



Juhend hüdrogeoloogiliste  
tingimustega arvestamiseks  
põhjavee seirel ja puurkaevude  
rajamisel, puhastamisel ning  
ümberehitamisel  
(põhineb tegevuse C.9 uuringutel)

Juhend hüdrokeoloogiliste tingimustega arvestamiseks põhjavee seirel ja puurkaevude rajamisel,  
puhastamisel ning ümberehitamisel

## JUHEND

Töögrupi juht: Merle Truu

Töögrupi liikmed: Joonas Pärn

Soovitav viitamine: Pärn, J., Truu, M., 2024. Juhend hüdrokeoloogiliste tingimustega arvestamiseks põhjavee seirel ja puurkaevude rajamisel, puhastamisel ning ümberehitamisel. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

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

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

---

Summary.....	4
1. Sissejuhatus.....	6
2. Ida-Virumaa põhjaveekihtide, põhjaveekogumite ja põhjavee keemilise koostise omavahelised seosed.....	8
2.1 Ida-Virumaa hüdrokeoloogiline ehitus.....	9
2.2 Ida-Virumaa põhjavee keemiline koostis ja selle kujunemine.....	15
3. Soovitused põhjaveekihtide erinevustega arvestamiseks põhjavee seirel ja puurkaevude rajamisel, puhastamisel ja ümberehitamisel.....	29
3.1 Soovitused põhjavee kvaliteedi seireks Ida-Virumaal .....	29
3.2 Tähelepanekud ja soovitused puurkaevude projekteerimiseks, puhastamiseks ja ümberehitamiseks.....	37
3.2.1 Mantelrutagune isolatsioon ja manteltorus esinevad lekkekohad .....	39
3.2.2 Kahe erineva veekihi avamine ühes puurkaevus .....	43
3.2.3 Lähestikku asuvate puurkaevude avatud osade sügavuste kattumine.....	45
Kasutatud kirjandus .....	50

## Summary

During the period of 2019 – 2023 various groundwater studies were conducted in the framework of action C.9 of the LIFE IP CleanEST project. Five groundwater bodies in the Viru sub-basin 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). The studies were carried out with an aim to understand several issues related to groundwater quality and its formation, but also to clarify the spatial distribution of various substances (e.g., Ba, As, Hg, PAHs, phenols) in aquifers of the Viru sub-basin.

The results of these groundwater studies showed that it is important to take into consideration the differences between aquifers belonging to the same groundwater body. This is especially important when preparing monitoring plans and groundwater body status assessments, as well as during reconstruction and drilling of both monitoring and production wells. Also, to carry out the aims and measures stated in the water management plans, the local hydrogeological conditions need to be understood. Without such understanding, it is not possible to develop effective measures for the preservation or improvement of status for groundwater bodies in good and bad status, respectively. Secondly, the studies showed several problems that are related to construction of both monitoring and production wells. The problems were related to insufficient isolation around the well casing, wells that opened two different aquifers and wells damaged by mining activities in the area.

Taking all this into consideration, a guide was prepared to help put the results from groundwater studies into practice. The guide is divided into two parts. The first part of the guide describes the hydrogeological conditions in the Ida-Viru County, i.e., the main aquifer systems in the area and their connections with the groundwater bodies in the region. An overview of the hydrogeological structure of the region is provided together with the characterization of most important aquifers and chemical composition of groundwater within them. It is stressed why it is important not to treat the terms “groundwater body” and “aquifer” as synonyms. The first term is related to groundwater management within the framework of Water Framework Directive, while the second is a hydrogeological unit which is delineated based on different hydrodynamic properties of sediments and rocks in the subsurface. To better illustrate the themes related to groundwater chemistry both conceptual models and specific examples from action C.9 studies are used.

The second part of the guide consists of practical recommendations concerning programmes for groundwater quality monitoring and for the correct construction and maintenance of boreholes and

monitoring wells in the Ida-Viru County. The source of the last topic is related to §9 subsection 1 point 3 of Regulation No. 43 of 09.07.2015 of the Minister of the Environment, which enacts the requirement that during the construction of a borehole or dug well, the inflow of contaminated water, including water from the upper aquifers into the aquifer opened by the borehole or well, must be excluded. Based on the results of the studies carried out as part of the LIFE IP CleanEST project, the importance of isolating different aquifers from each other is emphasized to prevent the mixing of water from different aquifers. Also, a more specific theme on how to plan and construct monitoring well nests consisting of several wells in close proximity but opening different aquifers, is addressed. To facilitate the planning and implementation of programmes for monitoring groundwater quality, a summary is provided that relates the most important point and diffuse contamination sources with their respective chemical markers (i.e., substances and ions). These lists can be used to decide which ions and parameters to monitor when an impact of a specific pressure on groundwater quality is suspected.

The guide is primarily intended as a tool for institutions and persons whose work is related to various types of groundwater monitoring and water quality issues, as well as to the construction and maintenance of wells and boreholes in the Ida-Viru County (e.g., local governments, water users, persons who prepare projects for wells, environmental specialists, persons who issue environmental permits, etc.).

# 1. Sissejuhatus

Käesolev juhend on koostatud vastavalt Kliimaministeeriumi (KliM) ja Eesti Geoloogiateenistuse (EGT) vahel 17. juulil 2019. a sõlmitud koostöökokkuleppe lepingule nr 4-6/50/3. Partnerlusleping on sõlmitud seoses projektiga LIFE IP CleanEST (LIFE Grant Agreement no LIFE17 IPE/EE/000007; 14. detsember 2018). Projekti LIFE IP CleanEST üheks tegevuseks oli aastail 2019 – 2023 läbi viia erinevaid põhjaveeuuringuid viies Viru alamvesikonna territooriumile jäävas põhjaveekogumis: Kambriumi-Vendi Gdovi (nr 1), Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas (nr 5a), Ordoviitsiumi Ida-Viru (nr 6), Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini (nr 7) ja Kvaternaari Vasavere (nr 27). Põhjaveeuuringute peamiseks eesmärgiks oli selgitada põhjavee kvaliteedi ja selle kujunemisega seotud küsimusi ning erinevate ainete levikut Ida-Virumaa põhjaveekogumite põhjavees. Ühtlasi kontrolliti riiklikku põhjavee seirevõrku kuuluvate seirepuurkaevude tehnilist seisundit. Kõik projekti LIFE IP CleanEST uuringute raames kogutud seireandmed on leitavad Keskkonnaseire infosüsteemist KESE (KESE, 2024).

Projekti LIFE IP CleanEST käigus läbi viidud põhjaveeuuringute (Raidla ja Truu 2020; Karro jt 2021; Raidla ja Truu 2022; Raidla jt 2023a; Raidla jt 2023b; Truu jt 2023) tulemused näitasid, et oluline on osata arvestada ühte põhjaveekogumisse kuuluvate erinevate põhjaveekihtide eripäradega nii seireplane ja põhjaveekogumite seisundi hinnanguid koostades, kui ka seire- ja puurkaeve rajades, puhastades ning ümber ehitades. Veemajanduskavade seisukohast on tähtis mõista piirkondlikke hüdroteoloogilisi tingimusi, et väljatöötatud meetmed aitaksid kaasa heas seisundis põhjaveekogumite seisundi säilimisele ning halvas seisundis olevate põhjaveekogumite seisundi paranemisele.

Juhend koosneb kahest osast. Esimene, peatükk nr 2, kirjeldab üldiselt Ida-Virumaa hüdroteoloogilisi tingimusi, põhjaveekihte ja nende seoseid Ida-Viru maakonnas moodustatud põhjaveekogumitega. Peatükis antakse ülevaade piirkonna hüdroteoloogilisest ehitusest, olulisematest põhjaveekihtidest ja nende vee kvaliteedi kujunemisest. Juhendi teine osa, peatükk nr 3, koosneb praktilistest soovitustest põhjavee kvaliteedi seire planeerimiseks ning puur- ja seirekaevude korrektseks rajamiseks ning ümberehitamiseks Ida-Virumaal. Viimase teema lähtepunktiks on keskkonnaministri 09.07.2015 määruse nr 43 §9 lõige 1 punkt 3, mis sätestab puurkaevu või -augu konstruktsiooni kohta nõude, et välistama peab saastunud vee, sh ülemiste põhjaveekihtide vee sissevoolu puurkaevuga või -auguga avatavasse põhjaveekihti. Projekti LIFE IP CleanEST raames läbi viidud uuringute tulemuste põhjal selgitatakse erinevate põhjaveekihtide isoleerimise ja üksteisest eraldatuse tähtsust ehk erinevate veekihtide segunemise vältimise olulisust.

Juhend on eelkõige mõeldud töövahendiks asutustele ja isikutele, kes puutuvad kokku erinevat liiki põhjaveeseire ja veekvaliteedi küsimustega, samuti puurkaevude rajamise, puhastamise ja ümberehitamise töödega Ida-Virumaal (nt kohalikud omavalitsused, veekasutajad, puurkaevude projekteerijad, keskkonnaspetsialistid, keskkonnalubade andjad jne).

## 2. Ida-Virumaa põhjaveekihtide, põhjaveekogumite ja põhjavee keemilise koostise omavahelised seosed

Seoses Euroopa Liidu Veepoliitika raamdirektiivi (2000/60/EÜ) ülevõtmisega, on Eesti põhjavee majandamise ja kaitse korraldamisel alates 2004. aastast liigitatud siinseid põhjaveeressursse põhjaveekogumiteks. Põhjaveekogumi ametlikuks definitsiooniks on Veeseaduses „põhjaveekihi või -kihtides selgesti eristatav veemass”. Teisiti öeldes on põhjaveekogum veemajanduslik üksus, mis koosneb erinevatest põhjaveekihtidest, aga mille piirid ei pruugi kattuda põhjaveekihtide looduslike piiridega. Põhjavee jagamine erinevateks põhjaveekogumiteks peaks hõlbustama põhjavee kasutamise ja kaitse kavandamist veemajanduskavades. See hõlmab ainult selliseid põhjaveeressursse, mida hetkel kasutatakse, mida soovitakse tulevikus joogiveeallikana kasutusele võtta, või mis on mingil muul põhjusel olulised (nt pinnaveekogude seisundi mõjutajana; Põhjaveekomisjon, 2004).

Põhjaveekihi definitsiooniks Veeseaduses on „üks või mitu maa-alust kivimikihti või muud geoloogilist kihti, mis on piisavalt poorsed ja läbilaskvad, et põhjavesi saaks seal märkimisväärset ulatust voolata, või millest saab olulises koguses vett võtta”. See definitsioon lähtub Veepoliitika raamdirektiivist ja rõhutab veekasutuse aspekti. Geoloogilises mõttes on põhjaveekihid hüdrostratigraafilised üksused, mis jagavad maapõue vett suhteliselt hästi juhtivateks ja halvemini juhtivateks kihtideks, võttes aluseks setete ja kivimite vettjuhtivaid omadusi (nt filtratsioonikoefitsient, veejuhtivus, efektiivne poorsus). Eesti hüdrostratigraafilises jaotuses on põhiüksuseks põhjaveekompleks (põhjaveeladestik), mis koosneb mitmest sarnaste omadustega põhjaveekihtidest (veelademetest). Põhjaveekihi moodustab enam-vähem ühtlase litoloogilise koostisega poorsetes kivimites või setetes (nt lubjakivi, liivakivi, liiv) ulatuslikul alal leviv põhjavesi (Põhjaveekomisjon, 2004). Neid eraldavad teineteisest erineva ulatuse ja isolatsioonivõimega veepidemed. Põhjaveekihid erinevad üksteisest nii neis esineva põhjavee päritolu, vee liikumise ja veevahetuse kiiruse kui ka geoloogilise ehituse (sh mineraloogilise koostise) poolest. Üks põhjaveekogum võib enda alla koondada mitut erinevat põhjaveekihti.

Põhjaveekihtide ja põhjaveekogumite piirid kattuvad enam sügavamal paiknevate üksuste puhul, aga maapinnale lähemal esineb nende vahel märkimisväärseid erinevusi. Seda põhjusel, et põhjaveekogumid on moodustatud mitte pelgalt piirkonna (hüdro)geoloogiliste tunnuste alusel, vaid arvestavad ka erinevate inimtegevusest lähtuvate mõjude ehk koormustega (nt põllumajandus, kaevandamine, põhjaveevõtt), mis võivad mõjutada nii maapõues oleva põhjavee kogust kui ka selle kvaliteeti. Maapinnalähedaste põhjaveekogumite väljaeraldamisel on eriti Ida-Eesti vesikonnas, kus võrreldes Lääne-Eestiga on inimõju põhjaveele suurem, enam lähtunud administratiivpiiridest ja erinevatest koormusallikatest (nt põhjaveekogumid Pandivere nitraaditud alal ja Ida-Viru



põlevkivibasseini piirkonnas) kui põhjaveekihte moodustavate setete ja kivimite levikust ning põhjavee voolusuundadest (Perens jt, 2012).

Põhjavee liikumise ja koostise kujunemisel on kasulik üksteisest eristada kahte aspekti. Esmalt on igal põhjaveekihil oma ulatus, mis sõltub seda moodustavate kivimite ja setete levikust piirkonna geoloogilises läbilõikes. Teiseks esineb igas põhjaveekihis üks või mitu põhjavee voolusüsteemi, mille moodustavad põhjavee toiteala, kus toimub vee infiltreerumine maapinda ja väljavooluala, kus põhjavesi voolab kas pinnaveekogusse, merre või avaneb maapinnal allikatena. Sügavamate põhjaveekihtide puhul lisandub nende vahele veel põhjavee siirde- ehk transpordiala, kus põhjavesi liigub toitealalt väljavooluala suunas.

## 2.1 Ida-Virumaa hüdroteoloogiline ehitus

Eesti (sh Ida-Virumaa) setted ja kivimid saab põhjavee esinemise seisukohalt jaotada kolmeks (Perens ja Vallner, 1997): valdavalt vabapinnaline põhjavesi pinnakattes, vabapinnaline või survealine põhjavesi aluspõhja settekivimites ja peaaegu staatiline survealine vesi settekivimite all lasuvas kristalses aluskorras. Setete ja settekivimite maapinnalähedases osas on põhjaveekihtid valdavalt väikese ulatusega (lokaalsed) ja põhjavee voolamine neis on seotud kohaliku reljeefi ja vooluvete võrguga. Põhjavee voolusüsteemid on seal väikese ulatusega ning põhjavee toiteala ja väljavooluala paiknevad suhteliselt lähestikku. Mida sügavamal põhjaveekiht asub, seda aeglasem ja laiaulatuslikum (regionaalsem) on selles toimuv põhjavee liikumine, mis sõltub ainult suuremate reljeefivormidest (kõrgustikud, madalikud) ning kohati ka minevikus esinenud põhjavee voolutingimustest (nt põhjavee toitealadena toiminud mandriliustike asukoht jääajal). Põhjavee voolusüsteemid sügaval maapõues on regionaalsed, mis tähendab, et põhjaveekihi toiteala ja väljavooluala paiknevad üksteisest kaugel või ei esine põhjaveekihis üldse olulist tänapäevast põhjavee toitumist.

Eesti alal välja eraldatud hüdroteoloogiliste üksuste (põhjaveekihtide ja põhjaveekomplekside) puhul on paratamatult tegemist üldistusega. Näiteks hõlmab Kvaternaari põhjaveekompleks enda alla väga eriilmelistes settetüüpides esinevaid põhjaveekihte, mille veejuhtivus võib erineda mitme suurusjärgu võrra. Ordoviitsiumi ja Siluri lubjakivides liigub vesi valdavalt mõne millimeetri kuni mõnekümne sentimeetri suurustes lõhedes, mis moodustavad 1 – 2 m paksusi vettjuhtivaid vööndeid. Maapinna lähedal, kus kivimite karastumus ja lõhelisus on suurem, võib nende vööndite paksus olla suurem. Vettjuhtivaid vööndeid eraldavad teineteistest kuni 10 m paksused vähese lõhelisusega vööndid, mis toimivad sisuliselt veepidemetena (Perens ja Vallner, 1997). Karbonaatkivimites

(lubjakivi, dolomiit) väljaeraldatud põhjaveekihtid koosnevad mitmetest taolistest väiksematest vettjuhtivatest vöönditest ja neid eraldavatest vett halvemini juhtivatest kivimitest. Ida-Virumaal esinevate põhjaveekihtide ning põhjaveekogumite seosed on kokkuvõtlikult esitatud tabelis 1 ning kaardi ja läbilõigetena joonistel 1 – 3.

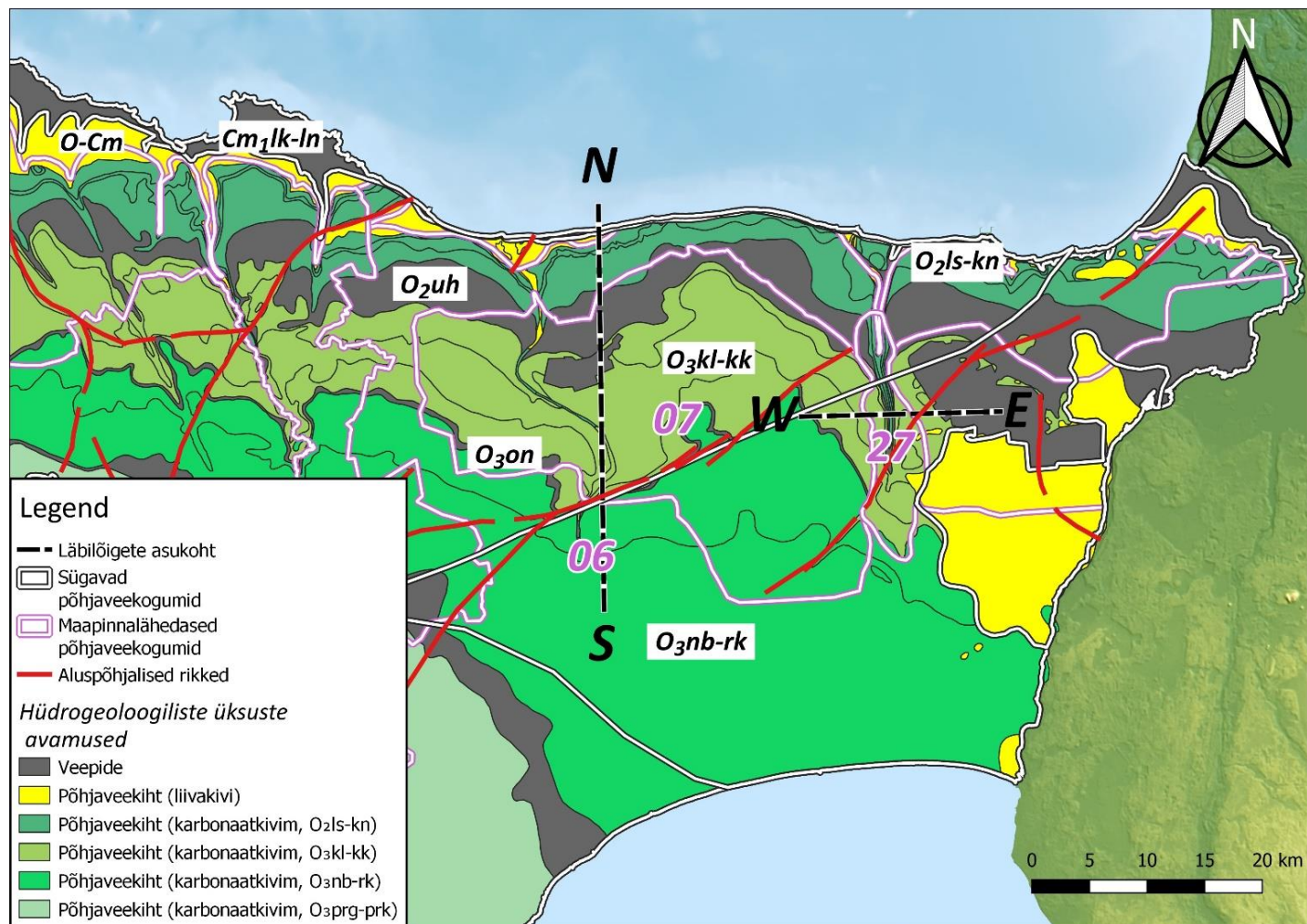
Maapinnalt alates esinevad Ida-Virumaal Kvaternaari, Siluri-Ordoviitsiumi, Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambriumi-Vendi põhjaveekompleksid, mis erinevad üksteisest põhjaveekihtide litoloogilise ehituse (setete ja kivimite koostise) ja vettjuhtivate omaduste poolest (tabel 1). Kvaternaari põhjaveekompleksi moodustavad erineva veeanniga pinnakatte setted nagu liivad, kruusad ja vähemsavikas moreen, mille levik on enamasti lokaalne. Vaid suuremate pinnavormide puhul nagu Kurtna mõhnastik Vasavere ürgoru kohal, võib põhjaveekiht levida suuremal alal. Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekompleks on Ida-Virumaal esindatud erinevate Ordoviitsiumi põhjaveekihtidega, mis paiknevad lõhelistes karbonaatkivimites (lubjakivi, dolomiit). Tänu Ida-Virumaa Ordoviitsiumi läbilõike väga detailsele geoloogilisele uuritusele, on siin olnud võimalik välja eraldada kolm olulisemat põhjaveekihti: Nabala-Rakvere ( $O_3nb-rk$ ), Keila-Kukruse ( $O_3kl-kk$ ) ja Lasnamäe-Kunda ( $O_2ls-kn$ ). Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekihtid paiknevad Alam-Ordoviitsiumi ja Kambriumi liivakivides ning aleuroliitides. Kambriumi-Vendi põhjaveekompleksi moodustavad peamiselt Ediacara ladestu liivakivid ja aleuroliidid.

Kvaternaari ja Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekomplekside vahel laiaulatuslikku veepidet ei ole. Olulisemad regionaalsed veepidemed esinevad Siluri-Ordoviitsiumi ja Ordoviitsiumi-Kambriumi ning Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambriumi-Vendi põhjaveekomplekside vahel, mis koosnevad erinevatest peeneteralistest sette kivimitest (savi, aleuroliit, kilt). Ka veekompleksides esinevad väiksemad veepidemed, millest olulisemad on Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekompleksis esinevad Oandu ja Uhaku lademetes savikad lubjakivid ja merglid.

Ida-Virumaal esinevate põhjaveekogumite piiritlemise aluseks on olnud erinevate põhjaveekihtide levik. Samas on kogumite piiride määramisel arvestatud enam inimtegevusega seotud koormustega ja joogiveeks sobiva põhjavee esinemisega (Perens jt, 2012). Kvaternaari põhjaveekogum nr 27 hõlmab enda alla glatsiofluviaalsetes setetes paiknevad põhjaveekihtid Kurtna mõhnastikus ja Vasavere mattunud ürgorus, kus paikneb piirkondlikult oluline Vasavere veehaare. Ordoviitsiumi põhjaveekogum nr 7 piirid on määratletud eeskätt põlevkivikaevandamise ja -tööstuse (energeetika, keemia) mõjupiirkonnaga. Ordoviitsiumi põhjaveekogum nr 6 hõlmab Ida-Virumaad väljaspool põhjaveekogumit nr 7. Põhjaveekogum nr 6 välispiir on määratud administratiivsete piiride järgi ja seda põhjaveekogumit nr 7 eraldav piir on tinglik. Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekogum nr 5a hõlmab Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekompleksi kirdeosa, mis võib olla kaudselt mõjutatud Ida-Virumaal

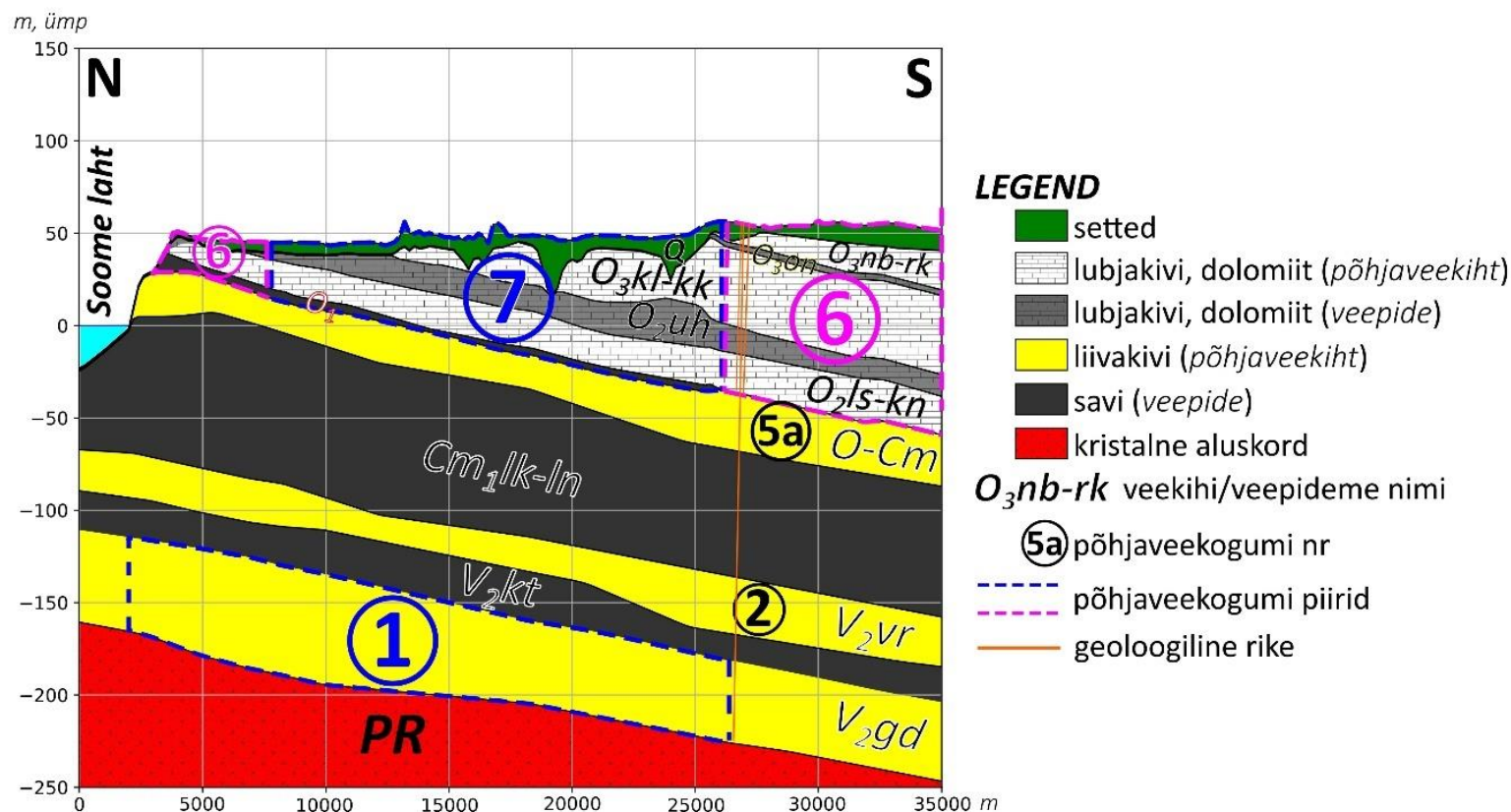
Tabel 1. Põhjavee hüdrostratigraafiliste üksuste ja põhjaveekogumite omavahelised seosed Ida-Virumaal

Geoloogiline ladestu	Põhjaveekompleks	Põhjaveekiht/veepide	Litoloogiline ehitus	Põhjaveekogum	Põhjaveekogumite grupp
<b>Kvaternaari</b> (Q)	Kvaternaari	Erineva levikuga lokaalsed veekihtid pinnakattes (Q)	Liivad, kruusad, vähesavikas moreen	Kvaternaari Vasavere (27)	
<b>Ordoviitsium</b> (O)	Siluri-Ordoviitsiumi	Nabala-Rakvere veekiht (O <sub>3</sub> nb-rk)	Lubjakivi ja dolomiit	Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini (7)	Ordoviitsiumi Ida-Viru (6)
		Oandu veepide (O <sub>3</sub> on)	Savikas lubjakivi ja mergel		
		Keila-Kukruse veekiht (O <sub>3</sub> kl-kk)	Lubjakivi, dolomiit, <b>kukersiit (põlevkivi)</b>		
		Uhaku veepide (O <sub>2</sub> uh)	Savikas lubjakivi		
		Lasnamäe-Kunda veekiht (O <sub>2</sub> ls-kn)	Lubjakivi ja dolomiit		
		Siluri-Ordoviitsiumi regionaalne veepide (O <sub>1</sub> )	Glaukoniitlubjakivi, glaukoniitliivakivi, savi, graptoliitargilliit		
	Ordoviitsiumi-Kambriumi	Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekiht (O-Cm)	Liivakivi ja aleuroliit	Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas (5a)	Ordoviitsiumi-Kambriumi
<b>Kambrium</b> (Cm)		Lükati-Lontova regionaalne veepide (Cm <sub>1</sub> lk-ln)	Savi liiva vahekihtidega		
	<b>Ediacara</b> (E)	Kambriumi-Vendi	Voronka veekiht (V <sub>2</sub> vr)	Liivakivi ja aleuroliit	Kambriumi-Vendi Voronka (2)
Kotlini veepide (V <sub>2</sub> kt)			Savi liiva vahekihtidega		
Gdovi veepide (V <sub>2</sub> gd)			Liivakivi ja aleuroliit	Kambriumi-Vendi Gdovi (1)	
<b>Proterosoikum</b> (PR <sub>1</sub> )			Kohati lõhelised tard- ja moondekivimid kristalses aluskorras		



Joonis 1. Ida-Virumaa üldistatud hüdrogeoloogiliste üksuste avamused koos põhjaveekogumite piiride ja hüdrogeoloogiliste läbilõigete asukohtadega.

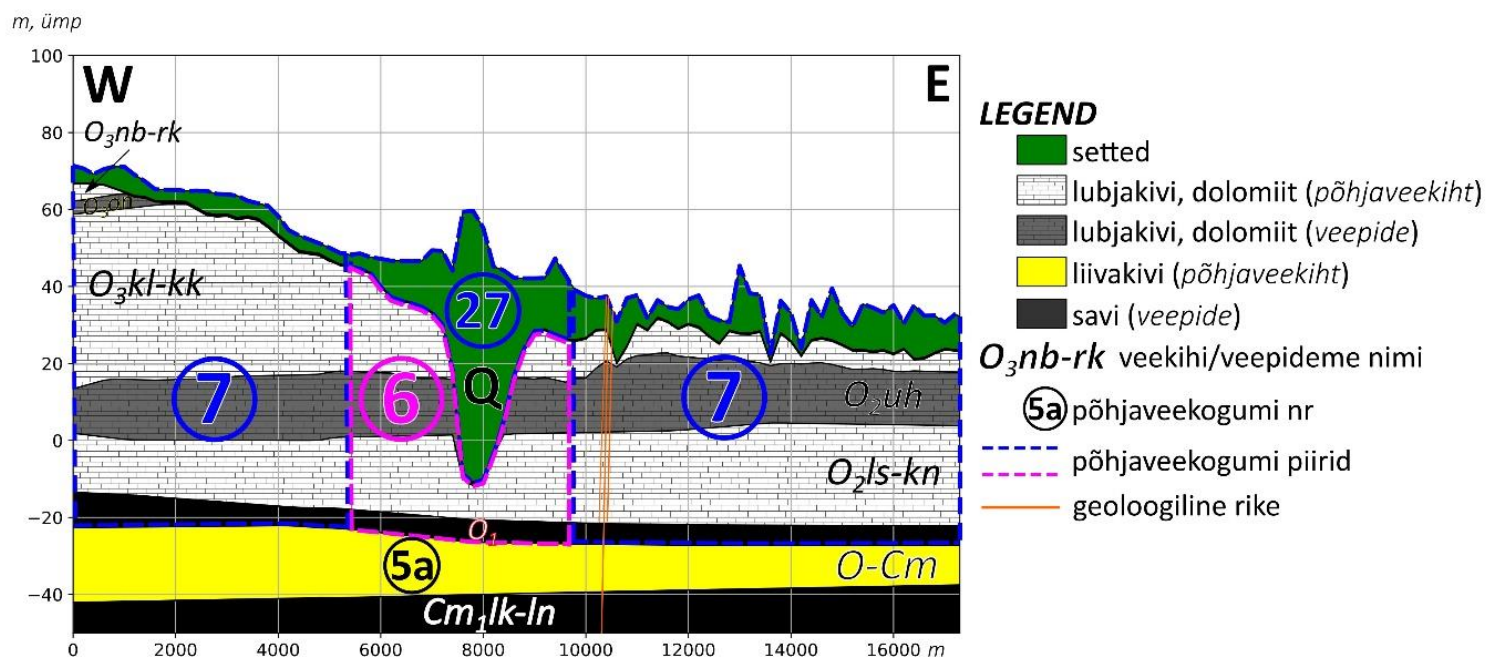
**Hüdrostratigraafilised üksused:** O<sub>3</sub>prg-prk – Pirgu-Porkuni põhjaveekiht; O<sub>3</sub>nb-rk – Nabala-Rakvere põhjaveekiht; O<sub>3</sub>on – Oandu veepide; O<sub>3</sub>kl-kk – Keila-Kukuruse põhjaveekiht; O<sub>2</sub>uh – Uhaku veepide; O<sub>2</sub>ls-kn – Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht; O<sub>1</sub> – Alam-Ordoviitsiumi veepide; O-Cm – Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekiht; Cm<sub>1</sub>lk-ln – Lükati-Lontova regionaalne veepide; **Numbriga tähistatud põhjaveekogumid:** 6 – Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogum; 7 – Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogum; 27 – Kvaternaari Vasavere põhjaveekogum.



Joonis 2. Ida-Virumaa põhja-lõunasuunaline (N-S) lihtsustatud hüdroteoloogiline läbilõige koos peamiste põhjaveekihtidega ning põhjaveekogumite piiridega.

**Hüdrostratigraafilised üksused:** Q – Kvaternaari põhjaveekihid; O<sub>3</sub>nb-rk – Nabala-Rakvere põhjaveekiht; O<sub>3</sub>on – Oandu veepide; O<sub>3</sub>kl-kk – Keila-Kukuruse põhjaveekiht; O<sub>2</sub>uh – Uhaku veepide; O<sub>2</sub>ls-kn – Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht; O<sub>1</sub> – Alam-Ordoviitsiumi veepide; O-Cm – Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekiht; Cm<sub>1</sub>k-ln – Lükati-Lontova regionaalne veepide; V<sub>2</sub>vr – Kambriumi-Vendi Voronka põhjaveekiht; V<sub>2</sub>kt – Kotlini veepide; V<sub>2</sub>gd – Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekiht; PR – kristalne aluskord.

**Põhjaveekogumid:** 1 – Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekogum; 2 – Kambriumi-Vendi Voronka põhjaveekogum; 5a – Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas; 6 – Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogum; 7 – Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogum. Läbilõige põhineb Virumaade hüdroteoloogilise mudeli kihtidel (Polikarpus 2018).



Joonis 3. Ida-Virumaa lääne-idasuunaline (W-E) lihtsustatud hüdroteoloogiline läbilõige koos peamiste põhjaveekihtidega ning põhjaveekogumite piiridega.

**Hüdroteograafilised üksused:** Q – Kvaternaari põhjaveekihtid;  $O_3nb-rk$  – Nabala-Rakvere põhjaveekiht;  $O_3on$  – Oandu veepide;  $O_3kl-kk$  – Keila-Kukuruse põhjaveekiht;  $O_2uh$  – Uhaku veepide;  $O_2ls-kn$  – Lasnamäe-Kunda veekiht;  $O_1$  – Alam-Ordoviitsiumi veepide;  $O-Cm$  – Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekiht;  $Cm_1lk-ln$  – Lükati-Lontova regionaalne veepide. **Põhjaveekogumid:** 5a – Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas; 6 – Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogum; 7 – Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogum; 27 – Kvaternaari Vasavere põhjaveekogum. Läbilõige põhineb Virumaade hüdroteoloogilise mudeli kihtidel (Polikarpus 2018).

toimuvast põlevkivi kaevandamisest ja Lääne-Virumaa fosforiidimaardlaid, kus kaevandustegevus võib tulevikus põhjaveekogumi seisundit mõjutada (Marandi jt, 2019). Kambriumi-Vendi põhjaveekogumi nr 2 läänepiir on seotud veepidet moodustavate Kotlini savide väljakiildumise alaga, mis langeb enam-vähem kokku Ida-Eesti ja Lääne-Eesti vesikondade veemajandusliku piiriga. Põhjaveekogumi põhjapiir on ühitatud rannajoonega ning lõunapiir on tinglik, kulgedes mööda joont, mis vastab põhjavee kloriidisisaldusele 250 – 350 mg/l (Perens jt, 2012). Kambriumi-Vendi põhjaveekogumi nr 1 piirid on samuti määratletud võrdlemisi tinglikult (Perens jt, 2012): põhjapiir ühtib rannajoonega, läänepiir on veemajanduskavade vajadustest tulenevalt ühitatud Ida- ja Lääne-Eesti vesikondade piiriga, lõuna- ja idapiir on eristatud põhjavee kloriidisisalduse (<350 mg/l) järgi.

Nagu tabelist 1 ja joonistelt 1 – 3 nähtub, on põhjaveekogumite ja põhjaveekomplekside omavahelised seosed Ida-Virumaal võrdlemisi keerulised. Põhjaveekogumite piirid ei kattu alati põhjaveekihtide leviku piiridega ka sama geoloogilise ladestu piires. Veelgi keerulisemaks teeb olukorra asjaolu, et alates 2019. aastast on esimese aluspõhjalise põhjaveekogumi osaks loetud ka selle kohal olevad Kvaternaari setted ehk pinnakate (Marandi jt, 2019), et hõlbustada põhjaveekogumite koguselise ja keemilise seisundi hindamist ning põhjavee-pinnavee vastastikmõju kirjeldamist. Eraldi Kvaternaari põhjaveekogumid on säilinud vaid piirkondades, kus toimub oluline veevõtt. Ida-Virumaal on ainsaks Kvaternaari kogumiks Vasavere põhjaveekogum nr 27 ning kõik teised Kvaternaari põhjaveekihid on liidetud Ordoviitsiumi põhjaveekogumite nr 6 ja 7 koosseisu.

**Põhjaveekogumit ei tohi käsitleda põhjaveekompleksi ja põhjaveekihi sünonüümina ja neid mõisteid ei tohi omavahel segi ajada. Põhjavee majandamise ja kaitsega seotud seadusandluses, uuringutes ja muudes dokumentides tuleb vahet teha üksustel, mis on moodustatud veemajanduskavade ja veepoliitika raamdirektiivi eesmärkide elluviimiseks (põhjaveekogumid) ja hüdrogeoloogiliste tingimuste poolt määratud üksustel (põhjaveekompleksid ja põhjaveekihid). See on eriti oluline lokaalsete küsimuste käsitlemisel (nt puurkaevu rajamine, kohalik põhjaveereostus, põhjaveevaru hindamine), kus on palju olulisem arvestada antud alal levivate põhjaveekihtide kui regionaalsete põhjaveeressursside majandamiseks ja kaitseks loodud põhjaveekogumitega.**

## 2.2 Ida-Virumaa põhjavee keemiline koostis ja selle kujunemine

LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C.9 raames läbi viidud uuringud on näidanud, et ühe põhjaveekogumi sees võivad põhjaveekihid üksteisest erineda põhjavee liikumise kiiruse, keemilise koostise ja avatuse poolest maapinnalt lähtuvale reostusele. Näiteks iseloomustab Ida-Virumaa

Ordoviitsiumi põhjaveekogumites (nr 6 ja 7) esinevaid Ordoviitsiumi põhjaveekihte (Nabala-Rakvere, Keila-Kukruse ja Lasnamäe-Kunda) erinev veevahetuse kiirus, mis tuleneb eelkõige lubjakivide ja dolomiitide lõhelisuse ning karstumuse ja sellega otseselt seotud veejuhtivuse vähenemisest sügavuse suunas.

Üldistatult on Kirde-Eesti karbonaatkivimite filtratsioonikoefitsient nende ülemises kuni 20 m paksuses osas 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 Keila-Kukruse ja Lasnamäe-Kunda põhjaveekihtide sügavamas osas veevahetus aeglane ja tänapäevase veeringega nõrgalt seotud.

Erinevused põhjaveekihtide veevahetuse kiiruses avalduvad ka põhjavee kvaliteedis. Põhjavee keemilise koostise üldiseks kirjeldamiseks kasutatakse põhjaveetüüpe, mille abil iseloomustatakse põhjavee üldist keemilist koostist lähtuvalt selles esinevatest kationidest ja anioonidest. Näiteks põhjaveetüüp CaMg-HCO<sub>3</sub> tähendab, et enamiku vees lahustunud ionidest moodustavad Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ja HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ioonid, kusjuures Ca<sup>2+</sup> sisaldus on Mg<sup>2+</sup> omast suurem.

Eestis on hüdroteoloogilistes töodes pikalt kasutatud põhjaveetüüpide arvutamiseks *Kurlovi* valemit, esitades vee keemilise koostise põhinäitajad milligramm-ekvivalent/liitris (mg-ekv/l) osakaalu protsentidena vastavakujulise valemiga. Harilikult esitatakse taolisel tüpiseerimisel komponente, mida on rohkem kui 10% määratud ühendite mg-ekv/l summast. Veetüüp saab nimetuse esimese kahe aniooni ja kahe katiooni järgi kahanevas järjekorras. Ühtlasi lisatakse nimetuse ette mineralisatsioon grammides (kõik ioonid + 50% HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) või kuivjääk (Tamm ja Metsur, 2017). Näide *Kurlovi* valemi järgi esitatud Cl-Na-Ca veetüübist mineraalsusega 2,2 g/l (väärtused 99, 79, 11 on vastavaiooni osakaalu protsendid ühikutes mg-ekv/l):

$$M\ 2,2 \frac{Cl^{-}\ 99}{Na^{+}\ 79\ Ca^{2+}\ 11}$$

*Kurlovi* valemist sobivam on kasutada Piper graafikuid, mille eeliseks on paljude analüüside korraga visualiseerimine. Piper graafiku abil saab tulemusi hõlpsasti kasutada nii vee tüpiseerimiseks koostise järgi kui vaadelda veekihtide segunemist ja muutust ajas (Tamm ja Metsur, 2017). Piperi graafikuid saab koostada erinevate programmide abil, näiteks Tamm ja Metsur (2017) toob välja Ameerika Geoloogiateenistuse põhjavee kodulehelt tasuta alla laetava [GW Chart](#) programmi, aga neid on teisi.

Selguse huvides tuleb rõhutada, et veetüübi valemite kirjapanemise viisid on erinevatel autoritel ja erinevates riikides erinevad. *Kurlovi* valemiga määratud veetüüpide puhul kirjutatakse esmalt



valemisse anioonid ja seejärel katioonid, kusjuures iga ioon on teisest kriipsuga eraldatud (nt Cl-Na-Ca). Rahvusvahelises teaduskirjanduses kirjutatakse sama veetüüp teistpidi ehk esmalt esitatakse katioonid ja seejärel anioonid. Sealjuures kasutatakse variante, kus katioone ja anioone eraldab kriips (NaCa-Cl) ja ka kirjaviisi, kus kriipsu üldse ei esine (NaCaCl). Sisulist vahet veetüübi kirjaviisil ei ole, kuid tuleks jälgida, et ühte tüüpi esitust oleks kasutatud töös järjepidevalt. Samuti varieeruvad sõltuvalt autorist ka protsendilised väärtused, mille alusel olulisi ioone teistest eraldatakse. Eelpool mainitud Kurlovi valemis oli selleks piiriks 10%, aga kasutuses on ka piirid 20% või 25%.

Ida-Virumaa maapinnalähedastes Nabala-Rakvere ja Keila-Kukruse veekihtides domineerib sademete infiltratsioonil tekkinud ja tihti kaevandustegevustest mõjutatud CaMg-HCO<sub>3</sub>- ja/või Ca-SO<sub>4</sub>-tüüpi põhjavesi. Lasnamäe-Kunda põhjaveekihi esineb selle avamusalast eemal peamiselt MgCa-HCO<sub>3</sub>- ja Na-HCO<sub>3</sub>-tüüpi vesi, mis on kujunenud pikemas vastastikmõjus ümbritseva kivimiga. Sama veetüüp ilmub sügavuse kasvades ka Keila-Kukruse veekihti selle kaguosas.

Sügavamates põhjaveekihtides on säilinud jääajal Eesti ala katnud mandriliustike sulaveest tekkinud põhjavesi (Vaikmäe jt, 2001; Raidla jt, 2009, 2016; Pärn, 2018). See täitis tõenäoliselt kunagi kõiki Eesti sette kivimeid, aga asendus maapinnalähedastes põhjaveekihtides pärast jääaja lõppu sademete infiltreerumisel tekkinud põhjaveega (Sterckx jt, 2018). LIFE IP CleanEST projekti raames mõõdeti Ida-Virumaal laialdaselt veemolekulide isotoopkoostist ehk väikeseid erinevusi erinevate veemolekulide massis, mille abil saab hinnata põhjaveekihtide veevahetuse kiirust. Isotoopmeetodi aluste kohta leiab lisainformatsiooni projekti uuringu aruannetes (nt Raidla jt, 2023b). Vanema liustikutekkelise põhjavee isotoopkoostis erineb oluliselt tänapäeva sademete ja selle infiltratsioonil tekkinud maapinnalähedase põhjavee isotoopkoostisest (Raidla jt, 2009; Raidla jt, 2016).

Vanema põhjavee isotoopsignaal ilmneb Ida-Virumaal sügavamal kui 50 m paiknevates põhjaveekihtides. See väljendab jääajast pärineva liustikutekkelise komponendi suuremat osakaalu ja antud põhjaveekihtide aeglast veevahetuse kiirust. Liustikutekkelise põhjavee osakaal suureneb sügavuse suunas ja on kõige suurem sügavamates Kambriumi-Vendi põhjaveekihtides. Siin on põhjaveekihtides vesi kohati suure mineraalsusega (lahustunud ainete sisaldus >2000 mg/l) ja Na-Cl- või NaCa-Cl-tüüpi, tulenevalt segunemisest põhjaveekihtide all lamava kristalses aluskorras paikneva soolase põhjavee ja lõunapool paikneva soolase mineraalveega.

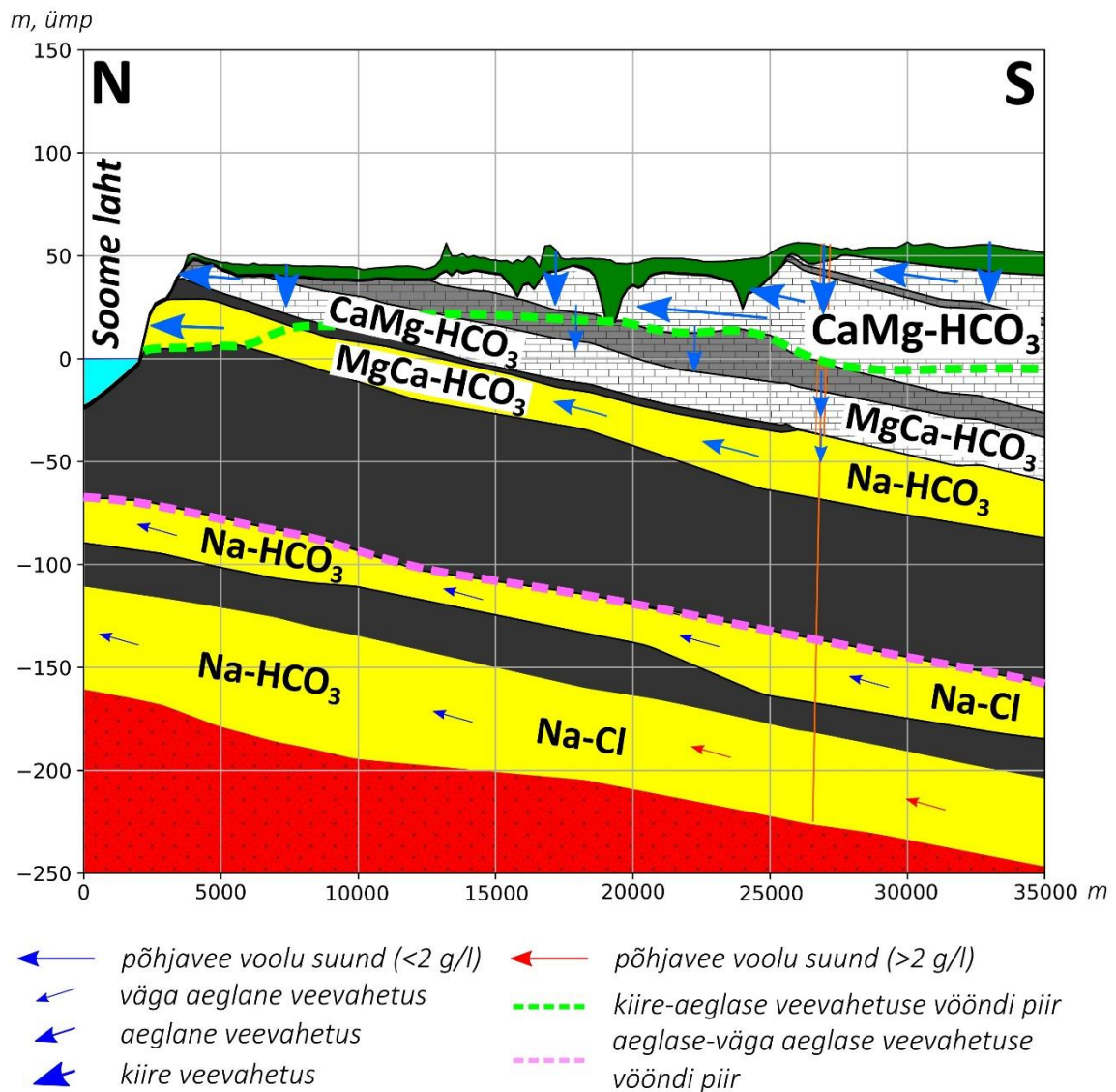
Põhjavee keemilise koostise ja põhjaveekihtide veevahetuse kiiruse alusel saab Ida-Virumaa põhjaveekihid jagada **kiire, aeglase ja väga aeglase veevahetusega põhjaveekihtideks** (tabel 2; vt ka Vallner, 1997). Kiire veevahetusega põhjaveekihid hõlmavad Kvaternaari põhjaveekihte ja Ordoviitsiumi põhjaveekihtide maapinnalähedast osa kuni sügavuseni 30 m (joonis 4). Suurte

geoloogiliste rikkevööndite ümbruses võib kiire veevahetus ulatuda ka sügavamale kuni 50 – 75 m maapinnast. Põhjavee absoluutset vanust ei ole Eesti maapinnalähedastes põhjaveekihtides laialdaselt hinnatud. Põhjavee koostise abil kaudselt hinnatuna on põhjavee vanus kiire veevahetuse vööndis mõõdetav mõne kuni mõnekümne aastaga ning selle ülemises osas avalduvad põhjavee kvaliteedis ka sesoonsed muutused. Väga aeglase veevahetuse vööndisse kuuluvad Kambriumi-Vendi põhjaveekihid, mis paiknevad regionaalse Lükati-Lontova veepideme all, jäädes maapinnalt 70 – 300 m sügavusele. Selle põhjavee vanust on hinnatud >10000 aastale (Raidla jt, 2012).

Tabel 2. Ida-Virumaa põhjaveekihtide ja nendega seotud põhjaveekogumite jaotus veevahetuse kiiruse alusel.

Põhjaveekogumi/-kihi tüüp	Põhjaveekogum	Põhjaveekiht	Sügavus maapinnast (m)	Peamine veetüüp
<b>Kiire veevahetusega (maapinnalähedane)</b>	6 – Ordoviitsiumi Ida-Viru	Q, O <sub>3</sub> nb-rk; O <sub>3</sub> kl-kk; O <sub>2</sub> ls-kn ( <i>avamusalal</i> )	0 – 30 (kohati kuni 75)	CaMg-HCO <sub>3</sub>
	7 – Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini	Q, O <sub>3</sub> nb-rk; O <sub>3</sub> kl-kk; O <sub>2</sub> ls-kn ( <i>avamusalal</i> )		
	27 – Kvaternaari Vasavere	Q		
<b>Aeglase veevahetusega (surveline)</b>	6 – Ordoviitsiumi Ida-Viru	O <sub>3</sub> kl-kk ( <i>kaguosas</i> ); O <sub>2</sub> ls-kn	30 – 100	MgCa-HCO <sub>3</sub> , Na-HCO <sub>3</sub>
	7 – Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini	O <sub>2</sub> ls-kn		
	5a – Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas	O-Cm		
<b>Väga aeglase veevahetusega (regionaalse veepideme all)</b>	1 – Kambriumi-Vendi Gdovi	V <sub>2</sub> gd	70 – 300	Na-HCO <sub>3</sub> , Na-Cl, NaCa-Cl
	2 – Kambriumi-Vendi Voronka	V <sub>2</sub> vr		

**Hüdrostratigraafilised üksused:** Q – Kvaternaari põhjaveekiht; O<sub>3</sub>nb-rk – Nabala-Rakvere põhjaveekiht; O<sub>3</sub>kl-kk – Keila-Kukruse põhjaveekiht; O<sub>2</sub>ls-kn – Lasnamäe-Kunda veekiht; O-Cm – Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekiht; V<sub>2</sub>vr – Kambriumi-Vendi Voronka põhjaveekiht; V<sub>2</sub>gd – Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekiht.



Joonis 4. Kirde-Eesti hüdrogeoloogilise läbilõike põhja-lõunasuunaline (N-S) skeem koos põhjavee tüüpide ja veevahetuse vööndite levikuga.

Kiire, aeglase ja väga aeglase veevahetuse vööndite jaotus veekihtide ja põhjaveekogumite vahel on esitatud tabelis 2. Põhjaveekogumite ja põhjaveekihtide nimed ning paiknemine läbilõikes on esitatud joonisel 2. Soolase ja mageda põhjavee eristamiseks joonisel on valitud tinglikuks piiriks põhjavee mineraalsus (lahustunud ainete sisaldus) 2 g/l ehk 2000 mg/l.

Aeglast veevahetuse vööndit võib vaadelda üleminekuvööndina kiire ja väga aeglase veevahetuse vööndi vahel. Siia alla kuuluvad Ordoviitsiumi sügavamad põhjaveekihtid (Lasnamäe-Kunda, Keila-Kukruse veekihi kaguosa) ja Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekiht väljaspool oma avamusala. Aeglase veevahetusega põhjaveekihtid paiknevad u 30 – 100 m sügavusel. Aeglates veevahetuse vööndis on segunenud noorem sademetest tekkinud põhjavesi ja vanem liustikutekkeline põhjavesi ning põhjavee keskmine vanus varieerub hinnanguliselt vahemikus mõnekümnest aastast põhjaveekihtide maapinnalähedasemas osas kuni >10000 aastani põhjaveekihtide sügavamas osas (Pärn jt, 2019).

Kõrvutades põhjaveekihtide veevahetuse kiirusel põhinevat liigitust põhjaveekogumitega näeme, et kohati on põhjaveekogumis esindatud väga erineva vanusega põhjavesi. Kõige suurem mitmekesisus esineb Ordoviitsiumi põhjaveekogumites nr 6 ja 7, kus esinevad nii kiire kui aeglase veevahetusega põhjaveekihid. Ka Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekogumis nr 5a on veevahetuse kiirus väga erinev sõltuvalt sellest, kas põhjavesi paikneb Ida-Virumaa põhja- või lõunaosas. Kõik see mõjutab ka põhjavee keemilist koostist ja seda, kas ja kui palju saavad erinevad koormusallikad nende põhjaveekogumite keemilist seisundit mõjutada.

Et paremini selgitada erinevusi erineva veevahetuse kiirusega põhjaveekihtide keemilises koostises tuleks esmalt üldiselt käsitleda, kuidas põhjavee keemiline koostis kujuneb. Põhjavee kvaliteeti ja selle muutusi mõjutavaid protsesse võib liigitada kolmeks: 1) looduslikud protsessid; 2) inimõjuga kaudselt seotud protsessid ja 3) inimõjuga otseselt seotud protsessid.

Looduslike protsesside alla liigituvad kõik põhjaveekihis toimuvad keemilised protsessid, mis leiavad aset looduslikes või vähese inimõju tingimustes. Nende näiteks on vastastikmõju vett ümbritseva kivimiga ning põhjavee looduslik segunemine, mille tulemusena kujuneb põhjaveekihi (looduslik) keemiline tüüp (nt  $\text{CaMg-HCO}_3$ ,  $\text{MgCa-HCO}_3$ ,  $\text{Na-HCO}_3$  või  $\text{Na-Cl}$ ). Samuti jõuavad looduslike protsesside tulemusena vette sellised lahustunud mikrokomponendid nagu raud ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ), mangaan ( $\text{Mn}^{2+}$ ), baarium ( $\text{Ba}^{2+}$ ) ja fluoriid ( $\text{F}^-$ ).

Olulisemad looduslikud protsessid, mis määravad põhjavee keemilise koostise on kivimites ja setetes esinevate mineraalide lahustumine, milleks Eesti tingimustes on enamasti karbonaatkivimites esinevad kaltsiit ( $\text{CaCO}_3$ ) ja dolomiit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Need mineraalid on peamiseks vees lahustunud  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ja  $\text{HCO}_3^-$  ionide allikaks. Karbonaatseid mineraale leidub ka liivakivides karbonaatse tsemendina, kus need samuti põhjavee keemilist koostist mõjutavad. Liivakivide põhiosa moodustavate silikaatsete mineraalide (nt kvarts ja päevakivid) lahustumine on karbonaatkivimitest oluliselt aeglasem ja enamasti see põhjavee keemilisele koostisele olulist mõju ei avalda. Eraldi vee ja kivimi vastastikmõjust lähtuv protsess on sorptsiooni ehk ionide neeldumisega seotud kationide vahetus savipindade ja põhjavee vahel, mis väljendub eelkõige  $\text{Na}^+$  ionide ja  $\text{Ca}^{2+}$  ionide vahekorra muutumises. See leiab peamiselt aset sügavamates aeglase veevahetusega veekihtides, kus esineb looduslikult erineva mineraalsusega põhjavett. Sügavamates põhjaveekihtides toimuv segunemine soolase veega suurendab lisaks ka vee  $\text{Cl}^-$  sisaldusi.

Eestis mõjutab põhjavee keemilist koostist ka siinses aluspõhjas laialdaselt esinev mineraal püriit ( $\text{FeS}_2$ ), mille oksüdeerumisel vabaneb põhjavette  $\text{SO}_4^{2-}$ . Püriidi oksüdatiivne lahustumine on olemuslikult redoksreaktsioon, mille käigus toimub elektronide ülekanne üheltioonilt teisele (valdavalt bakterite abiga). Redoksreaktsioone on mitmeid eri tüüpe ja need võivad toimuda nii vees lahustunud

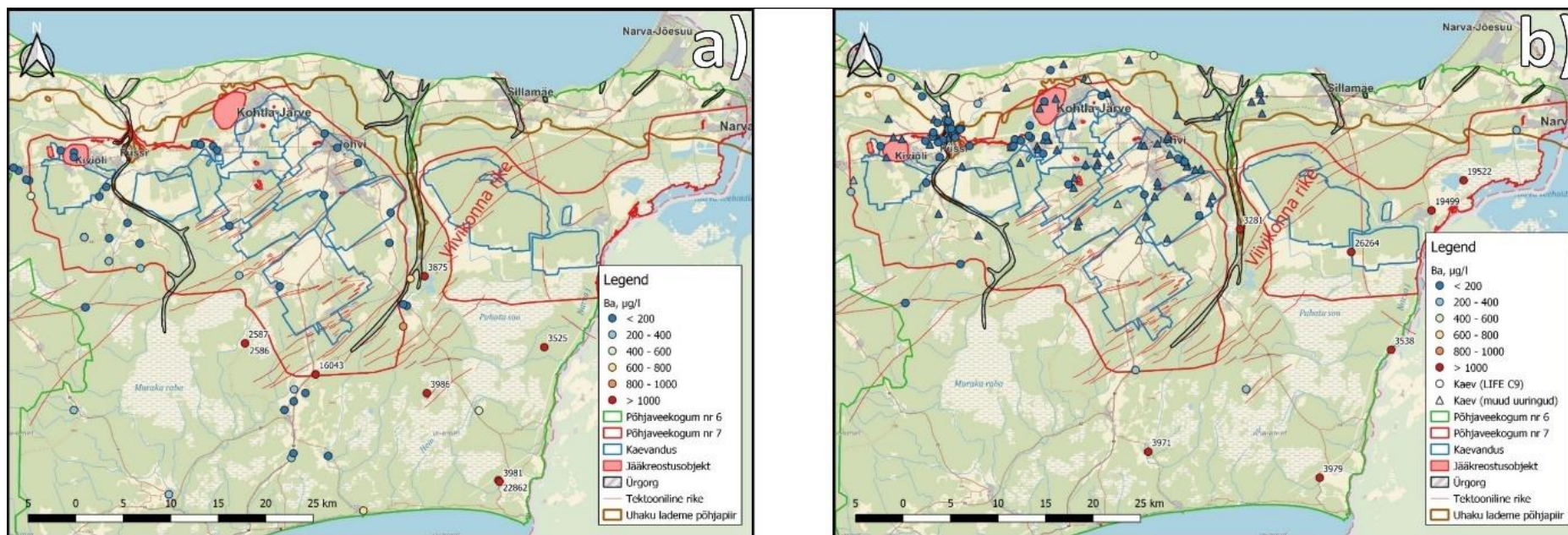
hapniku olemasolul kui ka hapnikuvaestes tingimustes. Redoksreaktsioonid vabastavad muuhulgas vette ka  $\text{Fe}^{2+}$  ja  $\text{Mn}^{2+}$  ioone raua- ja mangaani oksiidmineraalidest (nt  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ning sügavamates ja isoleeritumates põhjaveekihtides ka gaase nagu väävelvesinikku ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ja metaani ( $\text{CH}_4$ ).

Heaks näiteks Ida-Virumaa põhjavees kohati looduslikult esinevast ja joogivee kvaliteeti mõjutavast suure sisaldusega ionist on baarium ( $\text{Ba}^{2+}$ , joonis 5). Selle esinemine on seotud suuremate rikkevöönditega ja baarium jõuab vette savidest ja lõhetäidetest, mis nende geoloogiliste nähtustega seostuvad. Selle tulemusena esineb baariumi rohkem piirkondades, kus esineb geoloogilisi rikkevööndeid (nt Ida-Virumaa kesk- ja lõunaosa Ordoviitsiumi ja Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekihtides). Põhjavee baariumi sisalduse kujunemise kohta saab täpsemalt lugeda aruannetest Raidla jt (2023a,b).

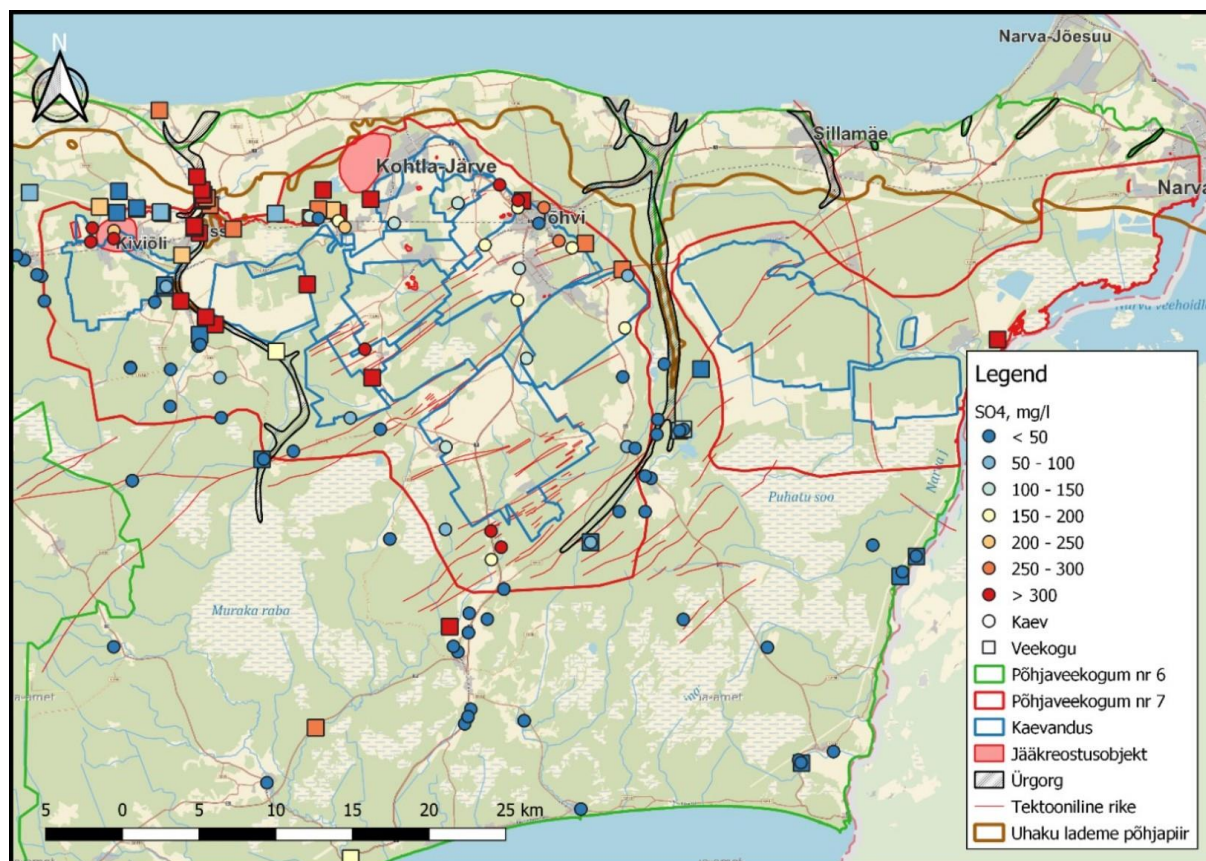
Inimmõjuga kaudselt seotud protsessid käivituvad olukorras, kus inimtegevusega muudetakse põhjaveekihi veetaset, mille mõjul muutuvad põhjaveekihi valitsevad tingimused. Sellest lähtuvalt saavad toimuda keemilised protsessid, mida looduslikes tingimustes sellises ulatuses ei esineks. Taoliste protsesside enamlevinumaks näiteks Ida-Virumaal on põlevkivikaevanduste ja -karjääride põhjustatud veeärastus, mille tagajärjel alaneb põhjaveetase Ordoviitsiumi põhjaveekihtides ja suureneb hapniku juurdepääs kivimile. See omakorda kiirendab püriidi oksüdeerumist, mis suurendab põhjavee  $\text{SO}_4^{2-}$  sisaldust ja langetab selle pH-d, mis omakorda suurendab karbonaatsete mineraalide lahustumist. Kaevanduste sulgemisel ja veega täitumisel võib veest välja settida kips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), mis hiljem lahustub, hoides  $\text{SO}_4^{2-}$  sisaldust põhjavees veel pikka aega looduslikust sisaldusest suuremana.

Kõigi kirjeldatud protsesside mõjul iseloomustab aktiivsete ja suletud kaevanduste piirkonna Ordoviitsiumi põhjaveekihte looduslikust foonist suurem  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ja kohati ka  $\text{Fe}^{2+}$  sisaldus ning põhjavesi muutub  $\text{CaMg-HCO}_3$ -tüüpi veest  $\text{Ca-HCO}_3\text{SO}_4$ - või  $\text{Ca-SO}_4$ -tüüpi veeks. Tuleb rõhutada, et kõik nimetatud ionid jõuavad põhjavette keemiliste protsesside tõttu, mis on oma olemuselt looduslikud ehk ei ole seotud ühegi inimese poolt loodud ja tööstuse kasutatud keemilise protsessiga. Samas, ilma inimtegevuseta neid protsesse looduses sellises ulatuses ei avalduks.

Näitena inimtegevuse kaudselt mõjust põhjavee keemilisele koostisele on  $\text{SO}_4^{2-}$ iooni levik Ida-Virumaa Ordoviitsiumi põhjaveekihtides (joonis 6). Kuna suuremad sulfaadi sisaldused on seotud inimtegevusega (kaevandused), kirjeldavad selleiooni levikut paremini põhjaveekogumite piirid, mitte põhjaveekihtide loodusliku leviku piirid. Suure sulfaadi sisaldusega põhjavee esinemine on piiratud põlevkivikaevandamisest ja tööstusest mõjutatud põhjaveekogumi nr 7 piiridega ja väljaspool seda jäävad sulfaadi sisaldused põhjavees enamikel juhtudel mitmeid kordi väiksemaks.



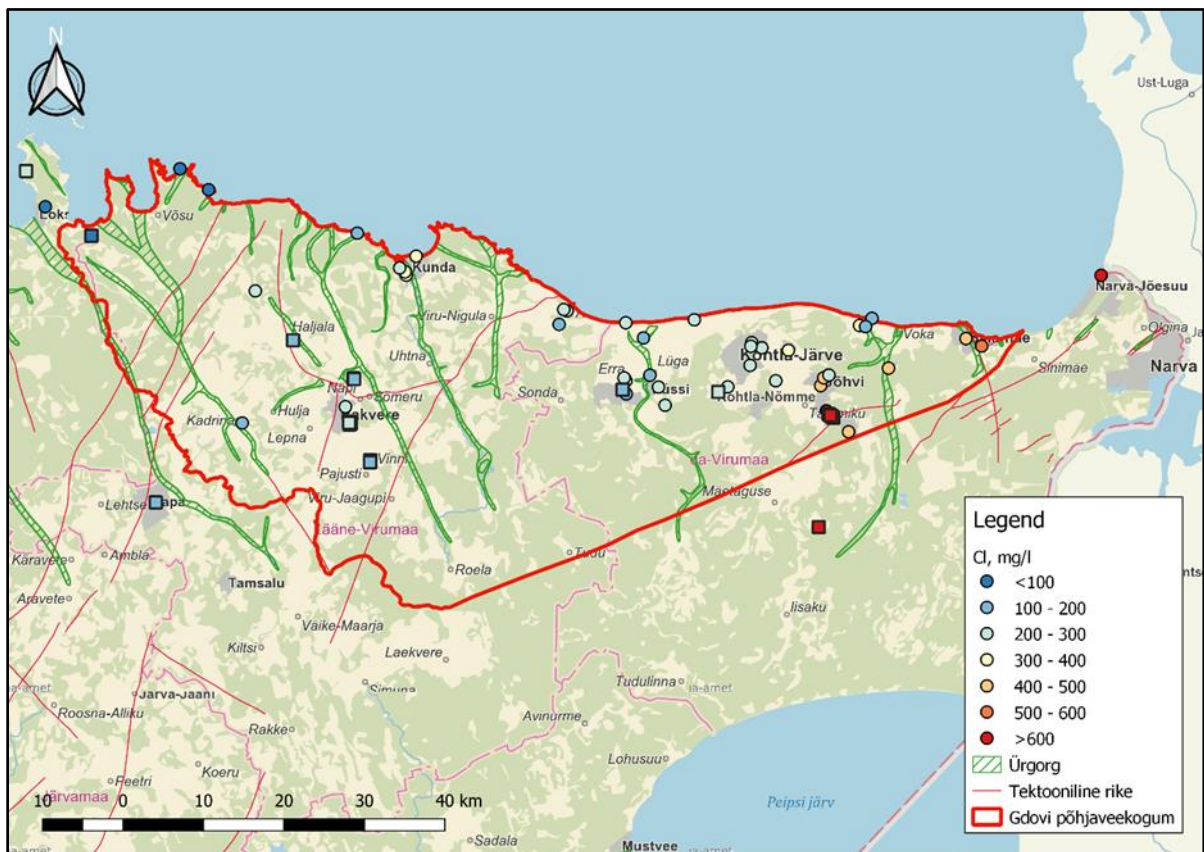
Joonis 5. Baariumi levik Ida-Virumaa a) Keila-Kuruse ja Nabala Rakvere ning b) Lasnamäe-Kunda põhjaveekihtides. (allikas: Raidla jt, 2023b)



Joonis 6. Sulfaadi ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) levik Ida-Virumaa Nabala-Rakvere ja Keila-Kukuruse põhjaveekihtides. (allikas: Raidla jt, 2023b)

Kaevandustegevus võib avaldada mõju ka looduslikult aeglasel veevahetuse võõndis olevatele põhjaveekihtidele nagu Ordoviitsiumi Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht ja Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekiht, põhjustades seal inimtegevusega seotud vee keemilise koostise muutusi. See leiab aset eelkõige kaevanduse veeärastussüsteemide (kuivendustrekid ja maa-alused settebasseinid) kaudu ja aktiivsete kaevanduste lähedusse jäävate puurkaevude vigastuste tõttu. Veeärastussüsteemid lõigatakse töötavates kaevandustes tihti põlevkivikihi all lasuvasse Uhaku veepidemesse, mille tõttu võib kaevanduse kuivendav mõju jõuda ka lamavasse Lasnamäe-Kunda veekihti, kus töötavate kaevanduste ümbruses on tuvastatud ulatuslikud põhjaveetaseme alanduslehid (Boldõreva ja Savitski, 2005). Veetaseme alanedes võib Lasnamäe-Kunda veekihti jõuda nii sulfaati ja ka muid kaevandustegevusega seotud aineid. Samuti võivad kaevandustes toimuvad lõhkamistööd vigastada kaevandatud alale rajatud Ordoviitsiumi Lasnamäe-Kunda, Ordoviitsiumi-Kambriumi, Kambriumi-Vendi Gdovi ja Kambriumi-Vendi Voronka põhjaveekihte avavate puurkaevude manteltorusid, mis põhjustab seal veetaseme langust ja keemilise koostise muutusi. Sellest on lähemalt juttu ka juhendi peatükis 3.2. Taolised muutused vee keemilises koostises ei mõjuta enamasti põhjaveekogumi üldist keemilist seisundit, küll aga võivad muuta kasutuskõlbmatuks konkreetsest puurkaevust võetava vee.

Mõneti sarnaselt võib põhjavee keemilist koostist mõjutada ükskõik milline suurem veevõtt, mis toimub näiteks joogi- või tarbevee saamiseks. Aeglase ja väga aeglase veevahetusega veekihtides võib veevõtt põhjustada erinevat päritolu põhjavee segunemist, mis on kõige selgemalt jälgitav Kambriumi-Vendi põhjaveekihtides. Suure veevõtuga puurkaevu ümber kujunev veetaseme alanduslehter võib põhjustada põhjavee sooldumist, sest toimub soolasema ehk suurema mineraalsusega põhjavee sissevool kristalsest aluskorrast või veekihi sügavamast osast (Raidla ja Truu, 2020). Rannikul paiknevates veehaardetes võib põhjavee sooldumise allikaks olla ka tänapäevane merevesi, kuigi antud hetkel ei ole Ida-Virumaa Kambriumi-Vendi põhjaveekompleksis teada ühtegi juhtumit, kus merevee sissetung oleks kindlalt tuvastatud. Kahtlusi merevee mõjust on olnud Sillamäe veehaarde puhul (Raidla jt, 2019). Põhjavee sooldumise peamiseks indikaatoriks on põhjavee kloriidisisalduse kasv, mida praegu esineb kõige selgemalt Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekogumi idaosas suuremate veehaardete ümbruses (Ahtme, Sillamäe, Jõhvi; joonis 7).



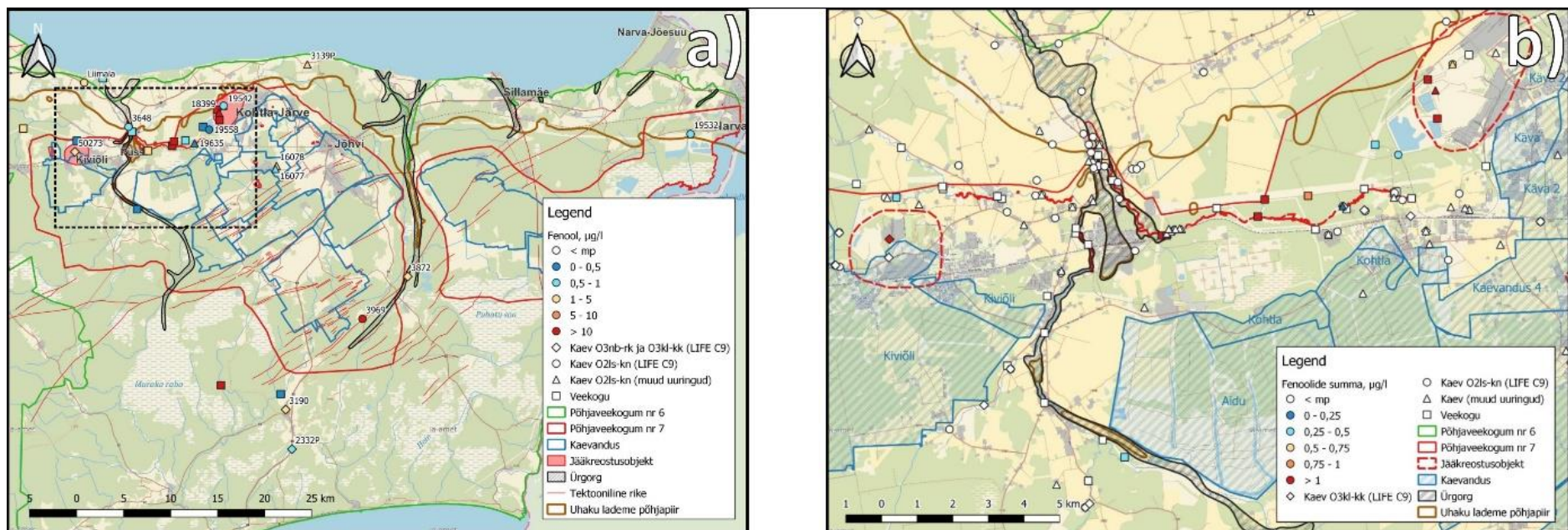
Joonis 7. Kloriidi (Cl<sup>-</sup>) levik Ida-Virumaa Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekihtis.

Suuremad kloriidi sisaldused seostuvad Ahtme, Jõhvi ja Sillamäe veehaardetega, kus on toimunud soolasema vee sissetung põhjaveekihti. (allikas: Raidla ja Truu, 2020)

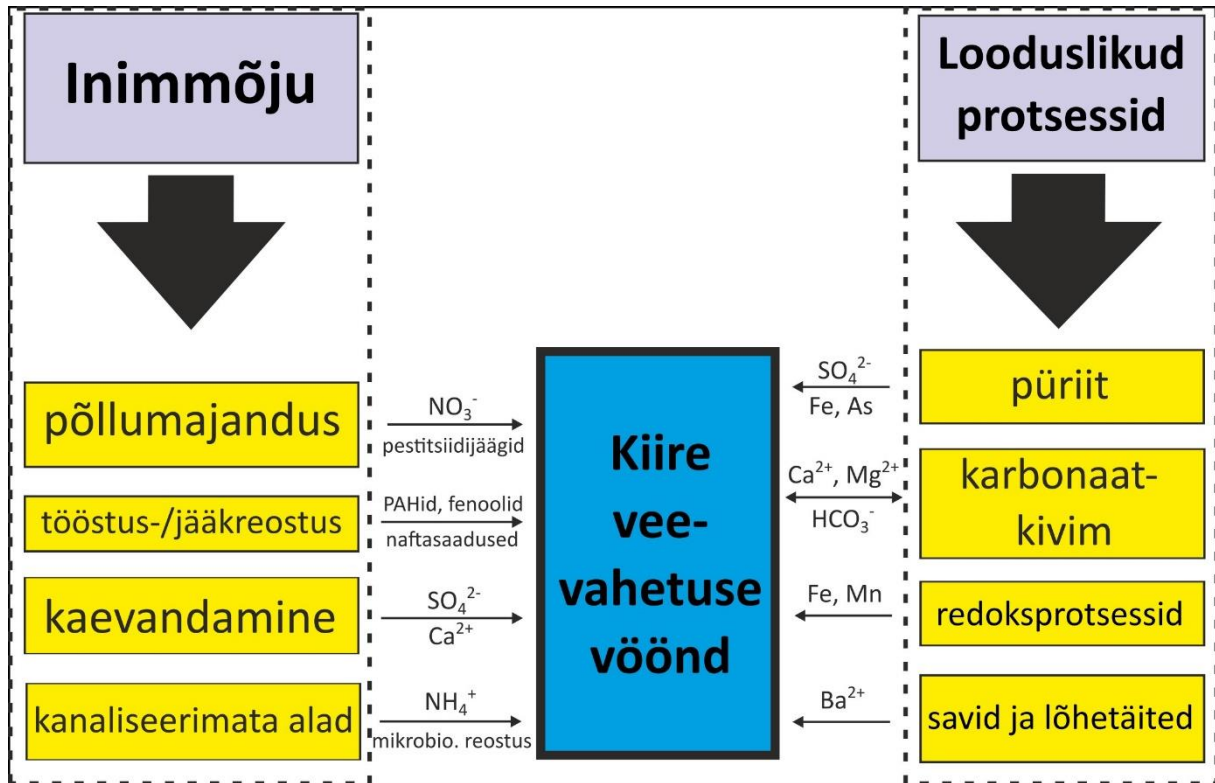


Põhjaveette jõuab ka selliseid aineid, mis pärinevad inimese poolt loodud keemilistest protsessidest ja toodetest. Need on ained, mida looduslikult ei esine või mille looduslik taustatase on oluliselt väiksem kui saastunud põhjavees. Selle näiteks Ida-Virumaal on põllumajanduskoormusega seotud ained ( $\text{NO}_3^-$ , pestitsiidijäägid, ravimijäägid) või keemiatööstusest ja jääkreostusobjektidest pärinevad ained (nt naftasaadused, PAH-id, fenoolid, benseen). Nende ainete levik põhjaveekihtides seostub eelkõige kiire veevahetuse vööndiga ja on lokaalne, koondudes konkreetsete koormusallikate lähiümbrusesse. Selle näiteks on fenoolide levik Ida-Virumaa Ordoviitsiumi põhjaveekihtides (joonis 8). Ida-Viru maakonnas üldiselt on fenoolide sisaldus maapinnalähedastes põhjaveekihtides väga väike või alla labori määramispiiri (joonis 8a). Suuremad sisaldused on täheldatavad põhjaveekogumi nr 7 põhjaosas Erra-Lüganuse ja Roodu küla piirkonnas, kus need on seostatavad mitmete jääkreostusobjektidega nagu Kiviõli ja Kohtla-Järve poolkoksiladestud ja neist lähtuvate jõgede/kraavide reostunud põhjasetetega (joonis 8b). Mõningad orgaanilised ained (nt PAH-id, pestitsiidijäägid) on keemilisele lagunemise suhtes vastupidavad ja võivad jõuda ka aeglase veevahetusega põhjaveekihtidesse.

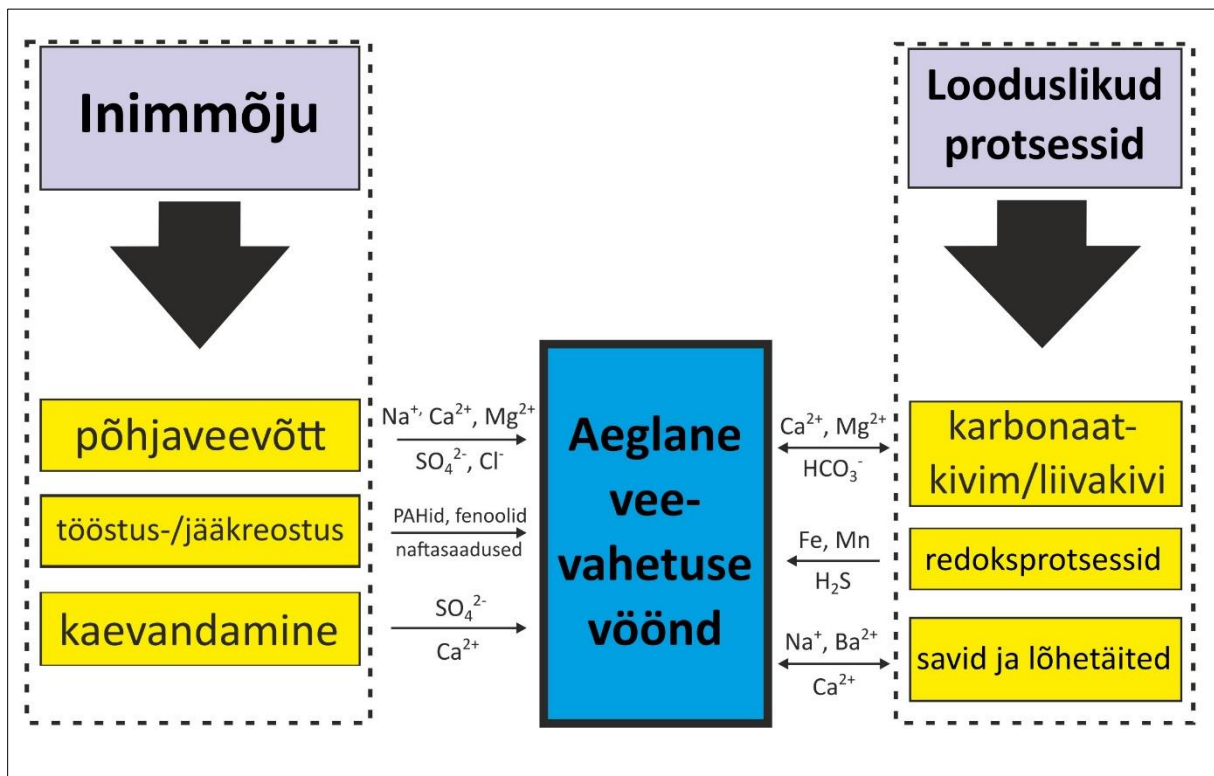
Kokkuvõtvalt võib öelda, et erinevates põhjaveekihtides kujuneb looduslike protsesside mõjul ja vastavalt nende veevahetuse kiirusele erinev põhjavee keemiline koostis. See võib muutuda inimõju tõttu. Kõige enam on inimtegevusest ja erinevatest koormusallikatest mõjutatud kiire veevahetusega põhjaveekihtid, kuid kohati võib inimõju ulatuda ka sügavamatesse aeglase või väga aeglase veevahetusega põhjaveekihtidesse. Inimõju sügavamate põhjaveekihtide vee kvaliteedile on seotud eelkõige veevõtmist tingitud põhjaveetasemete muutustega ja maa-aluse kaevandustegevusega. Joonistel 9–11 on skemaatiliselt kujutatud erineva veevahetusega põhjaveekihtide vee keemilise koostise kujunemine. Aluseks on 2019. aastal koostatud aruandes „Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine, koormusallikate hindamine ja hüdroteoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine“ (Marandi jt, 2019) esitatud põhjaveekogumite vee keemilise koostise kujunemist kirjeldavad mudelid, mida on juhendi jaoks lihtsustatud ja vastavalt LIFE IP CleanEST projekti tulemustele ka täiendatud.



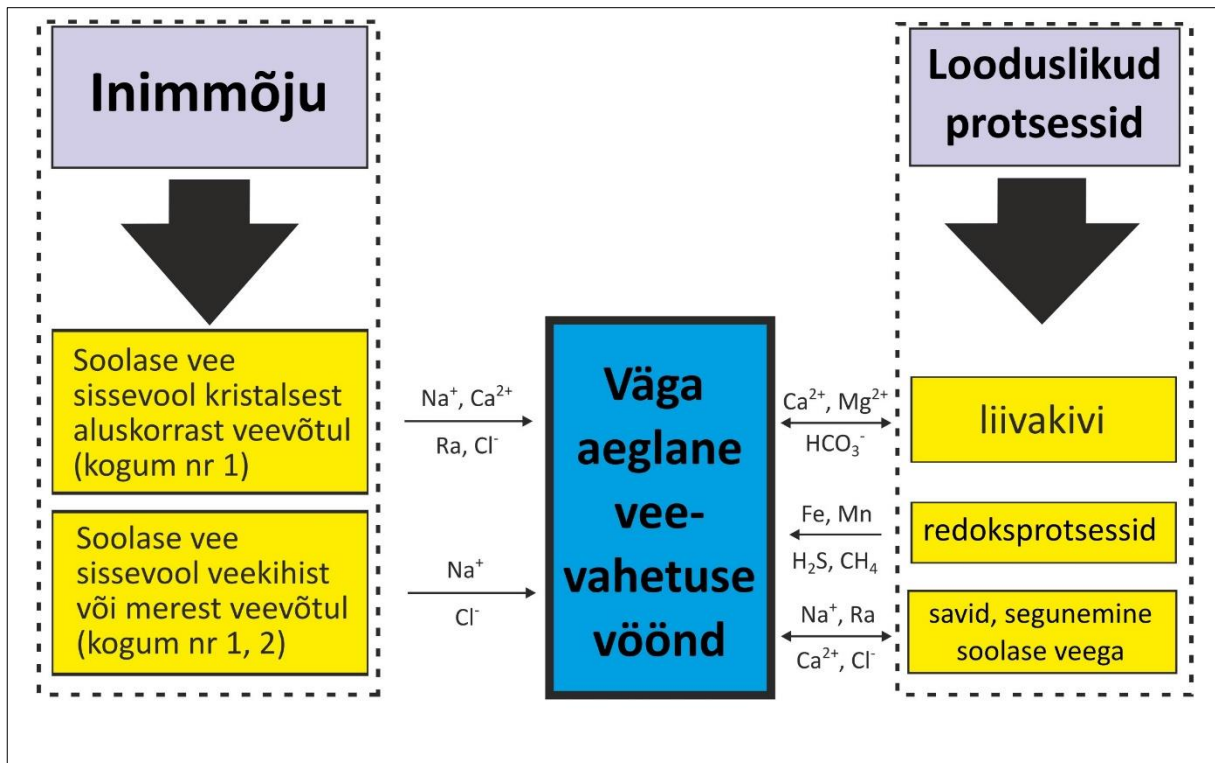
Joonis 8. Fenoolide (1- ja 2-aluseliste fenoolide summa) levik a) pinnavees ning põhjaveekogumite nr 6 ja 7 põhjavees perioodil 2016 – 2022 ja b) Erra-Lüganuse ja Roodu küla piirkondades perioodil 2019 – 2022. (allikas: Raidla jt, 2023b)



Joonis 9. Ida-Virumaa kiire veevahetuse vööndis paikneva põhjaveekihi keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.



Joonis 10. Ida-Virumaa aeglas veevahetuse vööndis paikneva põhjaveekihi keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.



Joonis 11. Ida-Virumaa väga aeglasel veevahetuse vööndis paikneva põhjaveekihi keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Põhjaveekihtid erinevad üksteisest põhjavee liikumise kiiruse, keemilise koostise ja avatuse poolest maapinnalt lähtuvale reostusele. Maapinnalähedasi põhjaveekihte iseloomustab suur veevahetuse kiirus, keemilise koostise muutlikkus ja maapinnal paiknevate koormusallikate mõju põhjavee kvaliteedile. Sügavamates põhjaveekihtides on veevahetuse kiirus aeglasem, põhjavee looduslik keemiline koostis vähemuutlik ja peamiseks vee kvaliteeti mõjutavaks teguriks on põhjaveevõtt joogivee tarbeks või kaevanduste veeärastus. Põhjavee kvaliteeti mõjutavad nii looduslikud kui inimtegevusega seotud protsessid. Viimased on inimtegevusega kas kaudselt või otseselt seotud. Esimesel juhul käivitab inimtegevus (nt põhjaveevõtt) protsessid, mis looduslikes tingimustes kulgeksid palju aeglasemalt ja vähemintensiivselt. Teisel juhul toimub inimtegevuse käigus tekkinud ainete liikumine põhjaveesse, mida looduslikult ei esine või on nende looduslik sisaldus väga väike. Joogivee kvaliteedi piirsisaldusi ületavad ainete sisaldused võivad olla ka pelgalt looduslikud ega pea olema tingimata seotud inimtegevusega.

### 3. Soovitused põhjaveekihtide erinevustega arvestamiseks põhjavee seirel ja puurkaevude rajamisel, puhastamisel ja ümberehitamisel

#### 3.1 Soovitused põhjavee kvaliteedi seireks Ida-Virumaal

Võimaliku inimõju hindamiseks veekogumite seisundile on kasutusele võetud koormusallika mõiste. Koormusallikat võib määratleda kui inimtegevust, millel võib olla põhjaveekogumi seisundit halvendav mõju. Põhjaveet mõjutavad koormusallikad jagatakse enamasti neljaks: 1) punktkoormusallikad; 2) hajukoormusallikad; 3) veevõtust tingitud koormus ja 4) muu inimtegevusest lähtuv koormus (European Communities, 2003).

Põhjaveekogumite kontseptuaalsete mudelite aruandes (Marandi jt, 2019) analüüsiti üldiselt põhjaveekogumite seisundit mõjutavaid koormusallikaid Eestis. Vastavalt olemasolevatele andmetele valiti välja olulisemad koormusallikad, mille levikut kirjeldati igas põhjaveekogumis pindalaliselt. Kõik peamised koormusallikad on seotud eelkõige maapinnalähedaste põhjaveekogumitega, mis jäävad kiirsesse ja harvem aeglase veevahetuse vööndisse (Ida-Virumaa põhjaveekogumite nr 6 ja 7 maapinnalähedane osa ning põhjaveekogum nr 5a selle avamuse lähedal). Sügavamal lasuvate põhjaveekogumite (mis paiknevad regionaalsete veepidemete all) peamiseks koormusallikaks on põhjaveevõtt (Ida-Virumaal põhjaveekogumite nr 5a, 6 ja 7 sügavam osa ning põhjaveekogumid nr 1 ja 2).

Olulisemateks üle-eestiliselt põhjaveekogumite seisundit mõjutavateks koormusallikateks Marandi jt (2019) koostatud ruumianalüüsi põhjal osutusid põllumajandusest ja jääkreostusobjektidest lähtuv hajukoormus. Jääkreostusobjektid avaldavad enam mõju väikese pindalaga ja nõrgalt kaitstud põhjaveega Kvaternaari põhjaveekogumitele. Suure pindalaga põhjaveekogumite puhul on jääkreostusobjektide mõju reeglina väiksem. Põllumaad esineb erinevate põhjaveekogumite kohal palju ühtlasemalt. Olulisteks koormusallikateks loeti ka transpordist lähtuvat hajukoormust linnastunud aladel ja kanaliseerimata aladelt lähtuvat koormust piirkondades, kus puudub ühisveevärk.

Ida-Virumaal on kiire veevahetusega põhjaveekihte sisaldavate põhjaveekogumite olulisemaks koormusallikaks kaevandamistegevusest lähtuv koormus. Kaevandustegevusest on kõige enam mõjutatud Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogum (nr 7), mis piiritleb aktiivsete ja suletud põlevkivikaevanduste ala Ida-Virumaa keskosas. Erinevate koormusallikate pindalaline katvus on >50% Ida-Virumaa põlevkivibasseini põhjaveekogumis nr 7 ja Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumis nr 27. Mõlema põhjaveekogumi seisund on ka 2020. aasta põhjaveekogumite seisundi hinnangu alusel halb (Marandi jt, 2020).

Aeglase veevahetusega põhjaveekihtides nagu Kambriumi-Vendi ja Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekihtid ja Ordoviitsiumi Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht tuleb arvestada, et peamine veetasemete režiimi ja vee kvaliteedi muutlikkust mõjutav tegur on põhjaveevõtt (Marandi jt, 2019). Sügavamal paiknevate Kambriumi-Vendi põhjaveekogumite puhul on oluline veehaarete täpne planeerimine, et puurkaevude liiga tiheda paiknemise tõttu ei tekitataks lokaalselt ülemäära suurt põhjaveetaseme alanduslehtrit, mis soodustaks soolasema vee sissevoolu veehaardesse kas veekihi sügavamast osast, lamavast veekihist või merest. Kohati võib veetaseme alanemist ja veekvaliteedi muutust puurkaevus põhjustada ka puurkaevude vale planeerimine või nende halb tehniline seisund (vt ka peatükk 3.2).

Oluline on rõhutada, et Marandi jt (2019) poolt esitatud nimekiri olulisematest koormusallikatest käib sellise inimõju kohta, millel võib suure tõenäosusega olla negatiivne mõju põhjaveekogumi üldisele seisundile. Lisaks sellele on hulk võimalikke koormusallikaid, mis oma tavaolekus põhjavee kvaliteeti kuidagi ei mõjuta, aga mis võivad olla lokaalselt põhjavee kvaliteedile ohtlikud õnnetusjuhtumi või muu rikke korral. Siia alla käivad näiteks reoveepuhastid või ohtlikud käitised (nt tanklad, õlimahutid jms), mille paiknemisega tuleb arvestada näiteks maapinnalähedaste joogiveehaarete riskihindamisel. Neid selles juhendis ei käsitleta, sest nende võimalik mõju sõltub iga konkreetse käitise seotud keemilistest ainetest ja joogiveehaarde puurkaevude toitealade ulatusest.

Võttes arvesse peatükis 2 kirjeldatud põhjaveekihtide veevahetuse kiiruse ja nende keemilise koostise omavahelisi seoseid ning olulisemaid põhjaveekogumi seisundit mõjutavaid koormusallikaid, on võimalik üldstatult öelda, millised keemilised ained seostuvad mingi kindla koormusallikaga (markerid) ja milliste põhjaveekihtide vee kvaliteeti need võivad mõjutada. Tabelis 3 on toodud olulisemate koormusallikate jaotus koos nendega seotud keemiliste markeritega vastavalt põhjaveekihi veevahetuse kiirusele. Peamised koormusallikad seostuvad maapinnalähedase kiire veevahetuse vööndiga ning mida sügavamal põhjaveekiht paikneb, seda väiksem arv koormusallikaid selle seisundit mõjutab. Kõige sügavamate väga aeglase veevahetusega põhjaveekihtide puhul jääb ainsaks oluliseks koormusallikaks põhjaveevõtt.

Seda tabelit on muuhulgas võimalik kasutada ettevõtete omaseire planeerimisega tegelevatel keskkonnaspetsialistidel keskkonnalubades olevate seiratavate ainete määratlemisel. Lisaks konkreetse koormusallikaga seotud keemilistele ainetele tuleb põhjaveeproovist alati määrata kõik makrokomponendid, neist on kirjutatud täpsemalt käesoleva peatüki lõpuosas. Tuleb rõhutada, et tabelis väljatoodud koormusallikate ja nende kohta käivate keemiliste markerite nimekiri ei ole lõplik ja uute uuringute tulemusena võib see nimekiri täieneda.

Tabel 3. Erinevad koormusallikad ja nende mõju Ida-Virumaa põhjavee keemilisele koostisele vastavalt veekihtide veevahetuse kiirusele (vt ka tabel 1) ja koormusallikaga seotud keemilistele markeritele

Põhjaveekihi tüüp	Koormusallikas	Inimmõju tüüp	Koormusallikaga seotud keemilised markerid
<b>Kiire veevahetuse vöönd</b>	Põllumajandusest lähtuv hajukoormus	Väetamine, loomakasvatus, taimekaitse	<b>Peamiselt:</b> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (>10 mg/l); pestitsiidijäägid ja nende metaboliidid. <b>Harvem:</b> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mikrobioloogilised kvaliteedinäitajad (nt <i>E. coli</i> , <i>coli-laadsed bakterid</i> , soolestiku enterokokid), (veterinaar)ravimijäägid, K <sup>+</sup> ↑, Cl <sup>-</sup> ↑, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ↑
	Transpordist lähtuv hajukoormus	Teehooldus ja transpordivahendite heitmed	<b>Peamiselt:</b> Na <sup>+</sup> ↑, Cl <sup>-</sup> ↑, fenoolid, PAH-id <b>Harvem:</b> naftasaadused, pestitsiidijäägid ja nende metaboliidid
	Lekked reostunud endistelt jääkreostusobjektidelt ja jääkreostusega aladelt	Leostumine erinevatelt jääkreostusobjektidelt (nt aherainemäed, poolkoksimäed, tööstusalad jne); Eesti jääkreostusobjektide nimistu (EELIS, 2022)	Keemilised markerid varieeruvad sõltuvalt jääkreostusobjektist (EELIS, 2022) <b>Peamiselt:</b> orgaanilised saasteained (naftasaadused, PAH-id, fenoolid jm) <b>Harvem:</b> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ↑, benseen, As (väävlihiib); K <sup>+</sup> ↑, Cl <sup>-</sup> ↑ (poolkoksiladestused)
	Kanaliseerimata aladelt lähtuv hajukoormus	Üksikmajapidamiste reovesi	<b>Peamiselt:</b> KHT, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mikrobioloogiline reostus (nt <i>E. coli</i> , <i>coli-laadsed bakterid</i> , soolestiku enterokokid); NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> . <b>Harvem:</b> (inimesega seotud) ravimijäägid
	Kaevandamisest lähtuv punkt- ja hajukoormus	Punktkoormus (settebasseinide väljalasud); hajukoormus (kaevanduse veeärastussüsteemid, läbivool suletud kaevandustest)	<b>Peamiselt:</b> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ↑, Ca <sup>2+</sup> ↑, Mg <sup>2+</sup> ↑, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ↑, karedus↑, KHT, Fe(üld) ↑, Mn↑ <b>Harvem:</b> fenoolid, PAH-id
	Veevõtt ühisveevärgist, tööstuse ja põllumajanduse tarbeks	Veevõtust tingitud erinevate veekihtide segunemine	<b>Peamiselt:</b> Ca <sup>2+</sup> ↑, Mg <sup>2+</sup> ↑, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ↑, karedus↑ <b>Harvem:</b> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (põllumajanduspiirkondades), NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , KHT (vee sissevool pinnaveekogudest)
<b>Aeglase veevahetuse vöönd</b>	Lekked tööstus- ja endistelt jääkreostusobjektidelt ning jääkreostusega aladelt	Leostumine erinevatelt jääkreostusobjektidelt (nt aherainemäed, poolkoksimäed, tööstusalad jne); Eesti jääkreostusobjektide nimistu (EELIS, 2022)	Keemilised markerid varieeruvad sõltuvalt jääkreostusobjektist (EELIS, 2022) <b>Peamiselt:</b> orgaanilised saasteained (naftasaadused, PAH-id, fenoolid jm) <b>Harvem:</b> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , benseen, As (väävlihiib); K <sup>+</sup> ↑, Cl <sup>-</sup> ↑, (poolkoksiladestused)
	Kaevandamisest lähtuv punkt- ja hajukoormus	Punktkoormus (nt settebasseinide väljalasud); hajukoormus (nt kaevanduse veeärastussüsteemid, läbivool suletud kaevandustest)	<b>Peamiselt:</b> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ↑, Ca <sup>2+</sup> ↑, Mg <sup>2+</sup> ↑, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ↑, karedus↑, KHT, Fe(üld) ↑, Mn↑ <b>Harvem:</b> fenoolid, PAH-id
	Veevõtt ühisveevärgist, tööstuse ja põllumajanduse tarbeks	Veevõtust tingitud erinevate veekihtide segunemine	<b>Peamiselt:</b> Na <sup>+</sup> ↑, Cl <sup>-</sup> ↑ <b>Harvem:</b> Ca <sup>2+</sup> ↑, Mg <sup>2+</sup> ↑, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ↑
<b>Väga aeglane veevahetuse vöönd</b>	Veevõtt ühisveevärgist, tööstuse ja põllumajanduse tarbeks	Veevõtust tingitud erinevate veekihtide segunemine või soolase vee sissetung merest / kristalsest aluskorrast	<b>Peamiselt:</b> Na <sup>+</sup> ↑, Cl <sup>-</sup> ↑ (segunemine soolase veega samast veekihist või merest); Cl <sup>-</sup> ↑, Na <sup>+</sup> ↑, Ca <sup>2+</sup> ↑, radioloogilised kvaliteedinäitajad (segunemine soolase veega kristalsest aluskorrast)

mp – aine määramispiir

Tabelis 3 on iga koormusallikaga seotud keemilised markerid jaotatud peamisteks ja harvemini esinevateks markeriteks. Neist esimene kirjeldab keemilisi aineid, mida tekib koormusallikaga seoses kõige suuremas koguses ja/või mis on keemiliselt stabiilsemad ja levivad seetõttu koormusallikast kaugemale. Nii on põllumajandusest lähtuva hajukoormuse peamisteks indikaatoriteks nitraadi ( $\text{NO}_3^-$ ) ja pestitsiidijääkide ning nende metaboliitide sisaldused põhjavees. Neist esimene on peamine väetistega seotud leostumisprotsesside lõpp-produkt ja väga stabiilne olukorras, kus põhjavees esineb lahustunud hapnikku. Pestitsiidijäägid (sarnaselt ka veterinaar-ravimijäägid) on põhjavees nitraadist veelgi stabiilsemad, levides ka aeglasema veevahetusega põhjaveekihtides, kuhu nitraat ei jõua (Iital jt, 2022).

Harvem võib põllumajandusest lähtuva hajukoormusega seostada looduslikust foonist suuremaid ammoniumi ( $\text{NH}_4^+$ ) sisaldusi ja mikrobioloogilist reostust. See viitab tavaliselt reostuskolde lähedusele ja saastunud vee väga kiirele imbumisele maapinda. Teatud juhtudel seostuvad põllumajandustegevusega ka põhjavee suuremad kaaliumi ( $\text{K}^+$ ), kloriidi ( $\text{Cl}^-$ ) ja sulfaadi ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) sisaldused, mis on seotud vastavalt teatud kindlate mineraalväetistega ja sõnnikuga. Neid aineid võib olla keeruline otseselt põllumajandustegevusega siduda, sest need võivad pärineda ka teistest koormusallikatest (nt poolkoksiladestused, transpordist lähtuv hajukoormus). LIFE IP CleanEST projekti raames läbi viidud uuringute käigus tuvastati kõige selgem põllumajandusest lähtuv hajukoormuse mõju Lüganuse aleviku ümbruses, kus on selgelt nähtavad ümbruskonnast suuremad nitraadi sisaldused põhjavees koos suure põllumajandusmaa osakaaluga (Raidla jt, 2023b). Põllumajandusliku koormuse mõju avaldumist on seal oluliselt soodustanud ka karstunud lubjakivide esinemine (Uhaku karstiala).

Transpordist lähtuv hajukoormus avaldub enamasti tihedalt asustatud aladel ja suuremate maanteed ümbruses põhjavee looduslikust taustatasemest suuremates naatriumi ( $\text{Na}^+$ ), kloriidi ( $\text{Cl}^-$ ) ja teatud orgaaniliste ainete (nt fenoolid, PAH-id, naftasaadused) sisaldustes. Enamasti jääb selle koormusallika mõju lokaalseks ja ohustab põhjaveekogumi seisundit vaid linnades ja selle lähiümbruses (nt Kvaternaari Meltsiveski põhjaveekogum Tartus). Ida-Virumaal kahtlustati LIFE IP CleanEST uuringute raames transpordist lähtuva koormuse mõju vee kvaliteedile madalas (sügavus 3,4 m) riiklikus seirekaevus katastrinumbriga 19028 (Viru-Nigula vald, Kõrkküla küla). See kaev paikneb Tallinn-Narva maantee lähedal ja seal esinevad ümbruskonna põhjaveega võrreldes suuremad  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  ja fenoolide sisaldused (Raidla jt, 2023a). Suuremaid  $\text{Na}^+$  ja  $\text{Cl}^-$  sisaldusi täheldati ka Jõhvi linna ja Kohtla-Järve linna Ahtme linnaosa piiresse jäävate puurkaevude vetes (Raidla jt, 2023b).

Tööstusest ja jääkreostusest lähtuv koormus on eriilmeline ja sõltub konkreetsest tööstus- või jääkreostusobjektist. Jääkreostusega seotud objektide ning alade juurde on riiklikus andmebaasis EELIS seotud kindlad saasteained (EELIS, 2022). Ida-Virumaal seostub erinevate jääkreostusobjektidega



valdavalt kolm orgaanilist saasteainet või nende klassi: naftasaadused, fenoolid ja PAH-id. Samas on mõnede jääkreostusobjektidega seotud spetsiifilisemad orgaanilised ained nagu indeen, ksüleen, stüreen, mineraalõlid ja põlevkiviõli Kiviõli poolkoksiladestuse puhul või raskmetallid ja BTEX (benseen, toluen, etüülbenseen, ksüleen) Kohtla-Järve tööstusala puhul (EELIS, 2022). LIFE IP CleanEST uuringute raames leiti, et teatud jääkreostusobjektidega, nagu Kiviõli poolkoksiladestuse, seostuvad ümbruskonna põhjaveest suuremad  $K^+$  ja  $Cl^-$  sisaldused, mis tulenevad poolkoksis toimuvatest keemilistest protsessidest (Raidla jt, 2023b).

Lokaalselt võib joogivee kvaliteeti mõjutada ka kanaliseerimata aladelt lähtuv hajukoormus. Kuigi põhjaveekogumite tunnuste analüüsi raames (Marandi jt, 2019) leiti, et kanaliseerimata alad ei mõjuta enamasti oma väikese pindalalise katvuse tõttu põhjaveekogumite üldist keemilist seisundit, võib see avaldada olulist mõju üksikmajapidamiste puurkaevudest võetava vee kvaliteedile, juhul kui sealne või lähimate kinnistute reoveekäitlus ei ole nõuetekohaselt korraldatud ja kaevude tehniline seisund pole rahuldav (Kõrgmaa jt, 2020).

Kanaliseerimata aladelt lähtuv reostus väljendub peamiselt põhjavee mikrobioloogilises reostuses ja kohati ka looduslikust foonis suuremates  $NH_4^+$  ja  $NO_3^-$  sisaldustes. Viimasel ajal LIFE IP CleanEST projekti raames läbi viidud uuringutes on täheldatud ka inimesega seotud ravimijääkide esinemist põhjavees, mis viitavad samuti kanaliseerimata alade mõjule (Iital jt, 2022). Tihti on kanaliseerimata aladelt lähtuvat koormust raske eristada põllumajandusest lähtuvast koormusest, eriti juhul, kui piirkonda iseloomustavad nii kanaliseerimata alad kui ka suur põllumajandusmaa osakaal. Üheks eristavaks näitajaks võiks olla mikrobioloogiline reostus, mis viitab reostusallika lähedusele puurkaevu suhtes ja seostub enam kohaliku reovee kui põllumajandusmaalt lähtuva koormusega. Näiteks on Ida-Virumaal tuvastatud suur mikrobioloogiline reostus Erra-Lüganuse piirkonna puurkaevudes (*coli*-laadsete bakterite arv kohati  $>10000$ ; Kõrgmaa jt, 2020), mida on seostatud põllumajanduse mõjuga, aga mis võib olla seotud ka kanaliseerimata alade mõjuga. Mikrobioloogilise reostuse kasutamine kanaliseerimata aladelt ja põllumajandusest lähtuva koormuse eristamisel on keeruline karstialadel, kus kiire põhjavee liikumine võib kanda reostust edasi sadu meetreid kuni kilomeetreid ööpäevas.

Lisaks konkreetsele majandustegevusele põhjaveekogumi alal võib olulist mõju põhjavee keemilisele seisundile avaldada ka põhjaveevõtt. See mõju on mõnevõrra erinev sõltuvalt sellest, kas veevõtt toimub kiire veevahetusega maapinnalähedasest põhjaveekihist või sügavamal paiknevast aeglase ja väga aeglase veevahetusega põhjaveekihist. Maapinnalähedase põhjaveekihi puhul esineb oht, et suurema veevõtu korral hakkab puurkaevu jõudma vesi lähedalasuvast pinnaveekogust või hajukoormusest mõjutatud aladelt (nt põllumajandus, kaevandused). Näiteks tuvastati LIFE IP CleanEST projekti raames, et mõningate Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumi riiklike seirekaevude

põhjavesi on mõjutatud vee sissevoolust läheduses paiknevatest Kurtna järvistu järvedest (Karro jt, 2021). See kajastus põhjavee suuremates  $\text{NH}_4^+$  sisaldustes ja KHT väärtustes. Vasavere veehaardes endas on varem tuvastatud fenoolide ja naftasaaduste esinemist, mida seostati uuringus kõrvalasuva Pannjärve karjääri mõjuga (Karro jt, 2021).

Kui veevõtt toimub sügavatest surveelistest põhjaveekihtidest, mille veevahetus on aeglane või väga aeglane, kaasneb sellega kiire veevahetuse vööndiga võrreldes suurem põhjaveetaseme langus ja põhjaveetasemete alanduslehtri laiem levik. See tuleneb asjaolust, et vett võetakse suuresti põhjaveekihi ladestunud vee mahu arvelt ja väljapumbatud veekoguste taastumine põhjavee toitumise kaudu on väike või puudub sootuks. Sellistes tingimustes on soodustatud vee sissevool kas veekihi enda sügavamast osast, veekihti ümbritsevatest veepidemetest, merest või teistest põhjaveekihtidest (nt kristalne aluskord). Enamasti tähendab selline veevõttust tingitud põhjavee segunemine soolase vee sissetungi ja põhjavee mineraalsuse olulist suurenemist. See on kõige selgemalt näha väga aeglase veevahetusega Kambriumi-Vendi põhjaveekihtides. LIFE IP CleanEST projekti raames läbi viidud Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekogumi uuringus (Raidla ja Truu, 2020) leiti, et Gdovi põhjaveekihiiga seotud puurkaevude vee sooldumine on tingitud kahest peamisest allikast: soolase vee sissevool veekihi lõunapoolsemast osast või soolase vee sissevool kristalsest aluskorrast. Esimesel juhul kaasnes põhjavee sooldumisega  $\text{Na}^+$  ja  $\text{Cl}^-$  sisalduste suurenemine, mis on nähtav Ahtme veehaarde kaevudes. Kui soolasem vesi pärineb kristalsest aluskorrast, siis lisandub eelnevalt mainitud ionidele veel  $\text{Ca}^{2+}$  iooni sisalduse suurenemine. See protsess oli tuvastatav Rakvere Piira veehaarde puurkaevudes. Soolase vee jõudmine ülemist Kambriumi-Vendi Voronka põhjaveekihti avavatesse puurkaevudesse on enamasti seotud ebakorrektselt projekteeritud puurkaevudega, mis avavad korraga nii Voronka kui ka Gdovi põhjaveekihti (vt ka peatükk 3.2). Rannikualal võib Voronka veekihi sooldumist põhjustada ka merevee sissetung.

Aeglase veevahetusega põhjaveekihtides ei kaasne põhjaveevõttuga põhjavee sooldumist, sest neis põhjaveekihtides endis ei leidu suure mineraalsusega põhjavett. Küll aga on Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekihti avavas kaevus katastri nr 4019 tuvastatud koos veetasemete olulise langusega  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  ja  $\text{HCO}_3^-$  sisalduste suurenemine, mis võib viidata vee sissevoolule näiteks veekihtide all lamavatest liivakamatest vahekihtidest Lükati-Lontova regionaalses veepidemes (Raidla ja Truu, 2022). Need sisalduse muutused ei ole toonud kaasa joogivee piirsisalduse ületusi, aga võivad viidata muutustele, mis leiaksid aset suurema veetarbimise korral Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekihist. Ordoviitsiumi Lasnamäe-Kunda veekihi puhul on Ida-Virumaa veehaardes kohati tuvastatud looduslikust taustatasemest suuremaid  $\text{SO}_4^{2-}$  ja raua sisaldusi, mis on seotud kaevandamisest mõjutatud Keila-Kukruse põhjaveekihi vee jõudmisega Lasnamäe-Kunda põhjaveekihti, kui põhjavee survetase viimases

langeb või Keila-Kukruse põhjaveekihi survetase kaevanduste veega täitudes kiiresti tõuseb (Raidla jt, 2023b).

Lisaks eelnevalt kirjeldatud konkreetse koormusallikaga seotud keemilistele ainetele tuleks olenemata seire liigist (nt ettevõtte omaseire, lokaalsed uuringud, reostusaine uuringud, vm) määrata põhjaveeproovist alati kõik makrokomponendid ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ja  $\text{HCO}_3^-$ ; Truu jt, 2023). Ainult saasteaine enda sisalduse jälgimisest ei piisa, et aru saada põhjavee päritolust ja selle kvaliteedi kujunemise või muutumise põhjustest. Igakordne makrokomponentide määramine ei ole vajalik kui seire käigus toimub veeproovide võtmine kindlast proovivõtukohest (nt puurkaev, allikas) tihedamalt kui kord aastas. Sel juhul piisaks ka kord aastas tehtavast makrokomponentide määrangust. Kui seire eesmärgiks on kirjeldada põhjaveekihi redokstingimusi (nt raskmetallide või orgaaniliste ainete nagu naftasaadused, fenoolid, PAH-id leviku uurimiseks), tuleks veeproovist määrata lisaks makrokomponentidele ka järgmised elemendid ja parameetrid: lahustunud hapniku sisaldus,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Fe}_{\text{üld}}$  (või  $\text{Fe}^{2+}$  ja  $\text{Fe}^{3+}$ ) ning  $\text{Mn}^{2+}$ . Oluline on rõhutada, et lahustunud hapniku sisaldus tuleb määrata juba proovivõtu ajal vastava seadmega (Keskkonnaministri 02.10.2019 määrus nr 49 § 7), sest laborisse jõudes on vee hapnikusisaldus juba tasakaalustunud atmosfääris oleva hapnikuga.

Suurendamaks erinevate seireandmete kasutamise võimalusi põhjavee kasutamise ja kaitse parandamiseks ning põhjaveekogumite seisundi hindamiseks on soovitatav, et võimalusel kaasataks seiresse ka ained, millele on põhjaveekogumis Keskkonnaministri määrusega nr 48 kehtestatud läviväärtused (Tabel 4). Seda tuleks kaaluda eriti juhul, kui seiratakse sellise koormusallika mõju, millega seotud keemilised markerid (Tabel 3) kattuvad ainetega, millele on põhjaveekogumis määratud läviväärtus. Kaudselt kirjeldavad juba põhjaveekogumile kehtestatud läviväärtused neid koormusallikaid, millel on põhjaveekogumi keemilisele seisundile kõige suurem mõju. Ida-Virumaa kiire ja aeglase veevahetusega seotud põhjaveekogumites (nr 6, 7 ja 27) on selleks sulfaat ja orgaanilised saasteained (fenoolid, benseen, naftasaadused, PAH summa), mis seostuvad kaevandamise, põlevkivitööstuse ja jääkreostusobjektidega. Väga aeglase veevahetusega põhjaveekogumites nr 1 ja 2 on läviväärtus kehtestatud kloriidisisaldusele, mis väljendab põhjaveevõtmust põhjustatud vee sooldumise ohtu.

Tabel 4. Põhjaveekogumi seisundit ohustavad ained ja nende läviväärtused Ida-Virumaa põhjaveekogumites (Keskkonnaministri määrus nr 48)

Põhjaveekogumi nr	Põhjaveekogumi nimi	Saasteaine	ühik	Saasteaine sisalduse läviväärtus põhjavees
1	Kambriumi-Vendi Gdovi	Kloriidid (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	500
2	Kambriumi-Vendi Voronka	Kloriidid (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	250
5a	Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas	Sulfaadid (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	100
		Ühealuselised fenoolid	µg/l	1
		Naftasaadused	µg/l	20
		Benseen	µg/l	1
		PAH summa	µg/l	0,1
6	Ordoviitsiumi Ida-Viru	Sulfaadid (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	50
		Ühealuselised fenoolid	µg/l	1
		Naftasaadused	µg/l	20
		Benseen	µg/l	1
		PAH summa	µg/l	0,1
7	Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini	Sulfaadid (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	250
		Ühealuselised fenoolid	µg/l	1
		Naftasaadused	µg/l	20
		Benseen	µg/l	1
		PAH summa	µg/l	0,1
27	Kvaternaari Vasavere	Sulfaadid (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	100
		Ühealuselised fenoolid	µg/l	1
		Naftasaadused	µg/l	20
		Benseen	µg/l	1
		PAH summa	µg/l	0,1

Põhjavee seire planeerimisel on oluline arvestada seiratava põhjaveekihi eripärade ja selle vee kvaliteeti mõjutavate koormusallikatega. Olulisemate koormusallikatega on võimalik siduda kindlad keemilised markerid, mille abil saab kontrollida selle koormuse mõju olemasolu. Erinevaid põhjaveekihte mõjutavad erinevad koormusallikad ja sellega tuleks seire planeerimisel arvestada. Näiteks ei tasu Ida-Virumaa sügavamates aeglase veevahetusega põhjaveekihtides oodata maapinnalt lähtuva reostuse komponentide nagu nitraat ja mikrobioloogilise reostuse esinemist. Viimase tuvastamine või nitraadi puhul põhjaveekihi tavapärasest suurema sisalduse esinemine sügavas puurkaevus viitab hoopis kaevu halvale tehnilisele seisundile. Seega selliste komponentide pidev seiramine sügavatest põhjaveekihtidest pole alati vajalik, ainult ohu kahtluse korral. Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi territooriumil võib sügavat põhjaveekihti avavale katkise konstruktsiooniga puurkaevule osutada ka puurkaevust võetud veeproovis esinev suurenenud sulfaadi sisaldus. Olenemata seire liigist (nt ettevõtte omaseire, lokaalsed uuringud, reostusaine uuringud, vm) tuleb põhjaveeproovist vähemalt kord aastas määrata kõik makrokomponendid ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ja  $\text{HCO}_3^-$ ). Ainult saasteaine enda sisalduse määramisest ei piisa, et mõista selle päritolu ja põhjavette jõudmise põhjuseid.

### 3.2 Tähelepanekud ja soovitused puurkaevude projekteerimiseks, puhastamiseks ja ümberehitamiseks

Puurkaevude või -aukude ning salvkaevude rajamise ja sellega seotud nõuete seisukohast üks olulisemaid määruseid on keskkonnaministri 09.07.2015 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 kasutusteate, puurimispäeviku, salvkaevu ehitus- või kasutusteate, puurkaevu või -augu ja salvkaevu andmete keskkonnaregistrisse kandmiseks esitamise ning puurkaevu või -augu ja salvkaevu lammutamise teatise vormid“. Nimetatud määruse §9 lõike 1 punktis 3 on sõnastatud puurkaevu või -augu konstruktsiooni kohta nõue, et vältida peab saastunud vee, sh ülemiste põhjaveekihtide vee sissevoolu puurkaevuga või -auguga avatavasse põhjaveekihti.

Põhjaveekihid on looduslikult üksteisest eraldatud erinevate veepidemete poolt ja seetõttu kujuneb põhjaveekihtides erinev vee kvaliteet ja põhjaveetase. Maapinnalähedased põhjaveekihid on enam

mõjutatavad maapinnalt lähtuvast reostusest. Sügavamad põhjaveekihi on maapinnalt lähtuva reostuse eest paremini kaitstud ning seetõttu on äärmiselt oluline, et puurkaevud projekteeritakse ja rajatakse nii, et oleks takistatud maapinnalähedase vee jõudmine sügavamatesse põhjaveekihtidesse. Samuti on puurkaevude projekteerimisel ja rajamisel oluline arvestada, et kaev avaks vaid ühte kindlat veekihti, mis väldiks ühenduse loomise erinevate veekihtide vahel. Kui veekihi isoleeritust ei ole õnnestunud tagada, võivad tagajärjeks olla puurkaevust välja pumbatava vee kvaliteedi ebasoodsad muutused, mis avalduvad kohe või mõni aeg pärast puurkaevu kasutusele võttu. Valesti projekteeritud ja halvasti rajatud puurkaevu kaudu loodud ühendus kahe erineva veekihi vahel võib rikkuda vee kvaliteedi ka teistes piirkonna puurkaevudes. Mitut erinevat põhjaveekihti avavast seirepuurkaevust ei ole võimalik koguda ka adekvaatseid andmeid piirkonna põhjavee seisundi kohta. Vigaste algandmete korral ei ole õiged nende põhjal tehtud järeldused ja ka väljatöötatud meetmed. Ühendus erinevate veekihtide vahel võib puurkaevus tekkida ka tükk aega pärast selle rajamist kasutamise käigus, kui kaevu tehniline seisukord halveneb (nt kaev amortiseerub). Puurkaevu tehniline seisund võib halveneda kaevu vananedes (nt metallist manteltorude korrodeerumine) või mehaaniliste vigastuste tõttu (nt kaevandustes toimuvate lõhketööde mõju).

Puurkaevu valesti projekteerimisele ja halvasti puurimisele või selle tehnilise seisundi halvenemisele võivad viidata mitmed kaudsed ja otsesed tõendid (vt ka Kõrgmaa jt, 2020, peatükk 3.3.4). Üheks tõendiks on muutused puurkaevust võetava vee kvaliteedis (nt muutused vee organoleptilistes omadustes) või vee kvaliteedi erinevamine ümbruskonna teiste sama põhjaveekihti avavate kaevude omast. Samuti viitab erinevate veekihtide omavahelisele seosele puurkaevu anomaalne veetase või eritootlikkus (erideebit). Seirepuurkaevu tehnilise seisundi halvenemisest annab märku järskude muutuste esinemine mõõdetud veetasemete aegreas, mida ei ole võimalik seostada mõne muu põhjusega (nt suurenenud veevõtt lähedal paiknevas veehaardes või kaevanduses).

Võimalike puurkaevu konstruktsiooni vigade avastamine, konstruktsiooni täpne kirjeldamine või kaevu tehnilise seisundi kontroll ei ole lihtne (vt ka Kõrgmaa jt, 2020, peatükk 3.3.4). Esialgse kirjelduse võib saada puurkaevuõõne videouuringuga, kus puurkaevu saadetakse selleks spetsiaalne kaamerasond. Puurkaevu konstruktsiooni ja selle tehnilise seisundi täpsema kirjelduse annavad geofüüsikalised mõõtmised, aga nende uuringute läbiviimine on nii kulukas kui ka ajamahukas. Kuna erinevate veekihtide vee segunemist peab vältima, siis kõik puurkaevud ja -augud, mille algne konstruktsioon või halb tehniline seisund on toonud kaasa erinevate põhjaveekihtide vee segunemise tuleb kas lammutada või võimaluse korral ümber ehitada.

Projekti LIFE IP CleanEST uuringute raames läbi viidud riiklike seirepuurkaevude tehnilise seisundi kontrollimise tööde käigus leiti mitmeid puurkaeve, kus ei ole veekihiid üksteisest eraldatud.

Järgnevates alampeatükkides antakse erinevate näidete (sh LIFE IP CleanEST tulemuste) kaudu soovitusi, millele pöörata tähelepanu uute puurkaevude rajamisel või olemasolevate korrastamisel (ümberehitamine) ja puhastamisel. Juhendis ei käsitleta detailselt puurkaevu rajamist (projekteerimine, ehitamine) ja selle vee kvaliteedi kontrolli. Neid küsimusi on põhjalikult kirjeldatud 2020. aastal koostatud hajaasustuspiirkonnas paiknevate majapidamiste kaevude joogivee nõuetekohasuse saavutamise ja terviseohutuse tagamise juhendis (Kõrgmaa jt, 2020, eriti peatükk 3) ja puurija käsiraamatus (Kildjer, 2017).

### 3.2.1 Mantelrorutagune isolatsioon ja mantelrorus esinevad lekkekohad

Puurkaevu rajades on pinnavee sissevoolu ja erinevate põhjaveekihtide segunemise vältimiseks oluline pöörata tähelepanu mantelrorutaguse ruumi isolatsiooni kvaliteedile. See on oluline etapp puurkaevude rajamisel, sest siin tehtud vead ei ole hiljem kõrvaldatavad ja võivad kaasa tuua mitte ainult puurkaevust võetava vee kvaliteedi halvenemise vaid ka rikkuda põhjavee kvaliteedi ümbruskonnas laialdasemal alal. Mantelrorutaguse ruumi isoleerimist ehk tsementeerimist on põhjalikult käsitlenud Kõrgmaa jt (2020: lk 32). Siia võib lisada veel paar detaili, kuidas on puurkaevu projekti või hilisema puurimispäeviku alusel võimalik hinnata, kas tsementatsioon on tehtud korrektselt või mitte.

Kvaliteetse mantelrorutaguse tsementatsiooni saavutamiseks on vaja tagada, et tsemendisegu täidab kogu mantelroru ja puurauguvahelise ruumi ning sellel on lastud enne edasipuurimist piisavalt pikalt kivineda või paisuda, vältimaks materjali väljapesemist järgneva puurkaevu vett andva osa avamise juures. Selleks peab puurkaevu projekt ette nägema, et puuritava **puuraugu ja selle sisse mineva mantelroru välisseina vahele oleks ette nähtud ruum vähemalt 50 mm** (Keskkonnaministri 09.07.2015 määrus nr 43). Vastasel korral ei teki toru ja puuraugu vahele piisavalt suurt ruumi, milles tsemendisegu liikuda saaks ja mantelroru võib kohati puutuda vastu augu seina. Tulemuseks on suure tõenäosusega nõuetele mittevastav ja ebaühtlane tsementatsioon. Diameetrite vahe kohta käivat nõuet ei ole võimalik tagada juhul kui puurimisega samaaegselt paigaldatakse koheselt ka mantelroru (nn ODEX-meetod). Teiseks tuleb tähele panna, et kvaliteetselt tsementeeritud puurkaev ei saa valmida 12 – 24 tunniga. Ajaperiood 12 – 24 tundi on minimaalne aeg, mis on vajalik tsemendisegu kuivamiseks pärast mantelroru isoleerimist.

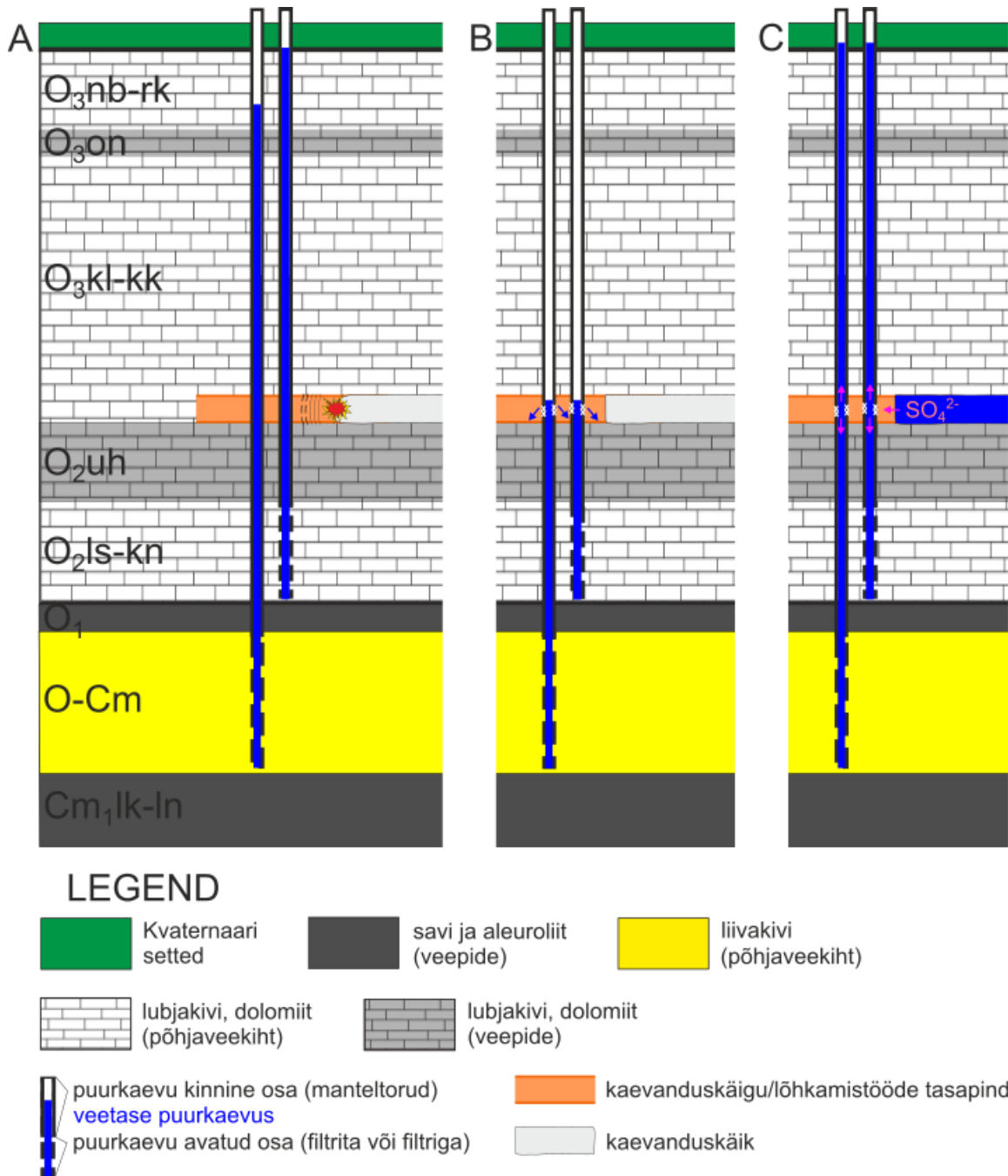
Lisaks puudulikule torutagusele isolatsioonile aitab veekihtide segunemisele kaasa mantelrorude lekkimine, mis võib olla tingitud mantelroru amortiseerumisest või inimese poolt põhjustatud

mehaanilistest vigastustest. Näiteks kaevandustegevuse käigus läbi viidavate plahvatuste lööklained võivad hinnanguliselt levida sadu meetreid ning vigastada kaevanduse tasapinnast sügavamal paiknevaid veekihte (nt Ordoviitsiumi Lasnamäe-Kunda, Ordoviitsiumi-Kambriumi, Kambriumi-Vendi veekihtid) avavate puurkaevude torutagust isolatsiooni ja põhjustada lekkeid puurkaevude manteltorude liitekohtades, mille tagajärjel veetaseme puurkaevus järsult langeb. Kuna kaevandustegevuse käigus hoitakse töötavates põlevkivikaevandustes Keila-Kukruse põhjaveekihti kuivana, saab vigastatud manteltoru korral toimuda leke Ordoviitsiumi Lasnamäe-Kunda, Ordoviitsiumi-Kambriumi või isegi sügavamal veekihti avavast puurkaevust välja (joonis 12a, b). Kaevandustegevuse lõppedes ja veetaseme taastudes rõhkude vahetuse puurkaevu ja ümbritseva Keila-Kukruse veekihi vahel muutub ning algab kaevanduskäikudest pärineva sulfaadirikka vee lekkimine puurkaevu (joonis 12c).

Lõhketööde mõju puurkaevu manteltorule ja isolatsioonile tuvastati näiteks Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihti avavas riiklikus seirepuurkaevus katastrinumbriga 4019 (Raidla ja Truu, 2022). Nimelt on riikliku põhjaveetaseme seire raames täheldatud, et põhjavee survetase on seirekaevus viimase 20 aasta jooksul alanenud 26 m võrra. Kõige ulatuslikum alanemine (16 m) on toimunud aastatel 2007 – 2013, kusjuures ainuüksi 2012. aastal oli langus 6,5 m. Olukorra selgitamiseks viidi LIFE IP CleanEST projekti raames seirekaevus nr 4019 läbi geofüüsikalised mõõtmised, andmaks hinnangut seirekaevu tehnilisele seisukorrale. Uuringu tulemuste põhjal jõuti järelduseni, et seirekaevu nr 4019 põhjavee survetaseme järsu alanemise põhjuseks 2012. a on ilmselt puurkaevus tekkinud lekkekohad, mille kaudu Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekihi vesi voolab Estonia kaevanduse poolt kuivendatavasse Keila-Kukruse veekihti ja/või Uhaku veepidemesse. Vigastuste põhjustajaks võib olla samal aastal puurkaevule liiga lähedal läbi viidud lõhketööd (kaevanduse streiki kaugus puurkaevust on umbes 10 m), mis on deformeerinud juba niigi avariilises seisukorras puurkaevu manteltoru (vt täpsemalt Raidla ja Truu, 2022).

Projekti LIFE IP CleanEST uuringute käigus kogutud veeproovides täheldati veel mitmetes Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi territooriumil esinevates Lasnamäe-Kunda ja Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekihte avavates puurkaevudes tavapärasest suuremaid (ehk vastavale veekihile mitte omaseid)  $\text{SO}_4^{2-}$  sisaldusi. Need võivad viidata sellele, et Ida-Virumaal kaevandatud piirkondades esineb rohkem vigase konstruktsiooni ja/või isolatsiooniga puurkaeve ja -auke. Seega saab põhjavee  $\text{SO}_4^{2-}$  sisaldust kasutada markerina, mille abil hinnata kaevanduspiirkonda rajatud sügavamate puurkaevude tehnilist seisundit.





Joonis 12. Ordoviitsiumi-Kambriumi (O-Cm) ja Lasnamäe-Kunda (O<sub>2</sub>ls-kn) põhjaveekihte avavate puurkaevude võimalik kahjustumine kaevandustegevuse tulemusel.

A – O-Cm ja O<sub>2</sub>ls-kn veekihtidest kõrgemal lasuvas kaevanduskäigus toimuv kivimi lõhkamine; B – O-Cm ja O<sub>2</sub>ls-kn veekihte avavate puurkaevude mantel torude vigastused 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 ja O<sub>2</sub>ls-kn veekihte avavatesse puurkaevudesse läbi vigastatud mantel torude (Raidla ja Truu, 2022 järgi)

Arvestada tuleb ka sellega, et erinevate veekihtide segunemine või pinnasevee jõudmine puurkaevu võib toimuda ka puurkaevu amortiseerudes. Kui puurkaevu manteltoru on metallist, siis vananedes see korrodeerub ja sellesse võivad tekkida defektid. Kui sellise toru tagune ei ole puuraugust korralikult isoleeritud võib tulemuseks olla kaevu lekkimine ja manteltoruga suletud põhjaveekihi segunemine puurkaevu poolt avatud põhjaveekihi. LIFE IP CleanEST uuringute raames tuvastati taoline puurkaevu amortiseerumine 1982. aastal rajatud riiklikus seirekaevus nr 3980 Alutaguse vallas Jaama külas, mis avas algselt Keila-Kukruse põhjaveekihti (Raidla jt, 2023a). Geofüüsikaliste mõõtmistega tuvastati puurkaevus ulatuslik manteltoru korrodeerumine, manteltoru vigastused ja halb manteltorutagune tsementatsioon. Selle tulemuseks oli põhjaveetaseme oluline muutumine ja oht, et pumpamisel toimub võõrvee (teise põhjaveekihi vee) valgumine puurkaevu. Puurkaevu tehniline seisund hinnati väga halvaks ja anti soovitus puurkaev lammutada (Raidla jt, 2023a; Truu jt, 2023).

Puurkaevu eluiga ei ole võimalik täpselt määratleda, aga mida vanem on puurkaev, seda suurem on võimalus selle amortiseerumiseks. Seepärast tuleks seirekaevude puhul arvestada, et kaevud mis on vanemad kui 40 aastat tuleks võimalusel asendada uuemate puurkaevudega, et tagada esinduslikud seireandmed ja vältida erinevate põhjaveekihtide segunemist kaevus või kaevu kaudu. Seireandmete aegriidade katkemise vältimiseks tuleks uued seirekaevud rajada endiste vahetusse lähedusse. Juhul kui vana seirekaevu avatud osa oli paigutatud nii, et erinevate veekihtide segunemise ohtu ei tuvastata, tuleks uue puurkaevu avatud osa paigutada sarnasele sügavusele.

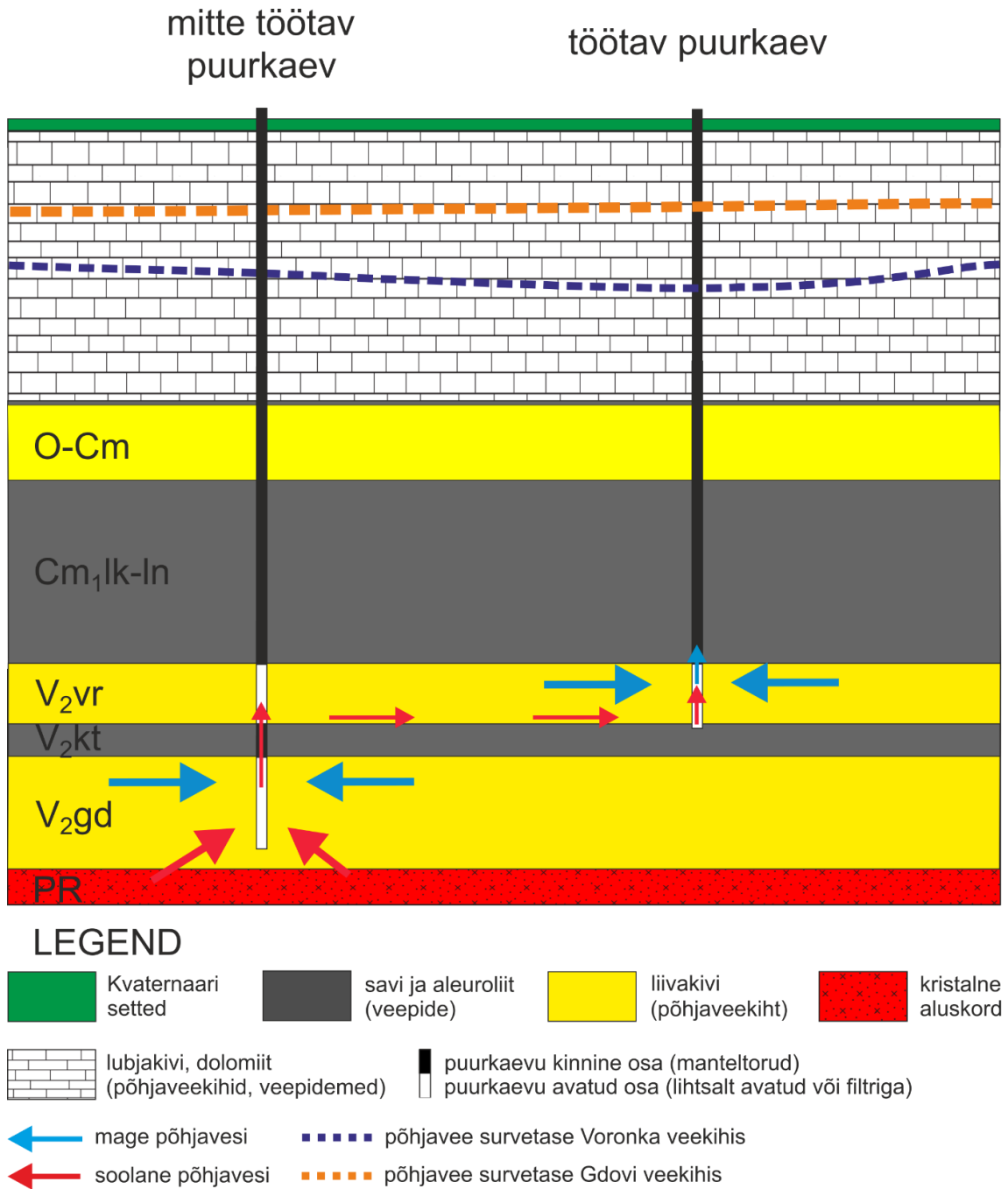
**Kvaliteetse puurkaevu rajamise eelduseks on korralik puurkaevu projekt, mis arvestab piirkonna hüdrogeoloogilise ehituse ja põhjaveekihtide paiknemisega. On oluline, et ei avataks puurkaevus korruga kahte erinevat põhjaveekihti, mille segunemine võib kaasa tuua vee kvaliteedi halvenemise. Kõige olulisem etapp puurkaevude ehitamise juures on manteltoru taguse isoleerimine, sest selles etapis tehtud vead ei ole hiljem kõrvaldatavad ja võivad kaasa tuua mitte ainult kaevust võetava vee vaid ka ümbruskonna põhjavee kvaliteedi olulise halvenemise. Mitut erinevat põhjaveekihti avavast või halvasti ehitatud seirekaevust ei ole võimalik koguda kvaliteetseid andmeid piirkonna põhjavee seisundi kohta (põhjaveetaseme ja põhjavee kvaliteet). Vigaste algandmete korral ei ole õiged nende põhjal tehtud järeldused, nt põhjaveekogumi seisundi, keskkonnamõjude ja põhjaveevarude hindamise kohta ning samuti nende järelduste põhjal väljatöötatud meetmed. Oluline on rõhutada, et ühendus erinevate veekihtide vahel võib puurkaevus tekkida ka pärast kaevu rajamist, kui selle tehniline seisukord halveneb. See võib toimuda puurkaevu vananedes (nt metallist manteltorude korrodeerumine) või mehaaniliste vigastuste tõttu (nt kaevandustes toimuvad lõhketööd).**

### 3.2.2 Kahe erineva veekihi avamine ühes puurkaevus

Kuna veekihtide keemiline koostis ja dünaamika erinevad üksteisest, siis ei tohi puurkaevud olla projekteeritud ja rajatud nii, et need avaksid korraga erinevaid põhjaveekihte. Ometi on Virumaal rajatud erinevaid veehaardeid, mille puurkaevud avavad korraga Kambriumi-Vendi Voronka ja Kambriumi-Vendi Gdovi veekihte („Gdov+Voronka“-tüüpi puurkaevud). Projekti LIFE IP CleanEST uuringute raames segutüüpi („Gdov+Voronka“) puurkaevude vee võrdlemisel ilmses nende sarnasus pigem Gdovi kui Voronka põhjaveega, mis annab alust väita, et töötav segutüüpi puurkaev saab oma vee põhiliselt Gdovi veekihist. Gdovi veekihis on kloriidisisaldus tavapäraselt suurem kui Voronka veekihis ületades ka joogiveele kehtestatud piirsaldust 250 mg/l. Seega võib veevõtt kahte erinevat Kambriumi-Vendi põhjaveekihti avavast puurkaevust viia piirkonnas Voronka põhjaveekihis oleva põhjavee sooldumiseni ja kloriidisisalduse suurenemiseni. Kambriumi-Vendi Voronka ja Gdovi veekihte avavatest puurkaevudest ja põhjavee sooldumisest saab täpsemalt lugeda LIFE IP CleanESTt projekti aruandest Raidla ja Truu (2020).

Kuna eespool toodust nähtub (vt ka peatükk 2.2), et Ida-Virumaa Gdovi põhjaveekihti ohustab sooldumine, mis väljendub ennekõike suuremas kloriidisisalduses, siis on oluline vältida segutüüpi (Gdov+Voronka) puurkaevude rajamist. Eriti võivad Voronka põhjaveekihi sooldumist soodustada konserveeritud (reservis olevad, mitte töötavad) segutüüpi puurkaevud. Voronka põhjaveekihi keemiline seisund on ohustatud juhul kui põhjavee survetase Gdovi põhjaveekihi kujuneb kõrgemaks kui lasuvas Voronka põhjaveekihi (joonis 13).

Maapinnalähedasi põhjaveekihte avavas puurkaevus võib kahe põhjaveekihi avamine samas puurkaevus viia vee üldise keemilise koostise muutumiseni ja saasteainete, orgaanika jm liikumisele ühest veekihist teise. Kui puurkaevuga avatakse maapinnalt esimene põhjaveekiht, mis on kõige tundlikum maapinnalt pärinevale reostusele (nt teehooldusest  $\text{Cl}^-$ , kanaliseerimata aladelt  $\text{NH}_4^+$ , vt koormuste osas ka juhendi peatükke 2.2 ja 3.1) ja ka järgmine sügavam põhjaveekiht, luuakse ühe puurkaevu kaudu n-ö otsetee saasteainete kiiremaks levikuks ülemistest veekihtidest sügavamatesse. Kuigi taoline ainete liikumine kahe põhjaveekihi vahel võiks aset leida ka looduslikult, oleks see palju aeglasem protsess kui puurkaevu kaudu, mis avab kahte veekihti korraga. Tähelepanu tuleb juhtida ka asjaolule, et vee liikumise suund ja dünaamika oleneb sellest, kas puurkaevud töötavad või on konserveeritud, kas tegemist on ainsa puurkaevuga või läheduses paikneb veel teisigi puurkaeve. Kõik eelnev määrab selle, millal vesi liigub ühest põhjaveekihist teise ja millal mitte ning kaugele kandub saasteaine (jäab kahte põhjaveekihti koos avava puurkaevu vahetusse lähedusse või kandub põhjaveekihi kaugemale). Seega on kahte põhjaveekihti korraga avava puurkaevu mõju oma ümbruskonnale olukorrast sõltuv.



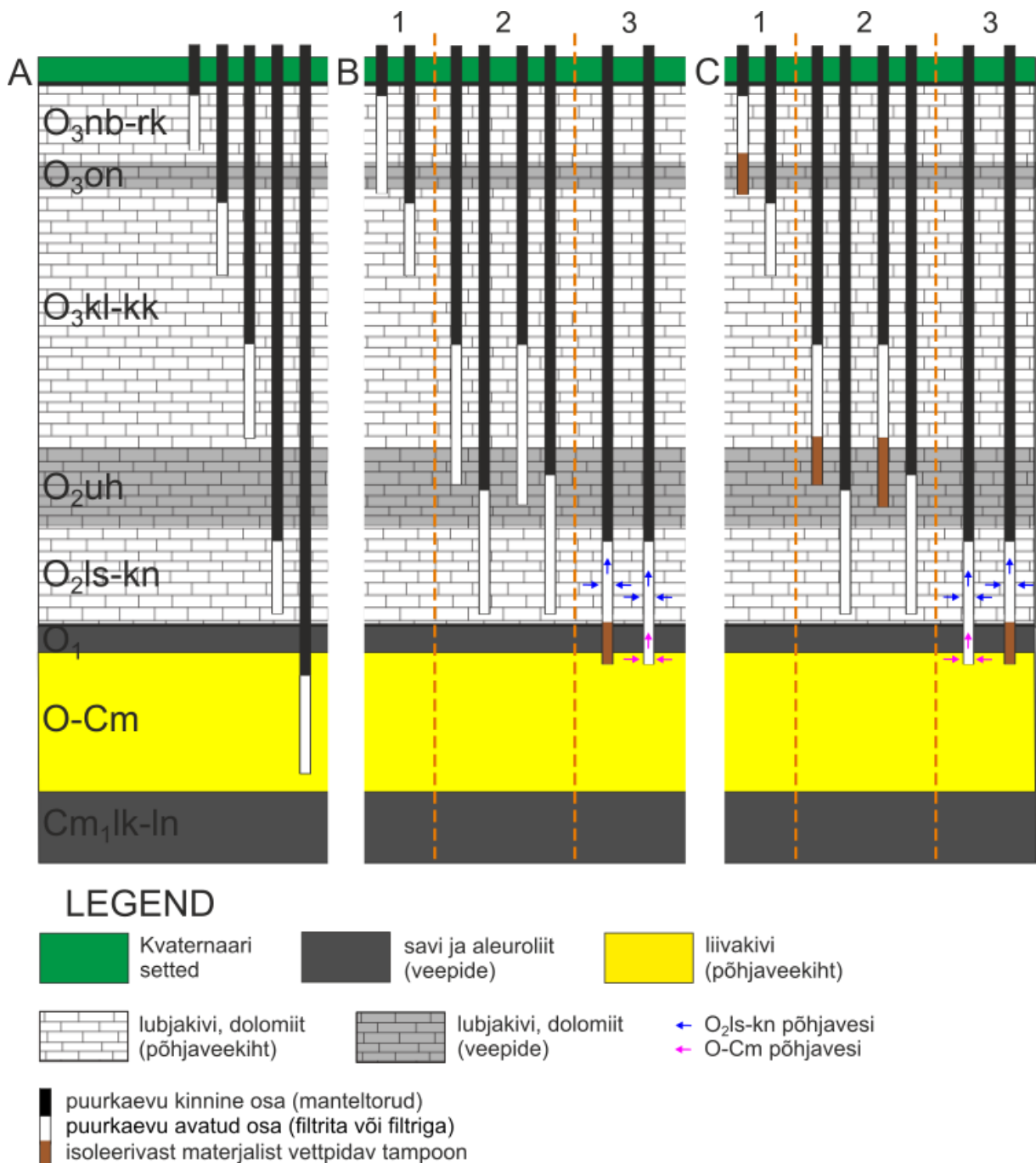
Joonis 13. Voronka veekihi võimalik sooldumise skeem läbi reservis oleva Gdov+Voronka tüüpi puurkaevu (Raidla ja Truu, 2020 järgi).

Kõike kirjeldatud arvestades ei tohi rajada puurkaeve, mis avavad kahte veekihti korraga, et oleks välditud nii ülemiste põhjaveekihtide vee sissevool puurkaevuga avatavasse sügavamasse põhjaveekihti kui ka sügavamatest põhjaveekihtidest vee liikumine puurkaevuga avatavasse ülemisse põhjaveekihti.

### 3.2.3 Lähestikku asuvate puurkaevude avatud osade sügavuste kattumine

Läbi aegade on rajatud põhjavee seireteks (riiklik seire, ettevõtte omaseire, jm) puurkaevude rühmi, kuhu kuuluvad mitu erinevaid veekihte avavat puurkaevu. Olenevalt seire eesmärgist ja piirkonna geoloogilisest ehitusest võib seirepuurkaevude rühma kuuluda näiteks 2 kuni 5 puurkaevu, mis üldiselt asuvad üksteisele väga lähedal (tavapäraselt vahekaugused 1 kuni 10 meetrit). Iga puurkaev on projekteeritud avama erinevat veekihti, andmaks infot just selle konkreetse veekihi vee keemilise koostise, põhjaveetaseme ja nende muutuste kohta. Kuna puurkaevude rühma kuuluvad seirekaevud paiknevad väga lähestikku on oluline, et need seirepuurkaevud on rajatud korrektselt. See tähendab, et need on projekteeritud ja ehitatud nii, et oleks välditud erinevate veekihtide omavaheline segunemine. Joonisel 14 (A) on kujutatud seirepuurkaevude rühma, kus puurkaevud avavad erinevaid Ordoviitsiumi ja Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihte. Analoogset tüüpi seirerühmasid esineb Ida-Virumaal altkaevandatud aladel rohkelt, et seirata põlevkivi kaevandamise mõjusid või nende puudumist kaevandustasapinnast kõrgemale ja sügavamale jäävate põhjaveekihtide keemilises koostises ja veekihtide survetasemetes. Tihti rajatakse Ordoviitsiumi Keila-Kukruse põhjaveekihti kaks puurkaevu, millest üks avab veekihi ülemist ja teine alumist osa. Selle põhjuseks on asjaolu, et kaevandatav põlevkivi asub just Keila-Kukruse põhjaveekihi alumises osas ja seega kahe erineva sügavusega kaevu eesmärk on tavaliselt veekihtisese keemilise koostise ja veetaseme dünaamika jälgimine.

Kui joonise 14 A osas on näha korrektselt rajatud seirekaevude rühm, siis joonise B osas on kujutatud olukorrad, mida tuleb lähestikku rajatud puurkaevude juures vältida. Eelnevas alapeatükis näidati, miks on oluline rajada puurkaevu nii, et nad ei avaks korraga kahte erinevat põhjaveekihti, mis loob võimaluse erinevate veekihtide segunemisele. Seega ka seirekaevude rühmades ei tohi esineda puurkaevu, mille avatud osad läbivad lisaks ette nähtud seiratavale veekihile veepidet ning avavad selle kaudu ka teist veekihti (joonis 14 B osa näide 1). Kuid sama oluline on ka jälgida, et puurkaevude avatud osad ei oleks veepidemes lähestikku või lausa kattuvad (joonis 14 B osa näide 2). Kui puurkaevude avatud osad paiknevad väga lähestikku, siis eriti dünaamilises režiimis (puurkaevust vee välja pumpamisel) võib tekkida hüdrodünaamiline seos kahe veekihi vahel, mis tähendab, et seire raames võetavad veeproovid ei pruugi väljendada ühe konkreetse veekihi keemilist koostist, vaid kahe veekihi segunenud vee tulemusi.



Joonis 14. Ühte seirepuurkaevude rühma kuuluvate puurkaevude avatud osade sobilikud ja mitte sobivad paiknemised.

A – korrektselt rajatud seirepuurkaevude rühm (puuduvad avatud osade ja erinevate veekihtide omavahelised seosed); B – vead rajatud seirepuurkaevude rühmade puurkaevude avatud osade paiknemisel, 1) veekihid omavahel seotud (O<sub>3</sub>nb-rk veekihi puurkaevu avatud osa läbib lamavat O<sub>3</sub>on veepidet luues ühenduse sügavama O<sub>3</sub>kl-kk veekihtiga), 2) puurkaevude avatud osade lähedane paiknemine ja kattuvus, mis loovad võimaluse erinevate veekihtide vee segunemiseks (lähedane paiknemine – O<sub>3</sub>kl-kk puurkaevu avatud osa lõppeb samal sügavusel kus algab O<sub>2</sub>ls-kn puurkaevu avatud osa; kattuvus – O<sub>3</sub>kl-kk ja O<sub>2</sub>ls-kn puurkaevude avatud osad avavad teatud ulatusel samal sügavusel nende vahel paiknevat O<sub>2</sub>uh veepidet), 3) isoleeriva tampooni eemaldamine kaevu ümberehitamisel (O<sub>2</sub>ls-kn veekihti avava puurkaevu põhjas oli isoleeriv tampoon, mis kaevu puhastus- ja korrastustööde ajal eemaldati. Selle tulemusel osutus puurkaevu kaudu võimalikuks kahe veekihi (O<sub>2</sub>ls-kn ja O-Cm) põhjavee segunemine); C – lahendused erinevate veekihtide isoleerimiseks, 1) kahte veekihti samaaegselt avava puurkaevu põhja isoleerivast materjalist vettpidava tampooni paigaldamine (O<sub>3</sub>nb-rk veekihi puurkaevu põhja tampoon katkestab seose O<sub>3</sub>kl-kk veekihtiga), 2) madalama puurkaevu (O<sub>3</sub>kl-kk) põhja rajatav isoleerivast

materjalist vettpidav tampoon katkestab seose sügavamast veekihti ( $O_2Is-kn$ ) avava puurkaevuga, 3) kahe erineva veekihi ( $O_2Is-kn$  ja  $O-Cm$ ) põhjavee segunemise vältimiseks tuleb puurkaevu põhja uuesti paigaldada tampoon. Joonisel kasutatud põhjaveekihtide lühendid on lahti seletatud joonistel 1 – 3.

Puurkaevu rajamisel viitab puurkaevude avatud osade õigele või valele paigutusele kaevude põhjaveetasel. Näiteks LIFE IP CleanEST projekti Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogumi uuringute käigus ilmnes, et Narva jõe äärsete puurkaevude nr 3536 (avab Kesk-Devoni ja Ordoviitsiumi Keila-Kukruse põhjaveekihti) ja 3537 (avab Keila-Kukruse veekihti) veetasemed on praktiliselt samasugused. Seevastu neist lääne poole jäävates puurkaevudes nr 3524 (avab Kesk-Devoni põhjaveekihti) ja 3525 (avab Keila-Kukruse põhjaveekihti) on põhjaveetasemete vahel selge erinevus (1 – 3 m). Seega tekib küsimus, miks ühes seirerühmas kahe veekihi (Kesk-Devoni Narva veekiht, Ordoviitsiumi Keila-Kukruse veekiht; läbilõikes lasub Narva veekiht Keila-Kukruse veekihi kohal) survetasemed kattuvad kui teises seirerühmas on samade veekihtide survetasemed erinevad. Ühelt poolt on puurkaevus nr 3536 avatud lisaks Kesk-Devoni põhjaveekihile ka 4 m ulatuses Idavere kihti (mis on Keila-Kukruse põhjaveekihi ülemine osa). Sinna ulatub ka kõrvalasuva seirekaevu nr 3537 avatud osa, luues nii ilmse hüdrodünaamilise ühenduse puurkaevude vahel (analoogset puurkaevude avatud osade paiknemist illustreerib ka joonise 14 B osa näide 1). Teisiti öeldes on ülemise Kesk-Devoni veekihi puurkaevu nr 3536 avatud osa liiga sügaval ja avab juba järgmist veekihti. Teisalt, võivad seirekaevude nr 3536 ja 3537 veetasemed olla juba looduslikult kontrollitud Narva jõe poolt. Paraku ei ole viimast võimalust võimalik kindlalt kontrollida enne, kui seirekaevude avatud osad on üksteisest kindlalt eraldatud. Täpsemalt saab nende kaevude kohta lugeda põhjaveekogumi nr 6 aruandest Raidla jt (2023a).

See, kui pikk peab olema vahemaa kahe kõrvuti asuva ja erinevaid põhjaveekihte avavate seirekaevude avatud osade vahel, sõltub antud paiga geoloogilistest tingimustest ja põhjaveekihte eraldavate veepidemete tugevusest. Seega ei ole kindlat vahemikku võimalik teoreetiliselt paika panna. LIFE IP CleanEST projekti tegevuse C.10 raames Pandivere kõrgustikul läbi viidud põhjaveeuuringute raames rajati Ordoviitsiumi põhjaveekihtidesse 3 uut seirekaevude gruppi (Iital jt, 2022). Selle kogemuse põhjal saab öelda, et kindel erinevus kahe kõrvuti asuva seirekaevu põhjaveetasemetes ja vee kvaliteedis ilmnes juhul, kui madalama kaevu avatud osa lõpu ja sügavama kaevu avatud osa alguse vahe oli suurem kui 5 m. Kõige selgemad erinevused avaldusid juhul kui see vahemik oli 15 – 20 m, aga nii suurt erinevust avatud osade vahel saab planeerida ainult juhul, kui uuritav põhjaveekihtide kompleks on piisavalt paks. Seirekaevude puhul, mille avatud osade sügavused (madalama kaevu avatud osa lõpp ja sügavama kaevu avatud osa algus) erinesid teineteisest vaid 1 – 2 m võrra, oli nende veetasel täpselt samasugune, aga veekeemia mõnevõrra erinev.

Oluline on rõhutada, et seirekaevudes ei ole enamasti oluline selle tootlikkus (deebit), vaid see, et kaev iseloomustaks põhjaveetasel ja kvaliteeti väga kindlas maapõue osas ning see ei oleks mõjutatud

erinevate põhjaveekihtide segunemisest. Näiteks esineb Siluri ja Ordoviitsiumi karbonaatkivimites ka ühe põhjaveekihi sees väga palju erinevaid vett juhtivaid vööndeid, mis ei pruugi olla kõik sarnase keemilise koostise ja põhjavee survetasemega (vt peatükk 2.1). Seetõttu oleks tulevaste seirekaevude projekteerimisel soovitav, et seirekaevude avatud osad ei oleks väga pikad, vaid piirduksid sõltuvalt kivimist ja settest 1 – 5 meetriga. See võimaldaks ka vältida seirekaevude gruppides esinevate avatud osade kattumise ohtu ja seeläbi erinevate põhjaveekihtide omavahelist seotust. Nimetatud soovitus on eriti oluline maapinnalähedaste põhjaveekihtide jaoks. Sügavamate regionaalse veepideme all lamavate põhjaveekihtide seireks võib kasutada ka pikema avatud osaga kaeve, kui eeldada, et põhjavee survetase ja põhjavee keemiline koostis põhjaveekihis vertikaalsuunas ei muutu.

Üks soovitus, mis aitaks vältida uue seirekaevude grupi rajamisel erinevate põhjaveekihtide segunemist, on grupi sügavaim seirekaev rajada südamikpuurimisega. See tagaks seirekaevude grupi rajamiseks kvaliteetse info piirkonna geoloogilisest ehitusest. Südamikpuurimisega saadud geoloogiline ehitus aitab seirekaevude grupi teistele (madalamatele) puurkaevudele valida õiged avatud osade intervallid, et vältida veekihtide vahelisi seoseid ja veekihtide segunemist.

Kui esineb kahtlus, et avatud osade lähestikusest paiknemisest on tingitud veekihtide omavaheline seos, tuleb see olukord parandada. Üks moodus on rajatud puurkaevude põhja tamponimine, näiteks savitäide (joonis 14 C osa). Ka puurkaevus, kus on korraga avatud kaks veekihti on lihtsaim moodus veekihtide segunemise vältimiseks sügavamal paikneva avatud põhjaveekihi isoleerimine ehk puurkaevu põhja tamponimine. Kui kahe veekihi vahelise seose ja segunemise kõrvaldamine (isoleerimine) puurkaevus ei ole mingil põhjusel tehniliselt võimalik, tuleb puurkaev likvideerida (lammutada).

Sama oluline on jälgida, et puurkaevu puhastuse ja ümber ehitamise tööde juures ei avataks uuesti juba suletud veekihti. Näiteks LIFE IP CleanEST uuringute käigus täheldati veetaseme ja põhjavee keemilise koostise muutuseid Lasnamäe-Kunda veekihti avavas seirepuurkaevus nr 3979, mis asub Alutaguse vallas Jaama külas. Nimelt aastal 2019 läbi viidud puurkaevu puhastamise/korrastamise käigus on arvatavasti välja „puhastatud“ puurkaevu põhjas paiknenud savilukk, mis avas ühtlasi puurkaevu ka Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihti (olukorda illustreeriv skeem – joonis 14 B osa näide 3). Selle tulemusel võis puurkaevu nr 3979 veetase tõusta üle maapinna. Puurkaev nr 3979 on aastakümneid olnud mõjutatud põhjavee survetaseme alandamisest (põlevkivi kaevandamisest) ja järsk survetaseme tõus võib väljendada ka põhjaveekihi survetaseme taastumist pärast kaevandustegevuse lõppu. Siiski on seireandmetest näha, et pärast puurkaevu puhastamist/korrastamist muutus ka puurkaevu vee keemiline tüüp (eelkõige suurenes vees lahustunud naatriumi osakaal). Kuna Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihile on omane just Na-HCO<sub>3</sub>-tüüpi



põhjavesi, siis naatriumi sisalduse suurenemine seirepuurkaevu nr 3979 vees viitab siiski sellele, et puhastustööde käigus on puurkaevus lisaks Lasnamäe-Kunda veekihtile avatud teinegi (O-Cm) põhjaveekiht. Täpsemalt saab seirepuurkaevust nr 3979 lugeda põhjaveekogumi nr 6 aruandes Raidla jt (2023a). Kui puhastus-/korrastustööde (ümberehitamine) raames on eemaldatud puurkaevu põhja varasemalt tehtud tampoon ja võimalikuks saab veekihtide segunemine selle puurkaevu kaudu, tuleks taastada esialgne olukord ehk teha puurkaevu põhja isoleerivast materjalist tampoon (joonis 14 C osa näide 3). Seega tuleb ka kaevude puhastamise ja ümber ehitamise tööde planeerimisel alati arvestada kohaliku geoloogilise läbilõikega ja veenduda, mis sügavusele puurkaeve korrastades (ümber ehitades) puurida võib.

**Põhjavee seisundi seireks rajatud puurkaevude gruppide projekteerimisel tuleb jätta piisavalt pikk vahe madalama kaevu avatud osa lõpu ja sügavama kaevu avatud osa alguse vahele. Vastasel korral võib puurkaevudel tekkida hüdrodünaamiline ühendus ja proovivõtmisel toimuda erinevate põhjaveekihtide segunemine. Kahte erinevat veekihti avava puurkaevu hüdrodünaamilisest seosest annavad tunnistust sarnane veetase ja/või sarnane põhjavee keemiline koostis, mis erinevad ümbruskonna sama põhjaveekihti avavatest puurkaevude veetasemest ja/või vee keemilisest koostisest. Kui olemasolevate puurkaevude korral tekib kahtlus, et nende avatud osade lähestikuse paiknemise tõttu on tekkinud veekihtide omavaheline seos, tuleb see olukord parandada (nt madalama puurkaevu põhja tampoonimine savitäitega). Iga seirekaev peab avama ainult seda põhjaveekihti, mille seiramiseks see rajatakse. Seega olenevalt olukorrast saab seirekaevu avatud osa korrektseks paigutamiseks või selle kontrollimiseks kasutada erinevaid lähenemisi, nt südamikpuurimine, geofüüsikalised mõõtmised puurkaevus, olemasolev detailne geoloogiline info lähedalasuvast geoloogilisest puuraugust. Nende seast peab seire korraldaja ja seirekaevu tellija valima sobivaima, et tagada kvaliteetsete seiretulemuste saamine ning puurimistööde korrektne läbiviimine.**

## Kasutatud kirjandus

Boldõreva N., Savitski L., 2005. Ida-Viru seirepiirkond. Põhjaveeseisund 1999.-2003. aastal, (toimetaja) Perens, R. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 43–50.

EELIS, 2022. Eesti jääkreostusobjektide nimistu. Kasutatud 17.02.2024.

<https://metadata.geoportaal.ee/geonetwork/srv/api/records/%7BD746BBF4-D390-4CA8-8A74-C0F81A2FAD46%7D>

European Communities, 2003. Guidance Document No. 3. Analysis of Pressures and Impacts. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). European Communities, Luxembourg.

Iital, A., Kõrgmaa, V., Pachel, K., Roosalu, K., Jaaku, J., Leisk, Ü., Pärn, J., Hunt, M., Osjamets, M., Koit, O., 2022. LIFE IP CleanEST projekti tegevus C10.1 veeuuringud 2019-2022 a. seiretulemuste kokkuvõte. Tallinna Tehnikaülikool, Eesti Geoloogiateenistus, Eesti Keskkonnauuringute Keskus, Tallinn

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

KESE, 2024. Keskkonnaagentuuri hallatav Keskkonnaseire infosüsteem KESE,

<https://kese.envir.ee/kese/welcome.action>

Keskkonnaministri 09.07.2015 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 kasutusteatis, puurimispäeviku, salvkaevu ehitus- või kasutusteatis, puurkaevu või -augu ja salvkaevu andmete keskkonnaregistrisse kandmiseks esitamise ning puurkaevu või -augu ja salvkaevu lammutamise teatise vormid“

Keskkonnaministri 02.10.2019 määrus nr 48 „Põhjaveekogumite nimekiri ja nende eristamise kord, seisundiklassid ja nende määramise kord, seisundiklassidele vastavad keemilise seisundi määramiseks kasutatavate kvaliteedinäitajate väärtused ja koguselise seisundi määramiseks kasutatavate näitajate tingimused, põhjavett ohustavate saasteainete nimekiri, nende sisalduse läviväärtused põhjaveekogumite kaupa ja kvaliteedi piirväärtused põhjavees ning taustataseme määramise põhimõtted“

Keskkonnaministri 08.10.2019 määrus nr 49 „Proovivõtumeetodid“

Kildjer, P. (koostaja), 2017. Puuri ja käsiraamat. Eesti Geoloogia Selts, Tallinn.  
<https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:318211/276313/page/1>

Kõrgmaa, V., Usin, E., Leisk, Ü., Laht, M., Värk, V., Otsmaa, S., Pachel, K., Jaaku, J., Kriipsalu, M., Pehme, K., Tamm, I., Albrecht, 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, 104.

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.

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

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

Polikarpus, M., 2018. 5. köide. Virumaade mudeli kirjeldus ja kasutusjuhend. Kogumikus: Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsina koos alternatiivsete leevendusmeetmetega (toimetaja) Jõelet, A., Tartu ülikool, Tartu.

Põhjaveekomisjon, 2004. Põhjavee kasutamine ja kaitse. Põhjaveekomisjon, Tallinn.

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

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

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

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

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

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

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.

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

Sterckx, A., Lemieux, J.M., Vaikmäe, R., 2018. Assessment of paleo-recharge under the Fennoscandian Ice Sheet and its impact on regional groundwater flow in the northern Baltic Artesian Basin using a numerical model. *Hydrogeology Journal*, <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1838-7>.

Tamm, I., Metsur, M., 2017. Põhjaveevaru hindamise juhend. AS Maves, Tallinn.

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

Vaikmäe, R., Vallner, L., Loosli, H.H., Blaser, P.C., Juillard-Tardent, M., 2001. Palaeogroundwater of glacial origin in the Cambrian–Vendian aquifer of northern Estonia. Kogumikus: Palaeowaters of Coastal Europe: Evolution of Groundwater since the late Pleistocene. Geological Society (toimetajad) Edmunds, W.M., Milne, C.J. London, Special Publications, vol. 189, 17–27.

Vallner, L., 1997. Groundwater flow. Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–152.

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 05.02.2024,  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/122022019001?leiaKehtiv>