56,0	42,0	22,0	0,2	0,8	0,5	337,0	14,0	16,0	0,14	<0,007	0,90	359	9,2	8,4	14	2,4	1,95	50	42	8,6	1
2589	O ₂ is-kn	6569755	678608	24.09.2019	84,1	84,00	9,22	7,5	0,07	474	8,0	-17,0	-124,9	6,9	73,0	25,0	14,0	0,1	0,7	0,5	285,0	20,0	< 5	<0,09	<0,007	1,10	297	3,9	7,0	<10	1,0	1,21	20	60	6,6	1
2595 ^a	O ₂ is-kn	6569381	678803	13.08.2013	91,8						7,5			8,0	55,8	37,7	25,9	0,1			341,6	15,2	27,6	0,40					7,9		2,3					
3198	O ₂ is-kn	6562689	691519	10.09.2019	100,4	100,00	36,00	10,2	0,08	467	7,7	-13,3	-95,5	7,9	44,0	38,0	23,0	0,1	0,8	0,1	304,0	8,8	19,0	0,13	<0,007	0,84	313	5,7	7,7	23	3,2	1,89	20	56	3,05	1
3281 ^a	O ₂ is-kn	6575612	703325	04.09.2003	76,2						8,3			4,0	9,0	12,8	17,0	0,1	0,6		115,9	7,1	2,0	0,40	0,003				1,7		0,3					
3648 ^a	O ₂ is-kn	6586797	672603	16.08.2012	23,0						7,2			17,5	50,0	62,7	27,8	1,8			390,5	30,1	46,5	0,40					10,9		0,7					
3656	O ₂ is-kn	6584627	685188	03.10.2019	51,3	49,80	10,13	8,0	0,10	734	7,4	-11,5	-82,8	2,2	3,7	149,0	16,0	0,0	1,1	0,3	399,0	4,5	110,0	0,14	<0,007	0,19	589	39,0	5,7	74	3,8	4,38	30	33	8,79	1
3659 ^a	O ₂ is-kn	6581382	680933	22.11.2011	52,8						7,0			3,0	3,0	145,5	69,5	0,1	0,4		384,3	3,5	330,0	0,40	0,004				7,4		1,4					
3662	O ₂ is-kn	6583014	696796	05.09.2019	52,8			8,0	<0,2	1050	7,1	-12,4	-87,9	8,7	22,0	97,0		0,2	2,9	1,3	400,0		220,0		<0,016	0,37	360	48,0	9,2	24	1,9	7,40	20	puudub	280,0	1
3721	O ₂ is-kn	6589631	688761	03.10.2019	49,0	50,50	18,71	8,5	0,08	1186	7,1	-12,3	-87,3	6,1	29,0	192,0	42,0	<0,013	31	<0,1	385,0	69,0	290,0	0,09	<0,007	0,22	1036	35,0	5,5	11	1,6	6,53	20	>60	2,8	1
3732 ^a	O ₂ is-kn	6580493	670307	11.06.2014	47,1						7,1			8,0	6,7	76,6	32,2	3,9			390,5	15,2	21,4	0,40					10,0		2,1					
3734	O ₂ is-kn	6578799	668591	03.09.2019	57,0	57,30	11,16	8,4	0,02	502	7,7	-14,6	-106,9	9,8	36,0	45,0	26,0	0,3	4,8	0,4	329,0	9,8	15,0	0,20	0,007	0,89	339	11,0	7,3	32	13,0	2,21	40	20	27,4	1
3738	O ₂ is-kn	6580763	662648	22.08.2019	58,2			7,7	0,03	445	7,5	-12,2	-86,9	10,0	8,6	54,0	25,8	0,2	0,3	0,3	294,0	6,1	17,0	0,28	<0,007	0,54	301	12,0	6,8	<10	2,8	2,41	20	>60	2,3	1
3969	O ₂ is-kn	6566343	697507	15.10.2019	102,0	102,00	58,08					-15,4	-113,4	7,1	55,0	26,0	15,0	0,2	31,0	14,2	260,0	16,0	5,0	0,15	<0,007	1,10	508	3,3	6,6	250	21,0	1,24	30	6	53,8	4
3971 ^a	O ₂ is-kn	6552208	693654	03.10.2006	117,0						9,2			4,9	78,8	3,8	1,7	0,1	1,4		61,0	92,5	3,3	0,40	0,004				0,2		1,0					
3979 ^a	O ₂ is	6549451	711719	03.10.2006	128,0						8,8			7,0	33,0	6,8	12,9	0,2	0,5		115,9	22,0	3,3	0,40	0,004				0,7		2,3					
4010 ^a	O ₂ is-kn	6579546	662367	10.08.2017	68,6						7,8			9,1	37,5	27,9	23,3	0,1	0,7		317,2	11,7	3,3	0,40	0,004				5,7		1,3					
4025	O ₂ is-kn	6571938	673908	23.09.2019	82,6	80,80	5,14	7,9	0,08	532	7,8	-14,6	-106,3	9,0	56,0	41,0	23,0	0,2	0,2	0,2	251,0	10,0	90,0	<0,09	<0,007	0,78	331	8,4	7,5	<10	1,6	1,95	30	>60	2,6	1
5133	O ₂ is-kn	6583465	695931	28.08.2019	53,0	45,50	10,19	8,8	0,20	1101	7,4	-11,9	-85,5	6,0	20,0	189,0	49,0	<0,013	0,1	<0,1	432,0	39,0	292,0	7,10	<0,007	0,30	1074	39,0	6,4	27	2,6	6,74	10	>60	0,7	1
5963	O ₂ is-kn	6581872	698606	04.09.2019	46,0	40,83	4,05	8,0	0,04	951	7,1	-11,8	-84,2	99,0	21,0	95,0	30,0	0,2	1,0	0,7	439,0	45,0	120,0	0,37	<0,007	0,80	681	38,0	11,0	77	3,7	3,60	50	31	4,9	1
9003	O ₂ is-kn	6585303	666780	21.08.2019	34,0	28,60	1,67	8,1	2,01	1051	7,1	-11,9	-84,7	13,0	36,0	93,0	45,0	0,4	2,6	2,3	481,0	9,6	81,0	0,35	<0,007	0,42	875	66,0	10,0	33	8,4	4,17	150	13	35,4	1
12288 ^a	O ₂ is-kn	6573606	684904	26.03.2001	77,4						7,6			10,0	39,0	34,1	28,9	0,1	0,3		341,7	11,0	15,6	0,40	0,003				7,5		0,3					
12292	O ₂ is-kn	6575167	684815	11.09.2019	77,5			8,3	0,03	765	7,8	-13,0	-93,2	13,0	34,0	120,0	60,0	0,3	1,2	1,1	345,0	8,5	330,0	0,42	<0,007	0,53	992	25,0	8,9	38	4,0	5,46	70	21	18,5	1
13475	O ₂ is-kn	6585149	691494	28.08.2019	63,0			7,9	0,02	938	7,4	-12,4	-88,6	8,0	9,8	120,0	64,0	0,2	1,9	1,7	404,0	25,0	212,0	0,25	<0,007	0,37	922	25,0	8,2	31	5,8	5,62	50	29	23,8	2
13518	O ₂ is-kn	6580300	664198	03.09.2019	42,5			7,2	4,42	483	7,8	-14,4	-106,2	11,0	37,0	46,0	24,0	0,1	2,8	0,4	331,0	10,0	17,0	0,21	<0,007	0,93										

Kat.nr	Veekiht	L-EST X	L-EST y	Kuupäev	Sügavus	Mõõd. kaevu sügavus	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 ⁻	Kuiv-jääk	Vaba CO ₂	SiO ₂	Mn	KHT _{Mn}	Üld-karedus	Värvus	Läbi-paistvus	Hägu-sus	Lõhna-läve indeks
					m	°C	mg/l	µS/cm	VSMOW ‰	mg/l																µg/l	mgO ₂ /l	mg-ekv/l	mg/L Pt	cm	NH ₄					
19560	O ₂ is-kn	6585437	681087	27.08.2019	38,0	32,00	2,15	8,1	0,04	680	7,2	-11,9	-85,2	2,9	8,1	130,0	21,0	0,1	0,5	0,5	315,0	13,4	143,0	0,19	<0,007	0,33	592	22,0	12,0	170	4,3	3,74	40	>60	1,8	5
19606	O ₂ is-kn	6583401	665379	23.09.2019	40,1			7,9	0,04	1718	6,8	-11,3	-82,1	16,0	9,0	236,0	89,0	0,1	1,3	1,2	387,0	42,0	600,0	0,23	<0,007	0,27	1623	44,0	7,1	120	6,4	8,84	70	43	18,4	1
19608	O ₂ is-kn	6583973	662743	21.08.2019	41,0	41,30	8,72	7,1	0,100	1282	7,1	-11,1	-81,5	7,5	4,9	177,0	66,0	0,3	0,1	0,1	298,0	4,6	460,0	0,10	<0,007	0,26	1280	41,0	6,3	45	6,9	7,14	30	>60	1,0	1
19610 ^a	O ₂ is-kn	6585769	661369	23.01.2002	41,0						8,0			4,5	6,5	72,7	34,3	0,1	0,3		338,6	11,0	45,0	0,29	0,01						2,3					
20977	O ₂ is-kn	6571924	682321	16.09.2019	71,5	71,50	6,53	9,1	0,26	453	8,0	-16,2	-119,1	7,9	70,0	16,0	15,0	0,2	2,5	1,1	290,0	21,0	1,2	<0,20	<0,016	1,70	330	2,9	6,2	<20	< 1	2,00	20	25	25,0	1
21849	O ₂ is-kn	6582716	697502	04.09.2019	40,0			8,0	0,05	976	7,4	-12,1	-86,4	27,0	19,0	134,0	16,0	0,1	3,0	1,8	440,0	32,0	170,0	0,21	<0,007	0,48	804	44,0	8,5	48	3,0	5,48	100	14	11,6	1
22410	O ₂ is-kn	6586201	668847	15.10.2019	26,0			8,1	0,10	654	7,0	-11,7	-82,9	3,4	6,0	100,0	27,0	0,1	0,4	0,4	353,0	6,2	78,0	0,11	<0,007	0,42	452	31,0	7,3	36	4,2	3,61	30	>60	1,9	1
24211	O ₂ is-kn	6583809	673802	22.08.2019	27,0			7,7	0,03	1567	6,9	-11,4	-82,4	11,0	7,6	267,0	39,0	3,5	3,1	3,0	368,0	13,6	540,0	0,21	<0,007	0,21	1524	53,0	8,1	260	14,0	8,24	150	12	40,9	2,5
24212 ^a	O ₂ is-kn	6583821	673244	23.07.2008	25,0						6,8			14,7	16,5	135,9	21,4	0,1	0,1		286,7	33,7	211,9	0,40	0,004			6,4		10,5						
26264	O ₂ is-kn	6573201	715028	18.09.2019	55,0			8,0	<0,2	1946	8,1	-18,7	-138,4	5,5	88,0	16,0	12,0	0,1	10,0	8,3	240,0	49,0	1,6	<0,20	0,02	0,61	320	pH>8,3	9,0	46	14,0	1,80	40	0	1800	1
13592	O-Cm+ O ₂ is-kn	6587166	692108	27.08.2019	57,0			8,1	1,09	857	7,1	-12,3	-87,9	8,3	5,6	120,0	57,0	0,1	0,5	0,4	457,0	11,0	160,0	0,46	<0,007	0,49	703	30,0	9,1	17	8,5	5,32	40	59	1,2	1
2268 ^b	O-Cm	6587005	691441	19.06.1995	82,0						7,4	-13,8		8,0	24,3	54,7	35,6	0,1			360,0	7,5	15,6	<0.1	0,149	0,49		6,5	50							
2373	O-Cm	6586413	692454	28.08.2019	85,0			14,4	10,20	567	7,6	-12,2	-87,0	7,6	24,0	61,0	33,0	0,1	0,2	< 40	408,0	<3,5	< 5	0,99	<0,007	0,46	387	14,0	7,4	14	1,6	2,86	30	>60	0,8	1
2414	O-Cm	6581891	662016	22.08.2019	90,0			8,2	1,09	635	7,7	-16,3	-120,6	13,0	62,0	43,0	29,0	0,3	0,3	0,3	327,0	35,0	44,0	0,25	<0,007	0,37	424	11,0	6,7	32	2,8	2,25	30	>60	2,9	1
2751	O-Cm	6569538	688369	12.09.2019	130,0			9,0	0,10	575	8,0	-16,4	-120,7	6,7	120,0	26,0	10,0	0,2	0,2	0,1	320,0	45,0	16,0	0,21	<0,007	0,53	384	6,2	5,9	20	3,0	1,08	20	>60	0,7	1
3171	O-Cm	6557764	694635	12.09.2019	145,0			8,5	0,02	537	8,6	-18,8	-139,8	4,0	140,0	8,0	4,1	0,2	0,2	0,2	246,0	59,0	17,0	<0,09	<0,007	0,65	355	<1	6,9	10	2,5	0,37	20	>60	1,1	1
4002	O-Cm	6571935	673904	23.09.2019	104,4		12,20	7,8	0,01	535	7,6	-16,5	-121,4	9,1	68,0	38,0	21,0	0,2	1,9	1,7	319,0	25,0	23,0	0,18	<0,007	0,38	355	5,3	7,0	14	1,7	1,79	40	7	31,5	3
4002	O-Cm	6571935	673904	19.06.2019	104,4		10,57																													
4019	O-Cm	6563459	692176	11.09.2019	125,4		47,61	9,9	0,11	669	8,1	-18,4	-136,6	4,5	150,0	11,0	6,3	0,1	3,9	3,3	250,0	96,0	17,0	0,10	<0,007	0,67	418	<1	6,6	51	8,0	0,54	40	13	38,9	1
4019	O-Cm	6563459	692176	10.02.2020	125,4	121,00	46,90																													
5353 ^b	O-Cm	6563328	663318	15.09.2014	155,0			8,3		554	7,3	-13,5	-98,7	8,7	21,2	55,2	33,8	0,5			366,0	9,5	1,2	<0.21	<0.19	0,44										
5968 ^b	O-Cm	6566967	693770	08.05.1997	130,0			7,9			8,2	-17,5																								
5968 ^b	O-Cm	6566967	693770	03.09.2014	130,0			8,6		547	7,6	-17,8	-131,9	5,5	104,5	13,1	10,7	0,8			299,0	29,9	8,0	<0.21	<0.19	0,62										
5968 ^b	O-Cm	6566967	693770	31.08.2015	130,0			8,6		556	7,9	-17,7	-132,6	5,4	100,0	13,3	10,3	<1.4			286,8	29,0	7,7	<1.8	<1.4	0,60										
5968	O-Cm	6566967	693770	05.09.2016	130,0			8,6		556	8,3	-17,7	-131,4	5,4	100,0	15,0	10,0	<1.4			283,4	32,0	9,9	<1.8	<1.4	0,73			10							
14267	O-Cm	6575751	684670	12.09.2019	110,8			8,3	0,02	695	7,5	-15,0	-110,2	11,0	66,0	55,0	31,0	0,2	1,3	1,1	301,0	24,0	76,0	0,27	<0,007	0,53	463	15,0	7,2	29	4,2	2,64	100	34	13,04	2
15172	O-Cm	6567257	702293	04.09.2019	125,0			9,4	0,02	444	8,1	-14,0	-101,6	5,7	74,0	23,0	14,0	0,1	0,2	0,2	320,0	5,1	< 5	0,37	<0,007	0,69	294	2,9	7,1	17	1,8	1,14	10	>60	0,57	1
16391	O-Cm	6575737	700261	04.09.2019	105,0			10,5	0,07	554	7,7	-12,6	-89,4	8,6	35,0	53,0	31,0	0,1	1,2	1,0	377,0	10,0	17,0	0,28	<0,007	0,56	356	14,0	7,6	17	6,6	2,59	70	39	14,32	1
19016 ^b	O-Cm	6586799	672599	02.10.2014	50,0			7,7		248	9,1	-15,5	-114,9	15,0	6																					