



Uljaste järve mõju ümbritsevate põhjaveekihtide veekvaliteedi kujunemisele

Bakalaureusetöö

Üliõpilane: Vlada Lanbert

Üliõpilaskood: 233397LARB

Juhendajad: Joonas Pärn, Eesti Geoloogiateenistus, hüdroteoloog

Heidi Elisabet Soosalu, TalTech, vanemlektor

Õppekava: Maa süsteemid kliima ja tehnoloogiad

Tallinn 2026

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: [Vlada Lanbert]

[digitaalselt allkirjastatud 24.05.2026]

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

Juhendaja: [Joonas Pärn]

[digitaalselt allkirjastatud 24.05.2026]

Juhendaja: [Heidi Elisabet Soosalu]

[digitaalselt allkirjastatud 24.05.2026]

Sisukord

Annotatsioon	3
Abstract	4
1. Sissejuhatus	6
2. Teoreetiline taust ja uuringuala kirjeldus	7
2.1 Põhjavee kvaliteedi kirjeldamine ja kujunemine	7
2.2 Järvede veebilanss ja vastastikmõju põhjaveega.....	9
2.2.1 Varasemad järvede ja põhjavee vastastikmõju uuringud Eestis	10
2.3 Uljaste järve uuringuala kirjeldus.....	11
2.3.1 Uljaste järv	11
2.3.2 Uljaste oos	12
2.3.3 Uuringuala aluspõhja hüdrogeoloogiline ehitus	13
2.3.4 Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjäär	15
2.3.5 Uuringuala piiritlemine	16
3. Metoodika	17
3.1 Andmestiku kirjeldus.....	17
3.1.1 Life-SIP AdaptEst projekt	17
3.1.2 Teised andmeallikad	18
3.2 Andmeanalüüsi kirjeldus.....	19
3.2.1 Põhjavee keemiliste tüüpide arvutamine.....	19
3.2.2 Põhjavee redokstsoonide arvutamine	20
4. Tulemused	22
4.1 Vee keemiliste tüüpide levik	22
4.2 Redokstsoonide levik	24
4.3 Olulised vee kvaliteeti kirjeldavad näitajad	25
5. Arutelu	28
5.1 Järvevee sissevooluga seotud keemilised protsessid põhjaveekihis	28
5.1.1 Vee keemiline koostise kujunemine maapinnalähedases põhjaveesüsteemis.....	28
5.1.2 Vee keemiline koostise kujunemine sügavas põhjaveeskihis	29
5.2 Kaevandustegevuse võimalik mõju Uljaste järve valgla põhjavee kvaliteedile	29
5.3 Kontseptuaalne mudel	30
Kokkuvõte	32
Tänuavaldused	33
Kasutatud kirjanduse loetelu	34

Annotatsioon

Käesoleva töö eesmärk oli selgitada välja Uljaste järve keemiline vastastikmõju põhjaveega ning ennustada järve ümbritsevate põhjaveekihtide veekvaliteedi muutusi piirkonnas toimuva põlevkivi kaevandamise laiendamise korral. Selleks uuriti põhjavee keemilist koostist Uljaste järve ja Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjääri ümbritseval alal. Töös kasutati nii varasemate uuringute ja riiklike andmebaaside andmeid perioodist 2000–2025 kui ka uus seni avaldamata andmeid, mis on kogutud LIFE-SIP AdaptEst projekti raames. Eesti Geoloogiateenistuse 2023. aastal läbiviidud uuring näitas, et järvevesi imub põhjavette läbi järvepõhja ja oosi moodustavate setete. Käesoleva töö tulemused kinnitavad, et järv on seotud põhjaveega, kuna järve lähedal asuvates maapinnalähedastes põhjaveekihtides esinevad suured orgaanilise aine ja raua sisaldused ning põhjavee elektrijuhtivus on väike. Töö järelduste alusel on koostatud kontseptuaalne mudel, mis seletab põhjavee kvaliteedi kujunemist uuritud alal ning järve ja põlevkivikarjääri mõjusid põhjavee keemilisele koostisele.

The impact of Lake Uljaste on the water quality of the surrounding aquifers

Abstract

The aim of this study was to investigate the chemical interaction between Lake Uljaste and surrounding aquifers, as well as to forecast changes in groundwater quality in the area in the event of expansion of current oil shale mining activities. The study was based on both available data on chemical composition of groundwater from previous studies and public databases from the period 2000–2025 as well as new unpublished data collected during the LIFE-SIP AdaptEst project. According to a study conducted in 2023 by the Geological Survey of Estonia, lake water infiltrates into the aquifers through the lake bottom sediments and through the esker. The results of this study show that the lake is chemically affecting groundwater quality in the surrounding aquifers, as the shallow aquifers close to the lake are characterized by high chemical oxygen demand and iron concentrations while having low electrical conductivity. To summarize the main results of the study, a conceptual model is presented on the basis of the main conclusions.

Jooniste loetelu

Joonis 1 Uljaste järve asukoht Kirde-Eestis.	6
Joonis 2 Redoksreaktsioonide toimimise mehhanism.	8
Joonis 3 Põhjavee redoksreaktsioonide suhtes tundlike elementide muutus.....	9
Joonis 4 Põhjavee ja järvede vastastikmõju kolm tüüpi.	10
Joonis 5 Uljaste järve sügavuskaart veetaseme 67,58 m ümp juures	11
Joonis 6 Uljaste oosi paiknemine.	13
Joonis 7 Uuringuala geoloogiline kaart.	14
Joonis 8 Uljaste järve veebilansi komponentide osakaalud.	15
Joonis 9 Uuringuala piirid ja selle piiritlemist määravad nähtused.	16
Joonis 10 Puurkaevude UG03K ja UG07K paiknemine.	17
Joonis 11. A – Veeproovi võtmisel vajalik varustus; B - Veeproovi võtmise protsess.....	18
Joonis 12 Töös kasutatud puurkaevude asukohad ja liigitus vastavalt andmete päritolule.	19
Joonis 13 Graafikud redokstsoonide piirväärtuste leidmiseks uuringualal.	21
Joonis 14 Veetüüpide levik.....	22
Joonis 15 Elektrijuhtivuse karpdiagramm.	23
Joonis 16 Elektrijuhtivuse levik.	24
Joonis 17 Redokskategooriate levik.	25
Joonis 18 Raua levik uurimisalas.	26
Joonis 19 Sulfaatide levik uuringualas.....	27
Joonis 20 Keemiline hapnikutarve uuringualal.....	27
Joonis 21 Uuringu tulemusi iseloomustav kontseptuaalne mudel.....	31
Joonis 22 Uljaste järv päikese loojangul.	32

Tabelite loetelu

Tabel 1 Redokstsoonide piirid uuringualal McMahon ja Chapelle (2008) ning Chapelle jt. (2009) muudetud klassifikatsiooni alusel.	21
--	----

1. Sissejuhatus

Uljaste järv asub Põhja Eestis, Lääne-Virumaal Viru lavamaal (Joonis 1). Piirkonna omapärane reljeef, geoloogiline ehitus ja järve lähedal paiknev põlevkivikarjäär tekitavad küsimusi kaevandamise mõjust järve ja seda ümbritsevate põhjaveekihtide veetasemetele ja vee kvaliteedile. Juba 2020. aastal algasid arutelud ja protestid seoses täiendatavate geoloogiliste uuringute korraldamisega. Uuringud oli vajalikud uue kaevandamisloa taotlemiseks, et laiendada Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjääri. Umbes 400 inimest osalesid meelevalduses põlevkivikaevandamise vastu ning oli kogutud rohkem kui 1000 allkirja petitsioonile „Päästame Uljaste järve“ (Nael, 2020).

Kaks aastat väldanud uuringute tulemusena jõudis Eesti Geoloogiateenistus 2023. aastal järeldustele, et Uljaste järv toitub sademetest ja sooveest, kuid geograafilise asukoha tõttu ei ole see kaitstud põlevkivikaevandamise mõjude eest (Polikarpus jt., 2023). Käesoleva töö eesmärk on uurida järvega seotud põhjaveekihtide keemilist koostist ja teha järeldusi järve keemilisest mõjust ala põhjaveele. See on vajalik, et selgitada järve rolli kohalikus veerežiimis ja ennustada põlevkivi kaevandamise laienemise võimalikku mõju piirkonna põhjavee kvaliteedile.



Joonis 1 Uljaste järve asukoht Kirde-Eestis.

Töös tuginetakse nii uutele seireandmetele kui ka varasemate uuringute tulemustele. Kasutades EELIS andmebaasi oli võimalik analüüsida rohkem puurkaeve, et luua laiem pilt hüdrogeoloogilisest režiimist ning paremini mõista seoseid Uljaste järve ja selle ümbritsevate põhjaveekihtide vahel. Lisaks järeldustele on uuringu lõpus esitatud kontseptuaalne mudel, mis visuaalselt iseloomustab saadud tulemusi ja järve vastastikmõju põhjaveega. Bakalaureusetöö valmis LIFE-SIP AdaptEST (LIFE21-IPC-EE-LIFE-SIP AdaptEst/101069566) projekti 3. töopaketi tegevuste raames ning toetab projekti eesmärke kliimamuutustega kohanemise meetmete väljatöötamisel Eesti veeökosüsteemide jaoks.

2. Teoreetiline taust ja uuringuala kirjeldus

2.1 Põhjavee kvaliteedi kirjeldamine ja kujunemine

Põhjavesi on maakoore ülaosa kivimite ja setete poorides ning lõhedes olev vesi, mis saab liikuda raskusjõu ja rõhu mõjul. Põhjavesi liigub üldjuhul kõrgematelt aladelt madalamale, jõudes filtratsioonivooluna allikatesse, pinnaveekogudesse või merre (Karise jt., 2004). Põhjavesi tekib peamiselt kahel viisil: sademete infiltreerumisel maapinda või merelise päritoluga vee sissetungil põhjaveekihtidesse. Viimane võib pärineda kas tänapäevasest mereveest või vanast merelise päritoluga veest aluspõhja sügavamas osas (Marandi jt., 2019). Eesti alal leidub veel erilist jääaegadel mandriliustike sulavete infiltretsiooni tagajärjel tekkinud põhjavett (Vaikmäe jt., 2001), mida võib lugeda sademete tekkelise põhjavee alamliigiks. Sademete tekkelise põhjavee alamliik on ka pinnaveekogude (järved, jõed) vee infiltreerumisel tekkinud põhjavesi.

Eestist rääkides tuleb märkida, et enamasti kasutatakse üksikmajapidamiste joogi- ja tarbeveeallikana maapinnalähedast põhjavett, mis on tekkinud sademevee imbumisel maapinda. Keskmiselt 10% Eestis sadestuvatest sademetest ehk umbes 70 mm aastas imub põhjavette. Kõige intensiivsem põhjavee toitumine on täheldatav Pandivere kõrgustikus, kus see ulatub kuni 200–300 mm/aastas ja kõige vähem Lääne-Eestis, Võrtsjärve ja Järvamaa madalikul ning soistel aladel, kus see on 0–50 mm (Vallner, 1997).

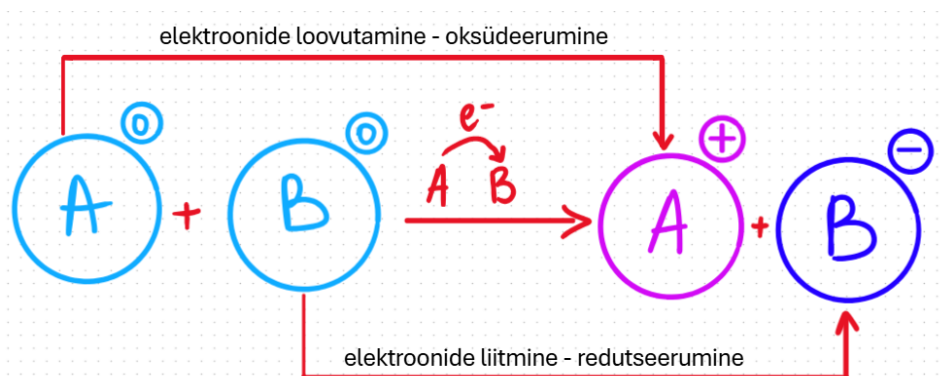
Vee päritolu mõjutab otseselt põhjavee keemilist koostist, kuna sademe ja merevee algne keemiline koostis on erinev. Lisaks sellele mõjutab põhjavee keemilist koostist maapõues ka ümbritsevate kivimite ja setete mineraloogiline koostis ning vee vanus. Sealjuures sõltub põhjavee keemiline koostis ka orgaaniliste ainete olemasolust (nii lahustunud orgaaniline aine kui ka kivimites esinev orgaaniline aine) ning nendega seotud oksüdeerimise ja redutseerimise reaktsioonidest (Marandi jt., 2019).

Enamiku põhjavees lahustunud ainetest moodustavad nn makroioonid, millest peamisteks katioonideks on Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ja anioonideks HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- (Appelo, 2005). Nende sisalduse põhjal on võimalik määrata põhjavee keemiline tüüp. Pärast vee tüübi selgitamist saab teha täiendavaid järeldusi põhjavee tekkimise ja keemilise koostise kujunemise kohta (Stuyfzand, 1989).

Eesti maapinnalähedane põhjavesi kuulub valdavalt Ca-HCO_3 tüüpi. Selline vesi on mõõduka mineraalsusega ja vee keemilist koostist mõjutab peamiselt kivimites ja setetes oleva kaltsiidi lahustumine. Kivimitega kokkupuute aja pikendamisel muutub põhjavee keemiline tüüp sõltuvalt seda ümbritseva kivimi tüübist. Näiteks dolomiidi lahustumise tõttu tekib CaMg-HCO_3 või MgCa-HCO_3 tüüpi põhjavesi, aga Na-HCO_3 tüüpi põhjavee tekkimine on seotud terrigeensete savide esinemise ja kationvahetuse protsessidega või silikaatmineraalide (päevakivi) lahustumisega. Sügavamates põhjaveekihtides, kus on säilinud merelise päritoluga põhjavesi, asub kõrge mineraalsisaldusega Na-Cl põhjaveetüüp. Kõrge sulfaatide sisaldus põhjaveekihtides ja intensiivne püriidi oksüdeerimine kaasnevad kaevandamisega. Vee väljapumpamine kaevandusest või karjäärist alandab põhjaveetaset, mille käigus satub atmosfääri hapnik kontakti kivimites esinevate ja aeroobses keskkonnas ebastabiilsete sulfiidmineraalidega. Püriidi oksüdatsiooni kõige tüüpilisem mõju põhjavee kvaliteedile on sulfaatide sisalduse tõus. Sõltuvalt redokstingimustest võib suurened ka põhjavee rauasisaldus (Marandi jt., 2019).

Maapinna infiltreeruva vee kvaliteeti mõjutavad ka paljud teised faktorid, näiteks piirkonna maakasutus (põllumajandus, elamupiirkondade heitvesi, kaevandamine), aga ka piirkonna sademete hulk. Häiringu korral taastub põhjaveekihi veetase tavaliselt kiiremini kui vee kvaliteet. Sõltuvalt häiringu suurusest võib kuluda kümneid aastaid pärast inimese kahjuliku tegevuse lõppemist, et toimuks veekihi täielik veevahetus, kuid on olnud juhtmeid, kui uuendatud vesi erines oma kvaliteedilt ikkagi oluliselt looduslikust veest (Karise jt., 2004).

Lisaks vee keemilist koostist mõjutavatele keskkonnateguritele ja mineraalide lahustumisele mängivad põhjavee kvaliteedi kujunemisel olulist rolli oksüdeerumis-redutseerumisreaktsioonid ehk redoksreaktsioonid. Redoksreaktsioonid toimuvad aatomite vahelise elektronide ülekande tulemusel. Nende toimimise mehhanism on esitatud joonisel 2. Elektronide ülekande käigus nimetatakse aatomit, mis on vastu võtnud lisandunud elektronid oksüdeerijaks ehk akseptoriks, samas aatomit, mis on andnud ära elektronid nimetatakse redutseerijaks ehk donoriks (Appelo, 2005).

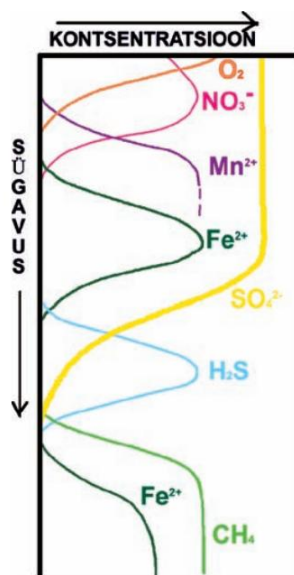


Joonis 2 Redoksreaktsioonide toimimise mehhanism.

Redoksreaktsioonid kulgevad ilma bakterite katalüüsiva tegevuseta üsna aeglaselt, kuid bakterite olemasolu vees võib reaktsioone oluliselt kiirendada, kuna bakterid kasutavad redoksreaktsioone energiaallikana oma elutegevuseks ja käituvad protsessi katalüsaatoritena. Põhjavees toimuvad redoksreaktsioonid tänu oksüdeerija lisandumise veekihti, kus sisaldub redutseerija. Oksüdeerijana toimivad hapnik või nitraadid, redutseerijana näiteks orgaaniline aine ning elemendid, mis loovutavad oma elektrone. Redoksreaktsioonide järjekord sõltub paljudest teguritest, nagu oksüdeerijate ja redutseerijate olemasolu, nende jaotus veekihis, põhjavee voolukiirus ja veekihtide segunemise protsessid (Appelo, 2005).

Konkreetsete piirkonna põhjavee keemilise koostise kujunemise mõistmiseks on oluline lisaks põhjavee keemilisele tüübile selgitada välja ka selle redokskategooria. Põhjavee redokskategooriat iseloomustab antud põhjaveekihi osas toimuv domineeriv redoksprotsess, mida saab määrata vee keemilise koostise baasil. Üldised redokstsoonid määratakse lahustunud hapniku sisalduse järgi. Kui hapniku sisaldus on väike või vees hapniku ei esine, tegemist on anoksilise tsooniga. Kui hapniku sisaldus on kõrge, siis tsoon on oksiline. Anoksilised redokstsoonid liigitakse omakorda detailsemalt seostades neid erinevate redoksprotsessidega. Redoksprotsesside vaheldumine toimub ka sügavuse või põhjavee liikumise suunas ja enamasti algab järgmine protsess enne eelmise lõppemist (Joonis 3). Redoksprotsessid toimuvad järgmises järjekorras: O₂ redutseerumine, NO₃⁻ redutseerumine, mangaani oksiidide/hüdroksiidide redutseerumine, raua oksiidide/hüdroksiidide redutseerumine, sulfaatide redutseerumine ja lõpuks metaani teke ehk metanogenees (Appelo,

2005). Redoksprotssesi määramiseks võrreldakse omavahel enamasti O_2 , NO_3^- , Mn^{2+} , Fe^{2+} , SO_4^{2-} ja CH_4 sisaldusi konkreetses veeproovis.



Joonis 3 Põhjavee redoksreaktsioonide suhtes tundlike elementide muutus vastavalt sügavuse suurenemisele (Karise, 2004).

2.2 Järvede veebilanss ja vastastikmõju põhjaveega

Igas hüdrofääri osas – ookean, meri, järv, jõgi – oleva vee hulga määravad sissevool, väljavool ja reservuaaris teatud ajahetkel olev veehulk, mis määravad veekogu veebilansi. Üldine veebilansi võrrand on:

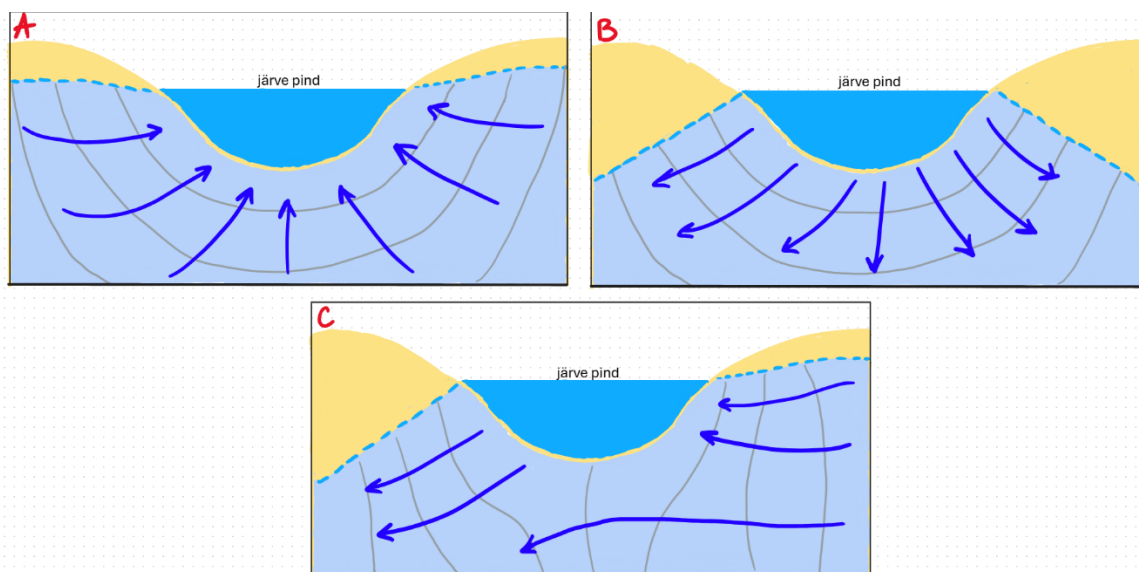
$$\text{Sissevool} - \text{Väljavool} = \text{Muutus (veekogu)veehulgas}$$

Järvede puhul moodustavad veebilansi pinna- ja põhjavee sissevoolu järve ja väljavool järvest, järve pinnale langevad sademed ja aurumine (Winter, 1998). Pinnaveed ja põhjaveed moodustavad ühtse hüdroloogilise süsteemi. Veevahetust põhjavee kihtide ja pinnaveekogude vahel mõjutavad oluliselt maapinna reljeef ja geoloogiline ehitus ning piirkonna kliima. Maapõue kivimid ja setted saab jagada vettjuhtivateks ning vettpidavateks kihtideks. Vettjuhtivad kihid koosnevad peamiselt suure poorsusega setetest ja kivimitest (nt liiv, kruus, lõheline lubjakivi), samas vettpidavad kihid koosnevad savist ja muudest peenteralistest setetest ja kivimitest (nt savi, savikas lubjakivi, kilt) (Winter, 1999).

Vesi jõuab järve erinevatel viisidel. Peamiselt saab järv vett atmosfääristsademetena, mis langevad otse järve pinnale. Umbjärv (järvel puudub pindmise sisse- ja väljavool) on järvede alamtüüp, mis saab vee valgalt kas pinnase või põhjavee hajusa sissevoolu kaudu. Järve veebilansi teise poole moodustab vee aurustumine otse järve pinnalt. Samuti võib esineda pindmine väljavool järvest või järvevee infiltreerumine maapinda. Iga uuritava ajavahemiku jooksul põhjustab sissevoolude ja väljavoolude vahe veevarude muutuse, mis kajastub järve veetaseme muutuses (Winter, 1995).

Käesoleva töö kontekstis on oluline just järve vee ja piirkonna ümbritsevate põhjaveekihtide vastastikune mõju. Winter (1998) järgi esineb järve ja põhjavee vahel kolme tüüpi vastastikmõju (Joonis 4): 1. toimub põhjavee sissevool järve kogu selle põhja pindalal; 2. järve vesi imub

põhjavette kogu järve põhja pindalal; 3. esimese ja teise viisi kombinatsioon, st ühes järve osas toimub põhjavee sissevool järve ja teises järve osas imbub järve vesi põhjaveekihtidesse.



Joonis 4 Põhjavee ja järvede vastastikmõju kolm tüüpi (Winter jt., 1998 järgi).

Samuti tuleb mainida, et teatud juhtudel võivad ka sood mõjutada järvede veebilanssi. Märgalad esinevad niisketes kliimatingimustes ja paikades, kus esineb põhjavee väljumine maapinnale (nt madalsoo) või vastupidi paikades, kus vee kiire äravool maapinnalt on takistatud (nt raba). Nagu ojad ja järved, võivad märgalad toituda põhjaveest, täiendada põhjaveevarusid või täita mõlemat funktsiooni. Need märgalad, mis asuvad reljeefi lohkudes, on põhjaveega vastastikmõjus sarnaselt järvedele ja ojadele (Winter, 1998).

Tuleb ka mainida, et eksisteerivad tingimused, mis määravad ära, kas pinnaveekogu vesi imbub põhjavette või mitte. Esimeseks selliseks tingimuseks on pinnaveekogu veetaseme kõrgus – vesi voolab mööda hüdraulilist gradienti kõrgema veetasemega alalt madalama veetasemega alale. Teiseks mõjutab vee imbumist või selle puudumist järve põhja setteline koostis ja nende setete vettjuhtivad omadused. Samuti on olemas mõned tegurid, mis soodustavad vee imbumist järvest põhjavette või suurendavad sellise voolu kiirust. Nende tegurite hulka kuuluvad: ümbritseva põhjavee taseme langus; järve põhjas olevad hea vee läbilaskvusega setted (nt jäme liiv) või inimtegevus (järve süvendamine).

2.2.1 Varasemad järvede ja põhjavee vastastikmõju uuringud Eestis

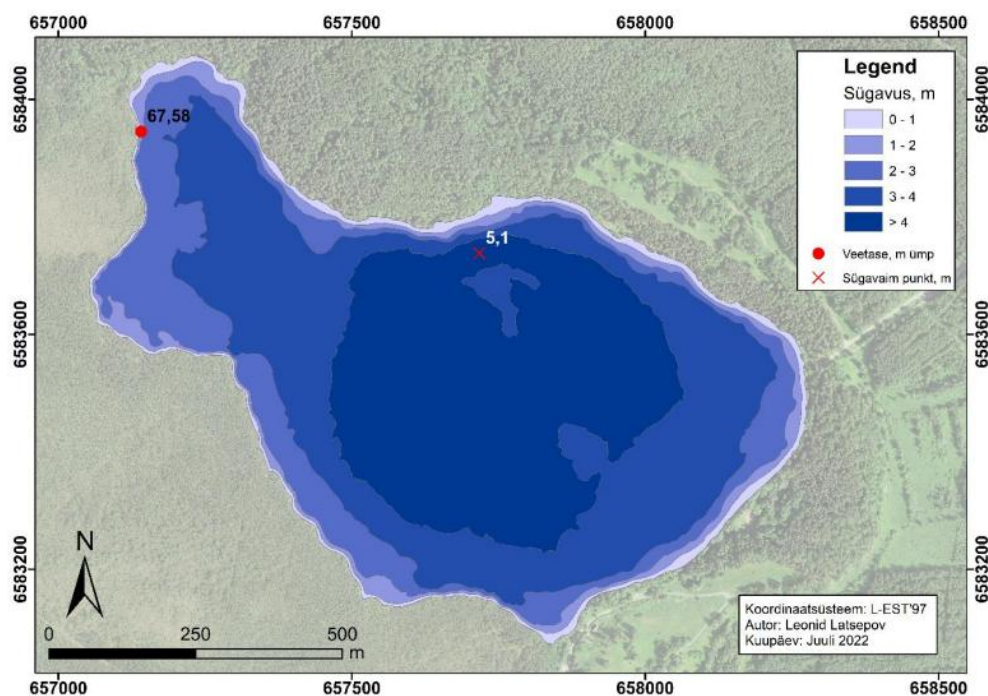
Järve vastastikmõju põhjaveega on Eestis kõige detailsemalt uuritud Kurtna järvistus (Vainu, 2018), mis asuvad Uljaste järvest umbes 53 km kaugusel idas. Antud uuringu järeldusi saab osaliselt rakendada ka Uljaste järve veevahetuse uurimiseks, kuna Kurtna järved ja Uljaste järv on oma ehituselt sarnased – näiteks on järvede seotud liustikutekkeliste pinnavormidega (oosid ja mõhnad), Kurtna järvistus esineb palju pindmise sissevooluta umbjärvi, järvede valglatel esineb palju hästi vett juhtivaid setteid (nt liivad, kruusad) ja järved on tugevas vastastikmõjus põhjaveega. Winter (2003) väidab, et kõige levinum viis põhjavee ja järve vastastikmõjuks liustikualadel on kolmas (kombineeritud) viis – põhjavee sissevool järve ja väljavool järvest.

Vainu (2018) uuris Kurtna järvede hüdroloogilist veebilanssi. Täpsemalt uuris ta Kurtna järvede veetaseme muutusi kliima- ja looduslike tegurite muutumisel (nt veekogu lähedal asuv taimkate, meteoroloogilised tingimused) või inimõju tõttu (nt põhjaveevõtt). Modelleerimise tulemusena saadud matemaatiliste andmete põhjal tegi Vainu mitmeid olulisi järeldusi. Näiteks ilmnes, et kaks Kurtna järvistu järve – Martiska ja Ahnejärv – saavad oma vee peamiselt valgalalt, kuid kaotavad suurema osa järve veest põhjavette infiltreerumise teel, mitte otsese aurustumise kaudu. Järvi ümbritsevad vett hästi läbilaskvad liivad, mis ei suuda vett kinni pidada ega pinnavee äravoolu tekitada. Selle teabe põhjal järeldas Vainu, et järvede veebilanssi mõjutavad eelkõige põhjaveetasemete muutused ja vähem aurustumine ehk evapotranspiratsioon. Vainu selgitas, et Kurtna järvede veetase langeb, sest selle valgalal toimub suur põhjaveevõtt (Vasavere veehaare, põlevkivikaevandused), mis suurendab järvede vee imbumist maapinda.

2.3 Uljaste järve uuringuala kirjeldus

2.3.1 Uljaste järv

Uljaste järv asub Põhja-Eestis Ida-Viru maakonnas Lüganuse vallas Viru lavamaal Pandivere kõrgustikust idas (Joonis 5). Maapinna absoluutkõrgused vähenevad ala lääneosa tasemelt ligi 70 m ülalpool merepinda kuni umbes 45 m ümp ala idapiiril (Suuroja jt., 2007). Järve ümbritseva ala kõrgeim punkt on Uljaste oos, mille kõrgus on 95 m ümp. Järve oosipoolsed kaldad on liivased või kruusased ja tõusevad järsult ülespoole, järve sügavus suureneb kaldalt järve keskosa suunas. Järvest põhja pool paiknevad väiksemad sood-rabad: Uljaste soo, Kuresoo ja Rannu raba. Uljaste soost pool on turbaraba. Uljaste järv on piirkonna ainus suurem järv, pindalaga 62,7 hektarit. Eeldatavasti on järv tekkinud viimase jääaja lõpus pärast mandrijää taandumist. Järve nõgu on üldiselt tasase, paiguti ka süveneva põhjaga; sügavaim koht paikneb järve keskosas (Mäemets, 1968).



Joonis 5 Uljaste järve sügavuskaart veetaseme 67,58 m ümp juures (muudetud Vandell jt., 2019 järgi) (Polikarpus jt., 2023).

Uljaste järv on umbjärv, millel puudub kanaliseeritud pinnavee (ojad, kraavid) sisse- ja väljavool. Seega järve läbivool on nõrk. Vesi on kollane kuni rohekaskollane, vähese kuni keskmise läbipaistvusega (1,5–1,7 m) (Polikarpus jt., 2023). Vee reaktsioon on nõrgalt happeline või neutraalne (pH 6,5–7,0), tugeva vee õitsemise ajal tõenäoliselt aluseline (Mäemets, 1977). Temperatuur on suvel ühtlane kuni põhjani. Järve iseloomustab vee äärmiselt madal mineraalainete ning suhteliselt väike orgaaniliste ainete sisaldus (Mäemets, 1968). Uljaste järve vesi on väga nõrga puhverdusvõimega ja seetõttu reostusele väga vastuvõtlik. Ligi 200 m Uljaste järvest loode pool paikneb rabas Väike Uljaste järv ehk Mädajärv (2,6 ha, 4 m sügav). Peale selle esineb rabas Uljaste edelanurgast 150 m läänes mineraalse saarega teinegi soojärv ehk Saarjärv (alla 1 ha, 2,5 m sügav) (Polikarpus jt., 2023).

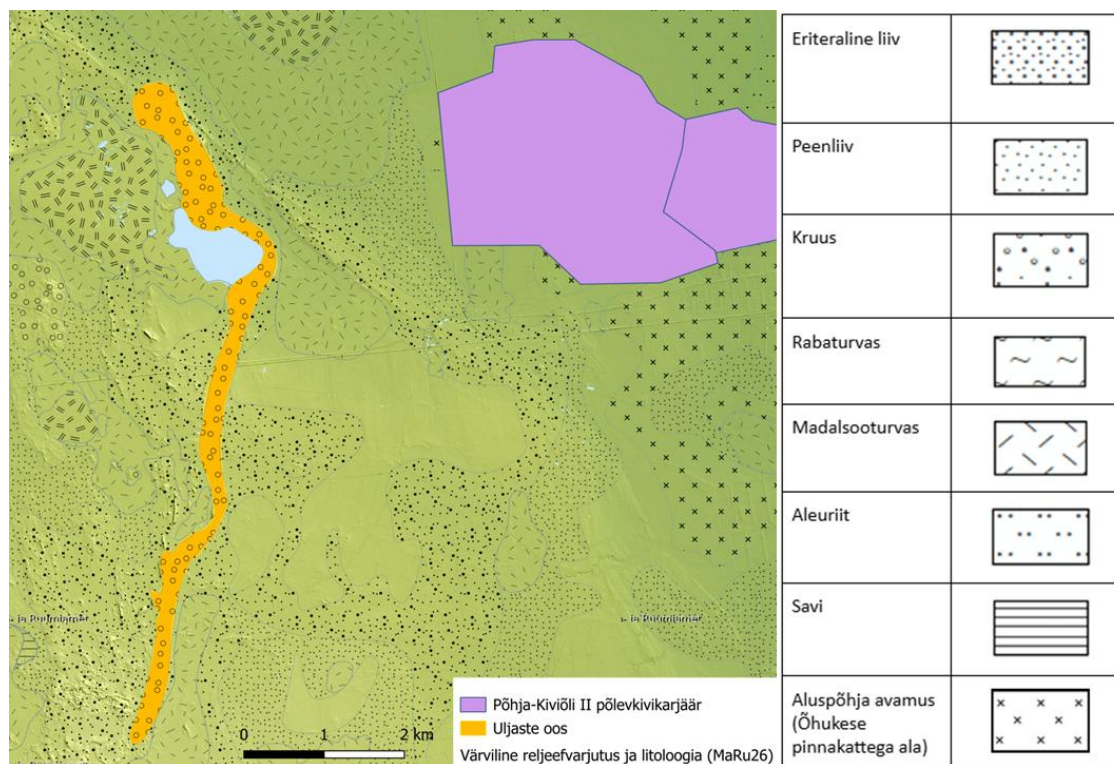
Limnoloogilise tüübi järgi on Uljaste järv semidüstroofne ehk poolhuumustoiteline (Vandel jt., 2019). Elupaigatüübilt kuulub Uljaste järve Kirde-Eesti vähe- ja huumustoiteliste järvede valdkonda. Järves kasvavad haruldased looduskaitsealused liigid vesilobeelia ja järv-lahnarohi (Mäemets, 1977). Järve suhteline veetase kõigub aasta sees 0,5 kuni 0,8 m vahel, keskmine sügavus on 3,4 m ja valgala pindala on 1,8 km² (Eesti Keskkonnaagentuur, 2026c). Järve keskmine sügavus on üsna suur ja hõlmab ühtlaselt suhteliselt suure ala järve põhjas, samuti on >90% põhjast sügavusel üle 2 m.

Järve põhja moodustab peamiselt turvas ja muda, mille paksus varieerub 0 kuni 3,2 meetrini (Polikarpus jt., 2023). Muda- ja turbakiht on järve keskosas ja soopoolsel küljel paksem. Muda- ja turbakihtide all on 0,25–1,5 m paksune liivakiht. Liivakihi all on liiva ja aleuriidi segu. Liiva- ja aleuriitse kihi kogupaksus on 2–8 m, kusjuures paksemad kihid on järve kalda lähedal. Järve põhja reljeef on üsna ühtlane ja absoluutne kõrgus kõigub 56–59 m vahel merepinnast, kuid geofüüsikalised uuringud on näidanud, et põhjas esineb ka murranguid ja pragusid (Polikarpus jt., 2023).

2.3.2 Uljaste oos

Uljaste järve ümbritseb järve põhja- ja idaküljelt Uljaste oos (Joonis 6). Uljaste oosil asub Ida-Virumaa kõrgeim looduslik tipp – 95,2 m ümp (Polikarpus jt., 2023). Oosi pikkus on umbes 5 km ning suhteline kõrgus ulatub kohati 30 m (Eesti Keskkonnaagentuur, 2026d). Põhjaosas on oos kuni 20 m kõrgune ja ligi 0,5 km laiune tasaselt alalt kerkiv kungas, mille läänenõlv on liigestatud. Oos on kaetud valdavalt okasmetsaga. Oosist ida pool asuv tasandik on järvepinnast 5 m madalam. Lõuna pool on oos kuni 300 m lai ning tasase pealispinnaga, ahenedes järve kohal kitsaks, valdavalt peenest kruusast koosnevaks seljakuks (Mäemets, 1968).

Uljaste oos on kujunenud liustikutegevuse tagajärjel. Pärast mandrijää taandumist laius hilisjäajal Uljaste järve ja raba kohal ulatuslik veekogu, mis praegu on suures osas juba kinni kasvanud (Mäemets, 1968). Varasemad uuringud on näidanud, et oos koosneb fluvioglotsiaalsetest setetest. See koosneb põhiliselt kesk- ja peeneteralisest liivast (40–55%) ja kruusast (30–40%), kuid leidub ka veeriseid (10–20%) ning vähesel määral (kuni 5%) ka aleuriidi- ja peliidiosakesi (Sokolova, 1956). Setted on jämedamateralised oosi järvepoolses osas. Oosi põhjaosa koosneb kuni 30% kruusa sisaldavatest sega- ja jämedateralisest liivast. Pealt katab Uljaste oosi moreen (Sokolova, 1956).



Joonis 6 Uljaste oosi paiknemine.

2.3.3 Uuringuala aluspõhja hüdrogeoloogiline ehitus

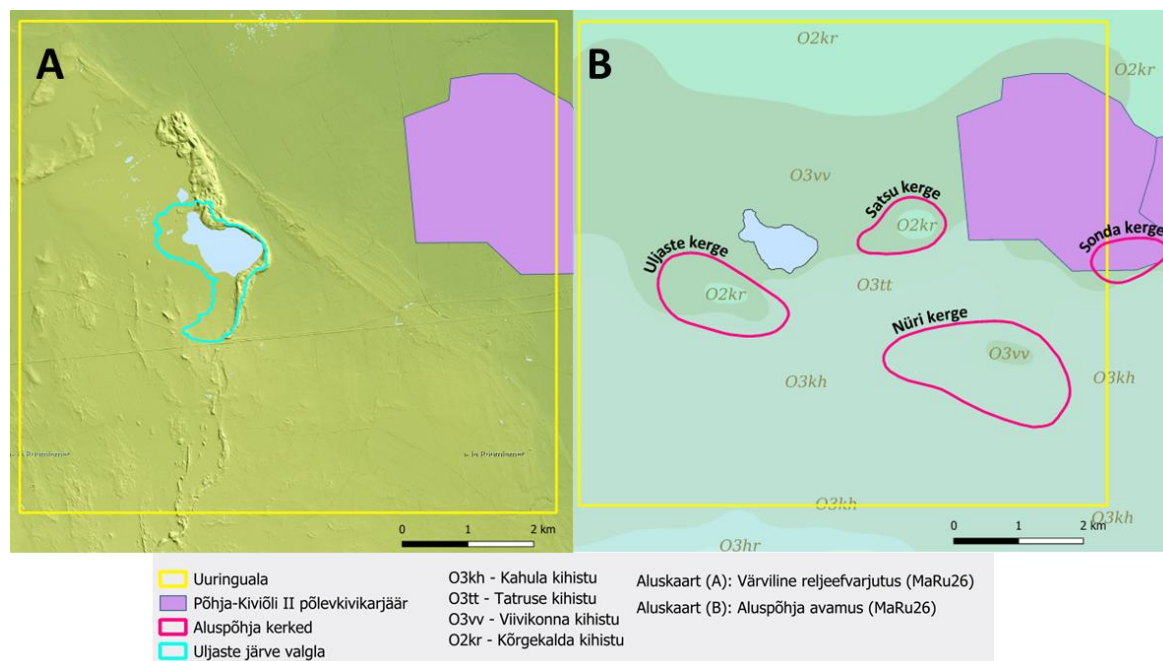
Põhja- ja Kirde-Eestis on levinud Ordoviitsiumi sette kivimid, peamiselt lubjakivid, dolomiidid ja põlevkivid, Ordoviitsiumi alumises osas leiduvad ka liivakivid. Ordoviitsiumi settekompleksi all paiknevad Kambriumi liivakivid ja sinisavi ning Ediacara liivakivid, savid ja aleuoliidid (Verte, 1960). Käesolevas töös kirjeldatakse lähemalt vaid põhjaveekomplekse, mis moodustavad uuritava ala põhjaveesüsteemi (Joonis 7). Ala maapinnalähedase põhjaveesüsteemi moodustab Ordoviitsiumi põhjaveekompleks, millel lasuvad Kvaternaari setted ja mille lamamiks on Alam-Ordoviitsiumi veepide. Selle all asub Ordoviitsium-Kambrium veekompleks. Enamasti on pinnakatte veekiht hüdrauliliselt seotud maapinnalt esimese aluspõhjalise veekihtiga. Läbi pinnakatte toimub aluspõhjaliste põhjaveekihtide toitumine maapinna reljeefi kõrgematel aladel ning väljavool samuti läbi pinnakatte jõgedesse, ojadesse ja kraavidesse. Pinnakatte veekiht toitub peamiselt kohalikest sademetest (Polikarpus jt., 2023).

Polikarpus jt. (2023) väidavad, et järve valglaal paiknevate soosetete olulise põhjaveearuta kihis ei ületa veetaseme sügavus looduslikus seisundis poolt meetrit ja veekihi paksus, olenevalt turbalase paksusest, on 1–3 m. Filtratsioonikoefitsient (K) on turba lagunemisastmest ja ulatub keskmiselt 0,01–0,1 m/ööpäevas. Turvas on suure veemahtuvusega, kuid kogu sademete filtratsioon ja äravool ning aurumine rabades on seotud umbes 0,5 m paksuse ülemise turbakihi ehk akrotelmiga.

Jääjärve setted on olulise põhjaveearuta. Eriteralistest liivadest rannavallid on peamiselt veetud. Vett sisaldavaks on peenliivad filtratsioonikoefitsiendiga 0,1–1 m/ööpäevas. Vesi on survetu või läätsedena moreenis nõrgalt survealine. Glatsiofluviaalsete setete vett leidub Uljaste oosiaheliku piires. Liivade filtratsioonikoefitsient on 2–5 m/ööpäevas, ulatudes Uljaste järve äärsete

kruusliivade puhul kuni 45 m/ööpäevas. Oosi idapoolsel jalamil teostatud pumpamiskatsed Kvaternaari põhjaveekihti avavates kaevudes andsid kruusliivade filtratsioonikoefitsiendiks 75–98 m/ööpäevas (Polikarpus jt., 2023).

Moreeni sporaadilise levikuga veekiht on survetu, levib praktiliselt kogu alal ning võib olla survealine üksnes mattunud orgude liivakates läätsedes. Tavaliselt on moreenid veevaesed ($K = 0,1\text{--}1$ m/ööpäevas) ja nendes olevad kaevud võivad suviti kuivada (Polikarpus jt., 2023).



Joonis 7 Uuringuala geoloogiline kaart. A – reljef. B - Ordoviitsiumi kihistute avamused ja aluspõhja kergede asukohad.

Maapinnalt esimese aluspõhjalise veekompleksi moodustavad Ordoviitsiumi lõhelistes ja karstunud karbonaatsetes kivimites levivad põhjaveekihtid, kus põhjavee liikumise kiirus on suur just lõheded ja maapinnalähedastes karstiõõnsustes. Uljaste piirkonna maapinnalähedase põhjaveerežiimi määrab ära maapinna reljef ning hüdrograafiline võrk. Lokaalseks toitealaks võib lugeda Uljaste järvest lõuna pool paiknevad maapinnareljeefi kõrgemat ala, kust saavad alguse Pada jõgi, Satsu oja ning Hirmuse jõgi (Polikarpus jt., 2023).

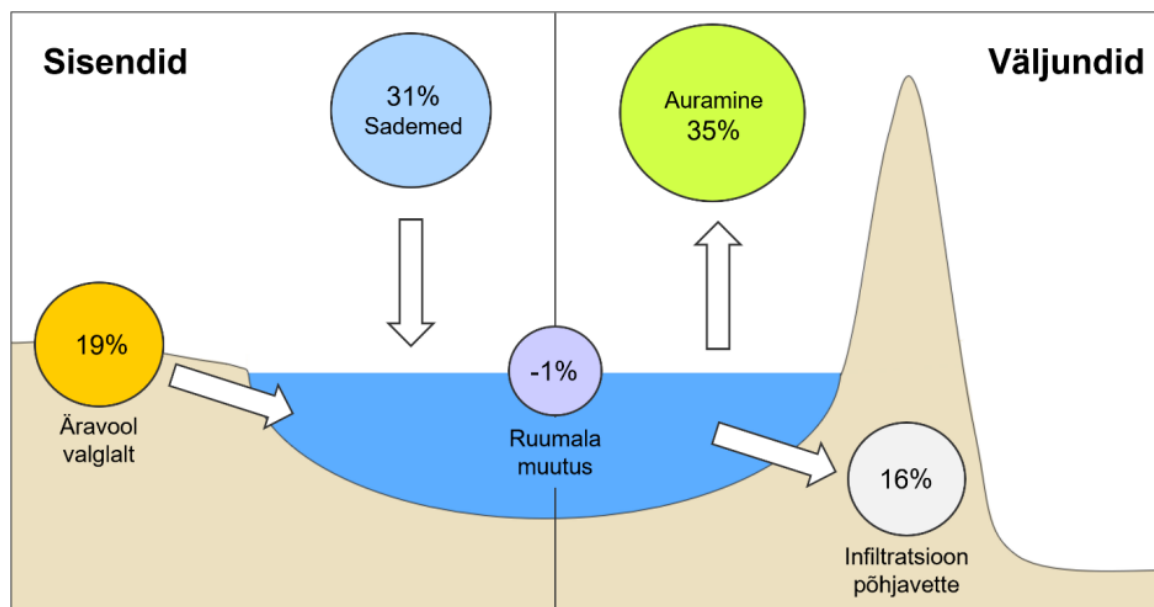
Ordoviitsiumi põhjaveekompleksi moodustavad Keila-Kukruse ning Lasnamäe-Kunda põhjaveekihtid. Nende kihtide vahel asuvad Uhaku veepide ja Alam-Ordoviitsiumi veepide. Selle all paiknevat Ordoviitsium-Kambriumi veekompleksi liivakivides käesolevas töös täpsemalt ei käsitleta kuna seda veekompleksi ei mõjuta ei Uljaste järv ega Põhja-Kiviõli karjäär.

Keila-Kukruse veekihi paksus ulatub kuni 40 m-ni. Veekihi moodustavad Kahala, Tatruse lubjakivid ja Viivikonna kihistu põlevkivi. Uljaste järvest edela pool paikneb Uljaste kerge, ida poole jääb Satsu kerge ning kagu poole Nüri kerge (Joonis 7B). Kerkeala on piirkond, kus puuduvad osad aluspõhja settekivimite kompleksid (Suuroja jt., 2007). Kerkealade ümber muutub Keila-Kukruse veekihi kallakus ning ka paksus. Tegu on setete alla mattunud aluskorra erosiooniliste jäänukitega ning kerke efekti on tekitanud erinev setete kuhjumine – väiksem paksus kerke lael ja suur sette kuhjumine kergete vahelistes nõgudes. Hilisem setete kompakteerumine on põhjustanud kihtide tavapärasest erineva kallakuse. Kerked mõjutavad lokaalselt põhjavee liikumist ja ka näiteks karjääri veeärastuse tõttu kujuneva Keila-Kukruse veekihi alanduslehtri levikut (Polikarpus jt., 2023).

Keila-Kukruse veekiht lasub Uhaku veepidemel. Uhaku veepide katab suurema osa uuringuala ning selle avamusala paikneb Uljaste järvest põhja pool. Avamusalal ei moodusta Kõrgekalda kihistu merglid olulist veepidet (Polikarpus jt., 2023). Uhaku veepideme filtratsioonikoefitsiendiks on hinnatud 0–0,02 m/ööpäevas (Morozov jt., 1975). Uhaku lademe paksus varieerub vahemikus 12–14 m (Polikarpus jt., 2023).

Lasnamäe-Kunda veekiht levib kogu uuringualal (keskmine paksus 18–20 m) ja kiilub välja klindiasangul. 2023. aastal läbiviidud uuringus saadi Lasnamäe-Kunda veekihi veejuhtivuseks $K_m = 7 \text{ m}^2/\text{ööpäevas}$ ja filtratsioonikoefitsiendiks $K = 0,5 \text{ m}/\text{ööpäevas}$ (Polikarpus jt., 2023).

Põhjavee väljavool toimub nii jõgedesse kui ka Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjääri. Samuti toimub põhjavee väljavool jätkuvalt ka suletud Kiviõli kaevandusest läbi Küttejõu kraavi Purtse jõkke, hoides kaevanduses põhjaveetasel absoluutkõrgusel 41 m ümp (Polikarpus jt., 2023). Polikarpus jt. (2023) läbiviidud modelleerimise käigus selgus, et Uljaste järve pikaajaline aurumise ja järve sissevoolava vee suhe on 0,71. Aastane sissevool järve on keskmiselt 1050 mm, millest 650 mm lisandub sademete kaudu ning umbes 400 mm äravooluna valgalt (Joonis 8). Väljavool järvest koosneb samuti kahest komponendist. Suurem veekadu toimub aurumise teel ja moodustab 740 mm/aastas. Ülejäänud (333 mm/aastas) osa neeldub ümbritsevasse põhjaveekihtidesse läbi järve põhja (Polikarpus jt., 2023). Uljaste järv vastab seega varem käsitletud järve ja põhjaveega vastastikmõju teisele tüübile (Joonis 4B). Uljaste järve veetaseme langust looduslikus seisundis põhjustavad eelkõige muutlikud kliimatilised tingimused (sademete hulk, õhutemperatuur ja aurumine) viimase kümne aasta jooksul. Samas Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjääri mõju järve veetasemetele siiani ei ole üheselt selge (Polikarpus jt., 2023).



Joonis 8 Uljaste järve veebilansi komponentide osakaalud (numbrid ühe keskmise aasta kohta) (Polikarpus jt., 2023).

2.3.4 Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjäär

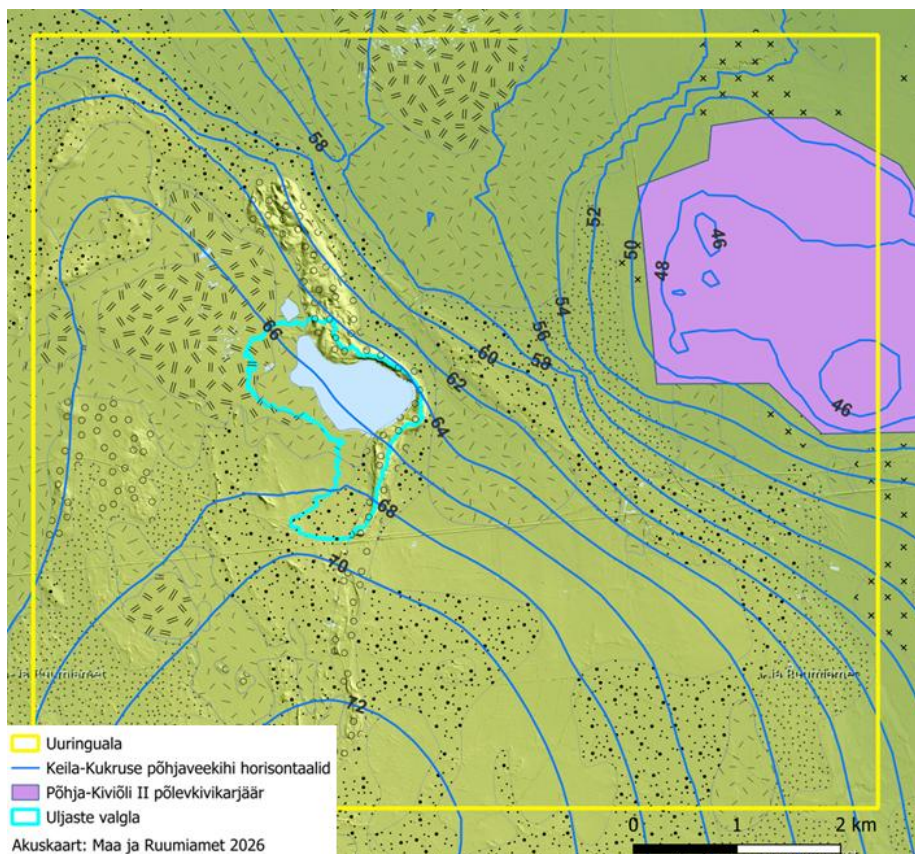
Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjäär paikneb Ida-Viru maakonnas, Sonda vallas. Kiviõli Keemiatööstuse OÜ kaevandab selle karjääri mäeeraldisel põlevkivi alates 2011. aastast. Maavara kaevandamise luba kehtib kuni 2036. aastani. Mäeeraldis on sisuliselt jätkuks ammandatud Põhja-Kiviõli I põlevkivikarjäärile. Aastas kaevandatakse vastavalt loa tingimusele kuni 1,5 miljonit tonni põlevkivi,

aga kõigi põlevkivi kaevandamiseks antud lubade alusel mitte rohkem kui 1,98 miljonit tonni (Sulp, 2022). Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjääri teenindusmaa pindala on 743,21 ha (Annus, 2011).

Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjäär asub üleriigilise tähtsusega Eesti põlevkivimaardla Põhja-Kiviõli uuringuväljal. Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjääris kaevandamine ning karjäärist vee välja pumpamine mõjutab eelkõige Keila-Kukruse veekihi põhjavee taset ja vee keemilist koostist ning eesvooludeks olevate veekogude vee keemilist koostist. Aastatel 2020–2036 kavatakse karjäärist välja pumbata kuni 16 000 000 m³ vett ehk 43 846 m³/ööpäevas (Sulp, 2022). Teoreetiliselt vee väljapumpamine karjäärist võib alandada ümbritsevate põhjaveekihtide veetaset ja ühtlasi Uljaste järve veetaset kuna järvest hakkab voolama rohkem vett, et taastada põhjavee taset.

2.3.5 Uuringuala piiritlemine

Töös püstitatud uurimisküsimusele vastamiseks keskendun uuringus kindlale uuringualale, mis hõlmab Uljaste valgla ja seda ümbritsevad alad (Joonis 9). On oluline rõhutada, et uurimisala valisin lähtudes eelkõige seatud hüpoteesist, mille kohaselt on Uljaste järv seotud piirkonna põhjaveega ning Põhja-Kiviõli II põlevkivi kaevandamise võimalik laienemine võib kaasa tuua muutusi piirkonna vee keemilises koostises. Valitud uuringuala hõlmab Uljaste järve valglat ning ka Põhja-Kiviõli II karjääri lääneosa, et oleks võimalik hinnata järve ja põlevkivikarjääri vastastikust mõju. Samuti jääb uuringuala sisse Uljaste soo, millel on oluline roll Uljaste järve veebilansi kujunemisel. Lisaks eelnimetatule hõlmab uuringuala Uljaste järve valglast lääne- ja lõuna pool paiknevad piirkonnad, mis on samuti olulised veekvaliteedi põhjalikuks analüüsiks põhjavee liikumistrajektoori ja maastiku reljeefi tõttu. Joonisel 9 on näha, et põhjavee liikumine suundub järvest kirdesse karjääri poole, mistõttu mõjutas ka see uuritava ala valikut.



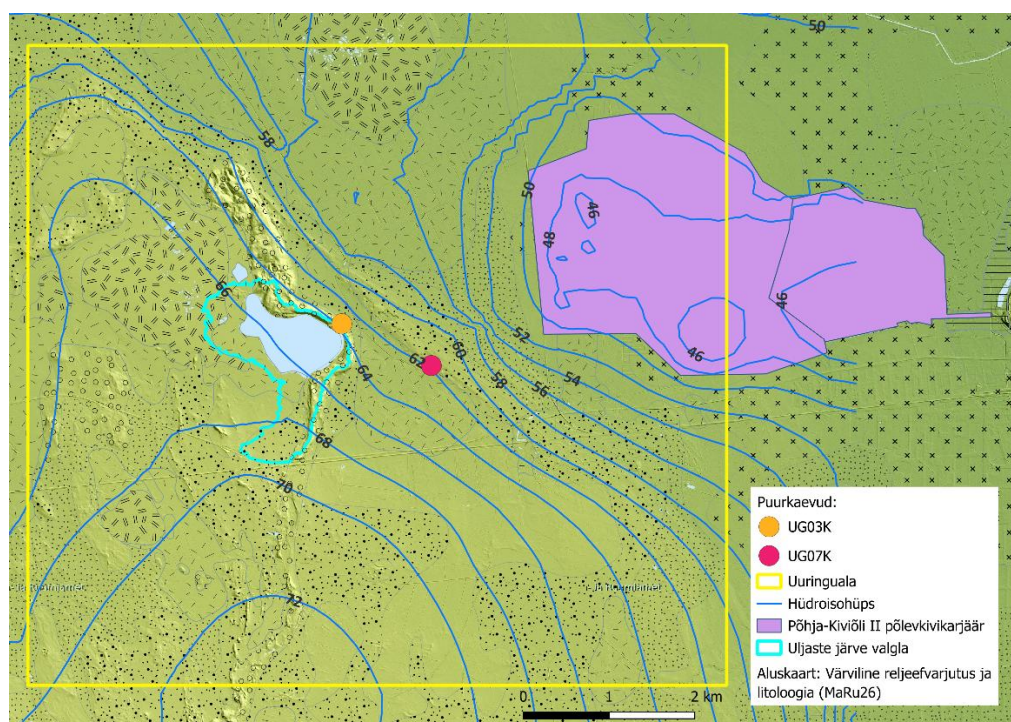
Joonis 9 Uuringuala piirid ja selle piiritlemist määravad nähtused.

3. Metoodika

3.1 Andmestiku kirjeldus

3.1.1 Life-SIP AdaptEst projekt

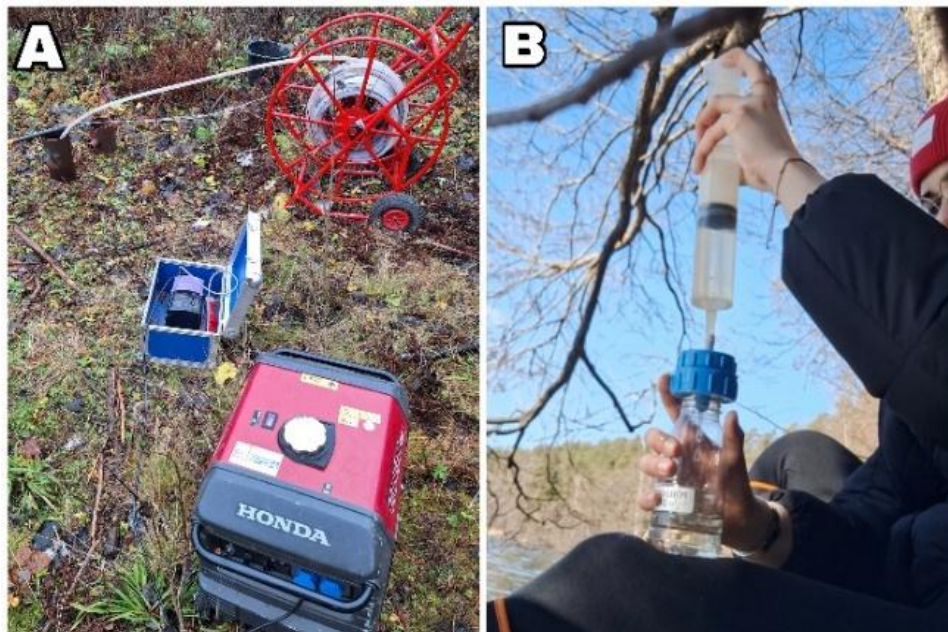
Perioodil 2021–2023 läbiviidud Uljaste järve ja põhjavee vastastikmõju uuringu raames puuris Eesti Geoloogiateenistus koostöös OÜ Inseneribüroo Steigeri ja Kiviõli Keemiatööstusega Uljaste järve ümbrusesse 10 puurauku. Samad kaevud on seires ka 2023. aastal alanud LIFE-SIP AdaptEst projektis ja käesolev töö on osa sellest uuringust. Mõnes puurkaevudes asuvad andurid, mis mõõdavad veetaseme ja vee elektrijuhtivuse muutusi. LIFE AdaptEst projekti raames võetakse valitud puurkaevudest (UG07K ja UG03K) (Joonis 10), Uljaste järvest ja Uljaste soost perioodil 2024–2027 kord kvartalis veeproovid. Puurkaevude UG07K ja UG03K vesi kuulub Keila-Kukruse veekompleksi. Kaevud oli valitud selliselt, et seirata ühte puurkaevu, mille vesi kirjeldab järvest mõjutamata põhjavett (UG07K) ja teist puurkaevu, mis kirjeldaks järvevee imbumist põhjaveekihti (UG03K).



Joonis 10 Puurkaevude UG03K ja UG07K paiknemine.

Võetud proovid saadetakse hiljem laborisse vee keemilise koostise põhjalikuks uurimiseks. Saadud veeproovide edasised analüüsid teostati Tallinna Ülikooli ökoloogia keskuse laboris ja Eesti Keskkonnauuringute Keskuse laborites. Eesti Keskkonnauuringute Keskuse laborites mõõdeti NH_4 , Keemiline hapnikutarve, $\text{P}_{\text{üld}}$, Fe^{2+} , Mn^{2+} , kõik ülejäänud näitajad (pH, elektrijuhtivus, temperatuur, DO, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , hägusus, kogu anorgaaniline süsinik) on mõõdetud Tallinna Ülikooli Ökoloogia instituudi laboris. Lisaks määrati proovivõtuajal HCO_3^- sisaldus kohapeal tiitrides kasutades väävelhapet. Multimeetriga määrati proovivõtu ajal pH, elektrijuhtivus, temperatuur, lahustunud hapniku sisaldus ja vee redokspotentsiaal ehk ORP. Elektrijuhtivuse määrab vees lahustunud ionide hulk ja ORP on keskkonna võime mõõt, mis näitab kas keskkonnas domineerivad oksilised või anoksilised tingimused (Appelo, 2005).

Veeproovide võtmiseks on vaja järgmist varustust: elektrigeneraator, pump ja voolikud, ämber, multimeeter, digitaalne titraator (Joonis 11A), välitööarvuti, filter, filterpaber ja süstal käsitsi vee filtreerimiseks. Enamik kogutud veeproove tuleb filtreerida käsifiltri abil (Joonis 11B). Enne veeproovi võtmist tuleb uuringukaevust välja pumbata vett 3–4 kaevu mahu ulatuses, et eemaldada kaevust seisnud vesi ja olla kindel, et veeproov võetakse põhjaveekihi mitte kaevus olnud veest. Punktist UG03K pumbati vett vähem, sest kaevus toimub pidev vee läbivool selle avatud osas oleva lõhe kaudu. See lõhe on peamine koht, kus järvest põhjaveekihti imbunud vesi liigub. Pikema pumpamise korral hakkab pump tõmbama vett kaevu sügavamast osast ja summutab järvest tuleva keemilise signaali.

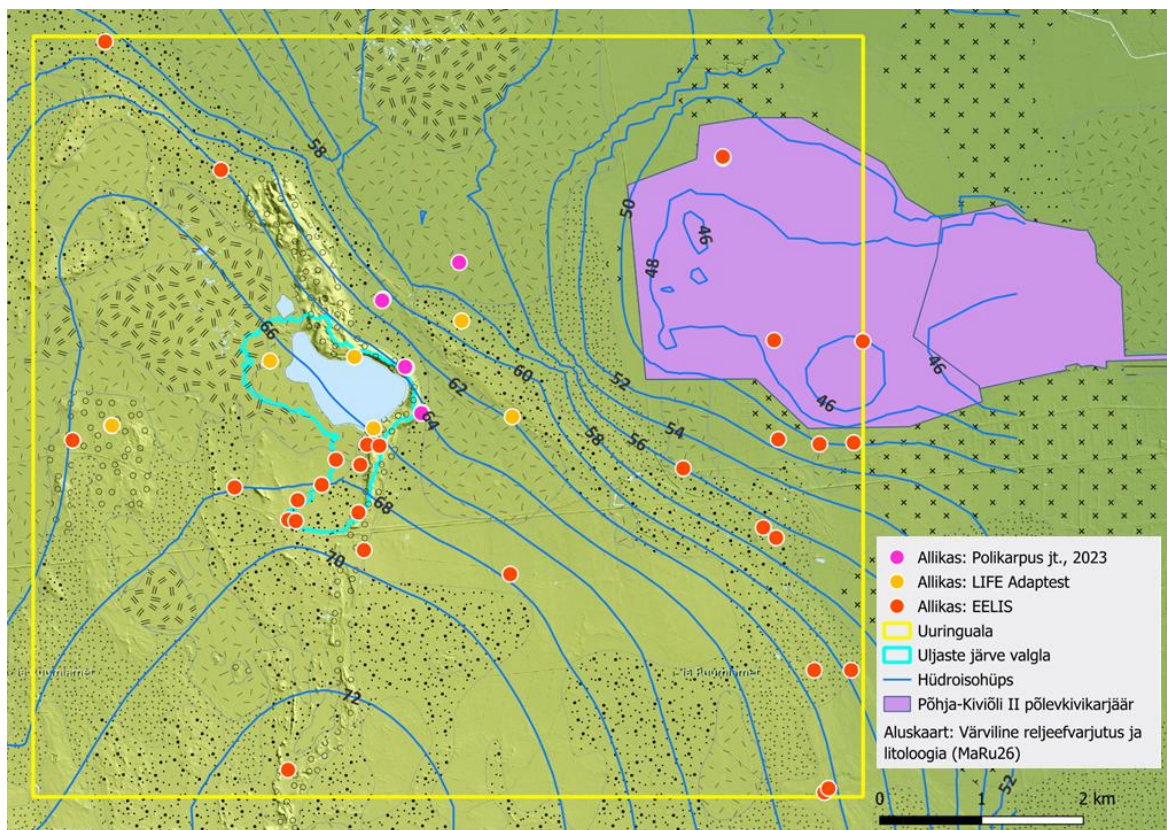


Joonis 11. A – Veeproovi võtmisel vajalik varustus; B - Veeproovi võtmise protsess.

3.1.2 Teised andmeallikad

Kogu valitud uuringualal leviva põhjavee keemilise koostise kirjeldamiseks ei piisa AdaptEst projekti ja varasemate uuringute (Polikarpus jt., 2023) raames kogutud andmetest. Seepärast kasutatakse käesolevas töös ka varasemaid andmeid sama piirkonna kohta. Selleks kasutasin põhjavee keemilise koostise andmeid Eesti Looduse Infosüsteemist ehk andmebaasist EELIS. EELIS on riigi infosüsteemi andmekogu loodusandmete kogumiseks, haldamiseks ja kasutamiseks ning andmebaas sisaldab ka Eestis loa alusel puuritud puurkaevude keemilise analüüsi andmeid (Keskkonnaagentuur, 2026a).

Uuringuks vajalike andmete saamiseks taotlesin Keskkonnaagentuuri poolt programmi kasutamise luba ja esitasin vastava andmepäringu. EELIS-est saadud andmed hõlmasid proovivõtu aega, kaevu asukoha koordinaate, katastri numbrit, veekompleksi ja peamisi keemilisi parameetreid, nagu elektrijuhtivus, pH, ionide kontsentratsioon, hägusus, keemiline hapnikutarve. Andmebaasist valiti kokku 44 kaevu andmed perioodist 2000–2025, et paremini kirjeldada tänast olukorda. Vanemad andmed seda teha ei võimalda, sest olud on muutunud (nt Põhja-Kiviõli karjääri rajamine). Joonisel 12 on esitatud kõik uuritavad punktid, mis pärinevad LIFE AdaptEst projektist, 2021 – 2023 Uljaste järve uuringust, EELIS-est.



Joonis 12 Töös kasutatud puurkaevude asukohad ja liigitus vastavalt andmete päritolule.

3.2 Andmeanalüüsi kirjeldus

3.2.1 Põhjavee keemiliste tüüpide arvutamine

Vee hüdrokeemiline tüüp iseloomustab vees esinevate makrokomponentide sisaldust. Vastavalt veetüübile saab teha järeltõu vee päritolust ja omadustest (Karise, 2004). Põhjavee keemiliste tüüpide määramiseks on loodud mitmeid erinevaid meetodeid. Käesolevas töös kasutasin selleks Stuyfzandi loodud süsteemi (Stuyfzand 1989, 1993). Veekvaliteedi keemilise tüübi määramiseks tuli esmalt olemasolevad andmed teisendada sobivasse ühikusse. Ainete sisalduste algandmed olid esitatud ühikutes mg/L või µg/L, kuid arvutuste esimeseks etapiks oli vaja ühikud mg-ekv/L (milliekvivalent liitri kohta). Ühikute teisendamine toimub järgmise valemi alusel:

$$\frac{mg - ekv}{L} = \frac{Iooni sisaldus (mg/L)}{Iooni molaar mass (mg/mmol)} \times Iooni laeng$$

See ühik on kasulik ka lahuse elektroneutraalsuse või elektrilise tasakaalu kontrollimiseks. Laengutasakaalu kontrollimine võimaldab hinnata analüüsi täpsust (Appelo, 2005). Käesolevas töös laengutasakaalu usaldusväarsuse hindamise piiriks pinnavee proovide kohta oli 10% ja põhjavee proovide kohta 10%. Laengutasakaalu vea arvutatakse järgmise valemi alusel:

$$Laengutasakaal = \frac{(Katioonide summa + Anioonide summa)}{(Katioonide summa - Anioonide summa)} \times 100\%$$

Katioonide summa saadakse põhjavee makrokomponentide Na^+ , K^+ , Mg^{2+} ja Ca^{2+} väärtuste liitmisel mg-ekv/L-is, anioonide summa saadakse põhjavee makrokomponentide Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} ja NO_3^-

väärtuste liitmisel mg-ekv/L-is. Katioonide ja anioonide kontsentratsioonid tuleb esitada mg-ekv/L-is ja korrutada laengumärgiga: katioonid plussiga ja anioonid miinusega. Kuna laengutasakaal on protsentuaalne väärtus, tuleb tulemus korrutada 100%-ga (Appelo, 2005). Järgmiseks etapiks oli iga peamise katiooni ja aniooni protsentuaalse sisalduse väljaselgitamine. Selleks kasutati järgmist valemit:

$$\text{Katiooni (Aniooni) \% - sisaldus} = \frac{\text{Katioon (Anioon)} \frac{\text{meq}}{\text{L}}}{\text{Katioonide (Anioonide) summa} \frac{\text{meq}}{\text{L}}} \times 100\%$$

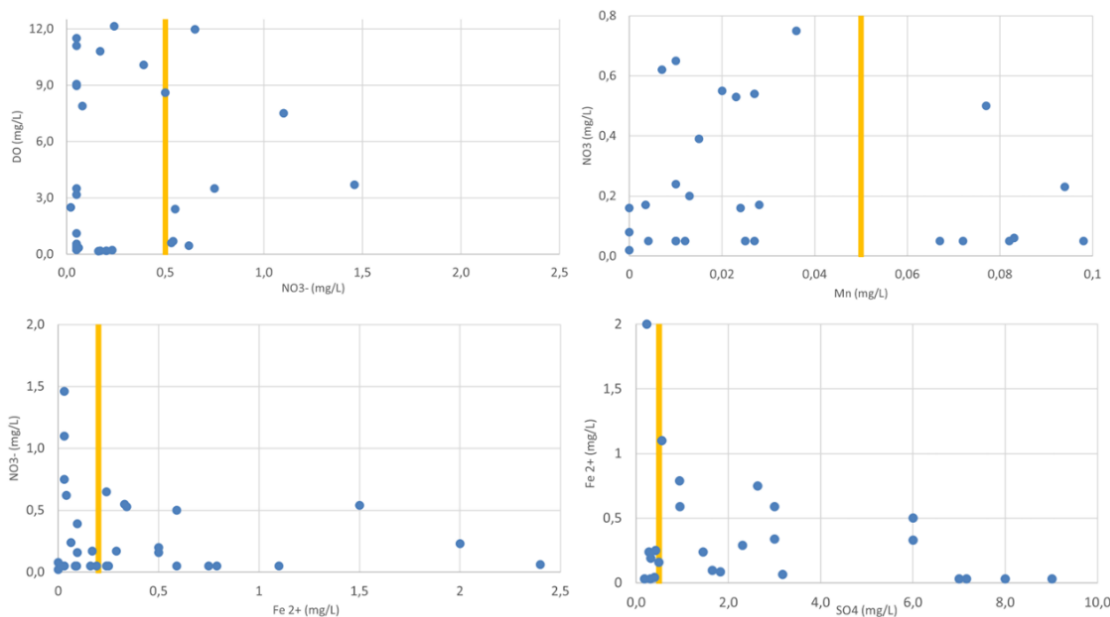
Valem põhineb sellel, et kõik põhilised katioonid $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn}^{2+}$ võrduvad 100%-ga ja kõik põhilised anioonid $\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ võrduvad 100%-ga (Stuyfzand, 1989).

Stuyfzand (1993) meetodika nn täieliku veetüübi määramise peamised kriteeriumid on kloriidisisaldus, aluselisisus, peamine katioon ja anioon ning mõnel juhul Na^+ , K^+ ja Mg^{2+} summa mg-ekv/L ja kloriidi sisalduse omavaheline suhe. Käesolevas töös määrasin vee tüübi vaid põhilist katiooni ja aniooni iseloomustava alamtüübi määramise meetodi abil. Esmalt jagatakse katioonid (ja anioonid) paarideks, pärast valitakse kõige suurima % summaga paar ning sellest paarist kõige suurema sisaldusega katioon (või anioon). Vee tüübi klassifitseerimine toimub kõige suurema sisaldusega katioonide ja anioonide määramise alusel (Stuyfzand, 1989).

3.2.2 Põhjavee redokstsoonide arvutamine

Pärast veetüübi kindlaksmääramist keskendusid edasised analüüsid tingimuste väljaselgitamisele, mis mõjutavad redoksreaktsioonide kulgemist uuritud põhjaveekihtides (vt. peatükk 2.2). Selleks, et määrata põhjaveekihi domineerivad redoksreaktsioonid, tuli kõigepealt selgitada välja redokstsoon. Redokstsooni määramiseks kasutati McMahon jt. (2011) poolt väljatöötatud meetodikat. Vastavalt sellele süsteemile jagatakse redokstsoonid rühmadeks lähtudes viie peamise redoksreaktsioonidele tundliku näitaja (O_2 , NO_3^- , Mn^{2+} , Fe^{2+} , SO_4^{2-}) kontsentratsioonidest. Üldistatult saab põhjaveekihi redokstingimused jägada veel oksiliseks, suboksiliseks, anoksiliseks ja segunenud tsoonideks. Segunenud redokstsooniks mõistetakse olukorda, kus proovivõtukohas (nt kaevus) on toimunud erinevatesse redokstsoonidesse kuuluva vee segunemine, mille tulemusena esinevad veeproovis koos redokstundlikud ühendid, mis looduslikult samas redokstsoonis koos eksisteerida ei saaks (nt NO_3^- ja Fe^{2+}).

Erinaveid redokstsoone määratlevate O_2 , NO_3^- , Mn^{2+} , Fe^{2+} , SO_4^{2-} kontsentratsioonide piirväärtuste selgitamiseks täiendavaks analüüsiks koostas neli graafikut (Joonis 12). Peatükis 2.2 on juba välja toodud, et redoksprotsessid võivad kulgeda paralleelselt. Hoolimata paralleelsusest on võimalik leida väärtused, mille ületamisel domineeriv redoksprotsess vahetub järgmise vastu. Graafikute koostamiseks valiti kaks omavahel võrreldavad parameetrit, mis kirjeldavad teineteisele järgnevaid redokstsoone (nt O_2 ja NO_3^- ; NO_3^- ja Mn^{2+}). Parameetrid visualiseeriti koordinaattasandil, kus iga parameetrit vaadeldi eraldi koordinaatteljel. Niisugused graafikud võimaldavad visualiseerida lineaarset sõltuvust ja valida väärtuse, mille abil on võimalik hinnata ühe redokstsooni üleminekut teiseks.



Joonis 13 Graafikud redokstsoonide piirväärtuste leidmiseks uuringualal. Oranžid jooned tähistavad graafikult leitud redokstsoonide piirväärtust; A – hapniku ja nitraatide sisalduste seos; B – nitraatide ja mangaani sisalduste seos; C – Nitraatide ja raua sisalduste seos. D – Raua ja sulfaatide sisalduste seos.

Seega koostati nelja graafiku põhjal väärtuste tabel, mis olid aluseks erinevate redokskategooriate määramisel. McMahon ja Chapelle (2008) ning Chapelle jt., (2009) jaotamistabelit muudetud käesoleva töö jaoks, kasutades joonisel 13 esitatud graafikute piirväärtusi. Antud klassifikatsiooni saab kasutada ka siis, kui ei ole mõõdetud või arvatud H_2S kontsentratsiooni. H_2S kontsentratsiooni andmed puudusid kasutatud andmestikus. Sel juhul ei toimu anoksilise kategooria all eraldi raua redutseerumise ja sulfaadi redutseerumise eristamist, vaid mõlemad käsitletakse koos ühe redokstsoonina – $Fe(III)/SO_4^{2-}$ redutseerumine (Chapelle jt., 2009).

Tabel 1 Redokstsoonide piirid uuringualal McMahon ja Chapelle (2008) ning Chapelle jt. (2009) muudetud klassifikatsiooni alusel.

Redokskategooria	Redokstsoon (domineeriv redoksreaktsioon)	Kriteerium (mg/L)				
		O_2	NO_3^-	Mn^{2+}	Fe^{2+}	SO_4^{2-}
Oksiline	O_2 redutseerumine	$\geq 0,5$	–	$< 0,05$	$< 0,2$	–
Anoksiline	NO_3 redutseerumine	$< 0,5$	$\geq 0,5$	$< 0,05$	$< 0,2$	–
	Mn(IV) redutseerumine	$< 0,5$	$< 0,5$	$\geq 0,05$	–	–
	$Fe(III)/SO_4^{2-}$ redutseerumine	$< 0,5$	$< 0,5$	–	$> 0,2$	≥ 1
Segunenud		Korruga on täidetud mitme erineva redokstsooni piiritlemise kriteeriumid.				

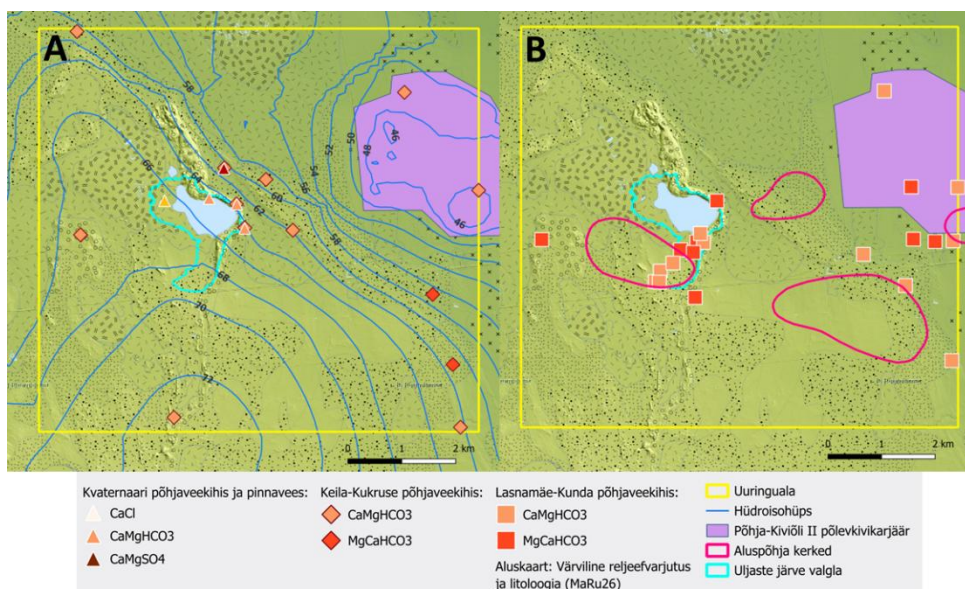
Märkus: „–“ tähendab, et antud parameeter ei ole antud redokstsooni liigituses oluline.

4. Tulemused

Uuringu tulemused esitan eraldi kahe veesüsteemi kohta – maapinnalähedane süsteem, kuhu kuulub pinnavesi (Uljaste järv ja Uljaste soo), Kvaternaari põhjaveekiht ja Keila-Kukruse põhjaveekiht ning sügavam põhjavee süsteem, mille moodustab Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht. Kokku koostas kuus uuringuala põhjavee koostist ja kvaliteeti kirjeldavat kaarti, millel on kujutatud 3. peatükis esitatud parameetrite (elektrijuhtivus, raud, sulfaadid, keemiline hapnikutarve, veetüüp ja redokskategooriad) ruumiline levik uuringuala põhjavees. Ainete jaotuse põhjal on võimalik teha järeldusi veekeskkonnas toimuvate protsesside kohta. Töö esialgne hüpotees põhines sellel, et Uljaste järv ja Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjäär mõjutavad nende lähiümbruses paiknevat maapinnalähedast põhjaveesüsteemi ja nende piirkondade põhjavee kvaliteet erineb maapinnalähedasest põhjaveest uuringuala lääne- ja lõunaosas, kus järve ja karjääri mõjud puuduvad. Põhjavee kvaliteedi parameetrite leviku analüüs aitab piiritleda piirkonnad, mida mõjutab järv ja piirkonnad, mida mõjutab karjäär. Analüüsidest arvestasin põhjavee kvaliteedi kujunemist määrava tegurina ka suuremate pinnavormide ja geoloogiliste struktuuride esinemisega, mis mõjuvad uuritava alal põhjavee liikumist (nt Uljaste oos, aluspõhja kerked).

4.1 Vee keemiliste tüüpide levik

Andmete analüüsi tulemusel tuvastati, et uuringualal esinevad neli peamist põhjavee keemilist tüüpi, milleks on CaMg-HCO_3 , MgCa-HCO_3 , CaMg-SO_4 ja Ca-Cl . Joonisel 14A on kujutatud veetüüpide jaotus. Siin ja edaspidi on põhjavee kvaliteeti iseloomustavate parameetrite levikukaartidel kujutatud ka modelleeritud põhjaveetaseme samajooni ehk hüdroisohüpse Keila-Kukruse põhjaveekihi (Polikarpus jt., 2023), mis aitavad määrata põhjaveetaseme sügavust ja vee liikumise suunda uuringualal. Joonisel 14B on kujutatud veetüüpide jaotus Lasnamäe-Kunda veekihi. Lasnamäe-Kunda põhjaveekihi kaartidel ei ole hüdroisohüpse esitatud, kuna neid ei ole varasemates uuringutes täpsemalt modelleeritud. Siiski võib eeldada, et põhjavee liikumise suund sügavamas põhjaveekihi ühtib üldjoontes põhjavee liikumise suunaga Keila-Kukruse põhjaveekihi.

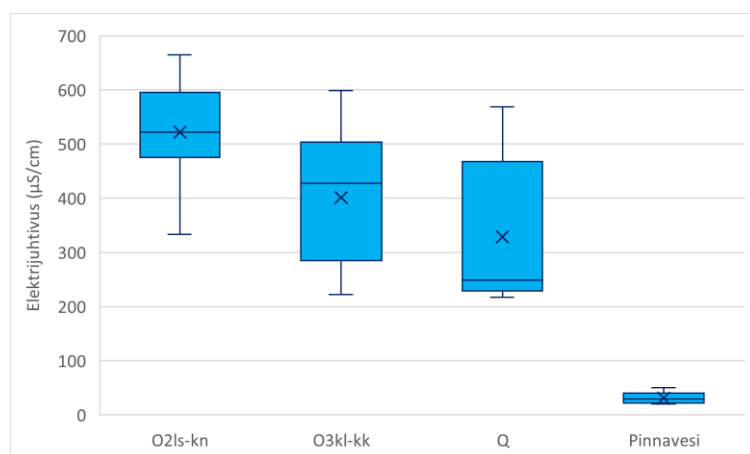


Joonis 14 Veetüüpide levik. A – veetüübid maapinnalähedases süsteemis (Uljaste järv, Uljaste soo, Kvaternaari põhjaveekiht ja Keila-Kukruse põhjaveekiht). B – veetüübid sügavamas põhjavee süsteemis (Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht).

Joonisel 14A on näha, et peamine veetüüp on CaMg-HCO_3 , mis domineerib kogu uuringualal pinnavees, Kvaternaari põhjaveekihi ja Keila-Kukruse põhjaveekihi. Selle veetüübi kujunemine on otseselt seotud aluspõhja litoloogilise koostisega ja täpsemalt kaltsiidi lahustumisega. Samuti esineb soovees Ca-Cl tüüpi vett ning oosi idapoolses Kvaternaari põhjaveekihi on esindatud ka CaMg-SO_4 tüüpi vesi. Ca-Cl veetüüp tuleneb tõenäoliselt sademete keemilisest koostisest, sest Uljaste soo kui raba toitub peamiselt sademetest. Kuna sademed on merelise päritoluga, siis sisaldavad need aerosoolidest tekkivat kloriidi. CaMg-SO_4 tüübi esinemise põhjuseks on ilmselt kaevu poolt avatud setete litoloogiline koostis. Läbilõikes esinevad nii turvas kui ka savi (Keskkonnaagentuur, 2026b) ning orgaanilise aine lagunemisel tekkiv happeline vesi võib põhjustada intensiivsema püriidi oksüdeerumise tõttu sulfaadi suurenenud sisaldusi (Appelo, 2005). Tegu on lokaalse nähtusega puurkaevu lähiümbruses. Keila-Kukruse veekihi esineb lisaks MgCa-HCO_3 -tüüp, mis on samuti seotud moodustavate kivimitega ja viitab dolomiidi lahustumisele. Dolomiidi lahustuvus on kaltsiidist väiksem ja eeldab pikemat kokkupuudet põhjavee ja aluspõhja kivimite vahel.

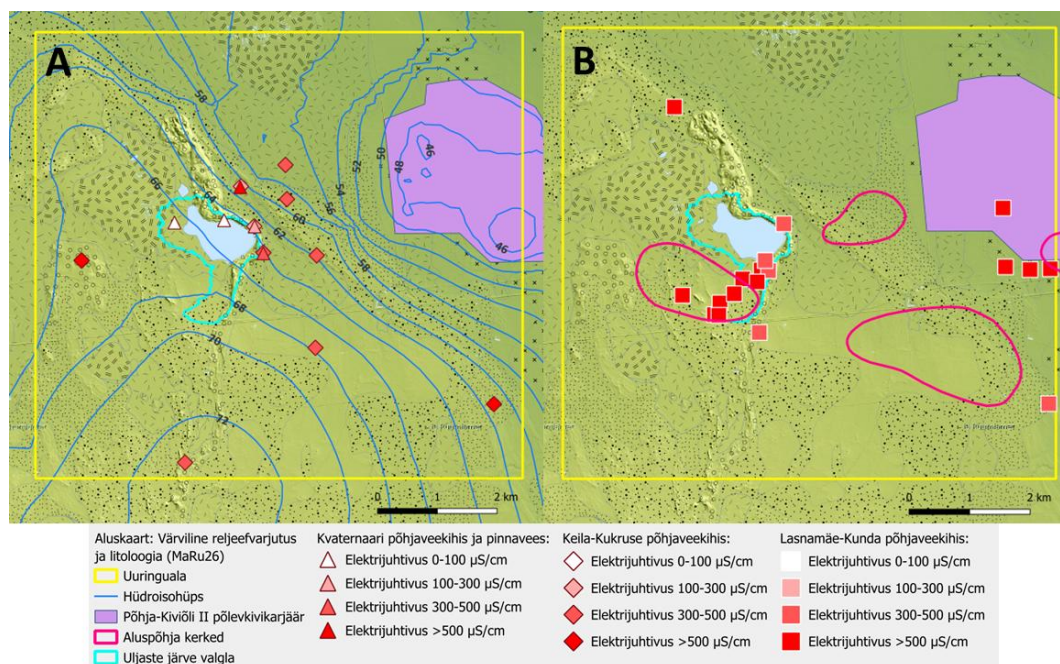
Joonisel 14B on näha, et Lasnamäe-Kunda sügavamas kihis domineerib CaMgHCO_3 -tüüp, kuid palju esineb ka MgCaHCO_3 -tüüpi põhjavett. Kokkuvõtvalt võib öelda, et vee keemilise tüübi määrab uuringualal ära karbonaatsete mineraalide (kaltsiit ja dolomiit) lahustumine. Keemilise tüübi väikese varieeruvuse tõttu ei ole selle põhjal võimalik eristada järvest ja põlevkivikarjäärist mõjutatud põhjavett. Selleks on vaja uurida teisi põhjavee koostise parameetreid.

Põhjavee päritolu uuringualal aitab vee keemilisest tüübist paremini selgitada vee elektrijuhtivus. Kuna see parameeter kajastab lahustunud ionide hulka vees, on elektrijuhtivus kasulik järvest mõjutatud põhjavee eristamiseks. Alal levib väga erineva elektrijuhtivusega vesi. Karpdiagrammi abil (Joonis 15) on võimalik öelda, et elektrijuhtivus on hea parameeter järvest mõjutatud põhjavee leidmiseks. Sellest diagrammist nähtub, et järve ja soovee elektrijuhtivus on väga madal ($<50 \mu\text{S/cm}$), kuid põhjavees kasvab see sügavuse suurenemisega. Kõige kõrgem elektrijuhtivuse väärtus saavutatakse Lasnamäe-Kunda veekihi, samas Keila-Kukruse ja Kvaternaari veekihtides on tulemused liigikaudu sarnased ja sügavama põhjaveega võrreldes iseloomustab maapinnalähedast põhjavett väiksem elektrijuhtivus. Diagrammi põhjal on näha, et Kvaternaari ja Keila-Kukruse veekihtides keskmine elektrijuhtivus on 320 - 400 $\mu\text{S/cm}$, mis viitab lahustunud ionide sisalduse suurele muutlikkusele maapinnalähedases põhjavees.



Joonis 15 Elektrijuhtivuse karpdiagramm. Q – Kvaternaari põhjaveekiht; Pinnavesi – Uljaste järv ja Uljaste soo; O3kl-kk – Keila-Kukruse põhjaveekiht; O2ls-kn – Lasnamäe-Kunda põhjavee kiht.

Nii on joonisel 16A näha, et väiksem elektrijuhtivus esineb Keila-Kukruse ja Kvaternaari veekihtidest Uljaste järvest idas Uljaste oosi taga. Madal elektrijuhtivus viitab sellele, et siin on põhjavesi mõjutatud järvevee imbumisest maapinnalähedastesse põhjaveekihtidesse (Polikarpus jt., 2023). Kui imbumist ei toimuks, oleks elektrijuhtivus suurem, kuid antud juhul tekib vee lahjendus. Järvest eemaldudes suureneb elektrijuhtivus kõikides suundades ja mõnes kohas ületab see 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Joonisel 16B on näha, et Lasnamäe-Kunda põhjaveekihtis järve ida- ja lõunaosas on elektrijuhtivus umbes 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kuid järvest eemaldudes suureneb elektrijuhtivus kõikides suundades kuni 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Väiksema elektrijuhtivusega kaevud järve lõunakaldal võivad samuti viidata järve sissevoolule.



Joonis 16 Elektrijuhtivuse levik. A – maapinnalähedases süsteemis (Uljaste järv, Uljaste soo, Kvaternaari- ja Keila-Kukruse põhjaveekihtid). B – sügavamas põhjavee süsteemis (Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht).

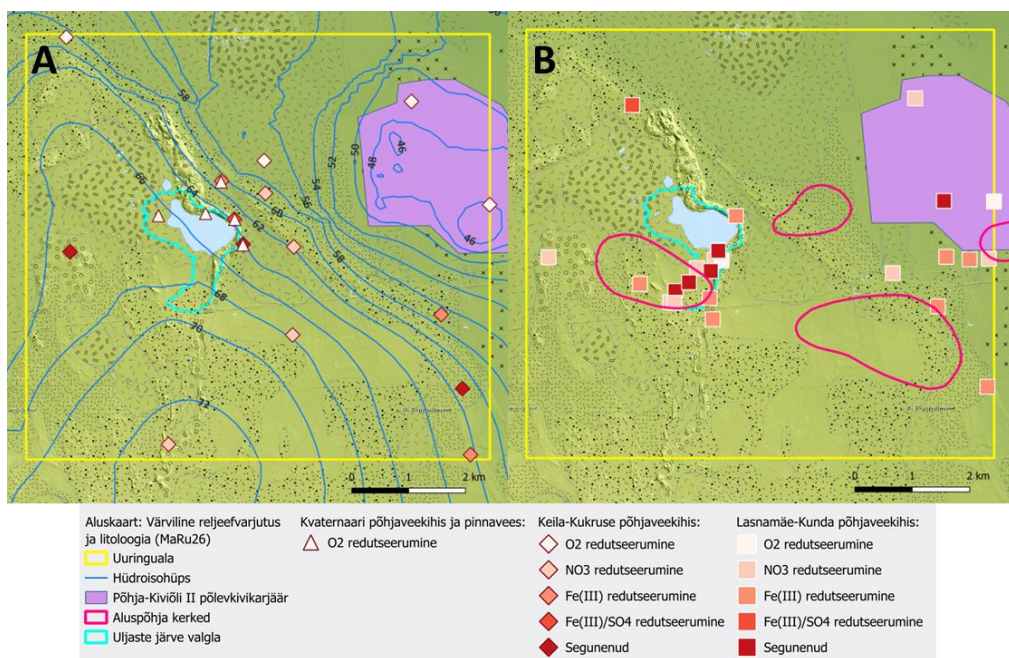
4.2 Redokstsoonide levik

Redokskategooriad võimaldavad määrata aktiivse vastastikmõju piirkonnad põhjaveekihtide ja pinnavee vahel ning ennustada redokstundlike ainete (hapnik, nitraadid, mangaan, raud, sulfaadid) levikut, mis omakorda mõjutavad oluliselt põhjavee kvaliteeti (McMahon jt., 2011). Käesoleva töö jaoks on redokskategooriad vajalikud, et selgitada redokstingimuste vaheldumist uuringualal ja järve ning karjääri mõju nende kujunemisele. Redoksprotsessid põhjaveekihtis toimuvad järgmises järjekorras: O_2 redutseerumine, NO_3^- redutseerumine, Mn(IV) redutseerumine, Fe(III) redutseerumine, SO_4^{2-} redutseerumine ja lõpuks metanogenees (Appelo, 2005).

Joonisel 17A on näha, et enamikus maapinnalähedaste põhjaveekihtide proovides esineb O_2 redutseerumine, mis vastab oksilisele tsoonile ja lahustunud hapniku esinemisele uuritud põhjavees. Keila-Kukruse põhjaveekihtis uuringualal lõunas – järvest ja karjäärist mõjutamata nn looduslikus tsoonis esineb NO_3^- redutseerumine ja Fe(III) redutseerumine, mis viitab enam redutseerunud tingimustele. Samuti esineb järve idaosas Keila-Kukruse veekihtis Fe(III) redutseerumine ja üleminekutsoon Fe(III) ja SO_4^{2-} redutseerumise vahel. Samas piirkonnas on näha ka madalamat põhjavee elektrijuhtivust, mis viidab järvevee infiltreerumise võimalusele. Joonisel

17B on näha, et Lasnamäe-Kunda veekihi redokstingimused on redutseerivad erinevalt maapinnalähedastest põhjaveekihtidest. Siin esinevad kõige sagedamini NO_3^- redutseerumise ja Fe(III) redutseerumise redokstsoonid.

Joonise 16A põhjal võib märkida, et kõrgenenud elektrijuhtivus ei ole enamikel juhtudel oluliselt seotud joonisel 17A kujutatud redoksprotsessidega. Elektrijuhtivust on võimalik seostada vaid mõnede proovidega Keila-Kukruse veekihist uuringuala kaguosas. Elektrijuhtivus üle $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ vastab Fe(III) redutseerumisele ja elektrijuhtivus $300\text{--}500 \mu\text{S}/\text{cm}$ vastab NO_3^- redutseerumisele. Vastavalt joonisele 17B on Lasnamäe-Kunda põhjaveekihi järvest lõuna ja põlevkivikarjääri piirkonnas on domineerivateks redoksprotsessideks Fe(III) redutseerumine ja NO_3^- redutseerumine, mis vastab ka kõrgema elektrijuhtivusega (üle $500 \mu\text{S}/\text{cm}$) põhjavee levikule (Joonis 16B).



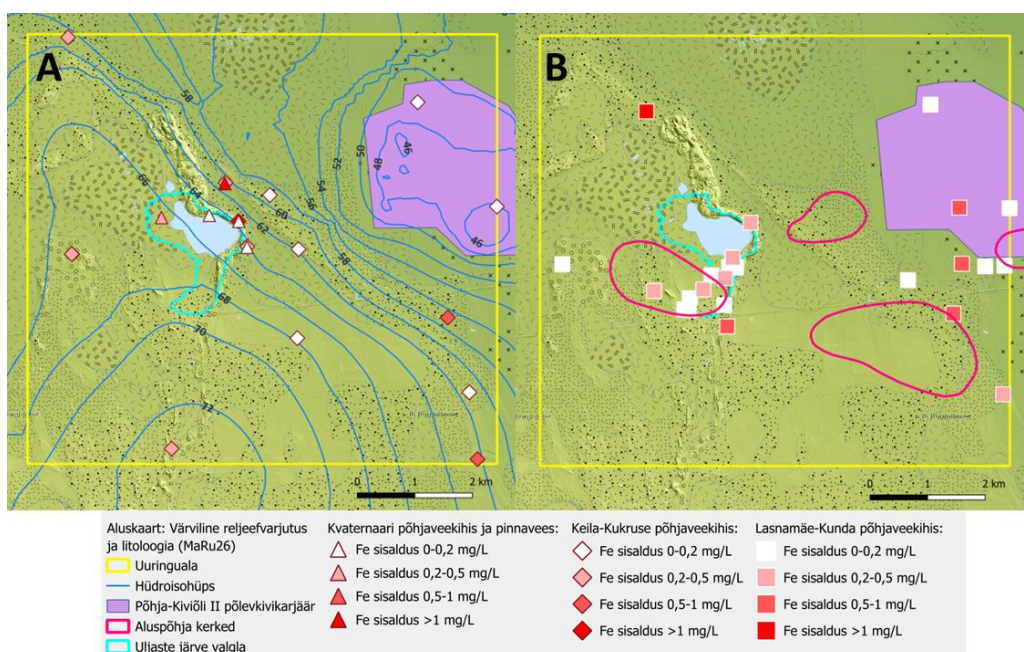
Joonis 17 Redokskategooriate levik. A – maapinnalähedases süsteemis (Uljaste järv, Uljaste soo, Kvaternaari ja Keila-Kukruse põhjaveekihtid); B – sügavamas põhjavee süsteemis (Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht).

4.3 Olulised vee kvaliteeti kirjeldavad näitajad

Pärast vee tüüpide ja veekvaliteedi üldist parameetrite (veetüüp, elektrijuhtivus ja redokskategooriad) visualiseerimist on võimalik analüüsida raua, sulfaatide ja keemilise hapnikutarve (KHT) levikut uuringualal. Need parameetrid ei ole valitud juhuslikult, sest just raua, ja sulfaatide ja KHT sisaldused määravad tihti põhjavee sobivuse joogiveeallikana. KHT näitab hapniku kogust, mis on vajalik orgaanilise ja mõningate mitteorgaaniliste ainete (nt Fe^{2+}) oksüdeerimiseks. Parameetrit kasutakse enamasti põhjavees sisalduva orgaanilise aine hulga üldiseks kirjeldamiseks. Lisaks aitavad need paremini piiritleda järvevee infiltreerumise ja karjääri tegevuse mõju ümbruskonna põhjaveele. Uuringuala lääne- ja lõunaosa on looduslik piirkond, mistõttu raua ja sulfaatide sisaldus on seal tingitud peamiselt looduslikest protsessidest.

Järvevees Uljaste järve idaosas rauasisaldus on madal, kuid sügavuse suurenemisega kasvab Keila-Kukruse põhjaveekihi (Joonis 18A). Niisugune suurenemine sügavusega viitab järve mõjule, mis

tuleneb järvevee imbumisest põhjavette. Imbumise tulemusel soodustab orgaaniliste ainetega rikkas vesi redoksreaktsioone, mille tulemusena tekivad redutseeruvad tingimused ja suureneb vee rauasisaldus. Mõõdukas raua sisaldus uuringuala lääneosas on seotud looduslike redokstingimustega. Joonisel 18B on Lasnamäe-Kunda sügavamas põhjaveekihis Uljaste järve piiril raua sisaldus madal või mõõdukas ning järve idaosas ei ületa raud samuti 0,5 mg/L. Järve lõunaosas asuvad mõõduka raua sisaldusega alad vastavad segunenud redokskategooriatele (Joonis 17B), samas madal raua sisaldus samas piirkonnas vastab NO₃⁻ redutseerumisele. Mõõdukas raua sisaldus võib olla seotud ka järvevee imbumisega põhjavette. Uuringuala põhjaosas ning põlevkivikaevanduse piirkonnas võib kõrgeenenud raua sisaldus olla seotud püriidi oksüdeerumisel tekkitava rauaga.

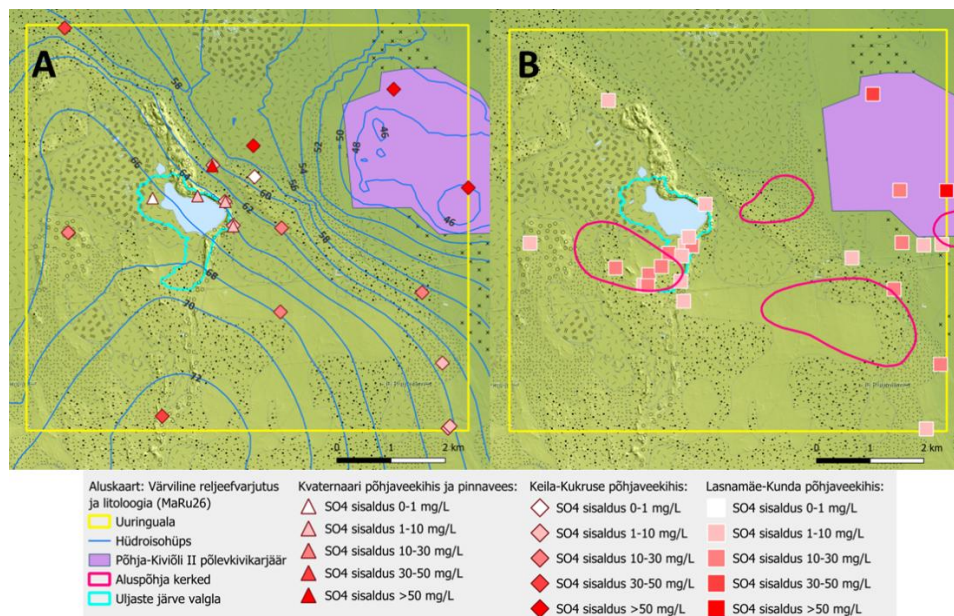


Joonis 18 Raua levik uurimisalas. A – maapinnalähedases süsteemis (Uljaste järv, Uljaste soo, Kvaternaari ja Keila-Kukruse põhjaveekiht); B – sügavamas põhjavee süsteemis (Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht).

Järgmiseks uuritavaks parameetrik valiti sulfaadid. Varem esitatud andmete põhjal on sulfaadid kaevandustegevuse indikaatorid, sest sulfaadid on keemiliselt seotud püriidi (FeS₂) oksüdeerumisega, mis toimub hapniku kokkupuude tõttu püriiti sisaldavate kivimitega (Reinsalu, 2006). Aktiivse põhjavee väljapumpamise tõttu põhjaveetase muutub, mis soodustab püriidi oksüdeerumist ning sulfaatide sisalduse suurenemist. Joonisel 19A on näha, et uuringuala üldine sulfaadisisaldus ületab 10 mg/L. Otseselt soos ja järve ümbruses Kvaternaari- ja Keila-Kukruse veekihtide proovis sulfaadisisaldus ei ületa 10 mg/L, kuid selliste põhjaveekihtide kaevudes esinev madal elektrijuhtivus, anoksilised redokstsoonid ja suurem raua sisaldus viitavad ka järve mõjule. Uljaste järve kirdes, põlevkivikarjääri suunas paiknevates seirepunktides esineb kõrgem sulfaadisisaldus (üle 50 mg/L). Uuringuala kaguosas ehk looduslikul alal on sulfaadisisaldus 10–30 mg/L.

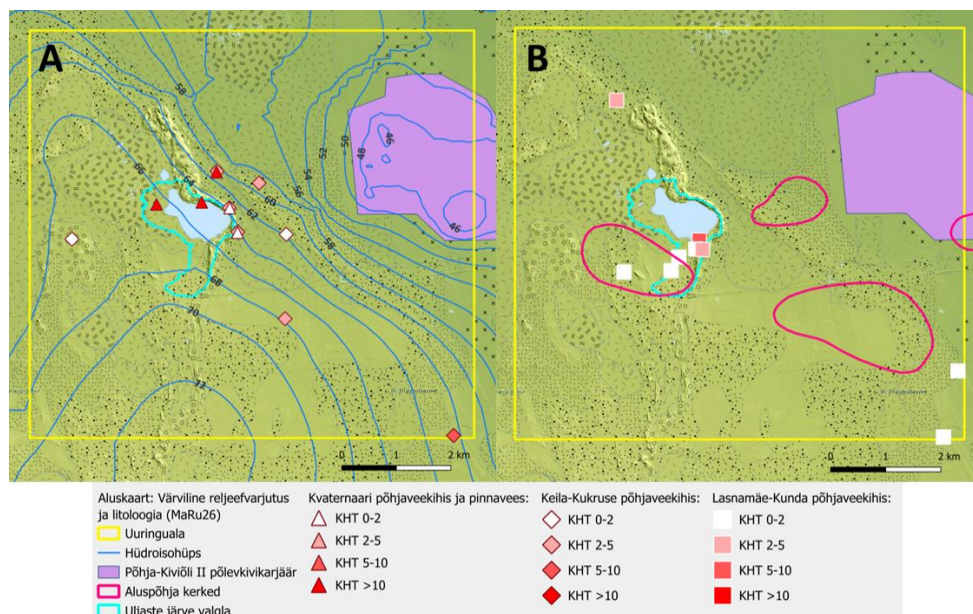
Joonisel 19B on näha, et üldine sulfaadisisaldus otseselt järve ümber on üsna madal ja moodustades 10–30 mg/L. Samas liikudes järvest uuringuala ida poole põlevkivikarjääri suunas suureneb sulfaadisisaldus kuni 50 mg/L ja rohkem. Jooniseid 19A ja 19B võrreldes on näha, et põlevkivikarjääri

läheduses oluliselt suureneb sulfaadisaldus nii Keila-Kukruse veekihis kui ka Lasnamäe-Kunda veekihis.



Joonis 19 Sulfaatide levik uuringualas. A – maapinnalähedases süsteemis (Uljaste järv, Uljaste soo, Kvaternaari ja Keila-Kukruse põhjaveekiht); B – sügavamas põhjavee süsteemis (Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht).

Viimane parameeter, mille ruumilist levikut lähemalt uurisin, oli keemiline hapnikutarve ehk KHT. Joonisel 20A on näha, et järve põhjaosa pinnavees ja soos ületab KHT 10 mgO₂/L, kuna seal on levinud palju orgaanilist ainet. Samal ajal joonisel 20A järve idaosas Kvaternaari põhjaveekihis ja pinnavees KHT ei ületa 5, kuid sügavusega Keila-Kukruse põhjaveekihis KHT sisaldus suureneb. KHT suurenemine samal ajal ühtib varem kirjeldatud elektrijuhtivuse, redokstsoonide, rauasisalduse ja sulfaadi levikuga, viidates järve mõjule. Joonisel 20B on näha, et ainult ühes proovis järve lõunaosas KHT väärtus ületab 5, samas kui ülejäänud osas KHT on piisavalt väike ega ületa 5.



Joonis 20 Keemiline hapnikutarve uuringualal. A – maapinnalähedases süsteemis (Uljaste järv, Uljaste soo, Kvaternaari ja Keila-Kukruse põhjaveekiht); B – sügavamas põhjavee süsteemis (Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht).

5. Arutelu

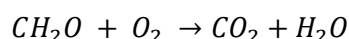
5.1 Järvevee sissevooluga seotud keemilised protsessid põhjaveekihi

Käesolevas töös uurisin maapinnalähedast veesüsteemi (pinnavesi, Kvaternaari- ja Keila-Kukruse põhjaveekihi) ja sügavamat põhjavee süsteemi (Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht) eraldi, mistõttu käsitlen arutelu peatükis neid samuti eraldi. Uljaste järv on umbjärv, millel puuduvad pinnavee sisse- ja väljavoolud; seega on järve veeallikaks sademed, Uljaste soo ja järve valgalt imbuv vesi. Sügavama Lasnamäe-Kunda põhjaveekihi veekvaliteedi kujunemist mõjutavad enam ala geoloogilised tingimused ja looduslikud protsessid. Maapinnalähedast põhjaveekihti mõjutab lisaks neile veel pinnaveeline toitumine ja inimtegevus (kaevandamine ja põlumajandus).

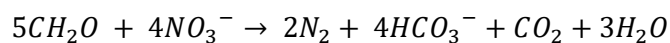
5.1.1 Vee keemiline koostise kujunemine maapinnalähedases põhjaveesüsteemis

Polikarpus jt. (2023) modelleeritud Keila-Kukruse põhjaveekihi hüdroisohüpse põhjal (Joonis 9) on näha, et põhjavesi liigub kirde-suunas ehk järvest põlevkivikarjääri poole. Oos on moodustunud hea veejuhtivusega liivast- ja kruusast, mis samuti soodustab järve vee imbumist põhjavette. Sarnast põhjavee ja pinnavee vastastikmõju on leitud ka Soomes, kus geoloogilise ehituse tõttu voolab vesi järvest põhjaveekihti (Ala-aho jt., 2013). Käesolevas töös läbi viidud analüüsid ja koostatud ainete levikukaardid kinnitavad samuti järvevee imbumist põhjaveekihtidesse. Uljaste järv on poolhuumustoiteline veekogu, mida toidab lisaks sademetele orgaaniliste ainete küllastunud soovesi. Järvedes toimuvad lisaks ka taimestiku lagunemisprotsessid, mis on samuti orgaaniliste ainete allikaks (Jiangj jt., 2023). Seega on orgaanilise aine esinemine põhjavees oluline järve sissevoolu kirjeldav tõend.

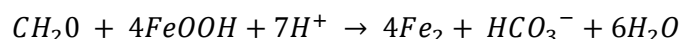
Orgaaniliste ainete imbumine põhjavette kutsub esile mitmeid redoksprotsessid. Mikroorganismid lagunevad sissevoolavat orgaanilist ainet (CH_2O), kasutades hapniku oksüdeerijana. Oksüdeerimisreaktsioon näeb välja järgmiselt (Appelo, 2005):



Hapniku kadumise tagajärjel muutub veekeskkond anoksiliseks. Järgmise oksüdeerijana käituvad nitraadid. Protsessi kirjeldav reaktsioonivõrrand on järgmine (Jørgensen jt., 2004):



Pärast nitraatide redutseerumist hakkavad mikroorganismid energiallikana kasutama kivimisi esineva raua- ja mangaani okside ja hüdroksiide (nt $\text{Fe}(\text{OH})_3$). Redutseerumise reaktsioon toimub järgmiselt (Appelo, 2005; Liebes, 2009):



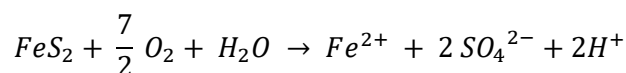
$\text{Fe}(\text{OH})_3$ redutseerumise käigus tekib vette Fe^{2+} ioone. Just kohati uuringualal esinevad suured Fe^{2+} ionide sisaldused nii Kvaternaari põhjaveekihi kui ka Keila-Kukruse põhjaveekihi näitavad tugevad redutseeruvate tingimuste esinemist ning viitavad järve sissevoolu mõjule. Sulfaatide kõrge sisaldus karjääri ja järve vahel viitab põlevkivikarjääri mõjule Kvaternaari põhjaveekihi ja Keila-Kukruse põhjaveekihi punktidele, sest looduslikult ei ületa sulfaatide sisaldus sellistes põhjaveekihtides väärtust 50 mg/L.

5.1.2 Vee keemiline koostise kujunemine sügavas põhjaveekihi

Sügavas Lasnamäe-Kunda põhjaveekihi osas võime eeldada, et põhjavee liikumise suund on sarnane maapinnalähedasele põhjaveele, kuigi siin täpsemalt põhjavee liikumise modelleerimist läbiviidud ei ole. Siiski võivad siin põhjavee liikumist lisaks mõjutada aluspõhjalased kerkestruktuurid. Sellised tektoonilised struktuurid võivad toimida kas vettjuhtiva või vastupidi vettpidava süsteemina. Bense jt. (2013) uuringu kohaselt soodustavad kerked põhjavee liikumist mööda tektoonilist struktuuri ülevalt alla, kuid samal ajal takistavad horisontaalselt läbivoolu.

Lasnamäe-Kunda põhjaveekihi on märgatav, et Uljaste kerke piiril esineb palju segunenud redokskategooriaid (Joonis 17B), mis võib viidata erinevat päritolu põhjavee segunemisele. Segunenud redokskategooriad tekivad erinevaid redokstsoone iseloomustavate näitajate (O_2 , NO_3^- , Mn^{2+} , Fe^{2+} , SO_4^{2-}) samaaegse esinemise tulemusena. Lasnamäe-Kunda põhjaveekihi vesi liigub aeglaselt, mille tulemusena tekib pikem kokkupuude ümbritsevate kivimitega. Kui vee liikumine on soodustatud mööda kergelt ülevalt alla, siis tungib maapinnalähedane põhjavesi siin sügavamasse põhjaveekihti ning tulemuseks on erinevaid redokstundlikke elemente sisaldava põhjavee teke.

Järve lõunaosas esineb Lasnamäe-Kunda põhjaveekihi kohati märgatavalt kõrge KHT sisaldus. Kõrge KHT sisaldus sügavas põhjaveekihi võib viidata järvest imbuva vee mõjule, mida võib soodustada järve kaldal toimuv veetarbimine või kaevu halb tehniline seisund. Väga madala raua sisaldusega aladele on iseloomulik NO_3^- redutseerumine. Samal ajal kõrge rauasisaldusega aladel esineb rohkem segunenud redokskategooriaid, mis võib viidata erinevat päritolu põhjavee segunemisele. On märgatav, et järvest eemal esineb Lasnamäe-Kunda põhjaveekihi mõnes kohas ka põhjavett, kus on kõrge raua ja sulfaatide sisaldus ning kus esinevad redutseerivad redokstingimused. Raua ja sulfaatide sisalduse tõus järvest karjääri suunas on tõenäoliselt seotud püriidi (FeS_2) oksüdeerumisega hapniku kokkupuutes püriidi sisaldavate kivimitega. Püriidi oksüdeerumine toimub järgmise reaktsiooni alusel ja sellega kaasnevad raua ja sulfaatide vabanemine (Karise jt., 1987):



5.2 Kaevandustegevuse võimalik mõju Uljaste järve valgla põhjavee kvaliteedile

Uljaste järv asub looduslikult ümbritsevatest aladest kõrgemal. Samuti on teada, et järv saab vett sademetest ja Uljaste soost. Analüüsid kinnitavad järve mõju Kvaternaari põhjaveekihile ja Keila-Kukruse põhjaveekihile, kuna nendes kihtides esineb järve ümber vees kõrge KHT ja Fe^{2+} sisaldus, tugevalt redutseeruvad tingimused ja väiksem elektrijuhtivus. Põlevkivikarjääri laiendamise korral lääne poole järve suunas ei oleks mõju järve keemilisele koostisele otsene, kuna potentsiaalselt reostunud põhjavee sissevool järve ei toimuks.

Kuid põlevkivi kaevandamise käigus toimuks ulatuslik vee väljapumpamine, mille tagajärjel võib langeda ka Keila-Kukruse veekihi põhjaveetas järve all. Selle mõjul langeks tõenäoliselt ka järve veetaseme, kuna see on tihedalt seotud ümbritsevate põhjaveekihtidega (Polikarpus jt., 2023). Seega, mida suurem on põhjaveetaseme alandus, seda suuremaks kasvab järve veetaseme ja

põhjaveetaseme vahe ehk gradient. Darcy seaduse põhjal on põhjavee liikumine seda kiirem, mida suurem on gradient. Darcy seaduse valemist on asjaolu jälgitav järgmiselt:

$$V (\text{vee liikumise kiirus}) = K (\text{filtratsioonikoefitsient}) \times \frac{\Delta h (\text{veetaseme vahe})}{\Delta l (\text{vahekaugus})}$$

Sellest järeldub, et kui kaevandamise mõjul langeks oluliselt järve ümbritsevate põhjaveekihtide veetaseme, imbuks selle tulemusel järvest veel rohkem vett põhjavette. Orgaaniliste ainetega küllastunud järvevesi liiguks karjääri suunas, põhjustades redutseerivaid tungimusi. On loogiline eeldada, et põlevkivikarjääri laiendamine mõjutaks kõige rohkem Kvaternaari põhjaveekihi ja Keila-Kukruse veekihi vee keemilist koostist, kuna veetaseme langus toimuks just nendes põhjaveekihtides. Põhjavee kvaliteedi muutused oleksid tõenäoliselt sarnased praegu järve idaosas olevates kaevudes tuvastatud muutustega. Kõrgenenud keemiline hapnikutarbe (KHT) ja väikese elektrijuhtivusega orgaanilise aine rikka järvevee imbumise tõttu on soodustatud suurema raua sisaldusega põhjavee teke.

5.3 Kontseptuaalne mudel

Vastavalt peatükkides 5.1 ja 5.2 esitatud järeldustele koostasid kontseptuaalse mudeli, mis illustreerib kokkuvõtvalt uuringu tulemusi (Joonis 21). Mudel kujutab endast lihtsustatud ristlõiget Uljaste järve ja Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjääri vahelisest alast, mis hõlmab järve, oosi, põlevkivikarjääri ja uuritud põhjaveekihte. Mudelis ei ole esitatud kerkeid lihtsustamise eesmärgil. Katkendjoonega on esitatud Kvaternaari ja Keila-Kukruse põhjaveekihtide veetasemed. Kollane katkendjoon kujutab Keila-Kukruse põhjaveetaseme, mis langeb karjääri suunas, sest karjääri töö käigus seda veekihti kuivendatakse. Põhjaveekihi kuivendamise tõttu langeks ka Kvaternaari põhjaveekihi veetaseme, sest see on aluspõhjalise põhjaveega hüdrauliselt seotud. Veetaseme langus põhjustaks vee liikumist järve poolt karjääri suunas.

Joonisel 21 on kujutatud ka kaks teoreetilist puurkaevu. Järve lähedal paiknevas puurkaevus avalduks järvevee imbumise mõju põhjaveekvaliteedile. Põlevkivikarjääri lähedal asuvas puurkaevus ilmneks põlevkivi kaevandamise mõju põhjavee kvaliteedile. Vastavalt peatükis 5.1 esitatud järeldustele, põhjustaks orgaaniliste ainete sisaldav järve vesi Kvaternaari- ja Keila-Kukruse põhjavees raua sisalduse ja vee keemilise hapnikutarbe suurenemist. Vastavalt peatükis 5.2 tehtud järeldustele põhjustaks põlevkivi kaevandamine ja sellega seotud põhjaveetasemete alandamine püriidi oksüdeerimist pinnasest sattuva hapniku tõttu. Püriidi oksüdeerumine põhjustab sulfaatide sisalduse suurenemist, mille kõrgenenud sisaldus on selgelt näha kaevudes karjääri lähedastes kaevudes ka täna. Uuringu tulemused näitavad, et suur põhjaveetaseme alandus Uljaste järve all ja selle ümbruses võib endaga kaasa tuua olulised muutused järve ümbritsevate põhjaveekihtide veekvaliteedis. Seepärast on oluline, et piirkonnas toimuva põlevkivikaevandamise käigus välditaks põhjaveetasemete alanduslehtri levikut järve alla ja karjääri laiendamist planeerides võetakse arvesse ka põhjaveetaseme alanemisega kaasneva võivaid negatiivseid mõjusid põhjavee kvaliteedile.

Kokkuvõte

Uljaste järv (Joonis 22) on oluline kaitsealune järv, kus esineb mitmeid kaitsealuseid liike ja see on üks väheseid suuremaid järvi Viru lavamaal. Käesolevas töös analüüsiti nii uusi kui varasemate uuringute käigus kogutud põhjavee keemilise koostise andmeid ning EELIS-e andmebaasis olevaid andmeid Uljaste järve ümbritsevast piirkonnast. Eesmärgiks oli selgitada Uljaste järve ja põhjavee vastastikmõju seoseid põhjavee kvaliteediga, et ennustada võimalikke põhjavee kvaliteedi muutusi, mis leiaksid aset piirkonnas toimuva põlevkivikaevandamise laienemise korral. Töös on esitatud ülevaade kasutatud mõistetest ja analüüsimeetoditest, on koostatud 12 kaarti vee kvaliteeti kujutavate keemiliste elementide leviku kirjeldamiseks ning on loodud kontseptuaalne mudel, mis võtab kokku uuringu tähtsamad järeldused.

Uuringu tulemused näitasid, et suurema orgaanilise ainesisaldusega järvevesi imbib põhjaveesse ning liigub põhjaveetasemete gradiendi tõttu itta põlevkivikarjääri suunas. Järvevee imbumine maapinda tood kaasa põhjavee elektrijuhtivuse vähenemise ning selle keemilise hapnikutarbe ja raua sisalduse suurenemise järvest idas paiknevates maapinnalähedastes põhjaveekihtides. Sulfaatide suurem sisaldus põhjavees, mis on kaevandustegevuse mõju peamiseks indikaatoriks, on jälgitav põlevkivikarjääri ümbruses. Loodusliku fooniga aladel järvest läänes ja idas on märgatav redutseerivate tingimuste esinemine sügvamates põhjaveekihtides, mis omakorda võivad soodustada erinevate ainete suuremaid sisaldusi (nt raud, mangaan), mille sisaldus tuleb turvalise veetarbimise tagamiseks kontrollida.

Tulevikus strateegiliste otsuste tegemisel tuleb arvestada, et veetaseme alandamine järve aluses põhjaveekihtis võib suurendada järvevee imbumist lamavatesse põhjaveekihtidesse. See võib alandada järve veetaset ja ohustada selles kasvavaid kaitsealuseid liike. Järvevee jõudmine põhjaveekihtidesse võib omakorda halvendada nende kvaliteeti suurendades mitme keemilise näitaja sisaldusi (nt keemiline hapnikutarve, raud), mis määravad põhjavee sobivuse joogiveeks. Paradoksaalselt võib põlevkivikarjääri laienemine esmalt esile kutsuda just järve infiltreerumise laiema mõju põhjavee kvaliteedile, mitte tingimata vee sulfaadisalduse suurenemist, mida tavaliselt peetakse kaevandustegevuse mõju peamiseks indikaatoriks. Seepärast on oluline, et piirkonnas toimuva põlevkivikaevandamise käigus välditaks põhjaveetasemete alandusletri levikut järve alla ja karjääri laiendamist planeerides võetakse arvesse ka põhjaveetaseme alanemisega kaasneva võivaid negatiivseid mõjusid põhjavee kvaliteedile.



Joonis 22 Uljaste järv päikese loojangul

Tänuavaldused

Täna oma peajuhendajat Joonas Pärna pakutud uuringuteema, välitöödele kaasamise, toetuse ja suunamise eest kogu töö vältel. Mul õnnestus omandada uusi teoreetilisi ja praktilisi teadmisi ning tutvuda usaldusväärsete hüdroteoloogiliste teadustööde tulemustega. Täna kaasjuhendajat Heidi Elisabet Soosalu, kes jagas oma kogemusi ja andis palju väärtuslikke nõuandeid teadustöö kirjutamise ja vormistamise kohta. Täna Eesti Geoloogiateenistust välitöödel osalemise eest. Täna Eesti Keskkonnauuringute Keskust ja Tallinna Ülikooli ökoloogia keskust kvaliteetse veeproovide analüüsi ja LIFE-SIP AdaptEst projekti raames kogutud avaldamata andmete kasutamise lubamise eest. Suured tänud Eesti Keskkonnaagentuurile EELIS infosüsteemi ligipääsu eest. Viimaks täna projekti LIFE-SIP AdaptEST (LIFE21-IPC-EE-LIFE-SIP AdaptEst/101069566), mille eelarvest rahastati uuringuga seotud välitöid ja kogutud veeproovide analüüse.

Kasutatud kirjanduse loetelu

- Ala-aho, P., Rossi, P. ja Kløve, B. (2013). Interaction of esker groundwater with headwater lakes and streams. *Journal of Hydrology*, 500, 144–156. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.014>
- Annus, R. (2011). *Maavara kaevandamise loa andmine Kiviõli Keemiatööstuse OÜ-le*. Käskkiri nr. 165. Keskkonnaministeerium.
- Appelo, C. A. J. ja Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution* (2. tr). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781439833544>
- Bense, V. F., Gleeson, T., Loveless, S. E., Bourc, O. ja Scibek, J. (2013). Fault zone hydrogeology. *Earth-Science Reviews*, 127, 171–192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.09.008>
- Chapelle, F. H., Bradley, P. M., Thomas, M. A. ja McMahon, P. B. (2009). Distinguishing Iron-Reducing from Sulfate-Reducing Conditions. *Ground water*, 47, 300–305. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2008.00536.x>
- Eesti Keskkonnaagentuur. (2026a). *EELIS* (Eesti looduse infosüsteem). <https://infoleht.keskkonnainfo.ee/artikkel/-924928823>
- Eesti Keskkonnaagentuur. (2026b). *Puuraugu PRK0064158 andmed*. VEKA puuraukude otsing. <https://otsi.eelis.ee/PRK0064158> (Vaadatud: 10.05.2026)
- Eesti Keskkonnaagentuur. (2026c). *Uljaste järve VEE2014100*. <https://infoleht.keskkonnainfo.ee/veekogu/-1100617352>
- Eesti Keskkonnaagentuur. (2026d). *Uljaste oos koos Uljaste järvega KLO1000059*. <https://www.eelis.ee/ala/3357>
- Erg, K. (2005). Changes in groundwater sulphate content in Estonian oil shale mining area. *Oil Shale*, 22(3), 275–289. <https://doi.org/10.3176/oil.2005.3.03>
- Jiang, X., Liu, D., Li, J. ja Duan, H. (2023). Eutrophication and salinization elevate the dissolved organic matter content in arid lakes. *Environmental Research*, 233, 116471. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116471>
- Jørgensen, P. R., Urup, J., Helstrup, T., Jensen, M. B., Eiland, F. ja Vinther, F. P. (2004). Transport and reduction of nitrate in clayey till underneath forest and arable land. *Journal of Contaminant Hydrology*, 73(1–4), 207–226. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2004.01.005>
- Karise, V., Pill, A., Johannes, E. ja Erg, K. (1982). Химический состав воды, формирующийся на территории добычи сланца. [Põlevkivi kaevandamise piirkonnas tekkinud keemiline vee koostis].

- Karise, V., Metsur, M., Perens, R., Savitskaja, L. ja Tamm, I. (2004). *Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse*. Eesti Põhjaveekomisjon. <https://www.digar.ee/arhiiv/nlib-digar:42000>
- Libes S. M. (2009). *Introduction to marine biogeochemistry* (2. tr). Academic Press.
- McMahon, P., Chapelle, F. ja Bradley, P. (2011). Evolution of Redox Processes in Groundwater. Tratnyek, P. G., Grundl, T. J. ja Haderlein, S. B. (toim), *Aquatic Redox Chemistry* (lk 581–597). ACS Symposium Series, 1071. <https://doi.org/10.1021/bk-2011-1071.ch026>
- Marandi, A. (2010). Põhjavesi Eestis ja Tallinna ümbruses. Soesoo, A. ja Aaloe, A. (toim), *Tallinna geoloogia* (lk 40–55). TTÜ Geoloogia Instituut. <https://kirjandus.geoloogia.info/en/reference/26464>
- Marandi, A., Osjamets, M., Polikarpus, M., Pärn, J., Raidla, V., Tarros, S. ja Vallner, L. (2019). *Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine, koormusallikate hindamine ja hüdroteoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine*. Eesti Geoloogiateenistus. <https://fond.egt.ee/fond/egf/9416>
- McMahon, P. B., ja Chapelle F. H. (2008). Redox processes and the water quality of selected principal aquifer systems of the United States. *Ground Water* 44(2), 259–271. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2007.00385.x>
- Morozov, O, Kattai, T., Domanova, N., Kattai, V., Dantsenko, V. ja Petrovitskaja, R. (1975). *Aruanne Eesti põlevkivimaardla kaevevälja nr. 13 detailuuringust 1971.–1975.a (varud seisuga 01.01.1975. a)*. Eesti NSV, Kohtla-Järve geoloogiline uurimisrühm. <https://fond.egt.ee/fond/egf/3369>
- Mäemets, A. (1968). *Eesti järved*. Valgus. <https://www.digar.ee/arhiiv/et/raamatud/242380>
- Mäemets, A. (1977). *Eesti NSV järved ja nende kaitse*. Valgus.
- Nael, M. (2020). *Kohalikud protestivad puuraukude rajamise vastu Uljaste järve lähedusse*. ERR. <https://www.err.ee/1102063/kohalikud-protestivad-puuraukude-rajamise-vastu-uljaste-jarve-lahedusse>
- Polikarpus, M., Pärn, J. ja Latsepov, L. (2023). *Uljaste järve ja põhjavee seose uuring*. Eesti Geoloogiateenistus. <https://fond.egt.ee/fond/egf/9757>
- Reinsalu, E., Valgma, I., Lind, H. ja Sokman, K. (2006). Technogenic water in closed oil shale mines. *Oil Shale* 23(1), 15–28.
- Sokolova, J. (1956). Отчет о результатах геологоразведочных работ на кварцевые пески для кирпичного завода „Азери“ МПСМ ЭССР [Aruanne kvartsliivade geoloogiliste uuringutööde tulemustest Aseri Tellisetehase jaoks]. <https://fond.egt.ee/fond/egf/739>

- Stuyfzand, P.J. (1989). A new hydrochemical classification of water types. Regional Characterization of Water Quality. IAHS-Publ, 182.
- Stuyfzand, P.J. (1993). Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands [Doktoritöö, Vrije Universiteit].
- Sulp, K. (2022). Keskkonnakaitsetaotlus nr. T-KL/1007527-3. Kiviõli keemiatööstuse OÜ. Vaadatud: 02.04.2026. <https://kotkas.envir.ee/>
- Suuroja, K., Mardim, T., Morgen, E., All, T., Kõiv, M., Otsmaa, M. ja Niin, M. (2007). *Eesti geoloogilise baaskaardi Kiviõli (6443) leht*. Eesti Geoloogiakeskus. <https://fond.egt.ee/fond/egf/7909>
- Vaikmäe, R., Vallner, L., Loosli, H. H., Blaser, P. C. ja Juillard-Tardent, M. (2001). Palaeogroundwater of glacial origin in the Cambrium-Vendian aquifer of northern Estonia. Edmunds, W. M. ja Milne, C. J. (toim), *Palaeowaters of Coastal Europe: Evolution of Groundwater since the late Pleistocene* (lk 17–27). Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.2001.189.01.03>
- Vallner, L. (1997). Groundwater flow. Raukas, A. ja Teedumäe, A. (toim) *Geology and mineral resources of Estonia* (lk 137–152). Estonian Academy Publishers.
- Vainu, M. (2018). *Groundwater-surface water interactions in closed-basin lakes: example from Kurtna lake district in Estonia* [Doktoritöö, Tallinna Ülikool]. <https://www.digar.ee/arhiiv/et/nlib-digar:338581>
- Vandel, E., Vaasma, T., Vainu, M. ja Terasmaa, J. (2019). *Eesti väikejärvede batümeetriline seire 2019*. Tallinna Ülikooli Ökoloogia keskus. <https://registerdok.keskkonnaportaal.ee/dokid/1153666346>
- Verte, A. I. (1960). *Подземные воды [Põhjavesi]*. Антропов, В., Котлюков, В., Мүүрисепп, К., Орвiku, К. (toim) *Геологическое описание и полезные ископаемые* (lk 407–438). Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр. <https://www.geokniga.org/books/177>
- Winter, T. C. (1995). Hydrological Processes and the Water Budget of Lakes. Lerman, A., Imboden, D. M. ja Gat, J. R. (toim) *Physics and Chemistry of Lakes*. Springer https://doi.org/10.1007/978-3-642-85132-2_2
- Winter, T. C. (1999). Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems. *Hydrogeology Journal* 7, 28–45. <https://doi.org/10.1007/s100400050178>
- Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L. ja Alley, W. M. (1998). *Ground water and surface water: a single resource*. US Geological Survey.
- Winter, T. C., Rosenberry, D. O. ja LaBaugh, J. W. (2003). Where Does the Ground Water in Small Watersheds Come From? *Groundwater*, 41, 989–1000. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2003.tb02440.x>

Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Vlada Lanbert

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihlitsentsi) enda loodud teose „Uljaste järve mõju ümbritsevate põhjaveekihtide veekvaliteedi kujunemisele“, mille juhendajad on Joonas Pärn ja Heidi Elisabet Soosalu.
 - 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
 2. Olen teadlik, et käesoleva lihlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. Kinnitan, et lihlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
-

27.05.2026

¹ Lihlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.