



Projekti LIFE IP CleanEST raames
läbi viidud hüdrokeoloogiliste
uuringute koondaruanne
(põhjaveekogumid nr 1, 5a, 6, 7 ja
27; tegevuse C.9 aruanne)

Rakvere 2023

Projekti LIFE IP CleanEST raames läbi viidud hüdrogeoloogiliste uuringute koondaruanne

(põhjaveekogumid nr 1, 5a, 6, 7 ja 27)

KOONDARUANNE

Töögrupi juht: Merle Truu

Töögrupi liikmed: Joonas Pärn, Valle Raidla

Soovitav viitamine: Truu, M., Pärn, J., Raidla, V., 2023. Projekti LIFE IP CleanEST raames läbi viidud hüdrogeoloogiliste uuringute koondaruanne. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Käesolev aruanne põhineb eelnevatel LIFE IP CleanEST projekti käigus koostatud aruannetel Raidla ja Truu (2020), Karro jt (2021), Raidla ja Truu (2022), Raidla jt (2023a) ning Raidla jt (2023b).

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 autorite seisukohti ja Euroopa Komisjon ei vastuta sisu kasutamise eest.

Sisukord

Tabelite nimekiri	4
Jooniste nimekiri	4
Annotatsioon	6
Summary.....	7
1. Sissejuhatus.....	10
2. Uuringute lühikokkuvõtted	13
2.1 Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekogum (nr 1).....	13
2.2 Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum (nr 5a)	16
2.3 Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogum (nr 6).....	19
2.4 Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogum (nr 7).....	21
2.5 Kvaternaari Vasavere põhjaveekogum (nr 27)	25
3. Arutelu	28
3.1 Üldine taust põhjaveekogumite seisundi kirjeldamise ja hindamise kohta.....	28
3.2 Põhjavee riikliku seirevõrgu olukord Ida-Virumaa põhjaveekogumites	30
3.3 Põhja- ja pinnavee vastastikmõju ja selle arvestamine põhjaveeseires	37
3.4 Põhjaveekogumid ja põhjaveekihid.....	41
3.5 Ida-Virumaa põhjaveekogumite seisundi hindamisest	47
Kokkuvõte	54
Kasutatud kirjandus	56

Tabelite nimekiri

Tabel 1. LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C.9 raames valminud aruanded.....	12
Tabel 2. LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C.9 raames kontrollitud seirekaevude seisundi kokkuvõte	31
Tabel 3. Soovitused põhjavee seirevõrgu ja seire ülesehituse kohta	35
Tabel 4. Soovitused põhja- ja pinnavee vastastikmõjuga arvestamiseks põhjavee seireandmete tõlgendamisel.....	40
Tabel 5. Soovitused põhjaveekihtide eripäradega arvestamiseks põhjaveekogumite majandamise ja kaitse korraldamisel.....	45
Tabel 6. Üldised soovitused põhjaveekogumite seisundi hinnangute metoodika täiendamiseks ja veeresursside paremaks majandamiseks Ida-Virumaaga seotud PVKdes.....	53

Jooniste nimekiri

Joonis 1. Puurkaevude asukohad, millest Kambriumi-Vendi Gdovi PVK uuringu raames veeproove koguti (Raidla ja Truu, 2020)	13
Joonis 2. Gdovi põhjaveekogumi Cl ⁻ sisaldus (A) ja kloriidi allikat indikeeriva Ca ²⁺ ja Na ⁺ suhte variatsioon (B).	15
Joonis 3. Voronka veekihi võimalik sooldumise skeem läbi reservis oleva Gdov+Voronka tüüpi puurkaevu (Raidla ja Truu, 2020).	16
Joonis 4. Puurkaevude asukohad, millest Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa PVK uuringute raames veeproove koguti (Raidla ja Truu, 2022)	17
Joonis 5. O-Cm põhjaveekompleksi avava puurkaevu võimalik kahjustumine kaevandustegevuse tulemusel.....	18

Joonis 6. Põhjavee proovivõtukohtad põhjaveekogumis nr 6, millest LIFE IP CleanEST projekti raames aastatel 2019 – 2022 koguti veeproove (Raidla jt, 2023a)	20
Joonis 7. Põhjavee proovivõtukohtad, millest LIFE IP CleanEST projekti raames aastatel 2019 – 2022 koguti veeproove PVK nr 7 uuringute läbiviimiseks (Raidla jt, 2023b)	23
Joonis 8. Puurkaevude ja pinnavee seirepunktide asukohad, kust PVK nr 27 uuringute raames aastatel 2019 ja 2020 koguti veeproove (A) ja kõigi uuringus kasutatud PVK nr 27 puurkaevude ja pinnavee seirepunktide asukohad (B). (Karro jt, 2021)	26
Joonis 9. Erinevate põhjaveekihtide paiknemine põhjaveekogumites nr 6 ja 7. (a) – põhjaveekogumite piirid; (b) – hüdrogeoloogiline läbilõige N–S koos olulisemate veekihtide ja veepidemetega.....	43
Joonis 10. Ida-Virumaa Ordoviitsiumi põhjavee hapniku isotoopkoostise ($\delta^{18}\text{O}$) sõltuvus põhjaveekihi lasumissügavusest (Raidla jt, 2023a).....	44
Joonis 11. Seirepunktide paiknemine, nende mõjuulatused ning oluliste saasteainete kasvusuundumused Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogumis (Marandi jt, 2020)	48
Joonis 12. Saasteaine sisendi (“input”), väljundi (“output”) ja veekihi reageerimise kiiruste (T_{reac} , T_{purif} , T_{recovery}) teoreetiline seos.....	50
Joonis 13. Kareduse, kuivjäägi, sulfaadi, kloriidi ja nitraadi sisalduse muutused suletud Kiviõli kaevanduse ärajuhitas vees.....	52

Annotatsioon

LIFE IP CleanEST tegevuse C.9 koondaruanne on kokkuvõtte aastail 2019–2023 läbi viidud põhjaveeuuringute tulemustest. Uuringuid teostati viies Viru alamvesikonna territooriumile jäävas põhjaveekogumis: Kambriumi-Vendi Gdovi (nr 1), Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa (nr 5a), Ordoviitsiumi Ida-Viru (nr 6), Ordoviitsiumi põlevkivibasseini (nr 7) ja Kvaternaari Vasavere (nr 27). Üldiseks eesmärgiks oli aidata kaasa heas seisundis põhjaveekogumite seisundi säilimisele ja halvas seisundis olevate põhjaveekogumite seisundi paranemisele. Uuringud baseerusid perioodide 2015–2021 ja 2022–2027 veemajanduskavade põhjavee meetmeprogrammidel ja on vajalikud nende täitmiseks.

Koondaruanne jaguneb kaheks osaks. Esimeses osas on esitatud LIFE IP CleanEST projekti raames läbi viidud uuringute aruannete kokkuvõtted põhjaveekogumite kaupa. Neis antakse lühidalt ülevaade uuringute eesmärkidest, kasutatud meetodikast ning tähtsamatest tulemustest. Samuti esitatakse tabelina koostatud aruannete nimekiri ning nende valmimise ja kinnitamise ajad.

Koondaruande teise osa moodustab arutelu, milles analüüsitakse uuringute tulemusi neljast üldisemast vaatepunktist: riikliku põhjavee seirevõrgu olukord uuritud põhjaveekogumites; pinnavee kvaliteedi mõju põhjaveekogumite keemilisele seisundile; erinevate põhjaveekihtide esinemisega arvestamise olulisus ühe põhjaveekogumi piires ja küsimusi, mis on seotud põhjaveekogumite seisundi hindamise ning nende hea seisundi saavutamise võimalikkusega Ida-Virumaal. Iga nimetatud teema moodustab eraldi peatüki, mille juurde on tabelitena koondatud LIFE IP CleanEST uuringutes antud üldised soovitusel edaspidisteks tegevusteks ja töödeks ning ettepanekud meetmete lisamiseks järgmise perioodi veemajanduskava põhjavee meetmeprogrammi.

Aruande koostasid Joonas Pärn, Merle Truu ja Valle Raidla.

Summary

The report summarizes the results of the studies carried out in groundwater bodies (GWBs) in the Viru sub-basin during the period 2019 – 2023. The studies were conducted in the framework of action C.9 of the LIFE IP CleanEST project. Five GWBs under consideration were: Cambrian-Vendian Gdov (No. 1), Ordovician-Cambrian Virumaa (No. 5a), Ordovician Ida-Viru (No. 6), Ordovician Ida-Viru oil shale basin (No. 7) and Quaternary Vasavere (No. 27). According to the latest GWB status assessment in 2020, GWBs No. 6, 7 and 27 were in bad status and GWB No. 1 was in good status but at risk. The studies were carried out with an aim to improve the status of groundwater bodies in the area by better understanding the processes that influence their chemical status.

The report consists of two main parts. Firstly, five published reports from 2020 – 2023 (Raidla ja Truu, 2020; Karro jt, 2021; Raidla ja Truu, 2022; Raidla jt, 2023a; Raidla jt, 2023b) are summarized. Each subsection summarises the main aspects of the studies, namely their aim, methodology and most important results. A table is also given with the list, date of completion and date of approval for each report, which shows that all the deliverables and milestones outlined in the project proposal have been carried out on time.

The focus of each study differed according to the characteristics of a given GWB. In the study concerning GWB No. 1 (Cambrian-Vendian Gdov) the emphasis was placed on explaining the origin of groundwater with high total dissolved solids and high concentrations of chloride that has been detected in water intakes (Ahtme and Piira) in the southern and eastern parts of the GWB. In GWB No. 5a (Ordovician-Cambrian Virumaa), the studies concentrated on characterizing the chemical and isotopic composition of groundwater, on mapping the concentration and spatial distribution of barium, mercury and arsenic and calculation of their natural background levels. The focus of studies in GWBs No. 6 (Ordovician Ida-Viru) and 27 (Quaternary Vasavere) were similar to those in GWB No. 5a. In addition, the study in GWB No. 27 looked at the spatial distribution and the significance of upward trends observed previously for phenols, NH_4^+ , NO_3^- and COD_{Mn} . The status of GWB No. 7 (Ordovician Ida-Viru oil shale basin) is the most impacted by different anthropogenic pressures especially by the past and present oil shale mining. Thus, the focus of studies in this GWB were the broadest, covering the following topics in addition to those mentioned previously: spatial distribution, origin and recent concentration changes of hazardous substances related in particular to oil shale mining and industry (phenols, PAHs, sulphate); suitability of groundwater for drinking water use in areas around point pollution sources (e.g. semi-coke deposits) and in the GWB in general; possible negative impact of GWB No. 7 to the surrounding groundwater bodies (No. 5a, 6 and 27).

An important part of studies in GWBs No. 5a, 6 and 27 was the assessment of the technical status of national groundwater monitoring wells which had previously shown anomalous water levels or high concentration of hazardous substances (e.g., sulphate, phenols, phthalates, trichloroethylene and petroleum products). In total, 14 monitoring wells were assessed. Where possible, the technical condition of the wells was evaluated using borehole geophysics. It was found that 8 wells were in good technical condition, 4 need repairing or renovating before they can be used in national groundwater monitoring and the condition of 2 wells was so bad that they should be dismantled. The observed high concentrations of hazardous substances were mostly related to local sources or to the technical conditions of the wells and not characteristic to wider areas in the GWB. The full versions of the reports are available on the project website <https://lifecleanest.ee/et/aruanded> and can also be found in the Estonian Geological Archive administered by the Geological Survey of Estonia <https://fond.egt.ee/fond/>.

The second part of the report consists of discussion on general topics related to the main findings in the studies. They are presented in separate sub-chapters which deal with the following questions: the state of national groundwater monitoring network in the studied GWBs; influence of surface water quality on groundwater quality; the heterogeneity of groundwater quality in the GWBs which is related to the presence of several different aquifers in one GWB; the reliability of GWB status assessments and the possibility of achieving good status for all GWBs in the Viru sub-basin.

The most important conclusions that can be drawn from studies carried out during action C.9 are the following:

- The national groundwater monitoring network in the studied GWBs needs improving. The most important issues that need resolving, are the technical status of the monitoring wells which in many cases is not good enough to guarantee reliable results for the GWB status assessments. The national groundwater monitoring network needs to be thoroughly evaluated and the data used in GWB status assessments needs to be increased possibly by finding ways to incorporate the monitoring data collected by private companies or during specific scientific or applied studies;
- In several locations in GWBs No. 6 and 7, the groundwater quality in national monitoring wells and aquifers near the rivers is influenced by surface water quality. Due to extensive water abstraction, groundwater levels have fallen below surface water levels which induces flow from surface water to the aquifers. Surface water is often polluted by substances related to the oil shale industry (e.g., sulphate, PAHs, petroleum products, phenols) which deteriorates

groundwater quality in adjacent areas. In some cases, it is recommended to carry out parallel monitoring of rivers and wells to better explain the origin of hazardous substances in groundwater.

- The isotopic and chemical composition of groundwater in several GWBs but especially in GWBs No. 6 and 7 is heterogeneous. In different aquifers forming these GWBs, groundwater with very different residence times are encountered ranging from recently infiltrated water to palaeogroundwater of glacial origin which is probably >10000 years old. This should be considered when constructing national groundwater monitoring networks and in interpreting the monitoring results as the pressures influencing groundwater quantity and quality in different aquifers can be very distinct.
- The low number of monitoring wells in the GWBs, their uneven spatial distribution and variable technical condition raises questions on the results of some GWB status assessments. To avoid a situation where few sampling points in bad technical condition strongly influence the outcome, it is recommended to analyse the methodology used for the assessment. Also, it is emphasised that taking into account the anthropogenic activities planned for the near-future, it is very hard to see how the GWBs in bad status in the Viru sub-basin can achieve good status by 2027 which is the current deadline set by the Water Framework Directive.

Each sub-chapter in the discussion section is accompanied by a table which summarizes all the proposals given in the studies on how to improve the management of GWBs in the Viru sub-basin (e.g., concerning GWB monitoring networks, status assessments, etc.). The most important of these suggestions also serve as possible measures which could be added to the river district management plan programme of measures for this or the following cycle (2021 – 2027 and 2028 – 2033).

1. Sissejuhatus

LIFE IP CleanEST on veemajanduse integreeritud projekt, mis keskendub Ida- ja Lääne-Virumaa veekogumite seisundi parandamisele. Projekti ühe tegevusena (C.9) viidi aastatel 2019 – 2023 läbi uuringud viies Viru alamvesikonna territooriumile jäävas põhjaveekogumis (PVK): Kambriumi-Vendi Gdovi (nr 1), Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa (nr 5a), Ordoviitsiumi Ida-Viru (nr 6), Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini (nr 7) ja Kvaternaari Vasavere (nr 27). Uuringute üldiseks eesmärgiks oli aidata kaasa heas seisundis PVKde seisundi säilimisele ja halvas seisundis olevate põhjaveekogumite seisundi paranemisele. Uuringud baseeruvad perioodide 2015 – 2021 ja 2022 – 2027 veemajanduskavade põhjavee meetmeprogrammidel ja on vajalikud nende täitmiseks.

Uuringute käigus võeti veeproove kokku 305 proovivõtukohest (356 põhjavee- ja 19 pinnaveeproovi). Proovivõtu käigus määrati veeproovidest põhjavee väliparameetrid (vee elektrijuhtivus, pH, hapniku sisaldus ja temperatuur), põhjavee keemiline koostis [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 , KHT_{Mn} (permanganaatne hapnikutarve), üldkaredus, kuivjääk, värvus, läbipaistvus, hägusus ja lõhnaläve indeks] ja põhjavee isotoopkoostis ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$). Lisaks võeti erinevate põhjaveekogumite (v.a nr 1) uuringutes vastavalt uuringu eesmärgile veeproovid kas ühe või mitme järgnevalt loetletud keemilise näitaja sisalduse määramiseks: PAH-id (atsenaftüleen; atsenafteen; antratseen; benso(a)antratseen; benso(a)püreen; benso(b)fluoranteen; fenantreen; benso(k)fluoranteen; benso(g,h,i)perüleen; krüseen; dibenso(a,h)antratseen; fluorantseen; fluoreen; indeno(1,2,3 cd)püreen; naftaleen; püreen), fenoolid (fenool; 2,3-dimetüülfenool; 2,6-dimetüülfenool; 3,4-dimetüülfenool; 3,5-dimetüülfenool; p/m-kresool; o-kresool; 5-metüülresortsiin; resortsiin; 2,5-dimetüülresortsinool), metallid (As, Ba, Hg, Cd, Ni, Zn ja Cu), naftasaadused, trikloroeteen, tetrakloroeteen, triklorometaan, benseen, ftalaatid (di-(2-etüülheksüül)ftalaat /DEHP/; dibutüülftalaat /DBP/; di-n-oktüülftalaat /DNOP/; di-n-propüülftalaat /DPP/; dietüülftalaat /DEP/; bensüülbutüülftalaat /BBP/; diisobutüülftalaat /DIBP/; diundetsüülftalaat /DUP/; dimetüülftalaat /DMP/; ditsükloheksüülftalaat /DCP/) ja 156 erinevat pestitsiidi.

Aruandes tehakse kokkuvõtte viie põhjaveekogumi uuringute tulemustest (Raidla ja Truu, 2020; Karro jt, 2021; Raidla ja Truu, 2022; Raidla jt, 2023a; Raidla jt, 2023b). Esimeses osas antakse ülevaade LIFE IP CleanEST projekti raames läbi viidud uuringute tähtsamatest tulemustest ja järeldustest. Teises osas analüüsitakse saadud tulemusi neljast üldisemast vaatepunktist: riikliku põhjavee seirevõrgu olukord uuritud PVKdes; pinnavee kvaliteedi mõju PVK keemilisele seisundile; erinevate põhjaveekihtide esinemisega arvestamise olulisus ühe PVK piires ja PVK seisundi hinnangute usaldusväärsus ning nende hea seisundi saavutamise võimalikkus Ida-Virumaal. Iga arutelu peatüki juurde on tabelina koondatud

uuringutes antud üldised soovitusel edaspidisteks tegevusteks ja töödeks ning ühtlasi meetmete lisamiseks järgmise perioodi veemajanduskava põhjavee meetmeprogrammi. Iga soovitusel juurde on lisatud märke, kas tegu on kiireloomulise ehk prioriteetse tegevusega (tuleks läbi viia selle või järgmise veemajanduskava perioodi jooksul ehk enne aastat 2033) või tegevusega, mida võib läbi viia ka hiljem ja vastavalt vajadusele.

LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C.9 raames valminud aruannete nimekiri, valmimise ja kinnitamise kuupäevad on esitatud tabelis 1. Täispikkade aruannetega saab tutvuda projekti kodulehel <https://lifecleanest.ee/et/aruanded>, samuti on aruanded lisatud Eesti Geoloogiateenistuse (EGT) poolt hallatavasse Geoloogiafondi <https://fond.egt.ee/fond/>.

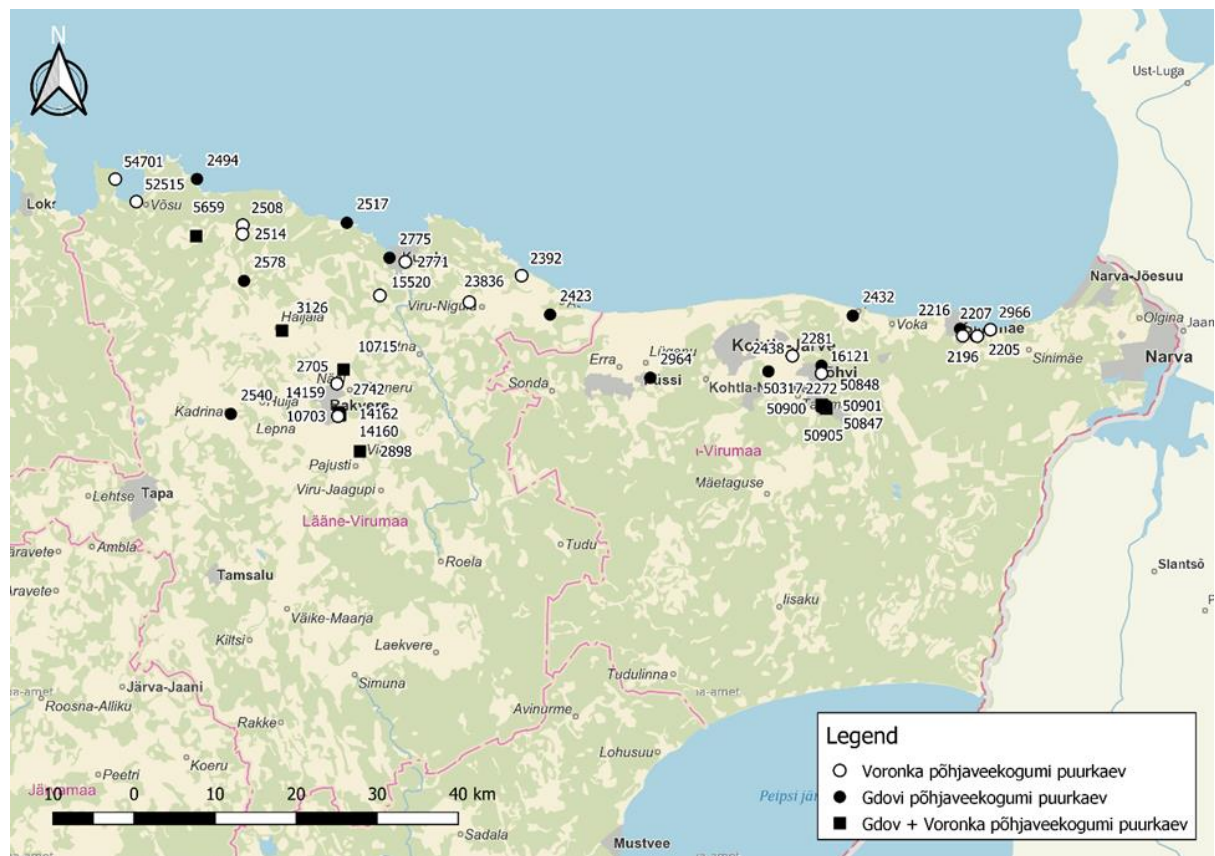
Tabel 1. LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C.9 raames valminud aruanded

PVK nr	Aruande pealkiri	Valmimise aeg	Põhjaveekomisjoni kooskõlastus	Kinnitamise kuupäev	Link projekti kodulehel EGT geoloogiafondi nr (EGF nr)
1	Hüdrokeoloogiline uuring kloriidide päritolu ja sisalduse tõusu põhjuste väljaselgitamiseks Gdovi põhjaveekogumis Ahtme ja Rakvere piirkonnas	November 2020	24.11.2020, protokoll nr 186	31.12.2020	Aruande link projekti lehel EGF nr 9466
27	Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumi hüdrokeoloogilised uuringud	Detsember 2021	26.01.2022, protokoll nr 196	21.04.2022	Aruande link projekti lehel EGF nr 9628
5a	Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogumi Ida-Eesti vesikonnas hüdrokeoloogilised uuringud	Mai 2022	30.06.2022, protokoll nr 199	29.08.2022	Aruande link projekti lehel EGF nr 9629
6	Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogumi hüdrokeoloogilised uuringud	Aprill 2023	31.05.2023, protokoll nr 205	08.11.2023	Aruande link projekti lehel EGF nr 9801
7	Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi hüdrokeoloogilised uuringud	Oktoober 2023	23.11.2023, protokoll nr 210	15.12.2023	Aruande link projekti lehel EGF nr 9802

2. Uuringute lühikokkuvõtte

2.1 Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekogum (nr 1)

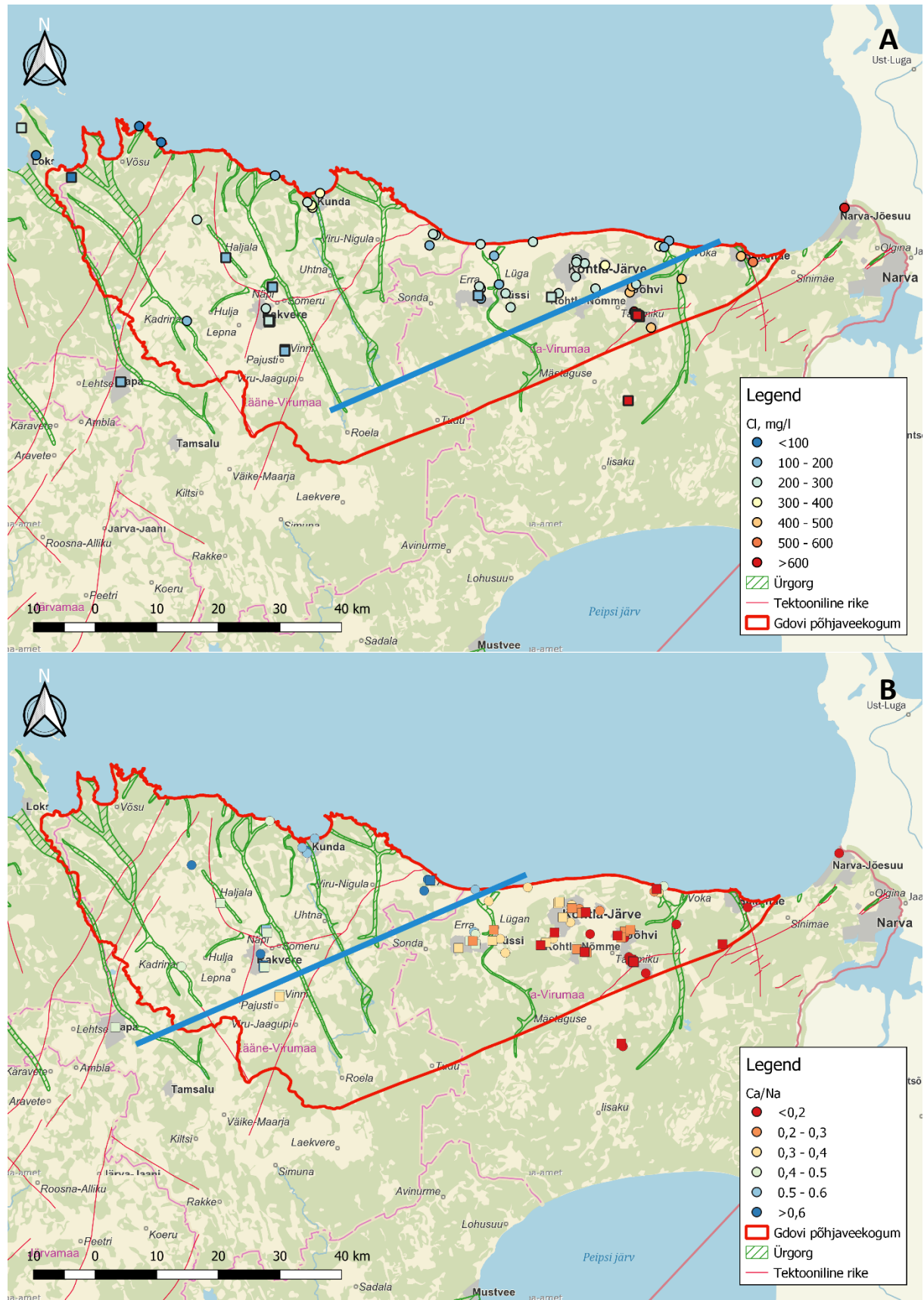
Kambriumi-Vendi Gdovi PVK uuringu (Raidla ja Truu, 2020) peamiseks eesmärgiks oli selgitada põhjavee kloriidi sisalduse suurenemise põhjuseid ja päritolu. Uuringu raames viidi läbi kloriidi sisalduse suurenemisest ohustatud alade detailsem piiritlemine. Samuti selgitati veehaardes esinevate Gdov+Voronka tüüpi puurkaevude kloriidi sisalduste ja veevõtu vahelisi seoseid ning seda, kas neis kaevudes domineerib pigem Gdovi või Voronka veekihi põhjavesi. Uuringus võeti suurema tähelepanu alla Rakvere linna Piira ja Kohtla-Järve linna Ahtme veehaarded, kus kloriidi sisaldused erinevad märkimisväärselt, kuigi hüdrogeoloogiliste ja tehniliste näitajate poolest on veehaarded väga sarnased. Uuringu läbiviimiseks koguti veeproove 41 Voronka ja Gdovi PVKsse kuuluvast puurkaevust (joonis 1).



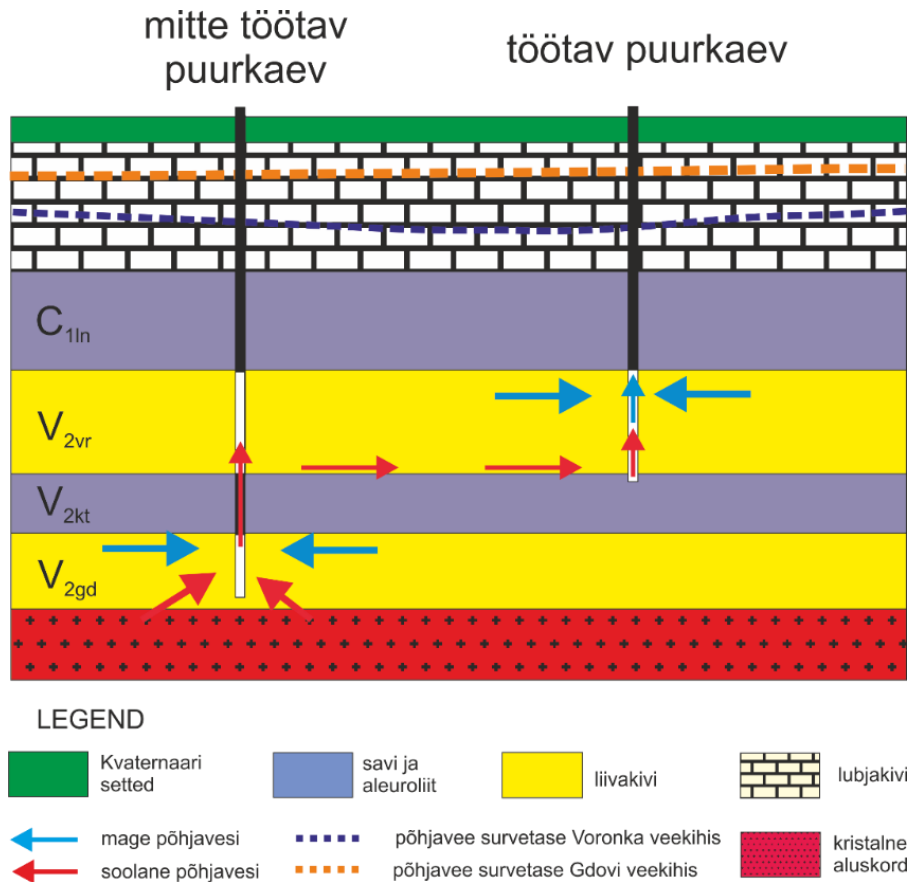
Joonis 1. Puurkaevude asukohad, millest Kambriumi-Vendi Gdovi PVK uuringu raames veeproove koguti (Raidla ja Truu, 2020)

Gdovi põhjaveekogum kuulub Kambriumi-Vendi põhjaveekompleksi, mis sisaldab valdavalt Pleistotseeni jääaegadest pärinevat paleopõhjavett ja sellest veelgi vanemat mineraalvett, mistõttu on põhjaveekogumi veevahetus väga aeglane ja mõõdetav kümnete tuhandete aastatega (Raidla jt, 2012; Gerber jt, 2017). Uuringu olulisema tulemusena leiti, et kloriidi sisalduse suurenemine Gdovi PVKs tuleneb kahest allikast: (1) aluskorrast pärineva soolasema põhjavee tõusev vool ja/või (2) veekihi lõuna- ning idaosas leviva süngeneetilise signaaliga kloriidirikka põhjavee sissetung Gdovi PVKsse. Tinglikult võib Sillamäe ja Jõhvi vahelt tõmmata mõttelise joone, mis jaotab Gdovi põhjaveekihi läänepoolseks magedamaks (kattub suures osas ka Gdovi PVKga) ja idapoolseks soolasemaks osaks, kus on tuvastatud ka suurimad Cl⁻ sisaldused (joonis 2A). Gdovi põhjaveekihi ida- ja lõunapoolse osa süngeneetilise signaaliga põhjavesi põhjustab ka Gdovi PVK ida- ja lõunapoolsetes veehaardes suuremal veevõtul ilmselt pöördumatu kloriidi sisalduse kasvu ning sellega kaasneb lisaks Cl⁻ sisalduse kasvule ka Ca²⁺ ja Na⁺ osakaalu muutus (joonis 2B). Kloriidi sisalduse suurenemisega samaaegselt toimuv Ca²⁺ osakaalu suurenemine on omane Gdovi PVK lääneosale, kus kloriidi kasv tuleb aluskorra põhjavee arvelt ning Na⁺ osakaalu kasv PVK idaosas viitab süngeneetilise põhjavee mõjule. Soolase vee sissetung Läänemerest ei ole praeguste teadmiste valguses oluliseks kloriidi allikaks Gdovi PVKs. Voronka PVKs sooldumisest ohustatud alasid ei tuvastatud, küll on aga PVK loodeosa avatud vee sissevoolule lasuvatest põhjaveekihtidest läbi ürgorgude ning seega maapinnalt pärinevale reostusele. Suurema kloriidi sisalduse põhjus täpsema vaatluse all olnud Rakvere Piira ja Ahtme veehaardes on erinev. Kloriidi sisalduse kasv Rakvere ümbruse Gdovi PVKsse kuuluvate puurkaevude vees tuleneb soolase vee sissevoolust vahetult Gdovi põhjaveekihi all lasuvast kristalsest aluskorrast. Ahtme veehaarde puhul tuleb valdav kloriidi sisalduse kasv Gdovi veekihi lõunapoolsemate vete sissetungist ja magedama Voronka veekihi ammendumisest veehaarde keskosas.

Selget seost põhjavee kloriidi sisalduse kasvu ning veevõtu vahel Gdovi ja Gdov+Voronka tüüpi puurkaevudes ei tuvastatud. Gdovi PVK 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 samuti osa kloriidi sisalduse kujunemisel, kuid nende avaldumine sõltub lokaalsetest teguritest (piirkonna veekihi veejuhtivus, puurkaevu paiknemine ürgoru suhtes, veevõtt varasematel aastatel jms). Seega ei saa PVK seisundi hinnangutes Gdov+Voronka tüüpi puurkaevude keemilist koostist kasutada või tuleb neisse tulemustesse suhtuda ettevaatlikult. Samuti tuleks vältida segütüüpi (Gdov+Voronka) puurkaevude rajamist, sest konserveerituna võivad need põhjustada lähedalasuvate Voronka põhjaveekihti avavate puurkaevude sooldumist (joonis 3).



Joonis 2. Gdovi põhjaveekogumi Cl⁻ sisaldus (A) ja kloriidi allikat indikeeriva Ca²⁺ ja Na⁺ suhte variatsioon (B). Ruut – Gdov+Voronka tüüpi puurkaev; ring – Gdovi puurkaev (Raidla ja Truu, 2020)



Joonis 3. Voronka veekihi võimalik sooldumise skeem läbi reservis oleva Gdov+Voronka tüüpi puurkaevu (Raidla ja Truu, 2020).

2.2 Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum (nr 5a)

Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa PVK uuringud (Raidla ja Truu, 2022) viidi läbi kahte peamist eesmärki silmas pidades. Esiteks kaardistati arseeni (As), baariumi (Ba) ja elavhõbeda (Hg) sisaldused põhjaveekogumis, selgitati ja hinnati nende mikrokomponentide suurte sisalduste esinemise põhjuseid ning arvatati nende looduslikud taustatasemed. Teiseks hinnati seirekaevu nr 4019 tehnilist seisundit ning uuriti hüdrogeoloogilisi protsesse seirekaevu ümbruses ja võimalikku erinevate põhjaveekihtide segunemist. Põhjavee survetase on seirekaevus viimase 20 aasta jooksul alanenud 26 m võrra ja selle mineraalsus on tõusnud enam kui kaks korda peamiselt Na⁺ ja Cl⁻ sisalduse suurenemise arvelt.

Seatud eesmärkide saavutamiseks võeti veeproovid 54st PVK nr 5a puurkaevust (joonis 4) ja viidi läbi geofüüsikalised mõõtmised seirekaevus nr 4019. Seirevõrk oli tihedam kaevandusalade lähedal (kaevandustegevuse võimaliku mõju hindamiseks) ja seirekaevu nr 4019 ümbruses.



Joonis 4. Puurkaevude asukohad, millest Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa PVK uuringute raames veeproove koguti (Raidla ja Truu, 2022)

Uuringu tulemusena leiti, et PVK piiridesse jääv Ordoviitsiumi-Kambriumi (O-Cm) põhjaveekompleksi osa on sügavamas lõunaosas isoleeritud ning ei kuulu aktiivsesse veevahetuse võõndisse. Peaaegu kõigis uuringusse haaratud puurkaevudes esines baariumi, kuid selle sisaldused olid kõige suuremad PVK idaosas. Baariumi päritolu on looduslik ja seotud ümbriskivimiga. Baariumi looduslikuks taustatasemeks PVKs nr 5a arvutati 488 µg/l.

Arseeni sisaldused PVKs nr 5a jäid enamasti alla määramispiiri. Arseen oli enam esindatud O-Cm põhjaveekompleksi avamusala lähistel, kus PVK kuulub aktiivsesse veevahetuse võõndisse, ja põlevkivitööstusest mõjutatud aladel. Arseni looduslikuks taustatasemeks PVKs nr 5a arvutati 2,6 µg/l.

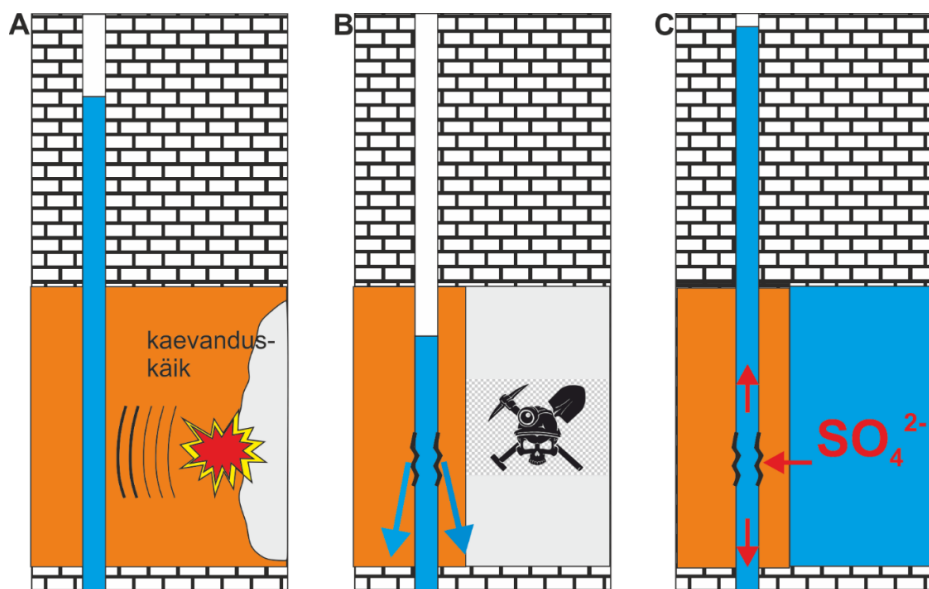
Elavhõbedat leiti vaid kahest puurkaevust (mõlemas tunduvalt alla joogivee piirsisaldust – 1,0 µg/l). Üks neist puurkaevudest (nr 19545) asub Kohtla-Järve poolkoksiladestu lähistel, kus võib eeldada elavhõbedate tehnogeenset päritolu. Teise puurkaevu (nr 15172) puhul pole elavhõbedate päritolu tuvastatav ja see võib olla seotud puurkaevu manteltoru lekke ja/või (metüül)elavhõbedate sissekandega ümbritsevalt põllumajandusmaalt. Elavhõbedate looduslikuks taustatasemeks PVKs nr 5a arvutati 0,1 µg/l.

Seirekaev nr 4019 on tehniliselt väga halvas seisukorras – manteltoru taga esinevad tühikud (põhjuseks puudulik tsementatsioon), manteltoru sisepind on kohati väga korrodeerunud ning

tuvastatud on manteltoru rikkekohad, kust toimub vee väljavool seirekaevust. Olulisemad vigastused manteltorus asuvad Kukruse ja Uhaku lademetes. Seega on alust arvata, et Estonia kaevanduse veeärastus Kukruse lademe kivimitest koosmõjus O-Cm põhjaveekompleksi alaneva survetasemega kaevanduse ja Mäetaguse aleviku piirkonnas kontrollib survetaset seirekaevust nr 4019. Lasuvate Ordoviitsiumi põhjaveekihtide põhjavete sissetungi seirekaevu ei tuvastatud. Kuna seirekaevu manteltoru on katki ja toimub põhjavee väljavool puurkaevust teistesse lasuvatesse veekihtidesse, tuleks katkine seirekaev lammutada. Tänapäevase seisuga (november 2023) on puurkaev likvideeritud.

Seirekaevu nr 4019 vees tuvastatud suuremad kloriidi sisaldused ongi iseloomulikud lähikonna O-Cm põhjaveekompleksi avavatele puurkaevudele, olles suuremad kui PVKs nr 5a tavapärane. Samas ei ole siinsed kloriidi sisaldused nii suured, et ohustaks PVK head seisundit. Suuremate kloriidi sisalduste põhjus pole üheselt tuvastatav, kuid pigem on tegemist looduslike sisaldustega.

Kaevandatud alal või selle vahetus naabruses esineb O-Cm puurkaeve, mille veele on iseloomulik suurem SO_4^{2-} sisaldus (>50 mg/l) kui O-Cm PVKle omane. Põhjuseks võib olla sulfaadirikka kaevandusvee infiltreerumine alumistesse veekihtidesse läbi lõhketoode käigus vigastatud veepidemete või vigastada saanud puurkaevu manteltorude (joonis 5). Suuremaid SO_4^{2-} sisaldusi PVKs nr 5a esineb ka O-Cm põhjaveekompleksi avamusala lähistel, Kiviõli poolkoksiladestu ümbruses ja Sonda alevikus, mille põhjuseks võib olla segunemine põhjaveekompleksi sees või ülemiste veekihtide vee liikumine sügavamasse veekihti läbi lekkivate puurkaevude.



Joonis 5. O-Cm põhjaveekompleksi avava puurkaevu võimalik kahjustumine kaevandustegevuse tulemusel. A – O-Cm veekiht kõrgemal lasuvas kaevanduskäigus toimuv kivimi lõhkamine; B – O-Cm veekihti avava puurkaevu manteltoru vigastus kaevanduskäigu/lõhkamistöde tasapinnal, mis võib tekitada põhjavee väljavoolu puurkaevust kuivendatavasse kaevanduskäiku; C – pärast kaevandustegevuse lõppu täitub kaevanduskäik sulfaadirikka veega ja esineb oht viimase levikuks O-Cm veekihti avavasse puurkaevu läbi vigastatud manteltoru (Raidla ja Truu, 2022)

2.3 Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogum (nr 6)

Uuringud Ordoviitsiumi Ida-Viru PVKs (Raidla jt, 2023a) viidi läbi kahte peamist eesmärki jälgides. Üheks eesmärgiks oli kaardistada arseeni, baariumi ja elavhõbeda sisaldused PVKs, hinnata nende mikrokomponentide suurte sisalduste esinemise põhjuseid ning arvutada arseeni, baariumi ja elavhõbeda looduslikud taustatasemed. Teiseks eesmärgiks oli uurida kuue riikliku seirekaevu tehnilist seisundit ja lokaalsete tegurite mõju kaevude vee keemilisele koostisele. Hinnata tuli ka seda, kas muutused vee keemilises koostises või uuritavate ohtlike ainete esinemine seirekaevude vees on iseloomulikud ainult seirekaevule või on tegemist ulatuslikumate protsessidega. Olukorra selgitamiseks täiendati olemasolevat hüdrokeokeemilist andmestikku uute keemiliste ja isotoopanalüüsidesega Kuningaküla, Kõrkküla, Konsu ja Jaama küla ning Avinurme aleviku piirkondades.

Uuringute läbiviimiseks koguti 2019. – 2022. aastal veeproove 74 põhjavee ja 6 pinnavee proovivõtukohtast (joonis 6). Kogu PVK nr 6 puudutava metallide (As, Hg ja Ba) uuringu puhul lähtuti puurkaevude valikul printsibist, et oleks tagatud esinduslik ruumiline katvus üle põhjaveekogumi ja PVK lõunapoolses osas oleksid uuringusse haaratud kõik PVKsse kuuluvad põhjaveekihid. Uuringute läbiviimiseks valitud puurkaevude võrgustik oli tihedam kuue detailsemalt uuritud riikliku seirekaevu juures, kus tuli hinnata kas seirekaev esindab piirkonnale omast põhjavee keemilist koostist. Seirekaevudes nr 3537 ja 3980 viidi läbi geofüüsikalised mõõtmised, et anda hinnang seirekaevude tehnilisele seisukorrale ning kinnitada nende sobivust seirekaevudena.

Uuringu üldise tulemusena leiti, et PVK nr 6 põhjaveekihtide veevahetuse kiirus aeglustub lõuna suunas, koos nende sügavuse kasvuga. See väljendub põhjavee keemilise tüübi ja isotoopkoostise muutustes. Eelnev osutab, et põhjaveekogumi nr 6 lõunaosa paikneb väga aeglates veevahetuse vööndis (vanus määratletav aastatuhandetega).

Baariumi sisaldused varieerusid PVKs nr 6 vahemikus 5,7 – 4700 µg/l. Valdavalt ei küüni baariumi sisaldused põhjaveekogumi lääneosas üle 600 µg/l, kuid idaosas on Ba²⁺ sisaldused tihti üle 1000 µg/l. Suuremad baariumi sisaldused PVKs ei ole inimtekkelised ning on pigem seotud tektooniliste lõhede hüdrotarmaalsete täidetega ja/või katioonvahetuse protsessidega. Baariumi looduslikuks taustatasemeks PVKs nr 6 arvutati 1850 µg/l.

Arseeni sisaldused PVKst nr 6 kogutud veeproovides küündisid kuni 3,7 µg/l, kuid jäid valdavalt alla 1 µg/l. Suuremad arseeni sisaldused (>1 µg/l; n=6) on esindatud hajusalt üle PVK. Arseeni looduslikuks taustatasemeks põhjaveekogumis nr 6 arvutati 1,96 µg/l.

Elavhõbedat leiti vaid Kuremäe külas Piibelehe kinnistul asuvast allikast ja sedagi väga väheses koguses (0,0052 µg/l). Elavhõbedat looduslikuks taustatasemeks põhjaveekogumis nr 6 arvutati 0,007 µg/l.

Detailsemalt analüüsitud vee keemilise koostise muutused riiklikes seirekaevudes olid valdavalt seostatavad puurkaevude tehnilise seisundi ja/või lokaalsete tingimustega puurkaevu ümber ega ole üldistatavad põhjaveekogumile laiemalt. Seirekaevude detailuuringu tulemused on täpsemalt esitatud peatükis 3.2 (tabel 2). Kokkuvõtvalt võib öelda, et aastail 2019–2022 läbi viidud uuringutes naftasaaduseid, fenoolide, tri- ja tetrahaloroeteni ning ftalaate uuritud seirekaevude vees ei leitud. Varasemaid leide võib pidada juhuslikeks, seotuks lokaalsete teguritega (puurkaevu halb tehniline seisund, lokaalne inimtegevuse mõju seirekaevu lähiümbruses või maanteed lähedus) või varem kasutuses olnud ebatäpse analüütilise meetodikaga. Kohati mõjutab seirekaevude vee keemilist koostist pinnavee valgumine puurkaevu (nt nr 3862). Puurkaevude tehniline seisund on kohati halb (peatükk 3.2, tabel 2) ja seirekaev nr 3980 tuleks likvideerida, sest seirekaevust vee välja pumpamisel toimub ülemiste veekihtide vee lekkimine puurkaevu.

2.4 Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogum (nr 7)

PVK nr 7 puudutavad uuringud (Raidla jt, 2023b) olid laiahaardelised, kuid kokkuvõtvalt võib need koondada viieks üldistatud teemaks:

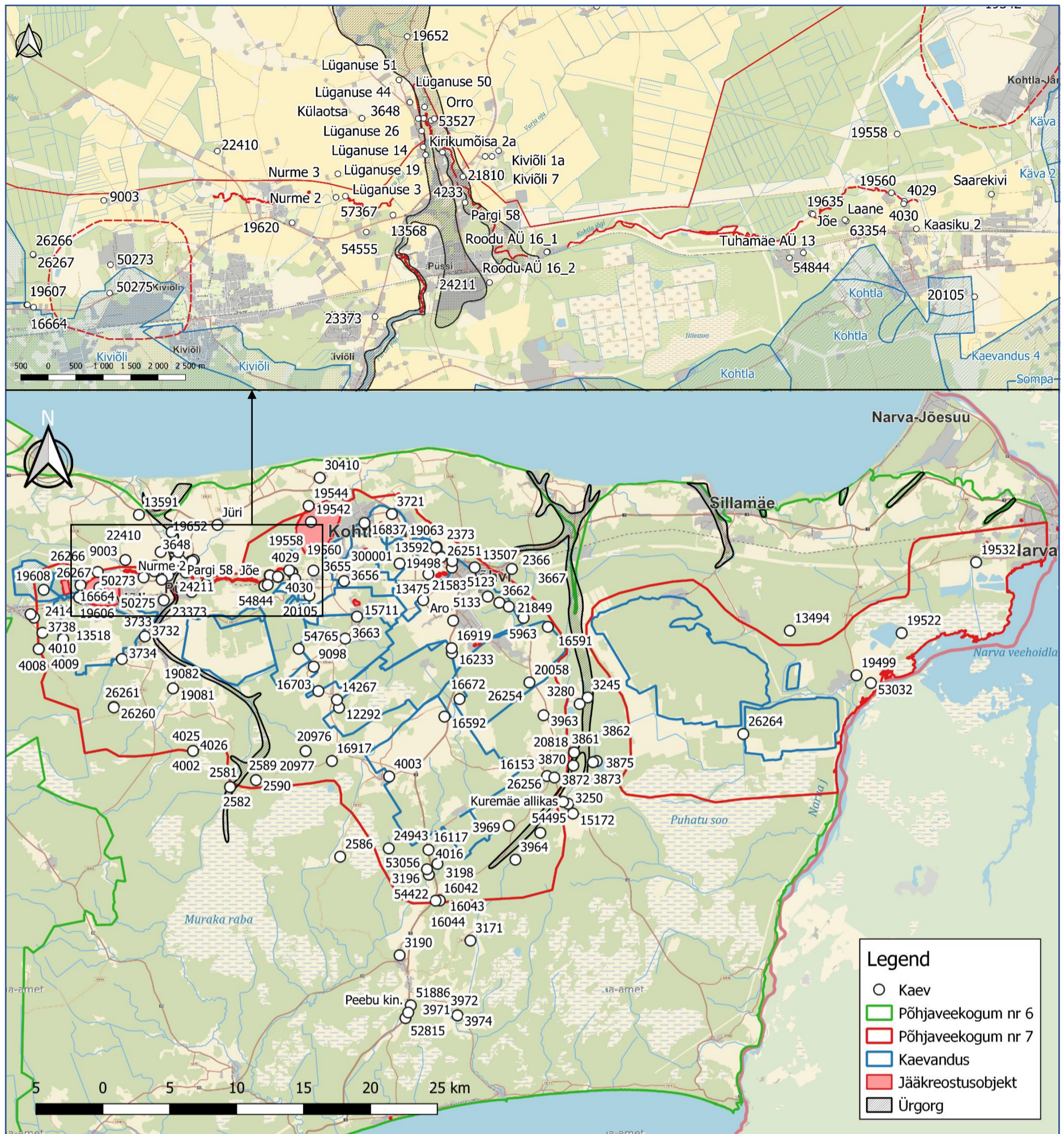
- 1) saasteainete (sulfaat ja/või naftasaadused) suurte sisalduste ja kasvusuundumuste põhjuste selgitamine riiklikes seirekaevudes nr 3662 (Jõhvi vald, Kose küla), nr 4016 ja 4017 (Alutaguse vald, Sõrumäe küla), nr 19606 (Sonda alevik), nr 19498 (Sompa küla, Kukruse kaevandusväljal), nr 26251 (Jõhvi vald, Edise), nr 19560 (Toila vald, Roodu küla) ja nr 19606 (Sonda alevik) ning nende lähipiirkonnas;
- 2) fenoolide koormuse allikate ja päritolu selgitamine;
- 3) baariumi, elavhõbedat ja arseeni sisalduse ning leviku hindamine;
- 4) veehaarete/põhjaveekihtide uuringud kaevandatud aladel eesmärgiga hinnata nende sobivust joogivee allikana;
- 5) halvas seisundis oleva Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini PVK poolt avaldatava mõju hindamine ümbritsevatele põhjaveekogumitele (Ordoviitsiumi Ida-Viru PVK nr 6 ja Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa PVK nr 5a).

PVK nr 7 uuringute läbiviimiseks koguti 2019. – 2022. aastal veeproove 160 põhjavee ja 11 pinnavee proovivõtukohest (joonis 7). Kogu PVK nr 7 puudutavate teemade nagu fenoolide ja metallide (As, Hg ja Ba) levik ning põhjavee kvaliteedi muutlikus, kasutatavus ja mõju teistele põhjaveekogumitele puhul püüti luua proovivõtukohtade võrgustik, mis tagaks esindusliku ruumilise katvuse PVK nr 7 ulatuses. Uuringusse valitud puurkaevude võrgustik on tihedam aladel, kus tuli uuringutega täpsemalt vaadelda üksikute riiklike seirekaevude põhjavee keemilisi koostisega seotud probleeme või kus tuli hinnata PVKs levivate veekihtide kasutamise võimalusi joogiveeallikana. Geofüüsikalised uuringud puurkaevude tehnilise seisundi kontrolliks viidi läbi puurkaevudes nr 3662, 4016, 4017, 19560 ja 26251.

Uuringu tähtsamad tulemused võib kokku võtta järgnevalt. Põhjavee keemiline ja isotoopkoostis viitab sarnaselt PVKle nr 6, et PVK nr 7 sügavamas osas (eelkõige Lasnamäe-Kunda põhjaveekihi lõunaosa) kuuluvad veekihi aeglasesse veevahetuse vööndisse. PVK nr 7 (nagu ka PVK nr 6) koondab endasse mitu erinevat Ordoviitsiumi põhjaveekihti, millest tulenevalt on põhjavee keemilise koostise variatsioon suur ja muutub vastavalt veekihi lasuvussügavusele.

Põhjavee fenoolide sisalduste aegrida näitab ulatusliku fenoolireostuse taandumist. Viimastel aastatel leitakse fenooli nii põhjaveest kui vooluveses märksa vähem kui varasemalt. Vaid poolkoki ladestute piirkonnas tuvastatakse endiselt fenooli nii põhja- kui pinnaveest, kuid ka seal on sisaldused oluliselt vähenenud tänu paremale jäätmeäitlusele ja puhastustöödele. Nii leiti ka LIFE IP CleanEST uuringute käigus fenooli vaid kuuest PVK nr 7 puurkaevust. Põhjaveekogumiülesed muutused on pigem meetoodilised, mitte ei peegelda looduslike protsesse või paranenud jäätmeäitlust. Fenoolide päritolu on keeruline hinnata, sest nende esinemine võib olla seotud nii inimtegevusega (nt poolkoki ladestud ja teised jääkreostusega seotud punktkoormusallikad) kui ka loodusliku päritoluga (nt lehe- ja männivaris). Seoseid fenoolide sisalduste ja anorgaaniliste ühendite vahel ei ilmnenud. Fenooli tuvastati Kiviõli ja Kohtla-Järve poolkoki ladestute juures asuvate puurkaevude (nr 50273, 19542 ja 19558) ja Purtse jõe kaldal paikneva puurkaevu nr 3648 veest, Balti elektrijaama tuhamägede naabrusest (nr 19352) ning PVK lõunapoolsest osast (nr 3969). Kahe puurkaevu (nr 50273 ja 3969) vees ületas 1-aluseliste fenoolide summa põhjaveele kehtestatud saasteainesisalduse läviväärtust (sisaldused vastavalt 3,2 – 18,7 µg/l ja 17,6 µg/l).

Vastupidiselt fenoolidele on PAH-e viimastel aastatel PVKs nr 7 registreeritud laialdasemalt kui varem, kuid nende sisaldused on jäänud valdavalt alla läviväärtuse 0,1 µg/l. Ka sel puhul on põhjuseks pigem paranenud analüütiline võimekus, kui laienenud reostus. Lisaks tuleb arvestada, et LIFE IP CleanEST põhjaveeuuringute raames kaardistati PAH-ide levikut põhjaveekogumis palju põhjalikumalt, kui varasemate seire- ja uuringutööde käigus. Uuringu käigus leiti PVK nr 7 alalt PAH-e 35 Ordoviitsiumi veekihte avavast puurkaevust. PAH-ide piirsisaldusest ja läviväärtusest (0,1 µg/l) suurem sisaldus leiti



Joonis 7. Põhjavee proovivõtukohtad, millest LIFE IP CleanEST projekti raames aastatel 2019 – 2022 koguti veeproove PVK nr 7 uuringute läbiviimiseks (Raidla jt, 2023b)

vaid kahest Lasnamäe-Kunda veekihti avavast puurkaevust (nr 4030 ja 19560; viimane on riikliku põhjaveekogumite seire puurkaev). Enamik PAH-i leide seostuvad Lasnamäe-Kunda veekihi sügavamaga osaga, mille veevahetus on aeglane ($\delta^{18}\text{O} < -14\text{‰}$). Hetke teadmiste valguses võib arvata, et viimaste puhul on tegemist atmosfäärist pärinevate PAH-idega, mis on pika aja jooksul põhjavette kandunud. Loodusliku PAH-ide summa foonväärtusena fikseeriti käesoleva materjali taustal 0,04 $\mu\text{g/l}$, kuid see vajaks edaspidiste uuringutega kinnitamist ega ole ametlikult arvatud PAH-ide looduslikuks taustatasemeks. PVK nr 7 põhjapoolsed PAH-ide leiud koonduvad poolkoki ladestuste ümbrusesse, mis annab põhjuse oletada, et nad on tehnogeenset päritolu.

Baariumi sisaldused varieerusid põhjaveekogumis nr 7 vahemikus 1,9 – 4400 $\mu\text{g/l}$. Valdavalt ei küüni baariumi sisaldused PVK nr 7 lääneosas üle 400 $\mu\text{g/l}$, kuid sarnaselt Ordoviitsiumi PVKle nr 6 on põhjaveekogumi nr 7 idaosas sisaldused tihtipeale üle 1000 $\mu\text{g/l}$. Suuremad baariumi sisaldused PVKs nr 7 ei ole seotud inimtegevusega, vaid pigem tektooniliste lõhede hüdotermaalsete täidete ja/või katioonvahetuse protsessidega. Baariumi looduslikuks taustatasemeks PVKs nr 7 arvutati 318 $\mu\text{g/l}$. Arseni sisaldused PVKst nr 7 kogutud veeproovides küündisid kuni 16 $\mu\text{g/l}$, kuid jäid valdavalt <1 $\mu\text{g/l}$. Suuremad arseni leiud (>1 $\mu\text{g/l}$; $n=5$) esinesid peamiselt PVK loodeosas (Lüganuse aleviku piirkond). Arseni täpne päritolu (reostunud jõesetted või kohalikud kivimid) ei ole selge. Arseni looduslikuks taustatasemeks PVKs nr 7 arvutati 1,05 $\mu\text{g/l}$. Uuringu käigus võetud 58 veeproovist elavhõbedat ei leitud. Elavhõbeda looduslikuks taustatasemeks PVKs nr 7 arvutati 0,0075 $\mu\text{g/l}$.

Tulenevalt kaevandustegevusest põhjaveekogumi nr 7 piires on sealse joogiveeks sobiliku kvaliteediga põhjavee levik piiratud. Vee kvaliteeti muudab halvemaks eelkõige suur sulfaadi sisaldus, aga ka suured raua ja mangaani sisaldused ning lokaalselt suuremad kaaliumi sisaldused ja PAH-ide, fenoolide, benseeni jm orgaaniliste saasteainete esinemine. PVK nr 7 lõunaosa Lasnamäe-Kunda veekihi vee kvaliteet vastab joogivee nõuetele (v.a raud ja mangaan), kuid veekihi veeand on väike ning sobilik vaid üksikmajapidamistele. Lähemalt uuritud Erra-Lüganuse ja Roodu küla piirkondades ei ilmnenu ulatuslikku jääkreostuse mõju Lasnamäe-Kunda veekihile. Ka nende piirkondade halb veekvaliteet tuleneb suurest raua sisaldusest (kuni 12 mg/l), lokaalselt on suured ka NO_3^- (kuni 50 mg/l) ja arseni (kuni 16 $\mu\text{g/l}$) sisaldused ning üksikute kaevude veest leiti ka PAH-e (PAH-ide summa kuni 10,34 $\mu\text{g/l}$). Alternatiiv Ida-Virumaa olmevee vajaduste rahuldamiseks võiks olla näiteks mageveereservuaari loomine mõnel kaevandatud alal, kuid eelnevalt on oluline alustada arutelude ja uuringutega, et leida võimalikest lahendustest sobivaim.

PVK nr 7 ei ole oluliselt mõjutanud ümbritseva PVK nr 6 ja sügavamal lamava PVK nr 5a vee kvaliteeti. Töötavate kaevanduste veeärastuse ja suletud kaevanduste reguleeritud äravoolu tõttu toimub hetkel põhjaveevool valdavalt PVKst nr 6 PVKsse nr 7, mis takistab inimtegevusest pärineva reostuse

ulatuslikku levikut väljaspoole PVKd nr 7. Eranditeks on PVK nr 7 põhjaosas asuv Jõhvi kõrgustik ja Vasavere ürgorg, kus toimub põhjavee väljavool põhjaveekogumist nr 7 PVKsse nr 6. Suurema sulfaadi sisaldusega põhjavett võib esineda ka PVK nr 6 loodeosas, Kiviõli poolkoksi ladestuse ja Põhja-Kiviõli karjääriga piirnevatel aladel. Lisaks võib PVKst nr 7 pärinev reostus levida põhjaveekogumisse nr 6 mööda vooluveekogusid (nt Kohtla, Purtse ja Rannapungerja jõed ning Konsu-Raudi kanalite süsteem Vasavere PVK alal), kuid selle ruumiline levik jääb praeguste andmete põhjal üsna piiratuks. Tuleb aga rõhutada, et näiteks Konsu-Raudi kanalite ümbruses puudub sobiv põhjavee seirevõrk kanali kaudu toimuva võimaliku põhjavee toitumise hindamiseks.

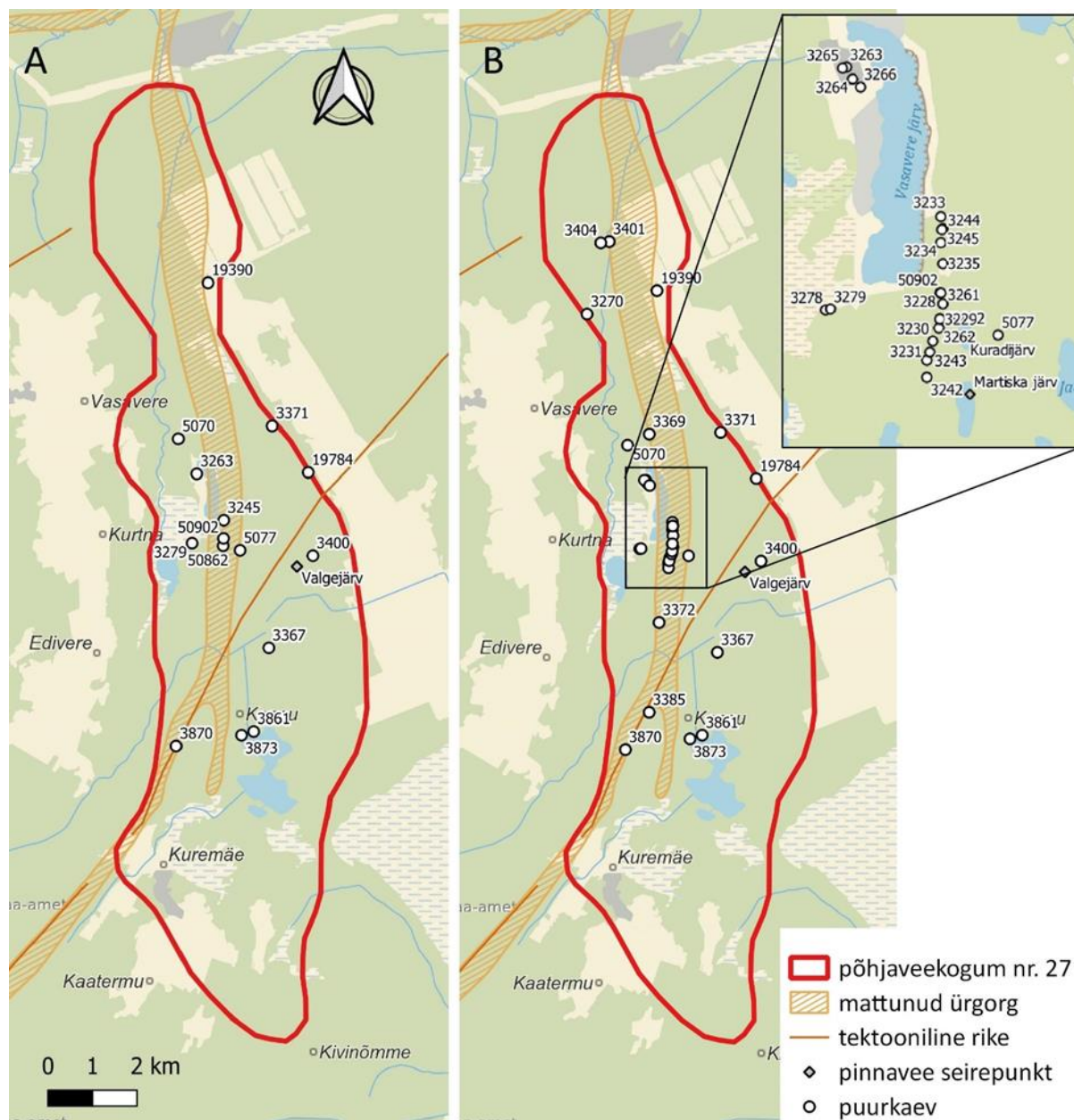
PVK nr 5a lõuna- ja keskosa on põhjaveekogumitest nr 6 ja 7 väga hästi isoleeritud ning inimtegevusest tulenev mõju PVK nr 5a vee kvaliteedile on vähene või puudub. Ida-Virumaa põhjaosas on PVK nr 5a märksa avatum, kuigi PVKle nr 7 omaseid reostusmarkerite nagu SO_4^{2-} , K^+ , fenoolid ja PAH-id suuremaid sisaldusi ei ole seal laialdaselt tuvastatud. Erandina võib välja tuua Kohtla-Järve poolkoksi ladestuse, mille juures on Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihi puurkaevudes leitud läviväärtusi ületavaid fenoolide ja PAH-ide sisaldusi ning looduslikust foonväärtusest suuremaid K^+ sisaldusi.

Aruandes analüüsiti seitsme PVK nr 7 seirekaevu tehnilist seisundit ja SO_4^{2-} ning naftasaaduste kasvusuundumuste põhjuseid. Seirekaevude detailuuringu tulemused on täpsemalt esitatud peatükis 3.2 (tabel 2). Kokkuvõtvalt saab öelda, et seirekaevud nr 4016, 3662, 19560, 19606 ja 26251 on heas tehnilises seisundis ja sõltuvalt seire eesmärkidest soovitage puurkaevudes vaatlusi jätkata. Seirekaev nr 4017 tuleb enne seirevõrku taaslülitamist (kinni vajunud, kuiv) puhastada. Seirekaev nr 19498 on juba seirest välja jäetud ja pole sobilik keemiliseks seireks. Uuritud seirekaevudes esinevad suured sulfaadi sisaldused on iseloomulikud altkaevandatud aladele ja on seostavad kaevanduskäikudest pärineva veega või kaevanduste põhjustatud põhjaveetaseme alanemisega puurkaevude ümber, mis on muutunud lokaalselt põhjaveevoolu suunda. Viimasel juhul võib sulfaadi allikaks puurkaevus olla hoopis sulfaadirikka veega pinnaveekogu (nt Rannapungerja jõgi, mille kaldal asuvad seirekaevud nr 4016 ja 4017). Naftasaaduste laialdast levikut seirekaevude nr 19606 ja 19560 lähiümbruses ei tuvastatud. Aeg-ajalt seirekaevude vees leitud naftasaaduste sisaldused on pigem seotud lokaalsete reostusallikate või reostunud pinnasega.

2.5 Kvaternaari Vasavere põhjaveekogum (nr 27)

PVK nr 27 uuringud (Karro jt, 2021) viidi läbi naftasaaduste, fenoolide, PHT, NH_4^+ ja NO_3^- suurte sisalduste, nende muutuste ulatuste ja/või kasvusuundumuste põhjuste selgitamiseks. Samuti

keskenduti baariumi, elavhõbeda ja arseeni sisalduse ja leviku hindamisele. Vasavere põhjaveekogumil paikneb oluline Vasavere veehaare, mis varustab Jõhvi linna ja selle lähikonna elanikkonda joogiveega, mistõttu on oluline mõista põhjavees esinevate erinevate keemiliste elementide ja ohtlike ainete kasvu suundumuste ning suurte kontsentratsioonide esinemise põhjuseid. Uuringu käigus võeti 15st puurkaevust veeproovid põhjavee keemilise- ja isotoopkoostise määramiseks (joonis 8).



Joonis 8. Puurkaevude ja pinnavee seirepunktide asukohad, kust PVK nr 27 uuringute raames aastatel 2019 ja 2020 koguti veeproove (A) ja kõigi uuringus kasutatud PVK nr 27 puurkaevude ja pinnavee seirepunktide asukohad (B). (Karro jt, 2021)

Uuringu tulemusena leiti fenooli ainult ühest puurkaevust nr 3870 (lihtfenooli 0,69 µg/l), mis jääb alla kehtestatud läviväärtust (1,0 µg/l). Naftasaadusi leiti puurkaevudest nr 3279 (75 µg/l) ja 3870 (1200 µg/l), mis ületavad PVKle kehtestatud läviväärtust (20 µg/l). Naftasaadusi ja 1-aluselisi fenooli

esineb PVKs sporaadiliselt ning läviväärtuse lähedased või seda mõningal määral ületavad fenoolide sisaldused võivad olla looduslikud. Naftasaadusi võib Vasavere PVKs seostada vaid inimtegevusega ning esile saab tõsta Pannjärve karjääri ümbruskonna, kus puurkaevude vees on registreeritud mitmeid fenoolide ja naftasaaduste leide.

Elavhõbedat tuvastati ühest puurkaevust (nr 3861; 0,17 µg/l), aga sisaldus jäi alla joogiveele kehtestatud piirsalduse. Puurkaev nr 3861 asub Konsu järve kaldal, kus elavhõbeda allikaks võivad olla Konsu kanali suudme sulfaadirikkad tehnogeensed setted, mis on soodustanud metüülelavhõbeda tekkimist (Raidla ja Truu, 2023a). Arseni tuvastati kõigest kümnest analüüsitud puurkaevust, kuid valdavalt jäid sisaldused <1 µg/l. Sellest madalamaid väärtuseid võibki pidada Vasavere PVKle omaseks. Joogiveele kehtestatud piirsaldusest (10 µg/l) suurem arseni kontsentratsioon (13 µg/l) esines vaid puurkaevus nr 3371, mis asub PVK idaservas Sirgala karjääri naabruses. Baariumi sisaldused varieerusid vahemikus 54 – 1200 µg/l, jäädes valdavalt alla 400 µg/l, mida võib pidada Vasavere PVKle omaseks.

Arvutatud looduslik taustatase fenoolidele Vasavere Kvaternaari põhjaveekogumis on 0,7 µg/l, arsenile 2,88 µg/l, elavhõbedale 0,14 µg/l ja baariumile 243,45 µg/l.

Uuringu tulemused näitasid, et nitraatide kontsentratsioonid on kõigis 15 uuringusse kaasatud puurkaevus alla 2,2 mg/l. Neljas puurkaevus (nr 3231, 3245, 3264 ja 3873) tuvastatud kasvusuundumused on statistiliselt mitteolulised. Piirsaldust ületavaid NH₄⁺ sisaldusi (0,92 – 1,85 mg/l) tuvastati neljas puurkaevus (nr 3371, 3861, 3870 ja 5070). Piirväärtust ületavad kasvusuundumused esinesid kolmes puurkaevus (nr 3264, 3266 ja 3401), kuid statistiliselt on kasvusuundumused üldiselt mitteolulised, v.a puurkaevus nr 3401. PHT väärtused varieeruvad laiades piirides, olles kohati madalamad määramispiirist (1 mgO₂/l). Joogiveele kehtestatud piirväärtust ületavaid määranguid on 8 ning need jäävad vahemikku 22 – 42 mgO₂/l. Kolmes kaevus (nr 3263, 3873 ja 5070) väljendub PHT sisalduse kasvutrend selgelt. Ammooniumi ja PHT suuremad väärtused on iseloomulikud märgalade läheduses asuvatele puurkaevudele ning on seostatavad järvede hapnikuvaestest settekihtidest pärineva vee valgumisega puurkaevu. PHT kasvusuundumused võivad olla põhjustatud intensiivsemast järve vee valgumisest puurkaevudesse, suurenenud inimkoormusest järvedele või/ja globaalsetest kliimamuutustest tulenevast kiirenenud aineriingest.

Kokkuvõtvalt leiti uuringus, et veevõtu suurenemisega Vasavere veehaardest ei kaasne veehaardele olulisi keemilisi muutusi. Veehaarde keemilist seisundit ohustab eelkõige Pannjärve karjäärist lähtuv reostus, mille päritolu ja ulatus on aga ebaselged.

3. Arutelu

LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C.9 raames läbi viidud põhjaveeuuringud tõid esile mitmeid üldisemaid küsimusi seoses riikliku põhjaveeseire ning põhjaveeressursside majandamise ja kaitse korraldamisega. Olulisemaid neist käsitletakse järgnevides peatükkides pikemalt.

3.1 Üldine taust põhjaveekogumite seisundi kirjeldamise ja hindamise kohta

Läbi viidud põhjaveeuuringud Viru alamvesikonnas lähtuvad Euroopa Liidu veepoliitika raamdirektiivist (VRD; 2000/60/EÜ) ja põhjaveedirektiivist (2006/118/EÜ) ning nende laiemaks eesmärgiks oli kaasa aidata põhjaveekogumite seisundi halvenemise peatamisele ja hea seisundi saavutamisele. Peamiselt saavad taolised uuringud PVKde seisundi paranemisele kaasa aidata põhjaveekogumite vee kvaliteedi kujunemise põhjuste selgitamise ja käesoleva olukorra parema kirjeldamise kaudu. VRD sätestab, et kogumi hea seisund kirjeldab tingimusi inimtegevusest mõjutamata (nn looduslikus seisundis) või ainult vähesel määral mõjutatud süsteemis ja see kajastub kogumite võimes tagada ürglooduse ja inimestele vajalik elukeskkond ja veeressursid.

Põhjaveekogum on vähemalt Eestis väljakujunenud praktikas veeressursside majandamiseks loodud üksus, mille piirid ei sõltu ainult valgate ja põhjaveekihtide looduslikest piiridest, vaid samavõrra ka inimtegevusest ja koormusallikatest mingis piirkonnas (nt kaevandamine, maakasutus, kanaliseerimata alad, jääkreostus). Seega on PVKde piirid Eestis kohati rohkem seotud administratiivpiiride kui nendega seotud veekihtide leviku ja/või põhjavee voolusüsteemide piiridega (Perens jt, 2012). Teisalt kujunevad põhjaveekihtide loodusliku paiknemise (nt sügavus maapinnast), ruumilise leviku ja põhjavee liikumisega (toiteala – siirdeala – väljavoolu ala) seotud tegurite mõjul välja olulised looduslikud tingimused, mis määravad PVK koguselise ja keemilise seisundi. Seda on oluline meeles pidada, sest põhjaveekogumite ametlik eestikeelne definitsioon VRDs – „põhjaveekihtis või -kihtides selgesti eristatav veemass“ – ei väljenda oma üldsõnalisuses seda aspekti piisavalt selgelt. Tulevaste põhjaveekogumite kontseptuaalsete mudelite kaasajastamise töödes tuleks silmas pidada, et PVK ametlik inglisekeelne definitsioon rõhutab kogumite piiritlemisel nende hüdraulilist eraldatust ümbritsevatest põhjaveekihtidest („*A distinct volume of groundwater within an aquifer or system of aquifers, which is hydraulically isolated from nearby groundwater bodies*“). Etteruttavalt tuleb öelda, et mitmete Eesti (s.h LIFE IP CleanEST projekti raames uuritud) PVKde puhul ei ole hüdraulilise eraldatuse tingimus ümbritsevatest põhjaveekogumitest tegelikult täidetud (nt PVK nr 6 ja 7).

Oma olemuselt tähendab seisundi hindamine seireandmete põhjal kirjeldatud hetkeolukorra ja teoreetiliselt defineeritud heas seisundis põhjaveekogumit kirjeldavate kriteeriumite omavahelist võrdlust. Kogumi seisundi hinnang näitab, kui kaugel on praegune olukord soovitud olukorrast (Voulvoulis jt, 2017). Selleks, et põhjaveekogumi seisundi hindamine oleks võimalik, on vaja hinnata nende seisundit mingil kindlal ajahetkel, mille kirjeldamise aluseks on riiklikes seireprogrammides kogutud andmed. Hetkeolukorra kirjeldus näitab kui lähedal või kaugel on süsteem hea seisundi saavutamisest ja vajadust toimuvatesse protsessidesse sekkumiseks (meetmed). Kui hetkeolukorra hinnang ei ole adekvaatne, siis ei ole võimalik täpselt määratleda ka PVKde seisundit. Sellises olukorras on väga raske planeerida ka tõhusaid meetmeid põhjaveeressursside seisundi parandamiseks.

VRD rakendamist analüüsisvas teaduskirjanduses rõhutatakse, et hoolimata oma uuenduslikest põhimõtetest, ei ole direktiivi rakendamine suutnud viia veekogumite seisundi üldisele paranemisele Euroopa Liidus ja kõigi veekogumite hea seisundi saavutamiseni (Voulvoulis jt, 2017). VRDs sätestatud eesmärkide saavutamist takistavad mitmed tegurid, mis on esile tulnud ka LIFE IP CleanEST raames läbi viidud põhjaveeuuringutes. Ühelt poolt on selle põhjuseks direktiivi edukaks rakendamiseks vajalike organisatoorsete ja tehniliste ressursside mahukus ning sellega seotud probleemid. Teisalt pärsib direktiivis sõnastatud eesmärkide ja põhimõtete elluviimist nende vale tõlgendamine ja rakendamine. VRD põhimõtete elluviimine eeldab nn paradigma muutust veemajandamises ja üleminekut süsteemsele lähenemisele (Voulvoulis jt, 2017). VRD oluline erinevus varasematest keskkonnakaitselistest regulatsioonidest on, et veeressurssi käsitletakse kui süsteemi, mille jätkusuutlikuks majandamiseks ja kaitseks on vaja arvestada ja tervikult käsitleda kõik veekeskonda mõjutavaid tegureid (Howarth, 2006).

Varasem *command and control*-tüüpi lähenemine käsitles survetegureid eraldi ja püüdis keskkonnaeesmärkide saavutamiseks taandada looduslike süsteeme nende üksikuteks elementideks (Voulvoulis jt, 2017). Sellise lähenemise üheks tüüpilisemaks näiteks on erinevate parameetrite mõõtmise seirepunktis, et kontrollida ja hoida üksikute saasteainete püsimine allpool sätestatud piirväärtust. See väljendab arusaama nagu viiks üksikute piirväärtust ületavate ainete sisalduste vähenemine või üksikute keskkonnamelementide püsimine soovitud piirides üldise ökosüsteemi seisundi paranemiseni. Kuigi selline lähenemine on minevikus andnud teatavaid soodsaid tulemusi inimese tervist ohustavate keskkonnamõjude ohjeldamisel, ei suuda see arvesse võtta looduslike süsteemide keerukust ega erinevate süsteemide (ökosüsteemid, inimtegevus) omavahelist vastastikmõju.

Command and control-tüüpi lähenemisele vastukaaluks rõhutab süsteempõhine lähenemine erinevatest elementidest koosneva terviku sees esinevaid seoseid ja vastastikust sõltuvust.

Veeressursside majandamise seisukohast tähendab see vee- ja maismaaökosüsteemide omavaheliste suhete mõistmist tingimustes, kus põhjaveekogumeid mõjutavad samaaegselt nii sotsiaal-majanduslikud tegurid kui ka veevõtt (Vlachopoulou jt, 2014). Süsteemne lähenemine eeldab sügavat arusaamist valgate ja põhjaveekogumite toimimisest ja neis esinevate inim- ja looduslike tegurite vastastikmõjust, et erinevad õigesti suunatud meetmed viiksid süsteemi kui terviku seisundi paranemiseni. Sellise tervikliku lähenemise elluviimiseks on äärmiselt oluline arvestada põhjaveekogumite kaitse ja majandamise planeerimisel erinevate tegurite vastastikmõjusid kirjeldavate põhjaveekogumite kontseptuaalsete mudelite ja nende tunnuste analüüsiga. Neid mudeleid ja analüüse ajakohastatakse perioodiliselt (iga kuue aasta tagant) vastavalt vahepeal lisandunud teadmistele. LIFE IP CleanEST projekti raames läbi viidud uuringud annavadki oma panuse nii sellesse kontseptuaalsete mudelite arendamise protsessi, kui ka põhjaveekogumite hinnangute usaldusväärsuse suurendamisesse.

3.2 Põhjavee riikliku seirevõrgu olukord Ida-Virumaa põhjaveekogumites

Uuringud Ida-Virumaa PVKdes tõid esile mitmeid probleeme riiklike põhjavee seirekaevude tehnilise seisukorra ja nende andmete põhjal tehtud põhjaveekogumite seisundi hinnangutega. Viru alamvesikonna PVKde seirevõrk ei kirjelda alati esinduslikult põhjavee seisundit vastavas põhjaveekogumis (nt kaevude tehniline seisukord, mõjutatus proovivõtu meetodikast (PAH-id, fenoolid), seirevõrgu ülesehitus). LIFE IP CleanEST projekti raames viidi läbi detailsed uuringud põhjaveekogumites nr 5a, 6 ja 7 paiknevate riiklike seirekaevude konstruktsiooni kontrollimiseks ja nende vees esinevate saasteainete suurte sisalduste ning kasvusuundumuste põhjuste avastamiseks. Kokku kontrolliti ühte seirekaevu PVKs nr 5a, kuute seirekaevu PVKs nr 6 ja seitset seirekaevu PVKs nr 7. Seirekaevude tehnilise seisundi ja seireks sobivuse hindamise tulemused on kokkuvõtlikult esitatud tabelis 2. Juhime tähelepanu asjaolule, et tabelis 2 kirjeldatu annab hinnangu uuritud seirekaevule (kas neid saab või saaks tulevikus kasutada riiklikus seires) mitte seirevõrgule. Seega kui tabelis 2 märgitud kaev ei ole praegu seires ja selle juures on märges, et sobib keemiliseks või veetaseme seireks, siis ei tule seda kaevu automaatselt seiresse lisada. Selleks kas mingi kaev lisada riiklikusse seiresse või mitte on käesolevas peatükis andnud ka soovitus riikliku seirevõrgu hindamistööde läbiviimiseks (tabel 3). Hindamistööde käigus selguks, millised kaevud võiksid kõige paremini sobida PVKde iseloomustamiseks ja millised võib seirevõrgust välja arvata.

Tabelist 2 nähtub, et veidi alla poolte kontrollitud seirekaevude tehniline seisund on kas halb või väga halb. Uuritud 14 seirekaevust oli heas tehnilises seisundis 8 suurkaevu (57%). Neli seirekaevu olid

Tabel 2. LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C.9 raames kontrollitud seirekaevude seisundi kokkuvõte

Katastri nr	Asukoht	Vee-kiht	PVK nr	Avatud osa (m)	Kontrollimise põhjus	Kaevu tehniline seisukord	Põhjavee keemiline koostis kaevus	Sobilik koguselise seire kaevuks (ei/jah)	Sobilik keemilise seire kaevuks (ei/jah)	Staatus (EELIS)/ Seires (ei/jah)
4019	Alutaguse vald, Sõrumäe küla, Ülase kinnistu	O-Cm	5a	111,5 – 121,0 (puurkaevu sügavus täpsustatud tegevuse C.9 uuringute raames)	Põhjaveetaseme alanemine puurkaevu ja vee kvaliteedi muutus	Geofüüsikaliste mõõtmistega tuvastati: manteltoru tugevalt korrodeerunud; manteltorutagune tsementatsioon pole veesamba ulatuses terviklik; põhjavee väljavool manteltoru liitekohtadest. Üldiselt hinnati seirekaevu tehniline seisund väga halvaks ja puurkaev tuleb lammutada.	Suuremad HCO ₃ ⁻ , Na ⁺ ja Cl ⁻ sisaldused kui PVKs 5a üldiselt, samas sarnasus seirekaevu lähi piirkonna PVK nr 5a puurkaevudega.	Ei, puurkaev tuleb likvideerida PVK aruande (Raidla ja Truu, 2022) soovitude peatükis on pakutud ka alternatiive seirekaevu asendusteks.	Ei, puurkaev tuleb likvideerida	Likvideeritud / ei
3537	Alutaguse vald, Kuningaküla küla, Kõrtsi kinnistu	O ₃ kl- kk	6	38,7 – 57,6 (EELISE järgi); takistus sügavusel 38,2 m	Fenoolide, ftalaatide ja trikloroeteeni reostusallikate ning kasvusuundumuse põhjuste tuvastamine	Geofüüsikaliste mõõtmistega tuvastati: väiksed lekkes manteltoru liitekohtades; manteltorutaguse tsementatsiooni halb kvaliteet; takistus või kaevu täitumine sügavusel 38,2 m maapinnast. Puurkaev võib olla hüdrodünaamiliselt seotud Narva veepidemega. Üldiselt hinnati seirekaevu tehniline seisund halvaks.	Keemiline ja isotoopkoostis viitavad erinevat päritolu vete segunemisele puurkaevus või lekkele; 1-aluselisi fenoole, ftalaate, tri- ja tetrahaloroeteeni ei leitud – varasemad leiud pigem juhuslikud.	Jah, pärast seirekaevu puhastamist ja/või takistuse eelmadamist sügavusel 38,2 m. Vajalik kõrval oleva kaevu nr 3536 põhja tamponimine 5 m ulatuses, et isoleerida see paremini O ₃ kl- kk veekiht.	Jah	Töötav / jah
3862	Alutaguse vald, Konsu küla, Ahtme metskond 29	O ₃ id- kk	6	18,6 – 39,6 (EELISE järgi)	Fenoolide reostusallika tuvastamine	Geofüüsikalisi mõõtmisi ei tehtud seoses halva ligipääsetavusega	Vee keemiline ja isotoopkoostis sarnane ümbruskonna sama veekihti avavate kaevude vee koostisega. Fenoolid on pigem looduslikku päritolu (pinnase kõdu või Konsu järve orgaanilised setted). Fenoole seirekaevu lähedalt võetud pinnavee proovidest ei leitud.	jah	jah, sõltuvalt seire eesmärkidest (nt sulfaadirikaste pinnaveekogude mõju põhjaveekogumile nr 6)	Töötav / jah
3875	Alutaguse vald, Konsu küla, Järvevere kinnistu	O ₃ kk- O ₂ uh	6	24,8 – 36 (EELISE järgi)	Fenoolide reostusallika tuvastamine	Geofüüsikalisi mõõtmisi ei tehtud seoses halva ligipääsetavusega	Vee keemiline ja isotoopkoostis sarnane ümbruskonna sama veekihti avavate kaevude vee koostisega. Fenoolid on looduslikku päritolu (pinnase kõdu või Konsu järve orgaanilised setted). Fenoole seirekaevu lähedalt võetud pinnavee proovidest ei leitud; suur baariumi sisaldus (1500 µg/l).	jah	jah	Töötav / jah
3980	Alutaguse vald, Jaama küla, Struuga maastikukaitseala 5	O ₃ kl- kk	6	43,8 – 88,4 (puurkaevu sügavus täpsustatud tegevuse C.9 uuringute raames)	Naftasaaduste reostusallika ja läviväärtuse ületamise põhjuste tuvastamine	Geofüüsikaliste mõõtmistega tuvastati: sügavusvahemikus 20 – 24 m on manteltoru korrodeerunud, vigastatud ning manteltorutagune tsementatsioon on halb, mis võimaldab veesamba staatilises olekus vee välja voolamist puurkaevust. Puurkaevu veesamba aktiveerimisel toimub suuremahuline võõrvee valgumine veepidemega. Üldiselt hinnati seirekaevu tehniline seisund väga halvaks ja kaev tuleb lammutada.	Vee keemiline koostis on aastast 2006 väga muutlik, viidates puurkaevu vee segunemisele nii lasuva (O ₃ nb-rk) kui lamava veekihi (O-Cm) veega. Naftasaadusi seirekaevust ega selle lähiümbrusest ei leitud. Varasemad leiud võivad olla seotud seirekaevu lähiümbrusega, kuna seirekaevude rühma ümbruses on täheldatav inimtegevus (autojäljed, olmepraht).	Ei, puurkaev tuleb lammutada	Ei, puurkaev tuleb lammutada	Töötav / jah Pärast seirevõrgu hindamist (tabel 3) selgub vajadus kaevu nr 3980 asenduseks
19028	Viru-Nigula vald, Kõrkküla küla, Mäekalda kinnistu	O ₂ ls- kn	6	3,4 m (salvkaev; kuni 1,2 m sügavuseni toetatud paekivi blokkidega, sügavamal raiutud lubjakivisse)	Fenoolide, ftalaatide ja trikloroeteeni reostusallika ning kasvusuundumuse põhjuste tuvastamine	Kuna tegemist salvkaevuga, siis geofüüsikalisi mõõtmisi ei tehtud. Seirekaevu puidust rakked on lagunened ja osaliselt vajunud kaevu; kaevu põhjas kõrvalised esemed (lauajupid, puulehed jm). Üldiselt hinnati seirekaevu tehniline seisund halvaks.	Vee keemiline ja isotoopkoostis sarnane ümbruskonna sama veekihti avavate kaevude vee koostisega, v.a suurem Na ⁺ ja Cl ⁻ sisaldus, mis võib olla seotud Tallinn-Narva mnt lähedusega. Fenoole, ftalaate, tri- ja tetrahaloroeteeni seirekaevust ei leitud. Varasemad fenoolide leiud võivad pärineda nii maanteelt (auto kütuste põlemisejäätid) kui ka looduslikest allikatest (seirekaevu põhjas esinev lehevaris).	Jah, pärast puhastustöid (kaev hermeetilisel sulgeda; puhastada seirekaevu põhi kõrvalistest esemetest: lauajupid, puulehed, prügi jm).	Jah, pärast puhastustöid, sõltuvalt seire eesmärgist (seirekaev iseloomustab veekihi avamust, kus veekiht on avatud tehnogeneensele mõjule).	Töötav / ei (salvkaev pole enam oma halva seisundi tõttu kasutusel seires)
25612	Mustvee vald, Avinurme alevik, Võidu tn 28c	O ₃ nb- rk	6	41 – 100 (EELISE järgi)	Fenoolide, ftalaatide ja trikloroeteeni reostusallika ning kasvusuundumuse põhjuste tuvastamine	Geofüüsikalisi mõõtmisi ei tehtud, sest tegemist on Avinurme alevikku veega varustava ühisveevärgi kaevuga ja pumpa ei saanud kaevust eemaldada.	Vee keemiline ja isotoopkoostis sarnane ümbruskonna sama veekihti avavate kaevude vee koostisega. Fenoole, ftalaate, tri- ja tetrahaloroeteeni seirekaevust ei leitud. Varasemad leiud võivad olla seotud puurkaevu rekonstrueerimistöödega (plasttorudest vabanenud ftalaadid) või meetoodiliste küsimustega (fenoolid).	-	Jah	Töötav / jah
3662	Jõhvi vald, Kose küla, Orliku kinnistu	O ₂ ls- kn	7	20,1 – 48,8 (puurkaevu sügavus täpsustatud tegevuse C.9 uuringute raames)	Sulfaadi reostusallikate ja kasvusuundumuse põhjuste tuvastamine	Võimalik hüdrodünaamiline seos kõrvalasuva seirekaevuga nr 3667 filtrite väga lähedase paiknemise tõttu. Geofüüsikaliste mõõtmiste tulemus: Optilise kaameraga nähtavaid kahjustusi (auke, lekke kohti) seirekaevu nr 3662 manteltorus ei tuvastatud, kuigi akustilised uuringud viitavad, et vahemikus 13 – 15 m on manteltoru väga korrodeerunud. Üldiselt hinnati seirekaevu tehniline seisund heaks.	Vee keemiline koostis on tugevalt mõjutatud kaevandustegevusest ja seosonsetest muutustest, mis on täheldatavad ka teistes altkaevandatud alal paiknevates Jõhvi linna ümbruskonna puurkaevudes. Ioonide omavahelised suhted viitavad sulfaadi pärinemisele kaevanduskäikudesse ladestunud kipsi ja/või anhüdriidi lahustumisest.	Jah, aga kõrval asuva kaevu nr 3667 põhi tuleks vähemalt 3 m ulatuses tamponida, et takistada hüdrodünaamilist seotust kaevuga nr 3662. Veetaseme-seiresse peaks kaasama kaevu nr 3667, et võrrelda kaevude veetasemete muutuseid ja veekihti hüdrodünaamilist isoleeritust.	Jah	Töötav / jah
4016	Alutaguse vald, Sõrumäe küla, Ülase kinnistu	O ₃ nb- rk	7	6,6 – 15,6 (puurkaevu sügavus täpsustatud tegevuse C.9 uuringute raames)	Sulfaadi reostusallikate ja kasvusuundumuse põhjuste tuvastamine	Geofüüsikaliste mõõtmiste tulemus: Visuaalsel vaatlusel optilise kaameraga vigastusi ega lekkekohti manteltorus ei tuvastatud, kuigi nähtav on tugev manteltoru korrodeerumine. Puurkaevu avatud osas optilise kaamera, akustilise kaamera ning seisimoakustilise sondi mõõtmisi teha ei saanud, sest sondide liikumist takistas keerduv automaatanduri tross manteltorus, mida ei õnnestunud eemaldada. Üldiselt hinnati seirekaevu tehniline seisund heaks.	Vee keemiline koostis on mõjutatud kaevanduse veeärastusest tingitud veetaseme langusest, mistõttu on tõenäoline, et SO ₄ ²⁻ sisaldused ja fenoolide esinemine kaevus lähtub maapinnalt ja/või maapinnalähedasest kihist. Sulfaadi võimalik allikas on lähedalasuv Rannapungerja jõgi.	Jah	Jah, aga vajalik võtta võrdlusproovid Rannapungerja jõest hindamiseks pinnavee mõju seirekaevu (põhja)vee kvaliteedile.	Töötav / jah

Katastri nr	Asukoht	Vee-kiht	PVK nr	Avatud osa (m)	Kontrollimise põhjus	Kaevu tehniline seisukord	Põhjavee keemiline koostis kaevus	Sobilik koguselise seire kaevuks (ei/jah)	Sobilik keemilise seire kaevuks (ei/jah)	Staatus (EELIS)/ Seires (ei/jah)
4017	Alutaguse vald, Sõrumäe küla, Ülase kinnistu	O ₃ kl- kk	7	20,8 – 56,7 (EELISE järgi); takistus sügavusel 19,7 m	Sulfaadi reostusallikate ja kasvusuundumuse põhjuste tuvastamine	Geofüüsikaliste mõõtmiste tulemus: Visuaalsel vaatlusel optilise kaameraga vigastusi ega lekke kohti manteltorus ei tuvastatud, kuigi nähtav on selle korrodeerumine. Sügavusel 19,7 m maapinnast takistus või kaev kinni vajunud. Üldiselt hinnati seirekaevu tehniline seisund halvaks.	Vee keemiline koostis on mõjutatud kaevanduse veeärastusest tingitud veetaseme langusest, mistõttu on tõenäoline, et SO ₄ ²⁻ sisaldused ja fenoolide esinemine kaevus lähtub maapinnalt ja/või maapinnalähedastest kihist. Sulfaadi ja fenoolide võimalik allikas on lähedalasuv Rannapungerja jõgi (mõjutatud Estonia kaevanduse väljalaskude vee keemilisest koostisest).	Jah, pärast puhastamist ja/või takistuse eemaldamist sügavusel 19,7 m.	Jah, pärast puhastamist, aga vajalik võtta võrdlusproovid Rannapungerja jõest hindamiseks pinnavee mõju seirekaevu (põhja)vee kvaliteedile.	Töötav / ei Riikliku seiraja (EKUK) andmetel ei toimu keemilist seiret alates 2018. aastast ning veetaseme seirest välja arvatud 2023. a.
19498	Jõhvi vald, Sompä küla, Veeaugu kinnistu	O ₃ kl- kk	7	26,2 (kaevu sügavus täpsustatud tegevuse C.9 uuringute raames)	Sulfaadi reostusallikate ja kasvusuundumuse põhjuste tuvastamine	Seirekaev asub šurfi, mille tehniline seisund on halb (kaevu suue on allpool maapinda, tasane šurfi põhjaga). Seirekaevu šurfi põrand on lagunenud ning suurveeagsetel vetel on võimalus vabalt voolata kaevu, põhjustades enamiku lahustunud ionide üheaegset lahjendumist (kaasneb pinnasest pärineva orgaanilise ainese sissekanne ja veele iseloomulik ebameeldiv lõhn ning värv). Seirekaevu kõrval paikneb analoogse konstruktsiooniga kaev, mida ei ole riiklikus registris. Üldiselt hinnati seirekaevu tehniline seisund halvaks.	Seirekaevu vee suured SO₄²⁻ sisaldused (>200 mg/l) on iseloomulikud altkaevandatud aladega piirkonnale, mida mõjutab omakorda pinnasevete valgumine kaevu läbi katkise šurfi.	jah (aga seirekaev ei kuulu riikliku põhjaveeseire võrku juba alates 2014. aastast)	ei	Töötav / ei
19606	Lüganuse vald, Varinurme küla, Sonda tee 8	O ₃ ls- kn	7	7 – 41 (EELISE järgi)	Sulfaadi ja naftasaaduste reostusallikate ning kasvusuundumuse põhjuste tuvastamine	Kuna seirekaevus asub pump, mida ei ole võimalik eemaldada, siis kaevu tehnilist seisundit geofüüsikaliste mõõtmistega kontrollida ei õnnestunud.	Vee keemiline koostis ja sulfaadi sisaldus on mõjutatud Põhja-Kiviõli karjäärast, kus olulist rolli mängib püriitmineraalide oksüdeerimine. Vee kvaliteeti üldiselt mõjutab ka paiknemine Kiviõli poolkoski ladestuse läheduses. Naftasaadused pärinevad pigem seirekaevu lähiümbrusest (üksikmajapidamise mõju).	-	jah (sõltuvalt seire eesmärgist)	Töötav / jah Riikliku seiraja (EKUK) andmetel seirekaevus keemilist seiret ei toimu, kord kuus mõõdetakse veetaset.
19560	Toila vald, Roodu küla, Roodu tee	O ₂ ls- kn	7	6 – 32,1 (kaevu sügavus kinnitatud tegevuse C.9 uuringute raames)	Naftasaaduste reostusallikate ja kasvusuundumuse põhjuste tuvastamine	Visuaalsel vaatlusel optilise kaameraga vigastusi ega lekke kohti manteltorus ei tuvastatud. Geofüüsikaliste mõõtmistulemustele toetudes võib järeldada, et seirekaevu tehniline seisund on hea.	Seirekaevu nr 19560 vee keemiline koostis on mõjutatud inimtegevusest ning naftasaaduste ja teiste orgaaniliste toksiinide (PAH-id, fenoolid) esinemine põhjavees on tingitud eelkõige piirkonna reostunud pinnasest.	jah	jah, aga vajalik võtta võrdlusproovid Kohtla jõest	Töötav / jah
26251	Jõhvi vald, Edise küla, Piiri kinnistu	O ₃ kl- kk	7	5 – 22,55 (kaevu sügavus täpsustatud tegevuse C.9 uuringute raames)	Sulfaadi reostusallikate põhjuste tuvastamine	Optilise kaameraga vigastusi ega lekke kohti manteltorus ei tuvastatud. Seismoakustilisi mõõtmisi torutaguse tsementatsiooni hindamiseks teha ei saanud, kuna veesammas ei ulatunud puurkaevu manteldatud ossa. Geofüüsikaliste mõõtmistulemustele toetudes võib järeldada, et seirekaevu tehniline seisund on hea.	Vee keemiline ja isotoopkoostis sarnaneb ümbruskonna sama veekihti avavate kaevude vee koostisega. Vee keemiline koostis on mõjutatud inimtegevusest ning suured SO ₄ ²⁻ sisaldused seirekaevus on iseloomulikud altkaevandatud aladega piirkonnale. loonide omavahelised suhted viitavad sulfaadi pärinemisele kaevanduskäikudesse ladestunud kipsi ja/või anhütriidi lahustumisest.	jah	jah	Töötav / jah

halvas tehnilises seisundis ja nende edasiseks kasutamiseks on vaja läbi viia täiendavaid töid (kaevu puhastamine, põhja tampoonimine vms). Kahe seirekaevu tehniline seisund oli nii halb, et uuringute tulemustele tuginedes soovitati need likvideerida. Kuue seirekaevu puhul ei õnnestunud kaevu tehnilist seisundit geofüüsikaliste meetoditega kontrollida (halb ligipääsetavus, pumba paiknemine kaevus vms põhjus).

Üksikutele seirekaevudele keskendunud detailuuringud näitasid selgelt, et enamasti oli kaevudest leitud saasteainete või vee halva kvaliteedi põhjuseks lokaalsed tegurid. Need seostusid kas seirekaevu halva tehnilise seisukorraga, selle ebapiisava isoleeritusega teistest veekihtidest, maapinnalt lähtuva reostuse või saasteainete allikate paiknemisega kaevu lähiümbruses. Samuti leiti uuringute käigus proovivõtukohtade visuaalsel hindamisel ja sealt saadud seiretulemuste analüüsil, et seirekaevude tehnilise seisundi kontrolliks tuleks läbi viia täiendavaid geofüüsikalisi uuringuid ühes PVK nr 5a seirekaevus ja ühes PVK nr 27 seirekaevus (tabel 3).

Eeltoodu tõstatab küsimusi uuritud PVKde seireandmestiku usaldusväärsuse ja kasutatavuse PVK seisundi hinnangutes (vt ka peatükk 3.5). Kui põhjaveekogumite seisundi hinnangud ei ole usaldusväärsed, siis ei täida need VRDs sõnastatud eesmärki, mille järgi fikseeritakse seisundi hinnangu alusel adekvaatselt olukord põhjaveekogumis mingil ajahetkel (vt peatükk 3.1).

PVKde seirevõrku on Eesti taasiseseisvumise ajal pidevalt kärbitud. Olukorras, kus PVK seirekaevude arv on suur, ei omaks üksikud halvas tehnilises seisundis või erilistes hüdroteoloogilistes tingimustes paiknevad kaevud suurt mõju PVK seisundi üldhinnangule, sest keskmiste arvutamisel taanduks nende mõju tulemustest välja. Kui seirekaeve on aga vähe, siis tuleks nendest saadud tulemuste tõlgendamiseks aru saada, millised tegurid selle konkreetse kaevu veetaset või vee kvaliteeti mõjutavad.

See tähendab aga, et põhjaveeseire eesmärgid tuleks üle vaadata, et hinnata milliseid PVKs valitsevaid tingimusi seiretulemused ühest või teisest kaevust tegelikult kirjeldavad. Tuleks analüüsida, kui paljud PVK seirekaevud kirjeldavad looduslikku fooni ja millised võivad olla mõjutatud erinevatest koormusallikatest (nt hajukoormus, punktikoormus, veevõtt). Samuti oleks oluline aru saada, milline on erinevaid tingimusi kirjeldavate seirekaevude omavaheline vahekord põhjaveekogumis. Üksikute seirekaevude põhine analüüs 2019. aasta seisuga on esitatud viimases põhjaveekogumite kontseptuaalsete mudelite aruandes (Marandi jt, 2019; Lisa 4 „Seirekaevude sobivuse hinnang edasiseks seireks”). Seal on ära toodud iga seirekaevu seiramise eesmärk perioodi 2015 – 2021 veemajanduskava järgi ja ruumianalüüsiga leitud seirekaevu ümbruskonnas esinevad koormusallikad. Samas ei ole tehtud põhjaveekogumiüleseid üldistusi seirekaevude poolt kirjeldatavate tingimuste kohta, mis oleks vajalik arusaamaks, kas seirevõrk on mingi PVK kirjeldamiseks esinduslik või mitte.

Väikese seirekaevude arvu korral ei saa seiretulemusi üldistada väga suurele alale ega analüüsida pelgalt formaalsele statistilisele analüüsile tuginedes. Kuna põhjavee seirekaevude arv ei pruugi olla piisav PVK seisundite täpseks kirjeldamiseks, aga riigieelarvelised vahendid ei näi lähiajal võimaldavat riikliku põhjaveeseire laiendamist, siis tuleks kaaluda võimalust, et lisaks riikliku põhjaveekogumite seire käigus kogutud andmetele võiks paralleelsetelt vähemalt osade seisundi hindamise testide juures kasutada ka teiste uuringute raames kogutud andmeteid (sh LIFE IP CleanEST uuringud). Üks võimalus oleks rakendada suuremat valimit PVKde seisundi hindamise esimese testi (PVK üldise keemilise seisundi hindamine) esimeses etapis, et hinnata, kas saasteainete piirväärtuste ületus esineb rohkem kui 20% PVK pindalast (Marandi jt, 2020; vt täpsemalt ka peatükk 3.5). See samm määrab, kas PVKs on mõtet läbi viia täpsemat ajaliste trendide ja kasvusuundumuste hindamist. Samal ajal peab säilima ka võrreldavus eelmise perioodi põhjaveekogumi seisundi hinnanguga, mistõttu ei saa kahte perioodi iseloomustavad valimid olla üksteisest liiga erinevad. Tõdeme, et küsimus on keeruline ja selle lahendamine ei mahu antud koondaruande raamidesse. Küll aga soovitame läbi viia seirevõrgu detailse hindamise, et selgitada, kas kõikides põhjaveekogumites on tagatud seisundihinnanguteks vajalik, piisav ja asjakohane seirekaevude võrgustik (s.h ka ettepanekud sobimatute seirekaevude asendamiseks, seirerühmade kasutamise vajadus, jm; tabel 3). Samuti on käesoleva aruande põhjaveekogumite seisundi hindamise peatüki 3.5 tabelis 6 soovitus analüüsida ja vajadusel muuta põhjaveekogumite seisundi hindamise meetodikat.

Vältida tuleks ka olukorda, kus üksteisele väga lähedal paiknevate seirekaevude filtrite algus või lõpp omavahel sisuliselt kattuvad. Sellises olukorras on soodustatud erinevate veekihtide omavaheline segunemine. Viimati kirjeldatu kehtib nii olemasolevatele kui tulevikus rajatavatele puurkaevudele. Kui olemasolevate lähestikku paiknevate seirekaevude puhul on tuvastatud erinevate veekihtide segunemise kahtlus, tuleb kasutusele võtta meetmed selle likvideerimiseks (sõltuvalt olukorrast, kas madalama kaevu põhja tamponimine või kaevu likvideerimine ja uue rajamine). Uute lähestikku asuvate kaevude projekteerimisel tuleks jälgida, et nende omavaheline kaugus oleks piisavalt suur või puurkaevude avatud osade tasapindade (ühe kaevu avatud osa lõpp ja teise algus) paiknemine selline, et erinevate veekihtide segunemist ei toimuks (avatud osade tasapinnad erinevad üksteisest vähemalt mitme kuni mitmekümne meetri võrra sõltuvalt piirkonna hüdrokeoloogilisest ehitusest).

Lisaks eelnevale tuleks riikliku põhjaveekogumite seirevõrgu juures hinnata, kas olemasolev seirevõrk kaldub kirjeldama rohkem looduslikku fooni või inimõju. Soovitame kaaluda, kas riiklik seire ei võiks keskenduda eelkõige loodusliku fooni ja seal toimuvate muutuste jälgimisele ning inimõju seiramiseks kasutataks lisaks ka muid andmeid, mida kogutakse väljaspool riiklikku põhjaveeseiret (nt veehaarete seire, ettevõtete põhjavee omaseire, teadus- ja rakendusuringud jm). Ka sellest vaate-

Tabel 3. Soovitused põhjavee seirevõrgu ja seire ülesehituse kohta

Põhjavee-kogumi nr	Soovituse objekt	Soovituse kirjeldus	Lisada põhjavee meetmeprogrammi / Üldine soovitus	Prioriteet*
Kõik kogumid	Põhjaveekogumite riiklik seirevõrk	Läbi viia riikliku seirevõrgu hindamine, et selgitada, kas kõikides põhjaveekogumites on tagatud seisundihinnanguteks vajalik, piisav ja asjakohane seirekaevude võrgustik (s.h ka ettepanekud sobimatute seirekaevude asendamiseks, seirerühmade kasutamise vajadus, jm). Muuhulgas tuleks hinnata, kas olemasolev seirevõrk kaldub kirjeldama rohkem looduslikku fooni või inimõju (vt täiendavat selgitust peatüki 3.2 tekstist). Kirjeldatud uuring tuleks läbi viia eraldiseisvalt, mitte osana iga 6 aasta tagusest põhjaveekogumite tunnuste analüüsist (PVKde piiride kirjeldamise, koormusallikate hindamise ja hüdrokeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamise töö). Üheks võimaluseks on seirevõrgu hindamise töö teostamine pärast järgmist PVKde tunnuste analüüsi. Põhjuseks on seirevõrgu hindamise uuringu suur maht, sest kirjeldada tuleks nii praegune põhjaveekogumite seirevõrgu olukord, välja tuua selle peamised puudujäägid ja esitada konkreetsete lahendused seirevõrgu olukorra parandamiseks, võttes lõppeesmärgina aluseks sobivate andmete olemasolu usaldusväärsete põhjaveekogumite seisundi hinnangute koostamiseks. Kui viia töö läbi pärast järgmist PVKde tunnuste analüüsi on võimalik viimase tulemusi seirevõrgu analüüsimisel aluseks võtta. Samuti oleks hea kui seirevõrgu hindamise tööle saaks sisendit (kas või osalist) nt peatüki 3.4 tabelis 5 soovitatud riikliku seirekaevude rühmadesse kuuluvate puurkaevude revisjoni uuringust. Seirevõrgu uuring on seotud ka käesoleva tabeli neljanda ning teiste seirekaevude soovitustega. Enne käesoleva uuringuga alustamist tuleb koostada detailne lähteülesanne.	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1
Kõik kogumid	Põhjaveeseire, põhjavee uuringud	Põhjavee keemilise seire käigus (olenemata seire liigist: nt ettevõtte omaseire, lokaalsed uuringud, reostusaine uuringud, vm) tuleks põhjaveeproovist määrata alati kõik makrokomponendid (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} ja HCO_3^-), et neid tulemusi saaks kasutada ka sama piirkonda käsitlevates põhjaveeuuringutes ja tulevikus ka põhjaveekogumi seisundi hinnangutes. Ainult saasteaine enda sisalduse jälgimisest ei piisa, et aru saada põhjavee päritolust ja selle kvaliteedi kujunemise laiema kontekstist. Igakordne makrokomponentide määramine ei ole relevantne kui seire käigus toimub veeproovide võtmine kindlast proovivõtukoost (nt puurkaev, allikas) tihedamalt kui kord aastas. Sel juhul piisaks ka kord aastas tehtavast makrokomponentide määrangust.	Üldine soovitus	1
Kõik kogumid	Põhjaveeseire, põhjavee uuringud	Kui seire eesmärgiks on lisaks veetüübile kirjeldada põhjaveekihi redokstingimusi (nt raskmetallide mobiilsuse uurimiseks), tuleks veeproovist määrata lisaks makrokomponentidele ka järgmised elemendid ja parameetrid: lahustunud hapniku sisaldus, NO_3^- , $\text{Fe}_{\text{üld}}$ (või Fe^{2+} ja Fe^{3+}) ning Mn^{2+} .	Üldine soovitus	2
1	Põhjaveekogumi riiklik seirevõrk	Gdovi põhjaveekogumi seirevõrku tuleb täiendada piirkondades, kus toimub ulatuslik veevõtt (nt Rakvere ja Jõhvi piirkonnad), et paremini seirata võimalikku soolase vee sissetungi. Hetkel on riiklik PVK nr 1 seirevõrk koondunud põhjarannikule ning PVK lõunaosas, kus on suur sooldumise risk, ei asu ühtegi seirekaevu. Praegu on riiklikus seires nt kaks rannikul asuvat seirekaevu (nr 2494 ja 2464), mille isotoopkoostis näitab selgelt ürgorgude magedavat mõju. Sellised kaevud mõjutavad PVK seisundi hindamisel arvatavaid PVK keskmiseid väärtuseid. Ka see asjaolu kinnitab seirevõrgu täiendamise vajalikkust eelkõige PVK lõunaosas (seotud eelnevalt välja pakutud seirevõrgu hindamise soovitusega).	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1
5a	Seirekaev	Läbi viia geofüüsikalised uuringud riiklikus seirekaevus nr 3579 (Sämi küla), kuna puurkaevust on saadud korduvalt keemiliselt tasakaalustumata vett. Selle põhjuseks võiks olla keemiliselt väga erinevate vete segunemine ja ioonide esinemine, mida tavalise põhjavee üldkeemilise analüüsi käigus ei mõõdetata (nt orgaanilised ained). Seirekaev asub ürgoru ja tektoonilise rikke ristumiskohal, mis võib luua eripärase hüdrokeoloogilise olukorra. Teisalt võib sellise olukorra tingida ka puurkaevu manteloru vigastus(ed) (seotud ka seirekaevu rühmade revisjoni soovitusega tabelis 5).	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1**
5a	Seirekaev	Kaaluda riikliku seire lõpetamist kaevus nr 13494, ning asendada see mõne teise O-Cm põhjaveekompleksi avava kaevuga kuna nii keemiline kui isotoopkoostis on puurkaevu vees olnud läbi aegade väga varieeruv. See võib viidata kaevu halvale tehnilisele seisundile või kaevu avatud osa ebatäpsele paiknemisele (lasuvas põhjaveekihi) (seotud eelnevalt välja pakutud seirevõrgu hindamise soovitusega)	Üldine soovitus	1
5a	Puurkaev	Juhime tähelepanu, et Enefit Power AS omaseire puurkaevu nr 53032 isotoop- ja keemiline andmestik viitab kas puurkaevu manteloru vigastatusele või puudulikule torutagusele isolatsioonile või läheduses asunud puurkaevu nr 19515 nõuetele mittevastavale likvideerimisele. Kuna puurkaev nr 53032 asub põlevkivituhaladestu settebasseini naabruses on oht ulatuslikumaks reostuseks, juhul kui puurkaevu lähipiirkonnas toimub põhjaveekogumi nr 5a veevõtt, mis põhjustab O-Cm põhjavee survetaseme ulatuslikuma alanemise. Oluline on omaseire raames jälgida puurkaevu vees põhiioonide K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} sisaldust, täheldamaks vee keemilise koostise püsivust või mõne näitaja sisalduse suurenemist.	Üldine soovitus	2
5a	Sonda piirkond	Soovitame pöörata suuremat tähelepanu Sonda aleviku piirkonnas joogivee kvaliteedile, kuna LIFE IP CleanEST uuringu käigus tekkis kahtlus kohalikest põlevkivikarjääridest pärineva vee mõjust sealsete O-Cm veekompleksi avavate puurkaevude vee keemilisele koostisele. Joogivee tavakontrolli käigus tuleks määrata kindlasti kõik põhiioonid (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- ja SO_4^{2-}) vähemalt kord aastas, et hinnata võimalikku karjäärivee sissevoolu kohalikesse puurkaevudesse.	Üldine soovitus	2
6	Seirekaev	Seirekaevus nr 3537 esineb takistus (või on kaev täis vajunud), seega tuleks kaev puhastada (vt täpsemalt tabel 2, peatükk 3.2)	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1**
6	Seirekaev	Tampoonida seirekaevu nr 3536 põhi, et vältida seotust lamava Keila-Kukuruse veekihti avava seirekaevuga nr 3537 (vt ka tabel 2, peatükk 3.2).	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1**

Põhjavee-kogumi nr	Soovituse objekt	Soovituse kirjeldus	Lisada põhjavee meetmeprogrammi / Üldine soovitus	Prioriteet*
6	Seirekaev	Seirekaev nr 3980 tuleks riiklikust põhjaveekogumite seirest välja arvata ja likvideerida, kuna puurkaevu tehniline seisund hinnati väga halvaks (vt täpsemalt tabel 2, peatükk 3.2)	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1**
6	Seirekaev	Seirekaevu nr 3979 põhi tuleks tamponida sügavuseni 123 m maapinnast, et isoleerida seirekaev lamavast Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihist.	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1**
7	Seirekaev	LIFE IP CleanEST uuringute raames tuvastati hüdrodünaamiline seos Lügänu alevikus asuvate puurkaevude nr 19016 ja nr 3648 vahel, mis tuleks kindlasti likvideerida, et vältida Purtse jõest lähtuva reostuse levimist O-Cm veekihis suuremal veevõtul. Ilmselt piisaks puurkaevu nr 3648 põhja mõne-meetrisest tamponimisest. Lisaks tuleks selle seirerühma kaevud kaasata tabelis 5, peatükk 3.4 kirjeldatud seirekaevude rühmade revisjoni uuringusse – selgitada kõigi seirerühma puurkaevude tehnilised seisundid, veekihtide omavaheline seotus avatud osade kaudu, sobivus riiklikuks seirekaevuks jm.	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1
7	Seirekaev	Seirekaevu nr 3662 tehniline seisund on hea, kuid seirekaevu enda ja naaberkaevu avatud osade paiknemine peaaegu samal tasapinnal muudavad seirekaevu nr 3662 kasutamise põhjavee seires küsitavaks. Soovitame jätkata veetaseme ja keemilist seiret puurkaevus nr 3662 ning naaberkaevu nr 3667 põhja vähemalt 3 m ulatuses tamponida. Veetasemesseiresse peaks kaasama ka kõrvaloleva puurkaevu nr 3667, et võrrelda seirekaevude veetasemete muutuseid ja veekihtide hüdrodünaamilist isoleeritust. (vt ka tabel 2, peatükk 3.2)	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1
7	Seirekaev	Enne seirega jätkamist tuleb seirekaev nr 4017 puhastada, et eemaldada selle manteltoru alumisse ossa tekkinud takistus. (vt täpsemalt tabel 2, peatükk 3.2)	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1
27	Seirekaev	LIFE IP CleanEST projekti raames tuvastati seirekaevus nr 3870 Vasavere PVK suurim naftasaaduste sisaldus (1200 µg/l). Proovivõtu käigus selgus, et kaev on küsitavas tehnilises seisundis. Tuvastatud naftasaaduste, 1-aluseliste fenoolide ja PAH-ide sisalduste allikad ei ole teada. Soovitame võtta kordusproovi. Kui kasutada kaevu seireks, tuleks usaldusväärsete tulemuste tagamiseks kaev puhastada, läbi viia geofüüsikalised uuringud tehnilise seisundi hindamiseks ning kaevu päis tuleks sulgeda (lukustada).	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1**
27	Seirekaev	Ajavahemikul 2009 – 2020 on 1-aluselisi fenoolide puurkaevust nr 3263 analüüsitud 13 korral ning saadud tulemused on üsna vastuolulised. Välivaatlused viitasid vajadusele põhjalikult kaaluda puurkaevu sobivust regulaarseks seirepunktiks, sest kaevu suue on maapinnaga praktiliselt tasa ning eksisteerib tõsine põhjavee reostusoht. Puurkaevu vee analüüsitulemused ei pruugi objektiivselt kajastada seirepunkti põhjavee looduslikku keemilist koostist. Puurkaevu kasutamisel seirekaevuna tuleks tõsta suue maapinnast vähemalt 30 cm kõrgemale (Nõuded salvkaevu..., 2015).	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1**
6, 27	Seirevõrk	Soovitame täiustada põhjaveekogumi seirevõrku, et oleks võimalik hinnata Raudi kanali keemilist mõju põhjaveekogumi seisundile. (seotud eelnevalt välja pakutud seirevõrgu hindamise soovitusega)	Üldine soovitus	2
27	Puurkaev	Puurkaevus nr 3371 tuvastati joogiveele kehtestatud piirsisaldusest suurem arseeni kontsentratsioon (13 µg/l). Tegemist on kogu kaevu vaatlusperioodi suurima ja ainsa piirsisaldust ületava As sisaldusega. Puurkaevu veest on määratud suur sulfaatide sisaldus (450 mg/l), vesi on happeline (pH=5) ning lisaks arseenile sisaldab rauda (Fe _{üld} =8,7 mg/l) ja mangaani (5,2 mg/l). Sellise keemilise koostisega vesi on PVKle ebatüüpiline ning viitab kaevandustegevuse võimalikule mõjule. Tegemist on üksikanalüüsiga ning veendumaks kaevandustegevuse mõjus tuleks kaevust nr 3371 võtta kordusproov ning tulemuste kordumisel viia läbi uuring, et selgitada välja võõrvee päritolu.	Üldine soovitus	1

*1 – vajalik läbi viia selle või järgmise veemajanduskava perioodi (2022 – 2033) jooksul; 2 – läbi viia ja ajastada vastavalt vajadusele

** Vajalik läbi viia selle veemajanduskava perioodi jooksul (2022 – 2027)

punktist võiks kaaluda võimalust seisundi hindamisel kasutatavat valimit laiendada. Siinkohal tuleks esmalt analüüsida, millised väljaspool riikliku põhjaveekogumite seiret tehtavad seired ja uuringud sobiksid põhjaveekogumite seisundi hindamiseks oma analüüsitava näitajate ja proovivõtu sageduse poolest. Kui potentsiaalse ohuallika või reostuskolde lähistel sobilikku seiret ei toimu, siis peaks vaatlused toimuma riikliku seire raames (nt konkreetse omanikuta jääkreostusobjektid). Seirevõrgu laiendamisel tuleb tagada järjepidevus varem kogutud andmete ja seisundi hinnangutega, mistõttu tuleks seda eraldi põhjalikult analüüsida seirevõrgu hindamise käigus (tabel 3).

Kõik tegevuse C.9 raames läbi viidud uuringute põhjaveeseire kohta tehtud üldised soovitused ja ettepanekud meetmete lisamiseks veemajanduskava põhjavee meetmeprogrammi on kokkuvõtlikult esitatud eespool tabelis 3.

3.3 Põhja- ja pinnavee vastastikmõju ja selle arvestamine põhjaveeseires

Põhja- ja pinnavesi moodustavad ühtse süsteemi, kus toimub nii pinnavee infiltreerumine põhjaveekihtidesse kui ka põhjavee väljavool baasäravooluna jõgedesse ja järvedesse. Ida-Virumaal soodustab pinna- ja põhjavee omavahelist seotust nii piirkonna geoloogiline ehitus kui ka aktiivne ja lõpetatud kaevandustegevus, mis on oluliselt mõjutanud piirkonna põhja- ja pinnavee vastastikmõju. PVK nr 6 ja 7 territooriumil on lisaks ka palju õhukese pinnakattega alasid, kus karbonaatkivimite maapinnalähedane osa on tihti karstunud (Perens jt, 2012). Karstinähtused soodustavad sademete ja pinnavee infiltreerumist ja kiirendavad pinna- ja põhjavee vastastikmõju.

Töötavate kaevanduste ja karjääride ümbruses toimub veeärastus kaevanduskäikude/karjääri kuivana hoidmiseks, mis tekitab nende ümber põhjavee depressioonilehtri. Kui põhjaveekihi veetase langeb madalamale jõe või järve veetasemest, suureneb jõe ja põhjaveekihi vaheline hüdrauline gradient, mis soodustab vee liikumist pinnaveekogust põhjaveekihti. Töötavad kaevandused mõjutavad otseselt nende pinnaveekogude vee kvaliteeti ja dünaamikat, mis toimivad väljapumbatud kaevandusvete eesvooludena. Varasemad uuringud on näidanud, kuidas kaevandustegevus ja kaevandustest välja pumbatud vesi on muutnud Ida-Virumaa jõgede valglaid, hüdrooloogilist režiimi ja kvaliteeti (Vaht, 2014).

Lisaks aktiivsele veeärastusele toimivad ka suletud kaevandused omamoodi veeärastussüsteemidena, sest tihti on nende väljavoolude veetase fikseeritud kas tehnikult või pool-looduslikult kindlale absoluutkõrgusele (Perens jt, 2010). Seega ei taastu altkäevandatud aladel veetase peaaegu kunagi nn loodusliku tasemeni vaid jääb sellest madalamale.

Kaevandamine on muutnud ka põhjavee filtratsioonitingimusi, sest altkaevandatud alad kujutavad endast justkui suuri tehislikke karstikoopaid. Need soodustavad infiltreerunud vee kiiret tsirkuleerimist maapõues. See võib ühelt poolt viia altkaevandatud aladega piirnevate jõelõikude kuivamiseni (nt Kohtla, Hirmuse, Rannapungerja, Ojamaa), kui ka altkaevandatud aladelt pärineva sulfaadirikka vee jõudumiseni pinnaveekogudesse (Savitski ja Savva, 2009; Perens jt, 2010).

Kui Eesti alale on enamasti omane, et põhjavee liikumine toimub põhjaveekihtide toitealadelt pinnavee vooluvõrgu suunas ehk põhjavesi toidab teatud ulatuses pinnaveekogusid (Terasmaa jt, 2015), siis LIFE IP CleanEST projekti raames läbi viidud uuringud näitavad, kuidas inimtegevusest põhjustatud reostus jõuab kohati hoopis pinnavee kaudu põhjavette. Seda soodustab eelnevalt kirjeldatud alanenud põhjaveetase töötavate kaevanduste ümber ja suletud kaevandustes, mistõttu põhjaveetase paikneb madalamal jõe veetasemest. Järgnevalt on kirjeldatud mõned lokaalsed näited sellest, kuidas pinnavesi võib mõjutada põhjavee kvaliteeti Ida-Virumaa PVKdes.

Rannapungerja jõe ääres paiknevate seirekaevude nr 4016 ja 4017 veetase on oluliselt langenud pärast 2012. aastal toimunud Estonia kaevanduse lõunapoolset laienemist, mille käigus rajati strekid seirekaevude vahetusse lähedusse (Raidla jt, 2023b). Seirekaevudes on tuvastatud suured SO_4^{2-} sisaldused ja fenoolide esinemine, kuigi kaevude avatud osad paiknevad kaevanduse töötasapinnast kõrgemal. Seetõttu peab nende ainete suur sisaldus pärinema kas maapinnalt ja/või maapinnalähedasest kihist. Kõige tõenäolisemalt on seirekaevude SO_4^{2-} allikas jõgi ise, mis saab suure osa oma veest Estonia kaevanduse väljalaskudest ja aheraineladestu nõrgvetest, milles esineb looduslikust foonist märksa suuremaid SO_4^{2-} sisaldusi. Alanenud põhjavee survetasemed Estonia kaevanduse kohal soodustavad sulfaadirikka jõevee infiltreerumist pinnasesse, suurendades sellega ka SO_4^{2-} sisaldust puurkaevudes.

Teadu on, et Vahtsepa kraavist allavoolu on Kohtla jõe põhjasetted reostunud põlevkivitööstuse heitvetest kantud ühenditega (raskmetallid, PAH-id, naftasaadused ja fenoolid; Metsur jt, 2015). Kohtla jõe ääres paiknevast seirekaevust nr 19560 on saadud korduvalt väga suurtes kogustes PAH-e, mis on oma koostiselt väga sarnased nii allavoolu kui ülesvoolu jäävate Kohtla jõe kaldaalal paiknevate puurkaevude PAH-ide koostistega (Raidla jt, 2023b). PAH-ide koostis varieerub jões vastavalt aastaajale, olles madalveeperioodil ja sügise kõrgveeperioodi ajal sarnane ümbruskonna põhjaveele, aga kevadise suurvee ajal sellest märkimisväärselt erinev. Nende tulemuste põhjal võib arvata, et valdavalt saab Kohtla jõgi oma kevadise toite Kohtla-Järve poolkoksihoidla ümbrusest, kuid suve jooksul hakkab jões domineerima põhjavee sissevool. Laiemalt on Kohtla jõe ja Roodu piirkonna põhjavees orgaaniliste toksiinide (fenoolid, PAH-id jne) esinemine omane vaid jõe lähedal paiknevatele kaevudele. Jöest eemal esineb PAH-e märksa vähem või erineb nende koostis märkimisväärselt

jõeääres levivatest PAH-ideest. Kuigi piirkonnas on läbi viidud Kohtla jõe puhastustööd, võib pinnases leviv orgaaniline reostus jõelähedaste kaevude vett endiselt mõjutada.

Pinnavee negatiivne mõju ümbritsevate põhjaveekihtide vee kvaliteedile on nähtav ka Purtse jõe ja Kohtla jõe vahelisel lammialal Lügänu piirkonnas ning Uhaku karstiala ümbruses, mis hõlmab PVK nr 6 ja 7 levikuala (Raidla jt, 2023a, 2023b). Läbi Uhaku karstiala voolavasse Erra jõkke on aastakümneid suunatud Kiviõli põlevkivitööstuse heitvett ning Kiviõli kraavist allavoolu on Erra jõe põhjasetted reostunud raskmetallide, PAH-ide, fenoolide ja naftasaadustega. Üsna suure tõenäosusega on reostus kandunud ka maa alla karstisüsteemidesse (Ritso jt, 2008; Metsur jt, 2015). Aastal 2022 alustati Erra jõest ja lähialalt reostunud pinnase eemaldamist, kuid karstilõheded leviv reostus jääb ilmselt veel pikaks ajaks mõjutama kohalikku põhjavee kvaliteeti. Selle piirkonna põhjavees esineb ümbruskonnast suuremaid sulfaadi, arseeni, nikli ja kaaliumi sisaldusi, mis viitavad lammil akumulunud tööstusreostuse levimisele nii jõkke kui põhjavette. Fenooli, PAH-e ja benseeni lammil asuvatest kaevudest ei leitud, kuid need on esindatud jões. Erra-Lügänu piirkond eristub ülejäänud PVK nr 6 ja 7 veest ka suuremate nitraadi sisalduste poolest (s.h on Coli-laadsete kolooniate arv kuni >10 000; Kõrgmaa jt, 2020), mille põhjuseks on põllumajanduse viljelemine tugevalt karstunud alal.

Põlevkivi kaevandustest väljapumbatud vee juhtimine Konsu järve ja läbi Raudi kanali teistesse Kurtna järvestu järvedesse (Ahvenjärv, Särgjärv ja Nõmmejärv) on loonud ohu suure sulfaadi sisaldusega pinnavee tungimiseks Vasavere põhjaveekogumi Kvaternaari veekihtidesse (Karro jt, 2021; Raidla jt, 2023a). Põlevkivi kaevanduste laienemisega Kvaternaari Vasavere PVK nr 27 suunas intensiivistuks põhjavee liikumine PVK põhja- ja lõunaosast, kus antropogeenne mõju ja vete mineraalsus on märksa suurem kui põhjaveekogumi looduslik taustatase. Võimalikuks võib pidada ka sulfaadirikka vee (>300 mg/l; Terasmaa jt, 2019) valgumist põhjavette Raudi-Konsu kanalitest ja neid läbivatest järvedest, kuid seirekaevude puudumise tõttu kanalite läheduses ei ole võimalik hinnata sulfaadirikka vee mõju PVK nr 27 ja 6. Väga selgelt eristuvad teistest piirkonna järvedest Konsu järvest võetud proovid, mis sisaldavad Eesti pinnavetele ebatüüpiliselt palju sulfaati (>100 mg/l). Suured sulfaadi sisaldused järves tulenevad põlevkivikaevanduste veest, mida juhatakse läbi Raudi-Konsu kanalite Konsu järve. Sulfaadirikka järvevee mõju peegeldub ka järveäärsetes Kvaternaari setteid avavate puurkaevude vee suuremates sulfaadi sisaldustes (20 – 40 mg/l), mis ületavad järvest eemal paikneva puurkaevude vee SO₄²⁻sisaldust mitmekordselt. Suuremad põhjavee sulfaadi sisaldused Konsu järvest edelas viitavad põlevkivi kaevandustegevusest mõjutatud põhjavee levimisele PVK nr 6. Kvaternaari Vasavere PVK nr 27 on tuvastatav Konsu järve lokaalne mõju, mida ei ole aga selgelt tuvastatud Konsu järve lähedastes Keila-Kukruse põhjaveekihi puurkaevudes (PVK nr 6).

Eelnevatele näidetele tuginedes saab öelda, et paljudel juhtudel on põhjavee seireandmete tõlgenda-

miseks vaja teada vee kvaliteeti ka kaevude läheduses olevates pinnaveekogudest. Sealjuures tuleks seires ühtlustada nii põhja- kui ka pinnaveekogumite seisundi hindamiseks vajalikud kriitilised näitajad (nt sulfaat) kui ka proovivõtu sagedus. Praegusel juhul toimub näiteks riikliku põhjaveeseire raames põhjavee keemilise koostise seire sagedusega üks kord aastas, aga pinnaveeseire sagedus on väga erinev sõltuvalt sellest, kas veekogu on osa ettevõtte omaseirest või seiratakse seda riikliku pinnaveeseire raames. Lisaks ei pruugi pinnavee seirepunktid paikneda põhjaveekogumite seirekaevude lähedal, vaid neist palju kaugemal, mistõttu võib pinna- ja põhjavee vastastikmõjude analüüsimiseks olla vajalik lisada kas pinnavee seirevõrku täiendavaid seirepunkte või PVKde keemilisse seiresse seirekaevude juurde, kus vastastikmõju oluline, pinnavee proovivõtukoht.

Eelnevast arutelust tulenevalt on tabelis 4 esitatud kokkuvõtlikud soovitused tegevuse C.9 raames läbi viidud uuringutest, mis puudutavad põhja- ja pinnavee vastastikmõju temaatikat.

Tabel 4. Soovitused põhja- ja pinnavee vastastikmõjuga arvestamiseks põhjavee seireandmete tõlgendamisel

Põhjavee-kogumi nr	Soovituse objekt	Soovituse kirjeldus	Lisada põhjavee meetme-programmi / Üldine soovitus	Prioriteet*
7	Erra-Lüganuse piirkonna põhjavesi	Toetudes nii kohalike elanike teadaannetele kui andmebaasidest leitavale keemilisele andmestikule võib tõdeda, et Erra-Lüganuse piirkonna hüdrogeoloogiline süsteem on suurvee seisudest väga mõjutatav. Olukorrast täpsema arusaamise omandamiseks oleks vaja läbi viia mitmeaastane uuring, mille käigus tuleks veeproove koguda kvartaalselt nii kohalikest kaevudest kui jõgedest ning järgida paralleelselt ka jõgede ja seirekaevude veetaset. Seire käigus peaks täienema geokeemiline andmestik kohaliku hüdrogeoloogilise süsteemi oksüdeerivate ja redutseerivate tingimuste vaheldumisest ja selle mõjust raskmetallide ja orgaaniliste toksiinide mobiilsusele. Seire käigus peaks samaaegselt võtma proovid peamiste ioonide (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}), redokstingimuste suhtes tundlike parameetrite ja elementide (lahustunud hapnik (DO), NO_3^- , NH_4^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn), raskmetallide (Ni, As, Zn), orgaaniliste toksiinide (PAH-id, 1- ja 2-aluselised fenoolid ja naftasaaduste) ja põllumajandusliku hajukoormusega seotud parameetrite (NH_4^+ , NO_3^- , mikrobioloogia) analüüsimiseks. Uuringut tuleks kaaluda juhul, kui piirkonna veevarustus jääb ka pikemas perspektiivis sõltuma maapinnalähedastes põhjaveekihtides asuvatest tarbekaevudest. Aruandes (Raidla jt, 2023b) on soovitatud kaaluda piirkonda ühisveevärgi rajamist O-Cm veekompleksi baasil. <u>Enne käesoleva uuringuga alustamist tuleb koostada detailne lähteülesanne ja arvestada juba tehtud tööde tulemustega (nt LIFE IP CleanEST raames tehtud erinevate pinna- ja põhjavee uuringutega).</u>	Üldine soovitus	2

Põhjavee-kogumi nr	Soovituse objekt	Soovituse kirjeldus	Lisada põhjavee meetme-programmi / Üldine soovitus	Prioriteet*
7	Põhjavee-kogumite riiklik seire	Seirekaevude nr 4016 ja 4017 seiretulemuste tõlgendamiseks on oluline võtta vastavad veeproovid samaaegselt ka kõrvalasuvast Rannapungerja jõest, et hinnata jõevee kvalitatiivset mõju (põlevkivikaevanduse vee väljalaskude mõju) kohaliku põhjavee keemilisele koostisele (vt ka tabel 2).	Üldine soovitus	1
7	Põhjavee-kogumite riiklik seire	Seirekaevust nr 19560 võetavate veeproovide tõlgendamiseks on oluline võtta vastavad veeproovid samaaegselt ka kõrvalasuvast Kohtla jõest (vt ka tabel 2).	Üldine soovitus	1

*1 – vajalik läbi viia selle või järgmise veemajanduskava perioodi (2022 – 2033) jooksul; 2 – läbi viia ja ajastada vastavalt vajadusele

3.4 Põhjaveekogumid ja põhjaveekihtid

Paljudel juhtudel tuleb põhjaveeressursside majandamisel arvestada asjaoluga, et põhjaveekogum on veemajanduslik üksus, mis koosneb erinevatest põhjaveekihtidest. Põhjavee liikumise ja keemilise koostise seletamisel ja PVK halva seisundi põhjuste selgitamisel ei saa alati lähtuda PVK lateraalsetest ja vertikaalsetest piiridest, vaid eelkõige põhjaveekihtidest kui hüdrokeoloogilistest üksustest, millel on oma toiteala, siirdeala ja väljavooluala. Põhjaveekihtid erinevad üksteisest nii vee päritolu, vee liikumise ja veevahetuse kiiruse, ümbriskivimi ehk kivimi mineraloogilise koostise kui ka neid mõjutavate koormusallikate poolest.

Selle heaks näiteks on Ida-Virumaa Ordoviitsiumi (nr 6) ja Ordoviitsiumi põlevkivibasseini (nr 7) PVKd, mis on tegelikult ühe hüdrokeoloogilise süsteemi osad. Nende jaotamine erinevateks põhjaveekogumiteks on tinglik ja toimunud peamiselt inimtegevusega seotud koormusallikate alusel. PVK nr 7 piirid on määratletud eeskätt põlevkivikaevandamise ja -energeetika mõjupiirkonnaga (Perens jt, 2012). PVK nr 6 välispiir on määratud suuresti administratiivsete piiride järgi ja piir PVKga nr 7 on tinglik (Perens jt, 2012). Sellest tulenevalt on PVK nr 6 ja 7 juba olemuslikult omavahel hüdrodünaamiliselt seotud (vt ka peatükid 2.4 ja 3.1).

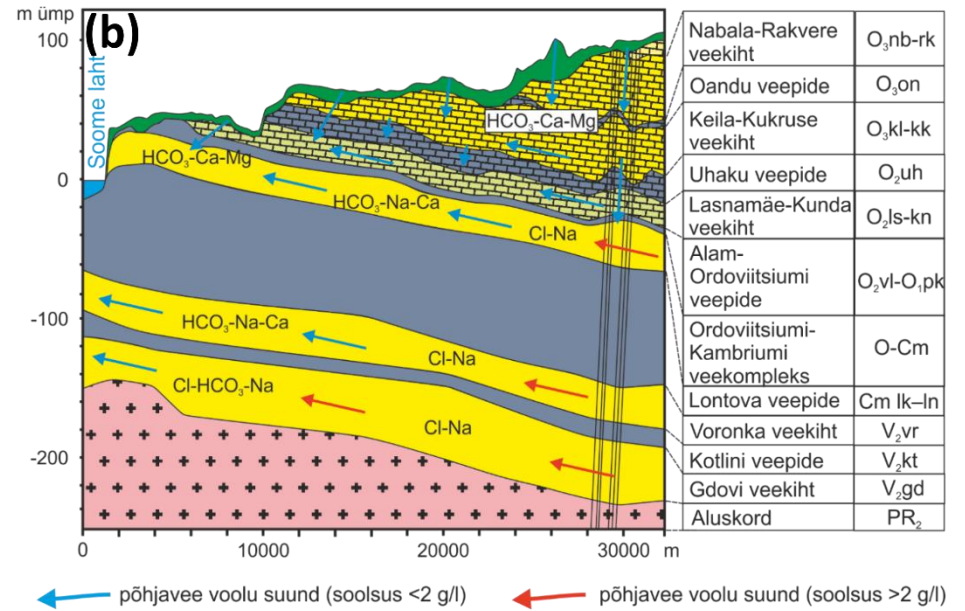
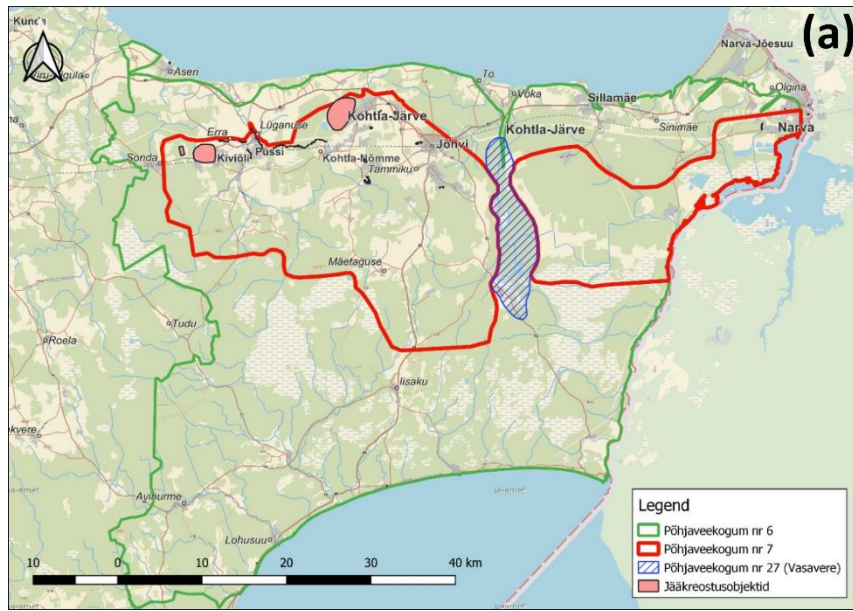
Lisaks tuleb Ida-Viru Ordoviitsiumi PVKde majandamisel arvestada sellega, et tegelikult koosnevad mõlemad erinevatest põhjaveekihtidest, mida iseloomustab üksteisest erinev põhjavee liikumise kiirus, põhjavee keemiline tüüp ja avatus maapinnalt lähtuvale reostusele. Tänu Ida-Virumaa

Ordoviitsiumi läbilõike väga detailsele geoloogilisele uuritusele, on seal olnud võimalik selgelt välja eraldada kolm olulisemat põhjaveekihti – Nabala-Rakvere (O_3nb-rk), Keila-Kukruse (O_3kl-kk) ja Lasnamäe-Kunda (O_2ls-kn ; joonis 9).

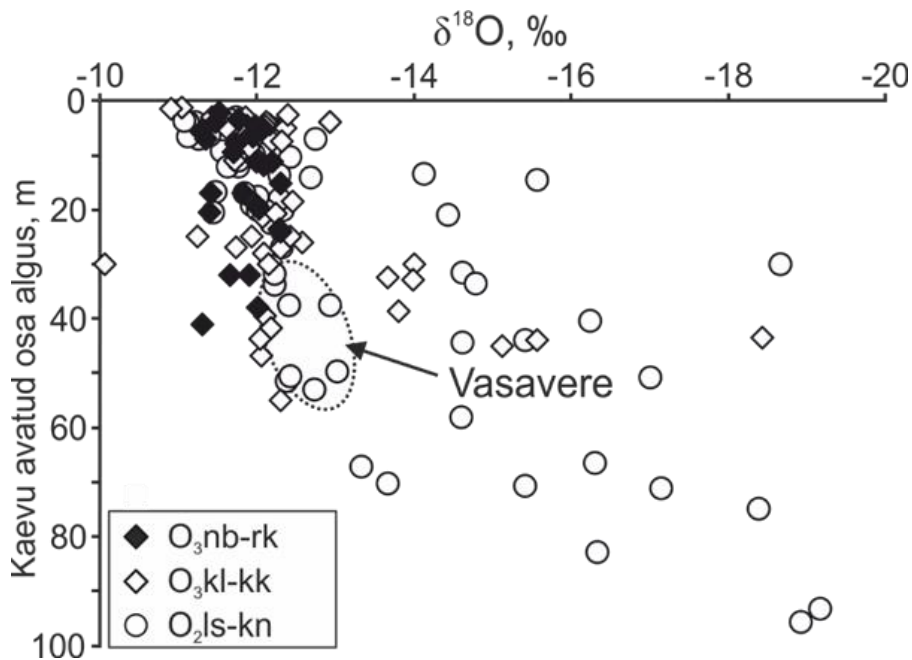
Nimetatud veekihte iseloomustab looduslikes tingimustes väga erinev veevahetuse kiirus, mis tuleneb eelkõige karbonaatsete veekihtide lõhelisuse ja karstumise ning sellega otseselt seotud veejuhtivuse vähenemisest sügavuse suunas. Üldistatult on Kirde-Eesti karbonaatkivimite ülemises kuni 20 m paksuses osas filtratsioonikoefitsent 5 – 80 m/ööpäevas, sügavusvahemikus 20 – 50 m 3 – 6 m/ööpäevas ning sügavamal kui 50 m 0,1 – 3 m/ööpäevas (Perens ja Vallner, 1997; Savitski, 2000; Perens jt, 2012). Sellest tulenevalt on sügavamal Lasnamäe-Kunda veekihi veevahetus väga aeglane ja see on tänapäevase veeringega nõrgalt seotud. See väljendub muuhulgas vee keemilises koostises. O_3nb-rk ja O_3kl-kk veekihtides domineerib sademete infiltratsioonil tekkinud ja tihti kaevandustegevustest mõjutatud $Ca-HCO_3-$ ja/või $Ca-SO_4$ -tüüpi vesi, kuid O_2ls-kn veekihis esineb selle avamusalast eemal peamiselt $Na-HCO_3$ -tüüpi vesi. Sõltuvalt põhjavee keemilisest tüübist, sisaldab see ka erinevaid mikrokomponente. Nii on erinevate põlevkivikaevandustega seotud keemiliste näitajate nagu SO_4^{2-} , arseen, fenoolid ja naftasaadused levik laiem aktiivse veevahetusega O_3nb-rk ja O_3kl-kk veekihtides, samal ajal kui teiste ainete nagu PAH-id ja Ba^{2+} sisaldused võivad olla suuremad hoopis aeglasema veevahetusega O_2ls-kn veekihis.

Tänu sellele, et Eesti sügavamate põhjaveekihtide vesi on kunagi toitunud jääajal Eesti ala katnud mandriliustike sulaveest, saab erinevate põhjaveekihtide veevahetuse kiiruse kvalitatiivseks iseloomustamiseks kasutada veemolekuli isotoopkoostist (Pärn, 2018). Vanema liustikutekkelise põhjavee isotoopkoostis erineb oluliselt tänapäeva sademete ja selle infiltratsioonil tekkinud maapinnalähedase põhjavee isotoopkoostisest (Raidla jt, 2009; Raidla jt, 2016). Põhjaveekihtide erinev veevahetuse kiirus ja põhjavee päritolu ilmneb eriti selgelt Ida-Virumaa PVK nr 6 ja 7 põhjavee isotoopkoostises (joonis 10). Kui maapinnalähedase põhjavee hapniku isotoopkoostis on väga sarnane tänapäevaste sademete aasta keskmise või külma poolaasta (november–märts) keskmisele isotoopkoostisele ($\delta^{18}O$ vahemikus $-10,5$ kuni $-12,5\%$), siis sügavamal kui 40 m esineb põhjavesi, mille $\delta^{18}O$ väärtus on $<-14\%$. See väljendab olulise liustikutekkelise komponendi esinemist ja antud põhjaveekihi aeglast veevahetuse kiirust. Veelgi aeglasem on veevahetuse kiirus O_2ls-kn veekihi all lamavas O-Cm põhjaveekompleksis (Kirde-Eestis PVK nr 5a).

Väga aeglase veevahetusega põhjaveekompleksides nagu Kambriumi-Vendi ja Ordoviitsiumi-Kambriumi (vastavalt PVKd nr 1, 2 ja 5a) tuleb arvestada sellega, et peamine veetasemete režiimi ja vee kvaliteedi muutlikkust põhjustav tegur on põhjaveevõtt. Seepärast on nende PVKde puhul oluline veehaarete täpne planeerimine, et kaevude liiga tiheda paiknemise tõttu ei tekitataks lokaalselt



Joonis 9. Erinevate põhjaveekihtide paiknemine põhjaveekogumites nr 6 ja 7. (a) – põhjaveekogumite piirid; (b) – hüdrogeoloogiline läbilõige N–S koos olulisemate veekihtide ja veepidemetega.



Joonis 10. Ida-Virumaa Ordoviitsiumi põhjavee hapniku isotoopkoostise ($\delta^{18}\text{O}$) sõltuvus põhjaveekihi lasumissügavusest (Raidla jt, 2023a)

ülemäära suurt põhjaveetaseme alandusletrit, mis soodustaks soolasema vee sissevoolu veehaardesse kas veekihi sügavamast osast, lamavast veekihist või merest (viimane Kambriumi-Vendi veekompleksi puhul).

Nagu näha, võib praeguse põhjaveekogumite piire määrava seadusandluse järgi üks põhjaveekogum endasse koondada nii aktiivse veevahetuse tsooni kuuluvaid, kui ka väga aeglase veevahetusega põhjaveekihte. See tähendab aga, et põhjaveekogumi majandamisel ei saa seda käsitleda homogeense tervikuna. VRDga seotud juhendmaterjalides (European Communities, 2007) on öeldud, et mitut põhjaveekihti koondavate PVKde puhul tuleks seires keskenduda PVK reostustundlikumate kihtide jälgimisele. Samal ajal on aga teada, et kaevandustegevus on põhjaveekihtide looduslikku lasumust ja isoleeritust oluliselt rikkunud. Erinevate uuringute raames läbi viidud seireandmete koondamisel on näha, kuidas sügavamates $\text{O}_2\text{ls-kn}$ ja O-Cm veekihtides esineb kaevandatud aladel puurkaevudes suurema SO_4^{2-} sisaldusega vett või anomaalselt käituvaid põhjaveetasemeid (vt ka peatükk 2.2). Põhjaveekogumite kaitse seisukohast on oluline jälgida, et kahjustatud puurkaevude kaudu ei tekiks hüdrodünaamilist seost üksteisest looduslikult eraldatud veekihtide vahel. Erinevate omadustega põhjaveekihtide esinemine ühes põhjaveekogumis näitab veelkord, kui tähtis on põhjavee seire täpsem eesmärgistamine, millest on täpsemalt juttu peatükis 3.2.

Eelnevale arutelule tuginedes on tabelis 5 esitatud tegevuse C.9 raames läbi viidud uuringutest tulenevate soovitusete kokkuvõte, mis rõhutab vajadust arvestada PVKde majandamisel põhjaveekogumites esinevate põhjaveekihtide eripäradega.

Tabel 5. Soovitused põhjaveekihtide eripäradega arvestamiseks põhjaveekogumite majandamise ja kaitse korraldamisel

Põhjaveekogumi nr	Soovituse objekt	Soovituse kirjeldus	Lisada põhjavee meetmeprogrammi / Üldine soovitus	Prioriteet*
Kõik kogumid	Põhjaveekogumite riiklik seirevõrk	Soovitame läbi viia riikliku seirekaevude rühmadesse kuuluvate puurkaevude revisjoni, eesmärgiga hinnata lähedikkude paiknevate puurkaevude avatud osade (ühe lõpp ja teise algus) tasapindade kattuvust. Kui erinevused puurkaevude avatud osade alguse ja lõpu tasapindade vahel on väga väikesed (kuni 5 m) või koguni kattuvad, tuleks madalama puurkaevu põhi tamponnida, et vältida proovivõtul hüdrodünaamilise ühenduse tekkimist erinevate veekihtide vahel. Uuring on oluline, et välja selgitada, kas puurkaevude avatud osade paiknemine on loonud hüdrodünaamilise seose erinevate veekihtide vahel ja kas esineb mõju veetaseme ning keemilisele seirele. Samuti selguks vajadus seirekaevude remondiks, puhastuseks, likvideerimiseks, asendamiseks vm (seirerühmade revisjon on seotud eelnevalt alapeatükis 3.2 tabel 3 välja pakutud seirevõrgu hindamise soovitusega). Enne käesoleva uuringuga alustamist tuleb koostada detailne lähteülesanne.	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1
Kõik kogumid	Puur- ja seirekaevud	Seire- ja puurkaevude remont-, puhastus- ja rajamistöodel tuleks jälgida, et ei tekitataks hüdrodünaamilist ühendust erinevate veekihtide vahel (nt välditakse erinevaid veekihte avavate puurkaevude avatud osade kattuvust ja/või mitme erineva veekihi avamist samas puurkaevus). Vältida tuleks erinevate veekihtide segunemist.	Üldine soovitus	1
1	Puurkaevud	Muuta kehtivat seadusandlust nii, et keelata segutüüpi puurkaevude (avatud on korraga Gdovi ja Voronka veekihtid) rajamist, kuna konserveerituna võivad seda tüüpi puurkaevud soodustada Voronka veekihi sooldumist soolasema Gdovi põhjavee arvelt. Üldisemalt tuleks seadusandluses muuta põhjendust selle kohta, miks tohib puurkaevu rajamise käigus olla avatud ainult üks põhjaveekiht (Nõuded salvakaevu..., 2015, §9, lõige 1, punkt 3). Puurkaevude ja -aukude (olenemata kasutusest – tarbeks, olmeks, kastmiseks, seireks, geoloogiliseks uuringuks, maasoojuseks, vm kasutuseks) rajamisel ei tohi luua hüdrodünaamilist ühendust erinevate veekihtide vahel. Igal juhul peab olema välditud erinevate veekihtide segunemine (nii ülemiste põhjaveekihtide vee sissevool sügavamatesse veekihtidesse kui ka vastupidi).	Üldine soovitus	1
1	Veehaarded	Vältida suure veevõtuga veehaardete rajamist Gdovi põhjaveekogumi ida- ja kaguossa, kuna sealsed veehaarded võivad peagi soolduda süngeneetilist signaali kandva põhjaveega. Tegemist oleks ilmselt pöördumatu protsessiga.	Üldine soovitus	1

Põhjavee-kogumi nr	Soovituse objekt	Soovituse kirjeldus	Lisada põhjavee meetmeprogrammi / Üldine soovitus	Prioriteet*
1	Veehaarded	Vältida Gdovi PVKS põhjaveevõtu kontsentreerumist mingile kitsale alale (vahemaa kaevude vahel <300 m), kuna sellega kaasneb ala keskmesse jäävate kaevude sooldumine.	Üldine soovitus	1
5a	Sõrumäe piirkonna põhjavesi	Kuna seirekaevus nr 4019 on täheldatud Na ⁺ ja Cl ⁻ sisalduse tõusu, siis tuleks jälgida, kas nimetatud näitajate sisaldused Sõrumäe piirkonnas jätkuvalt suurenevad või on stabiliseerunud. Kui jätkub Na ⁺ ja Cl ⁻ sisalduste suurenemine Sõrumäe piirkonnas, soovitame viia läbi detailsem uuring seirekaevu nr 4019 piirkonnas kloriidi sisalduse suurenemise põhjuste selgitamiseks, kuhu peaks kaasama lisaks keemilistele analüüsidele ka isotoopmeetodid ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{37}\text{Cl}$, $\delta^{81}\text{Br}$).	Üldine soovitus	1
5a, 7	Puur- ja seirekaevud	Soovitame läbi viia osalist geofüüsikalist revisjoni altkaevandatud aladel ja nende läheduses (ligikaudu 200 m) asuvates O-Cm puurkaevudest, kus sulfaadi sisaldus ületab oluliselt looduslikku sisaldust ($\text{SO}_4^{2-} > 20 \text{ mg/l}$). Eesmärk on tuvastada puurkaevud, mis on saanud kaevandustegevuse käigus vigastada ja on loonud hüdrodünaamilise seose Keila-Kukuruse ja O-Cm veekihtide vahel. Suurema veevõtuga veehaarete lähikonnas võivad sellised vigastatud manteltoruga puurkaevud põhjustada kaevanduskäikudest pärineva vee levimise vanemat põhjavett sisaldavasse O-Cm veekihti. Lasnamäe-Kunda veekihti avavate puurkaevude puhul ei pruugi analoogne uuring olla relevantne kuna kaevandustegevus võis vigastada ka Uhaku veepidet luues hüdrodünaamilise seose Lasnamäe-Kunda ja Keila-Kukuruse veekihtide vahel.	Üldine soovitus	1
5a, 6, 7	Puurkaevud	Kehtestada kaevandusaladel paiknevate puurkaevude, mis avavad O ₃ kl-kk veekihtist sügavamal asuvaid veekihte, ümber lõhketööde keelutsoon, vältimaks puurkaevude kahjustamist lõhkamistöode käigus. Keelutsooni võimaliku ulatuse määratlemisel küsida arvamust lõhketööde eksperdilt.	Üldine soovitus	1
5a, 6, 7	Puur- ja seirekaevud	Suhtuda äärmise ettevaatlikkusega Lasnamäe-Kunda ja Ordoviitsium-Kambriumi veekihte avavate puurkaevude rajamise altkaevandatud aladel. Puurkaevu rajamine läbi kaevanduskäigu avaks dünaamilise ühenduse eri veekihtide vahel.	Üldine soovitus	2

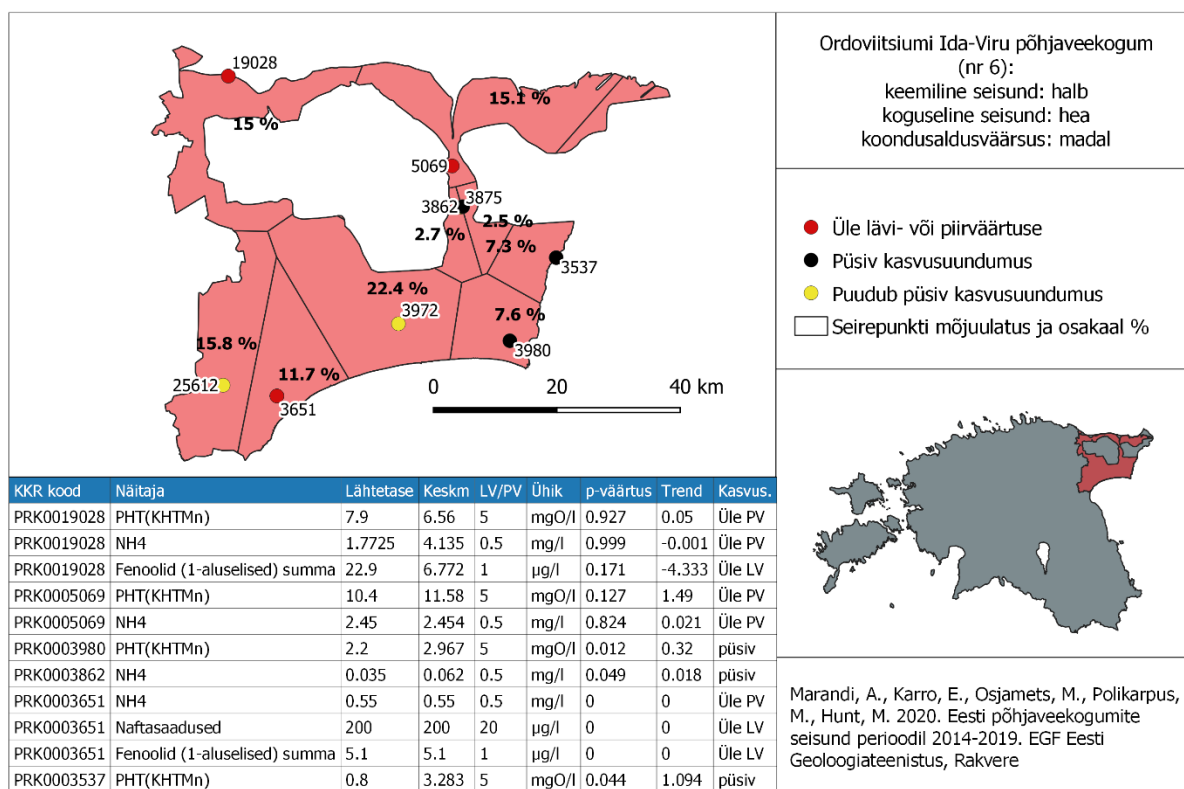
*1 – vajalik läbi viia selle või järgmise veemajanduskava perioodi (2022 – 2033) jooksul; 2 – läbi viia ja ajastada vastavalt vajadusele

3.5 Ida-Virumaa põhjaveekogumite seisundi hindamisest

Tegevuse C.9 raames läbi viidud uuringud Ida-Virumaal levivate põhjaveekogumite kohta näitasid, et valdav enamus seirekaevudest, milles on perioodidel 2007 – 2013 ja 2014 – 2020 tuvastatud läviväärtust ületavate saasteainete esinemist (Türk, 2014; Marandi jt, 2020), on kas halvas tehnilises seisundis või pärineb saasteaine seirekaevu lähiümbrusest (tabel 2). See kehtib eriti orgaaniliste ainete nagu naftasaadused, fenoolid ja PAH-id kohta. Sulfaadi suured sisaldused altkaevandatud aladel on tõenäoliselt seotud regionaalsemate protsessidega. Sellest tulenevalt tekib küsimus, kas nende seirekaevude vesi iseloomustab tegelikult PVK üldist seisundit ja kas nende tulemuste tõlgendamine põhjaveekogumi seisundi hinnangutes on adekvaatne või mitte (vt ka peatükk 3.2).

Teoreetiliselt on teada, et ala kaevu ümber, kust vesi kaevu voolab (*capture zone, contributing area*), sõltub nii puurkaevu filtri pikkusest ja paigutusest, avatud setendite või kivimite hüdroteoloogilistest omadustest (veejuhtivus, veemahutavus), hüdraulilisest gradiendist, põhjaveekihi tüübist (vabapinnaline või survepinnaline) kui ka väljapumbatud vee kogusest ja pumpamise ajast (Domenico ja Schwartz, 1990, Barlow jt, 2018). Teoreetiliselt on Eesti põhjaveekomplekside keskmiste hüdroteoloogiliste parameetrite korral väikese veetarbimisega kaevu (<5 m³/ööpäevas) maksimaalne mõjuala <2000 m (kaugus, kus alandus on >10 cm) ja sedagi juhul, kui veevõtt kestaks 10000 päeva järjest (Kärner, 2013). Seirekaevude palju väiksema pumpamismahu ja -aja tõttu on nende mõjuraadius mitme suurusjärgu võrra väiksem ja piirdub mõne kuni kümne meetriga kaevu ümber. Selle loogika alusel on ka tarbekaevudele veevõtuga <10 m³/ööpäevas kehtestatud hooldusala raadiusega 10 m (Veeseadus, §154). Allikate toitealad on kaevudest suuremad. Näiteks on Jõgar (1983) modelleerinud Pandivere kõrgustiku allikate valglateks alad suurusega 30 – 100 km². Allikate puhul on aga ilma detailse analüüsita väga raske öelda, millises veekihtis selle vesi täpselt pärineb. Tihti toimub allikas erinevate põhjaveekihtide vee segunemine, kusjuures domineerima kipub tihti hoopis pinnakatte mitte aluspõhjalise põhjaveekihi signaal (Koit jt, 2023). See ei ole ilmselt oluline Põhja-Eestis, kus pinnakate on üldiselt õhuke, küll aga tuleks asjaoluga arvestada Lõuna-Eestis, kus pinnakate on oluliselt paksem ja selles asuvad veekihid on aluspõhjalistest erinevad nii oma keemilise koostise kui ka veevahetuse aja poolest.

Kui selles valguses vaadata viimast 2020. aastal läbi viidud PVKde seisundi hinnangut (Marandi jt, 2020), siis ilmnevad mõned vasturääkivused. Sealjuures tuleb kohe öelda, et suur osa neist ei ole tingimata seotud kasutatud seisundi hindamise meetodika sisemise kooskõllalisusega, vaid pigem küsimusega, kas see on rakendatav olukorras, kus seisundi hindamiseks kasutatavate seirekaevude hulk on väike. Vaatleme nt paari aspekti PVK nr 6 seisundi hinnangust, mille tulemused on esitatud joonisel 11.



Joonis 11. Seirepunktide paiknemine, nende mõjuulatused ning oluliste saasteainete kasvusuundumused Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogumis (Marandi jt, 2020)

2020. aastal läbi viidud põhjaveekogumite seisundi hinnangus kasutati seirekaevude mõjuraadiuse hindamiseks Thiesseni polügoone. Tegu on pindobjektidega, mis saadakse ruumianalüüsil ja mis iseloomustavad mingi punkti lähiümbrust määravat ala. Sealjuures toimub pinna (antud juhul PVK) jagamine osadeks sellel asuvate punktide omavaheliste kauguste kaudu, arvestamata mingilgi määral alal levivate geoloogiliste või hüdrogeoloogiliste tingimustega (nt põhjaveekihtide avamusalad, veevahetuse kiirus jms). Nii peaks näiteks PVK nr 6 seirekaevu 19028 seiretulemused iseloomustama 15% PVK territooriumist. Tegelikult selgus läbi viidud detailuuringu käigus, et seirekaev on halvas tehnilises seisundis ja varasemad saasteainete (nt fenoolid, naftasaadused) leiud on seotud seirekaevu vahetu lähiümbrusega Lasnamäe-Kunda veekihi avamusalal (tabel 2). Perioodi 2014 – 2019 PVK seisundi hinnangu aruandes toodi välja, et kaevu nr 19028 suured PHT_{Mn}, NH₄⁺ ja 1-aluseliste fenoolide sisaldused mõjutavad oluliselt PVK nr 6 keemilist seisundit, mis on hinnatud halvaks (Marandi jt, 2020). Lisaks nähtub jooniselt 11, et detailuuringute järgi halvas või väga halvas tehnilises seisundis kaevud nr 3537 ja 3980 iseloomustaksid ruumianalüüsi järgi omakorda veel lisaks 15% PVK territooriumist. Tegelikult piirdub kõigi kolme kaevu poolt iseloomustatav ala ilmselt kõige rohkem paari-kolme protsendiga PVK territooriumist.

Olukorras, kus seirekaevude arv PVKs on väike ja nende tehniline seisund ei ole kontrollitud või on halb, tuleks enne neist saadud tulemuste kasutamist põhjaveekogumi seisundi hinnangus esmalt anda

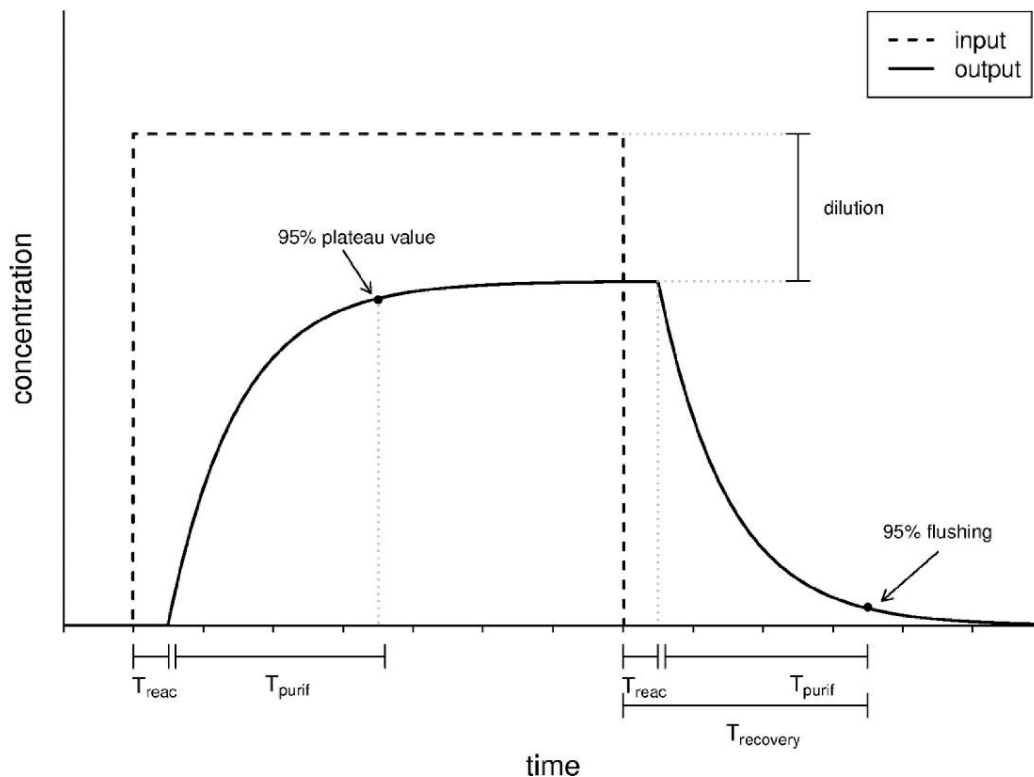
ülevaade iga konkreetse seirekaevu veetasest ja vee kvaliteeti mõjutavatest teguritest ning defineerida selle poolt iseloomustatav ala hoopis kaevu ümbritseva ala hüdroteoloogiliste tingimuste ning koormusallikate paiknemise alusel (nt põhjaveekogumi avamusala, hüdroteoloogilised tingimused, jääkreostus-objektide esinemine jne). Seire usaldusväärsuse ja esinduslikkuse parandamiseks on lisaks mitmeid täiendavaid võimalusi (nt põhjalikumalt seirata ainult teatud kindlaid tingimusi iseloomustavat tüüpala ja üldistada tulemusi ka mujale; looduslike ja väheste koormusallikatega PVKde kokku liitmine ja/või nendest vaid ühe põhjalikum seiramine), aga kõik see nõuaks põhjalikku PVK seirevõrgu revisjoni läbiviimist, millest oli juttu peatükis 3.2.

Ühe konkreetse ettepanekuna võiks kaaluda PVK üldise keemilise seisundi hindamise testis (test nr 1) kasutatavate seireandmete valimi laiendamist riikliku põhjaveeseire väliste seirete ja uuringute käigus kogutud andmetega (vt ka peatükk 3.2). Selle testi esimese sammuna hinnatakse nende seirekaevude osakaalu põhjaveekogumist, kus esines saasteainete hindamisperioodi keskmiste väärtuste puhul lävi- või piirväärtuste ületamisi (Marandi jt, 2020). Kui siia kaasata lisaks riiklikele seireandmetele ka teisi sobivaid ja ajakohaseid (nt sama veemajanduskava perioodist pärinevaid andmeid) saab parema usaldusväärsusega kindlaks teha, kas lävi- ja piirväärtuste ületamisi esineb rohkem kui 20% põhjaveekogumi pindalast. Kui selgub, et see nii on, saaks hilisemaid trendi ja kasvusuundumuste analüüsi läbi viia kasutades riiklike seirekaevude andmeid, kus on olemas selleks sobivad aegread. Tegu on ühe võimaliku lahendusega, mis vajaks kindlasti edasist analüüsi välja pakutud põhjaveekogumite seirevõrgu hindamise käigus, sest seireandmete valimi laiendamisel ei tohi katkeda järjepidevus varem läbiviidud põhjaveekogumite seisundi hinnangutega. Kui seirevõrgu analüüs tehtud, saab hinnata ka vajadust muuta seisundi hindamise metoodikat (vt tabel 6).

2020. aasta seisundi hinnangute järgi oli 6st Ida-Virumaa territooriumil levivast põhjaveekogumist neli halvas seisundis (nr 2, 6, 7 ja 27), üks heas aga ohustatud seisundis (nr 1) ning ainult üks heas seisundis (nr 5a; Marandi jt, 2020). Veepoliitika raamdirektiivi järgi tuleb hiljemalt 2027. aastaks saavutada Euroopa Liidus kõigi põhjaveekogumite hea seisund. Vaadates PVKde seisundeid Ida-Virumaal ja seal juba toimunud ning endiselt toimivat inimtegevust (nt kaevandused, keemiatööstus) tekib kahtlus, kas VRDs sõnastatud eesmärgid on Ida-Virumaal saavutatavad. Selle küsimuse käsitlemine nõuaks palju mahukamat analüüsi, kui selles kokkuvõtvas aruandes võimalik, aga toome esile ühe aspekti põhjavee kvaliteedi muutumise kohta põhjaveekihi pärast inimõju lakkamist. See on seotud põhjavee pika viibeajaga ja sellest tulenevate aeglase muutustega vee kvaliteedis.

Põhjaveekihi võivad saasteained püsida ka pikalt pärast reostusega seotud inimtegevuse lõppemist. Seda põhjustab aeglane vee voolamine põhjaveekihtides ja nende suur veemahutavus. Meetmete tõhususe hindamiseks on vaja teada, kas olukord, kus saasteainete sisaldused põhjavees ei lange, on

põhjustatud ebatõhusatest meetmetest või sellest, et põhjaveekiht käitub puhvrina, mille reageerimise kiirus meetmetele on aeglane. Allpool esitame Farlin jt (2022) poolt kirjeldatud teoreetilise mudeli põhjaveekihtide reageerimise kiiruse ja meetmete vahelise seose mõistmiseks (joonis 12). Kuigi mudel on algselt loodud põllumajanduslike kemikaalidega (nt nitraat, ravimi- ja pestitsiidi jäägid) seotud probleemistiku avamiseks, siis on see kasutatav ükskõik missuguse maapinnalt või aeratsioonivööst väljaleostuva antropogeense saasteaine korral (s.h atmosfäärist lähtuv saaste, jääkreostusobjektid).



Joonis 12. Saasteaine sisendi ("input"), väljundi ("output") ja veekihi reageerimise kiiruste (T_{reac} , T_{purif} , $T_{recovery}$) teoreetiline seos.

Joonisel esitatud lühendid on täpsustatud tekstis. Sisendi ja väljundi maksimaalsete sisalduste vahe ("dilution") on põhjustatud põhjaveekihtis toimuvast saasteaine lahjendumisest segunemisprotsessides. (Farlin jt, 2022)

Joonis 12 kirjeldab teoreetilist inimtegevusest pärineva saasteaine sisalduse muutust proovivõtukohas (nt tarbekaev, allikas; joonisel *output* ehk väljund), mis on põhjustatud selle väljaleostumisest aeratsioonivööst või pinnasest (joonisel *input* ehk sisend). Pärast saasteaine pinnasesse sattumist kulub teatud aeg, enne kui aine proovivõtukohta jõuab (T_{reac} ehk reaktsiooni aeg). Kui saasteaine voog pinnasesse on stabiilne, saabub teatud aja (T_{purif} ehk nn põhjavee saastumise ja/või isepuhastuse aeg) pärast olukord, kus ka aine sisaldus proovivõtukohas on stabiilne (nn plato). Kui inimõju lõppeb ja saasteaine enam pinnasesse ei jõua, algab vastupidine protsess. Nüüd tähistab ajaperioodi T_{reac} viibeaega, mis kulub põhjavee kvaliteedi reageerimiseks inimõju lakkamisel. Seejärel algab saasteaine sisalduse langus kuni veekihi täieliku isepuhastumiseni. Perioodi alates meetme rakendamisest kuni põhjavee kvaliteedi standardi saavutamiseni võib nimetada ka põhjavee kvaliteedi taastumise ajaks ($T_{recovery}$). Kui

saasteaine keelustatakse või selle koguseid vähendatakse enne platooväärtuse saavutamist, järgneb sisalduse tõusule selle vähenemine, mida nimetatakse kasvusuundumuse tagasipööramiseks.

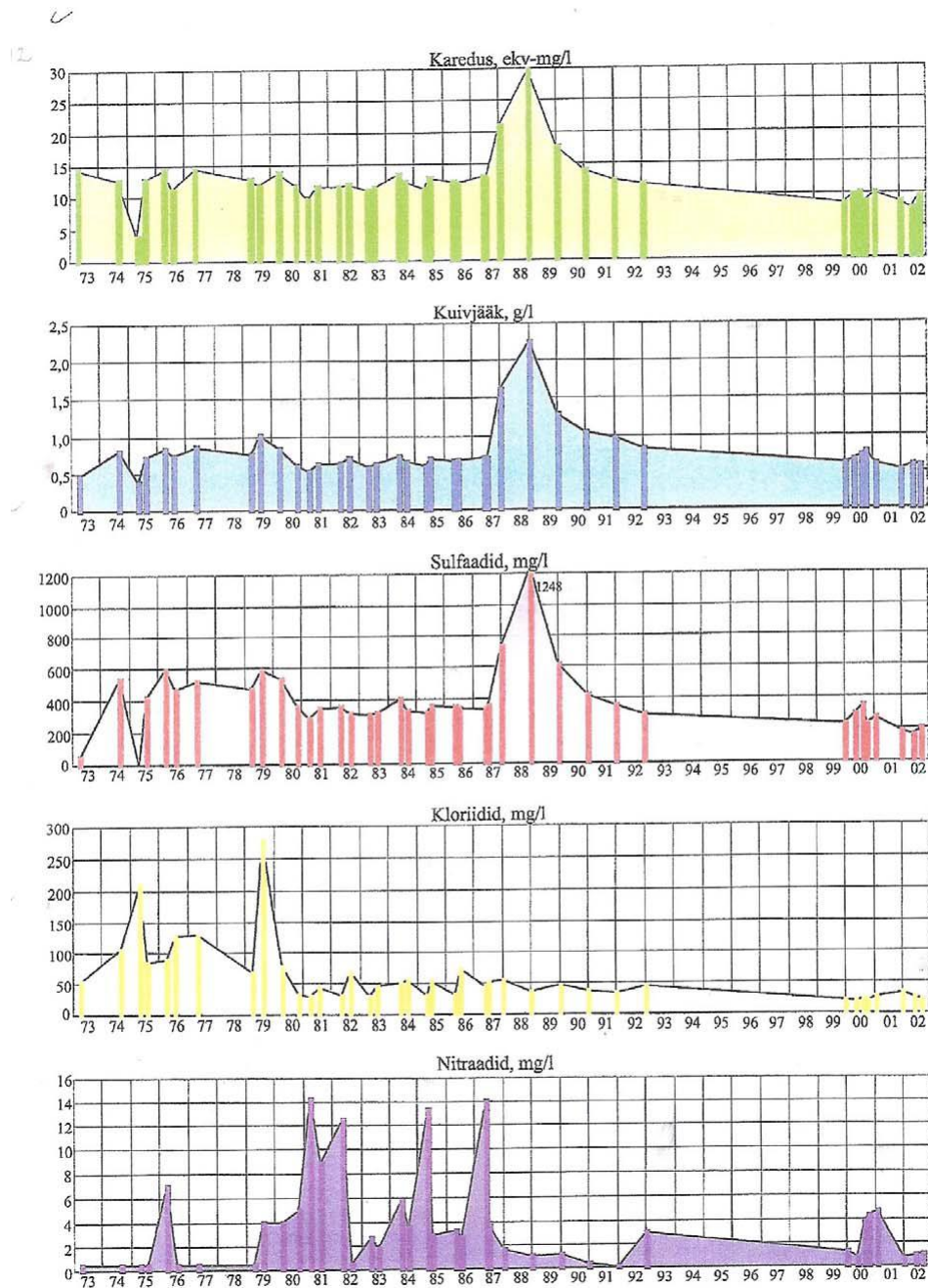
Kirjeldatud mudel kehtib idealiseeritud olukorras, kus põhjaveeosakeste liikumine on lihtsustatud ja kirjeldatud põhjaveeosakeste transpordiaja eksponentsiaalse jaotuse kaudu. Tegelik saasteaine käitumine looduses on keerulisem, aga mudel sobib kirjeldama üldisi saasteainete transpordiga seotud seaduspärasusi.

Veemajanduse seisukohast on oluline rõhutada kolme olulist aspekti (Wassenaar jt, 2006; Farlin jt, 2022). Esiteks, on rakendatud meetmete tõhususe hindamiseks vaja ettekujutust, kui pikk on ajavahemik alates meetme rakendamisest kuni positiivsete muutuste ilmneniseni põhjavee kvaliteedis (T_{reac}). Teiseks on veemajanduse seisukohast oluline hinnata, kui kaua võtab aega saasteaine sisalduse vähenemine seaduses sätestatud piirväärtuseni (T_{purif}). Kui see aeg on võrreldes seatud keskkonnanäesmärkidega liiga pikk, ei piisa eesmärkide saavutamiseks põhjavee looduslikust isepuhastumisest, vaid vaja on rakendada spetsiaalseid vee puhastamise meetmeid (nt veepuhastusjaama rajamine). Kolmandaks aitab kirjeldatud mudel prognoosida, kui suureks kasvab saasteaine sisaldus põhjaveekihi enne, kui aine kasvusuundumus tagasi pöördub. Nimetatud mudeli rakendamiseks mingis konkreetse põhjaveekihi on vaja lisaks saasteainete sisend- ja väljundväärtustele määrata põhjavee vanust kirjeldavate ainete sisaldusi (nt ^3H , CFC, SF_6 , ^{85}Kr jne).

Käesoleval hetkel on Ida-Virumaa põhjaveekogumitest põhjavee viibeaega ja saasteainete transporti kvantitatiivsete mudelitega uuritud vaid vähesel määral (nt Vallner jt, 2015) ja peamiselt on keskendunud põhjavee dünaamika modelleerimisele. Siiski saab väita, et isegi olukorras, kui põhjavee seisundit mõjutavat inimtegevust (nt põlevkivi kaevandamine ja sellega seotud veevõtt) lähiajal oluliselt vähendada või see sootuks lõpetada, võiks ehk 2027. aastaks saavutada Ida-Virumaa PVKde hea koguselise seisundi aga suure tõenäosusega mitte nende head keemilist seisundit. Viimane on nähtav kasvõi varasemalt suletud kaevanduste vee kvaliteedi muutustes. Selle alusel saab väita, et sulfaadi sisalduste vähenemine suletud kaevanduste piirkonnas alla PVKle nr 7 kehtestatud läviväärtust (250 mg/l) võib aega võtta vähemalt 5 – 10 aastat või isegi kauem (joonis 13). PVK nr 7 uuringu (Raidla jt, 2023b) tulemused näitavad, et kohati ületavad sulfaadi sisaldused kehtestatud läviväärtust isegi nende suletud kaevanduste läheduses, mis lõpetasid töö juba aastakümneid tagasi.

Keemiliselt inertsete orgaaniliste saasteainete (nt PAH-id ja fenoolid) leostumine põhjavette võib toimuda aga veel pikema aja jooksul nagu näitavad LIFE IP CleanEST uuringute raames kogutud põhjaveeproovid Purtse ja Kohtla jõgede lähedalt. Lisaks töid tegevuse C.9 raames PVKs nr 7 läbi viidud uuringud välja, et selliste orgaaniliste ainete nagu fenoolide ja PAH-ide sisaldused võivad muutuda

lühikese aja jooksul samas puurkaevus suurel määral. Veelgi suuremad erinevused ilmnevad erinevate proovivõtumeetodite kasutamisel (pumpamine vs. proovivõtutoru). Seega soovitame läbi viia täiendavaid uuringuid, mis võimaldaksid analüüsida PAH-ide ja fenoolide sisalduste sesoonset muutlikkust põhja- ja pinnavees ning hinnata erinevate proovivõtu meetodikate mõju saadud tulemustele.



Joonis 13. Kareduse, kuivjäägi, sulfaadi, kloriidi ja nitraadi sisalduse muutused suletud Kiviõli kaevanduse ärarajhitavas vees. Kaevandus töötas perioodil 1973 – 1988 (Perens jt, 2010).

Eelnevale arutelule tuginedes on tabelis 6 esitatud tegevuse C.9 raames läbi viidud uuringutest tulenevate soovituste kokkuvõtte põhjaveekogumite seisundi hinnangute meetodika täiendamiseks ja veeressursside paremaks majandamiseks Ida-Virumaaga seotud põhjaveekogumites.

Tabel 6. Üldised soovitused põhjaveekogumite seisundi hinnangute metoodika täiendamiseks ja veeressursside paremaks majandamiseks Ida-Virumaaga seotud PVKdes

Põhjaveekogumi nr	Soovituse objekt	Soovituse kirjeldus	Lisada põhjavee meetmeprogrammi / Üldine soovitus	Prioriteet*
Kõik kogumid	Põhjaveekogumite seisundi hinnangud	Analüüsida ja vajadusel muuta põhjaveekogumite seisundi hindamise metoodikat nii, et üksiku seirekaevu tulemused ei avaldaks ebaproportsionaalselt suurt mõju PVK seisundi hinnangutele. Tuleks kaaluda ka, kas seisundi hinnangute testides oleks võimalik mingil kujul kasutada kogu olemasolevat andmestikku (nt riiklik põhjaveeseire, ettevõtete põhjavee omaseire, teadus- ja rakendus-uuringud). Mida suurem on seisundi hindamiseks kasutatav valim, seda usaldusväärsemad ja statistiliselt olulisemad on statistiliste meetodite abil saadud seisundi hindamise tulemused. Näiteks põhjaveekogumite seisundi hinnangutes (Türk, 2014; Marandi jt, 2020) on PVK nr 6 halva seisundi põhjusteks fenoolid, NH ₄ ⁺ ja PHT. LIFE IP CleanEST uuringutes kogutud suure andmehulga põhjal saaks täiendavalt analüüsida PVK nr 6 seisundit nimetatud näitajate osas. Samuti on PVK nr 7 puhul üheks halva seisundi põhjuseks toodud fenoolid, ning sarnaselt võimaldaksid LIFE IP CleanEST tulemused täiendada PVK nr 7 hinnangut ka fenoolide suhtes.	Üldine soovitus	1
Kõik kogumid	PAH-id	LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C.9 raames läbi viidud uuringud näitasid, et PAH-ide sisaldusi on võimalik rakendada reostusallikate määratlemiseks ning põhja- ja pinnavee vastastikmõju hindamisel. Ühtlasi jäid silma nii fenoolide kui PAH-ide sisalduste suured muutused lühikese aja jooksul samas suurkaevus. Veelgi suuremad erinevused ilmsesid erinevate proovivõtumeetodite kasutamisel (pumpamine vs. proovivõtutoru). Seega soovitame läbi viia täiendavaid uuringuid, mis võimaldaksid: kontrollida erinevate proovivõtumeetodite mõju analüüsitulemustele (nii PAH-id kui fenoolid); koguda juurde PAH-ide andmeid erinevat tüüpi põhjaveest ja reostuskolletest; analüüsida PAH-ide sisalduste sesoonset muutlikkust põhja- ja pinnavees; hinnata looduslikku PAH-ide taustataset (foonväärtust) ja laiendada üldiseid teadmisi PAH-ide geokeemilisest käitumisest Eesti põhjaveesüsteemides. <u>Enne käesoleva uuringuga alustamist tuleb koostada detailne lähteülesanne.</u>	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	2
1, 2, 5a, 6, 7, 27	Joogiveeressursid Ida-Virumaal	Alustada aruteludega ja viia läbi analüüs ning uuringuid, leidmaks joogivee kvaliteedile vastavat vett Ida-Virumaa varustamiseks, nt mageveereservuaari loomine mõnel kaevandatud alal.	Lisada põhjavee meetmeprogrammi	1
27	Looduslik taustatase	Põhjaveekogumi looduslike taustatasete (As, Hg, Ba, fenoolid) objektiivsemaks arvutamiseks soovitame koguda täiendavalt proove, kuna praegused taustataseted on arvatud vähese andmestiku põhjal, mis ei taga piisavat statistilist usaldusväärust.	Üldine soovitus	2

*1 – vajalik läbi viia selle või järgmise veemajanduskava perioodi (2022 – 2033) jooksul; 2 – läbi viia ja ajastada vastavalt vajadusele

Kokkuvõte

LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C.9 raames viidi läbi põhjalikud uuringud viies Viru alamvesikonda kuuluvas põhjaveekogumis (Raidla ja Truu, 2020; Karro jt, 2021; Raidla ja Truu, 2022; Raidla jt, 2023a; Raidla jt, 2023b) – Kambriumi-Vendi Gdovi (nr 1), Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa (nr 5a), Ordoviitsiumi Ida-Viru (nr 6), Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini (nr 7) ja Kvaternaari Vasavere (nr 27). Uuringute käigus: selgitati põhjavee üldist hüdrogeokeemilist varieeruvust põhjaveekogumites, s.h orgaaniliste saasteainete (olenevalt PVKst – fenoolid, PAH-id, naftasaadused) ja kloriidi (PVK nr 1) levikut ja esinemise põhjusi; kirjeldati mikrokomponentide (arseeni, baariumi ja elavhõbeda) levikut ja arutati nende looduslikud taustatasemed PVKdes nr 5a, 6, 7 ja 27; hinnati PVK nr 7 põhjavee sobivust joogiveeallikana ning mõju ümbritsevate PVKde nr 5a ja 6 vee kvaliteedile.

Uuringute käigus viidi läbi ka detailuuringud 14 riiklikus seirekaevus ning nende lähiümbruses, eesmärgiga kontrollida seirekaevude tehnilist seisundit ja selgitada erinevate saasteainete (sulfaat, fenoolid, naftasaadused, tri- ja tetrakoloreteen ning ftalaadid) suurte sisalduste ning kasvusuundumuse põhjusi. Hinnati, kas saasteaine levik on seotud vaid kindla seirekaevuga või esineb seda ümbruskonnas laiemalt.

Uuringute tulemused näitasid põhjavee keemilise koostise suurt muutlikkust PVKdes, mis koondavad endas mitut põhjaveekihti (nr 6 ja 7) ja/või sisaldasid nii aktiivset kui passiivset veevahetuse tsooni (nr 1 ja 5a). Kontrollitud 14 riikliku seirekaevu puhul seal varem tuvastatud saasteaineid enamasti ei leitud. Tõdeti, et varasemad leiud võisid olla seotud kas lokaalsete allikatega kaevu lähiümbruses, kaevu rekonstrueerimistöõde ja kaevu halva tehnilise seisukorraga või ebatäpse määramismetoodikaga. Põhjavees esinev baarium on enamasti looduslikku päritolu, elavhõbedat PVKde vees peaaegu ei esine ning naftasaaduste, fenoolide ja arseeni leiud esinevad PVKdes hajusalt ning on enamasti seotud lokaalsete allikatega (nt jäätmeladestud, poolkoksimeäed, saastunud pinnas, lehe- või männivaris, maanteed). Joogivee seisukohast takistavad PVK nr 7 kasutuselevõttu vee suured sulfaadi, raua ja mangaanisisaldused. Esimene näitaja on põhjustatud piirkonnas toimunud kaevandustegevusest ja intensiivistunud püriidi oksüdatsioonist, teised pigem looduslikku päritolu.

Uuringute tulemusi analüüsid soovitatakse viia läbi riikliku seirevõrgu hindamine ning kaaluda muutusi riikliku põhjavee seire ülesehituses ja PVKde seisundi hinnangute meetodikas. Uuringu tulemused näitasid, et saasteained ja nende kasvusuundumused, mille alusel on PVK seisund hinnatud halvaks, on tihti seotud seirekaevu-spetsiifiliste põhjustega. Sellises olukorras oleks vaja põhjaveeseire eesmärgistada ja kaaluda võimalusi riikliku põhjavee seirevõrgu tihendamiseks, kaasates seisundi

hinnangutesse ka väljaspool riikliku seirevõrku kogutud andmeid (nt ettevõtete põhjavee omaseire, ühekordsed teadus- ja rakendusuuringud). Viimased iseloomustaksid põhjavee koguselist ja keemilist seisundit koormusallikate lähiümbruses samal ajal kui riiklik põhjavee seirevõrk võiks keskenduda peamiselt loodusliku fooni seiramisele.

Samuti ei tohi põhjaveekogumite puhul unustada, et tegu on põhjavee majandamiseks loodud üksustega, mis koosnevad erinevatest põhjaveekihtidest. Viimased erinevad üksteisest nii oma veevahetuse aja, veeanni kui ka vee kvaliteedi poolest. Puur- ja seirekaeve, samuti soojus- ja uuringupuurauke rajades peab olema tagatud, et ei toimuks erinevate põhjaveekihtide omavahelist segunemist. Iseäranis oluline on jälgida puurkaevude tehnilist seisundit kaevandustööde piirkonnas, sest tihti võib ühendus maapinnalähedaste ja sügavamate põhjaveekihtide vahel (nt O₂Is-kn või O-Cm) tekkida läbi kaevu vigastatud mantelkorude.

Uuringud tõid veelkord esile joogiveeks sobiva kvaliteediga põhjavee vähesuse probleemi Ida-Virumaa põhjaveekogumites. Sellega seoses soovitatakse algatada diskussiooni, samuti on vajalikud täiendavad uuringud, et leida joogivee kvaliteedile vastava veega varustamise võimalused Ida-Virumaal (näiteks mageveereservuaari loomine mõnel kaevandatud alal).

Kasutatud kirjandus

Barlow, P.M., Leake, S.A., Fienen, M.N., 2018. Capture Versus Capture Zones: Clarifying Terminology Related to Sources of Water to Wells. *Groundwater* 56, 694–704.

Domenico, P.A. and Schwartz, F.W., 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley and Sons, New York.

European Communities, 2007. Guidance Document No.15. *Guidance on Groundwater Monitoring. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*. European Communities, Luxembourg.

Farlin J., Gallé, T., Bayerle, M., Pittois, D., 2022. On using lumped-parameter models in groundwater protection zones to predict aquifer response to reduced agrochemical input. *Journal of Hydrology* 613, 128306.

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. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 205, 187–210.

Howarth, W., 2006. The Progression towards Ecological Quality Standards. *Journal of Environmental Law* 18, 3–35.

Jõgar, P., 1983. Схематизация условий геофильтрации на Пандивереской возвышенности Эстонии. *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised. Geoloogia / Известия Академии Наук Эстонской ССР. Геология*, 32, 69–78.

Karro, E., Hunt, M., Raidla, V., Truu, M., 2021. *Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumi hüdroteoloogilised uuringud*. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Keskkonnaministri 17.07.2015 määrus nr 43 „Nõuded salvkaevu konstruktsiooni, puurkaevu või -augu ehitusprojekti ja konstruktsiooni ning lammutamise ja ümberehitamise ehitusprojekti kohta, puurkaevu või -augu projekteerimise, rajamise, kasutusele võtmise, ümberehitamise, lammutamise ja konserveerimise korra ning puurkaevu või -augu asukoha kooskõlastamise, ehitusloa ja kasutusloa taotluste, ehitus- või kasutusteatise, puurimispäeviku, salvkaevu ehitus- või kasutusteatise, puurkaevu

või -augu ja salvkaevu andmete keskkonnaregistrisse kandmiseks esitamise ning puurkaevu või -augu ja salvkaevu lammutamise teatise vormid“

Kärner, R., 2013. Väikese tarbimisega puurkaevude mõju sõltuvus põhjaveekihtide hüdrodünaamilistest parameetritest Eestis (Bakalaureusetöö, Tartu ülikool). Tartu.

Koit, O., Retiķe, I., Bikše, J., Terasmaa, J., Tarros, S., Abreldaal, P., Babre, A., Hunt, M., Pärn, J., Vainu, M., Marandi, A., Sisask, K., Lode, E., Männik, M. 2023. Hydrochemical signatures of springs for conceptual model development to support monitoring of transboundary aquifers. *Groundwater for Sustainable Development* 21, 100927. DOI: 10.1016/j.gsd.2023.100927.

Kõrgmaa, V., Usin, E., Leisk, Ü., Laht, M., Värk, V., Otsmaa, S., Pachel, K., Jaaku, J., Kriipsalu, M., Pehme, K., Tamm, I., Albreht, L., Lukk, M., Liepkalns, L., Marandi, A., Pärn, J., Raidla, V., Vooro, K., 2020. Hajaasustuspiirkondade joogivee kvaliteedi ja -süsteemide uuring. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

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

Marandi, A., Karro, E., Osjamets, M., Polikarpus, M., Hunt, M. 2020. Eesti põhjaveekogumite seisund perioodil 2014-2019. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Metsur, M., Kupits, K., Tamm, I., 2015. Jääkreostusobjektide inventariseerimine 2014-2015. Purtsu, Erra ja Kohtla jõgede ning fenoolisoo reostusuuringute aruanne. EKUK ja AS Maves, Tallinn.

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 põhjaveevärvade hinnangu andmine. Eesti Geoloogiakeskus, hüdroloogia osakond, 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.

Põhjaveedirektiiv 2006/118/EÜ. Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2006/118/EÜ, 12. detsember 2006, mis käsitleb põhjavee kaitset reostuse ja seisundi halvenemise eest. Euroopa Liidu teataja.

Pärn, J., 2018. Origin and Geochemical Evolution of Palaeogroundwater in the Northern Part of the Baltic Artesian Basin. (Doktoritöö, Tallinna tehnikaülikool). TTÜ Kirjastus, Tallinn.

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., Truu, M., 2020. Hüdroteoloogiline uuring kloriidide päritolu ja sisalduse tõusu põhjuste väljaselgitamiseks Gdovi põhjaveekogumis Ahtme ja Rakvere piirkonnas. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Raidla, V., Truu, M., 2022. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogumi Ida-Eesti vesikonnas hüdroteoloogilised uuringud. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Raidla, V., Truu, M., Tarros, S., 2023a. Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogumi hüdroteoloogilised uuringud. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Raidla, V., Truu, M., Tarros, S., 2023b. Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi hüdroteoloogilised uuringud. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Ritso, K., Kirs, L., I. Tamm, I., 2008. Purtse jõe põhjasetete ohtlike ainete uuring Purtse jõe majandamise kavaks. AS Maves, Tallinn.

Savitski, L., 2000. Hüdroteoloogilised tingimused. Kogumikus: Eesti Põlevkivi: geoloogia, ressurs, kaevandamistingimused (toimetajad) Kattai, V., Saadre, T., Savitski, L. Akadeemia Trükk, Tallinn, 93–104.

Savitski, L., Savva, V., 2009. Hüdroteoloogiliste muutuste prognoosid seoses Uus-Kiviõli kaevanduse avamise ja Aidu karjääri sulgemisega. Eesti Geoloogiakeskus, hüdroteoloogia osakond, Tallinn.

Terasmaa, J., Vainu, M., Lode, E., Pajula, R., Raukas, A., 2015. Põhjaveekogumi veest sõltuvad ökosüsteemid, nende seisundi hindamise kriteeriumid ja seirevõrk. TLÜ ökoloogia instituut, Tallinn.

Terasmaa, J., Jõelet, A., Vainu, M., Kohv, M., Vandell, E., Puusepp, L., Kapanen, G., Vaasma, T., Polikarpus, M., Koit, O., 2019. Hüdrogeoloogilise ja limnoloogilise uuringu läbiviimine koos Loodusdirektiivi järvedele lubatava veetaseme kõikumise vahemiku määramisega Kurtna maastikukaitsealal. Tallinna Ülikool, Loodus- ja terviseteaduste instituut, Ökoloogia keskus ja Tartu Ülikool, Loodus- ja täppisteaduste valdkond, ökoloogia ja maateaduste instituut.

Türk, K., 2014. Põhjaveekogumite seisundi hindamine. I etapp. OÜ Hartal Projekt, Kuressaare.

Vallner, L.; Gavrilova, O.; Vilu, R., 2015. Environmental risks and problems of the optimal management of an oil shale semi-coke and ash landfill in Kohtla-Järve, Estonia. Science of The Total Environment 524, 400–415.

Vaht, R., 2014. The impact of oil shale mine water on hydrological pathways and regime in northeast Estonia (Doktoritöö, Tartu ülikool). Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu.

Veepoliitika raamdirektiiv 2000/60/EÜ. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2000/60/EÜ, 23. oktoober 2000, millega kehtestatakse ühenduse veepoliitika alane tegevusraamistik.

Veeseadus (30.01.2019). Riigi Teataja I. Kasutatud 09.11.2023, <https://www.riigiteataja.ee/akt/122022019001?leiaKehtiv>

Vlachopoulou M., Coughlin, D., Forrow, D., Kirk, S., Logan, P., Voulvoulis, N., 2014. The potential of using the Ecosystem Approach in the implementation of the EU Water Framework Directive. Science of the Total Environment 470–471, 684–694.

Voulvoulis, N., Arpon, K.D., Giakoumis, T., 2017. The EU Water Framework Directive: From great expectations to problems with implementation. Science of the Total Environment 575, 358–366.

Wassenaar, L.I., Hendry, J.M., Harrington, N., 2006. Decadal Geochemical and Isotopic Trends for Nitrate in a Transboundary Aquifer and Implications for Agricultural Beneficial Management Practices. Environ. Sci. Technol. 40, 4626-4632.