



Töö koostaja: Tallinna Ülikooli Ökoloogia keskus

Uuring põhjaveest sõltuvate pinnaveekogumite ja maismaaökosüsteemide seoste kindlakstegemiseks ning ühiste kontseptuaalsete mudelite ja seirekava väljatöötamiseks

Köide II. Karstijärvikute inventuur

Lõpparuanne



Keskkonnainvesteeringute Keskuse projekt RES.4.10.24-0008

Autorid: Marko Vainu, Oliver Koit, Liisa Küttim, Ingmar Ott (EMÜ), Tõnu Ploompuu, Arno Põllumäe, Henn Timm (EMÜ), Tiit Vaasma, Egert Vandel, Kaili Jaago, Helen Roots

versioon 24.04.2026

Tallinn, 2026

Sisukord

1. Inventuuri valitud järvikud	3
2. Alba ja Kirikla järviku kontseptuaalsed mudelid.....	5
2.1. Alba karstijärvik	5
2.2. Kirikla karstijärvik.....	7
3. Inventuuri meetodika	10
4. Inventuuri tulemused	19
4.1. Alba karstijärvik	19
4.2. Assamalla karstiluht.....	31
4.3. Einjärve karstijärvik	45
4.4. Jalgsema karstijärvik.....	56
4.5. Kirikla karstijärvik.....	69
4.6. Kuksema karstijärvik.....	82
4.7. Lemmküla karstijärvik.....	98
4.8. Saksi karstijärvik	111
4.9. Tudre karstijärvik	124
4.10. Võhmetu karstijärvik	136
4.11. Järvikute võrdlev iseloomustus	147
5. Kokkuvõte ja ettepanekud.....	174
Kasutatud materjalid	179
Lisad.....	182

Karstijärvikute inventuur

Inventuuri vajadus ja lähteülesanne:

Karstijärvikud on esmatähtis loodusdirektiivi elupaigatüüp (3180*), mille seisund sõltub peaaegu täielikult neid toitva põhjaveekogumi koguselisest kui ka keemilisest seisundist. Terasmaa et al (2015) aasta töös koostati nimekiri olulistest põhjaveekogumitest sõltuvatest karstijärvikutest nende looduskaitsest väärtusest lähtuvalt. Põhjaveekogumite seisundi hindamisel karstijärvikute põhjal on aga oluliseks probleemiks peaaegu täielik info puudus Eesti karstijärvikute seisundi kohta. Neid ei seirata Eestis ei loodusdirektiivi ega veepoliitika raamdirektiivi alusel. Seetõttu on ka võimatu hinnata, kas mõni põhjaveekogum võib nende seisundit halvasti mõjutada. Vainu et al (2019) töös koostati olemasolevate andmete põhjal põhjaveekogumitega seotuse kontseptuaalsed mudelid seitsmele karstijärvikule ning koostati karstijärvikute seiremetoodika. Seni pole aga karstijärvikute inventuuri, rääkimata alalisest seirest, Eestis läbi viima hakatud.

Käesolevas töös viiakse läbi oluliste karstijärvikute osaline inventuur vastavalt Vainu et al (2019) töös esitatud karstijärvikute uuringukavale. Terasmaa et al (2015) töös esitati nimekiri 26-st olulisest põhjaveekogumist sõltuvast karstijärvikust. Vainu et al (2019) töös nimekirja täiendati, kuid sinna jäid endiselt kandmata karstijärvikud, mis on samal ajal arvel Eesti looduse infosüsteemi (EELIS) veekogude nimistus looduslike järvedena (nt Võhmetu-Lemmküla järved). Inventuuri läbiviimise eel uuendatakse oluliste karstijärvikute nimekirja nii, et selles oleks hõlmatud looduskaitsest väärtuslikud karstijärvikud, sõltumata nende staatusest EELISes. Nimekirja uuendamisel võetakse arvesse ka 2022. aastal tehtud Pandivere ja Adavere-Põltsamaa piirkonna suurimate karstijärvikute kaardistamise tulemusi (Vainu et al, 2022). Nimekirjast valitakse välja 10 järvikut, millest enamik saavad olema seotud Siluri-Ordoviitsiumi Pandivere põhjaveekogumitega, kuna neis kogumites on suure nitraadisalduse tõttu tõenäoline põhjaveekogumi negatiivne mõju karstijärvikutele. Võrdlusgruppi valitakse paar karstijärvikut, mis on seotud põhjaveekogumitega, milles sama suurt nitraadiprobleemi pole.

Järvikute inventuuri käigus seiratakse nende veega täitumise perioodi, veetaset veekvaliteeti ning võimalusel ümbruskonna põhjaveetaset 2025. aasta jooksul. Elustikurühmadest inventeeritakse füto- ja zooplanktonit, suurselgrootuid, fütobentost ja kuiva faasi ajal taimestikku. Saadud andmestikku saab edaspidi kasutada nii karstijärvikute elupaigatüübi (3180*) seisundi hindamise metoodika täiendamiseks järve-elupaikade inventeerimise juhendis (Lehtpuu et al, 2025) kui ka põhjaveekogumite poolt karstijärvikutele avalduva võimaliku negatiivse mõju hindamiseks. Käesoleva uuringu raames kasutatakse kogutud andmeid Vainu et al (2019) töös loodud kontseptuaalsete mudelite täiendamiseks.

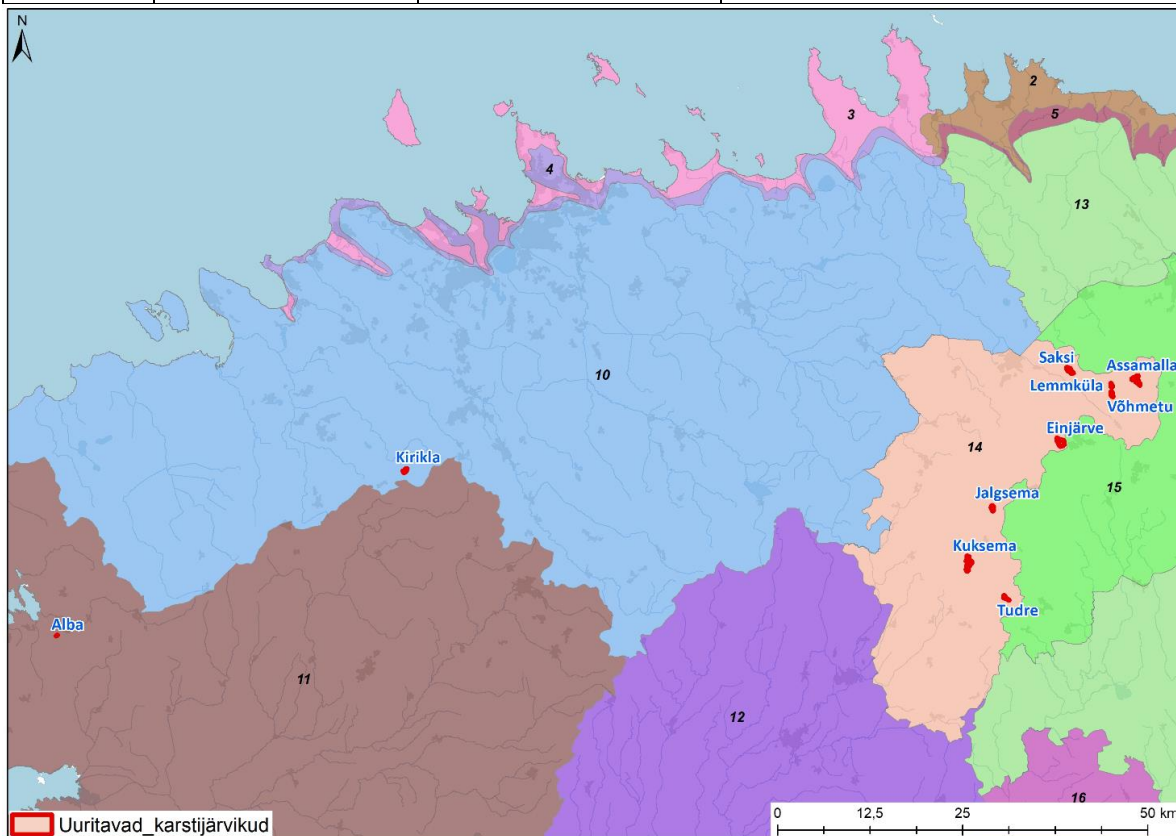
1. Inventuuri valitud järvikud

Karstijärvikute inventuuri hõlmati kümme järvikut, millest kaheksa asuvad Pandivere kõrgustikul, üks Kohila karstivaldkonnas ja üks Lääne-Eestis. Valiku tegemisel lähtuti üldjuhul varasemate andmete olemasolust konkreetsete karstijärvikute kohta, kuna sellisel juhul oli inventuuri käigus kogutud andmeid võimalik lihtsamalt laiemasse konteksti asetada. Põhjusel, et enamik Eesti teadaolevatest ja suurimatest karstijärvikutest asub Pandivere kõrgustikult, valiti sealseid järvikuid uuringusse kõige rohkem. Pandivere põhjaveekogumitega seotud järvikud on ka eeldatavalt enim mõjutatud põhjavee kaudu liikuvast toiteainekoormusest. Pandivere karstijärvikutest valiti need, millele koostati Vainu et al (2019) töös põhjaveekogumiga seotuse kontseptuaalsed mudelid. Võhmetu-Lemmküla järvestikust, kui Pandivere kontekstis eeldatavalt pigem väiksema põllumajanduskoormusega alalt, valiti kaks järvikut, mille kohta on olemas varasemaid elustiku andmeid. Väljaspool Pandiveret valiti inventuuri järvikud, millele avalduv põllumajanduskoormus on eeldatavalt väike (Alba ja Kirikla) (Tabel 1.1, Joonis 1.1).

Kirikla karstijärvikut, mis asub Saue vallas Kirikla ja Kernu külade piiril, pole veel kantud EELISE tundlike alade nimistusse ning selle kohta puudusid teadaolevad varasemad uuringud. Maa-ameti ortofotode põhjal on järviku pindala aga kuni 15 km² ning selle eeldataval toitealal järvikust lõuna pool, on põllumajandusmaad vähe. Seetõttu hinnati see Kohila karstivaldkonnas olevatest karstijärvikutest uuringu jaoks sobivamaks, kui näiteks Kustja järvikud (LTA1002173 ja LTA1002174).

Tabel 1.1. Inventuuri valitud karstijärvikud

KKR kood	Nimi EELISes	Seotud põhjaveekogum	Põhjendus
LTA1002175	Alba karstijärvik 1	S-O Matsalu	Asub Lääne-Eestis; toiteainekoormus eeldatavalt väike; suurtaimestikku on uuritud (Ploompuu, 2013).
LTA1001110	Assamalla luht	S-O Pandivere Lääne-Eesti	Asub Pandiveres; Vainu et al (2019) töös koostati kontseptuaalne mudel.
LTA1000656	Einjärve karstijärvik	S-O Pandivere Lääne-Eesti	Asub Pandiveres; Vainu et al (2019) töös koostati kontseptuaalne mudel.
LTA1000986	Jalgsema karstijärvik 1	S-O Pandivere Lääne-Eesti	Asub Pandiveres; Vainu et al (2019) töös koostati kontseptuaalne mudel.
	Kirikla karstijärvik	S-O Harju	Asub Kesk-Eestis; toiteainekoormus eeldatavalt väike.
LTA1000671	Kuksema karstijärvik	S-O Pandivere Lääne-Eesti	Asub Pandiveres; Vainu et al (2019) töös koostati kontseptuaalne mudel.
LTA1000918	Lemmküla järv	S-O Pandivere Lääne-Eesti	Asub Pandiveres; Vainu et al (2019) töös koostati kontseptuaalne mudel. Veekeemia ja elustiku andmeid 1967. aastast (Mäemets 1977). Oli 1992 - 2008 oli NTA põhjavee seires.
LTA1001199	Saksi karstijärvik 1	S-O Pandivere Lääne-Eesti	Asub Pandiveres; Vainu et al (2019) töös koostati kontseptuaalne mudel. Oli 1992 - 1998 oli NTA põhjavee seires.
LTA1001020	Tudre karstijärvik 1	S-O Pandivere Lääne-Eesti	Asub Pandiveres; Vainu et al (2019) töös koostati kontseptuaalne mudel.
LTA1000820	Võhmetu järv	S-O Pandivere Lääne-Eesti	Asub Pandiveres; Vainu et al (2019) töös koostati kontseptuaalne mudel. Veekeemia ja elustiku andmeid 1967. aastast (Mäemets 1977) ja 2010. aastast (Ott, 2010)



Joonis 1.1. Inventeeritavate karstijärvikute paiknemine. Numbritega on tähistatud põhjaveekogumid vastavalt keskkonnaministri määrusele nr. 48 (Põhjaveekogumite nimekiri..., 2019). Aluskaart: Maa- ja Ruumiamet.

2. Alba ja Kirikla järviku kontseptuaalsed mudelid

Kaheksale uuringusse hõlmatud karstijärvikule koostati põhjaveekogumiga seotuse kontseptuaalsed mudelid Vainu et al (2019) töös. Alba ja Kirikla järvikutele selles mudeleid ei koostatud, mistõttu tehti seda käesolevas töös. Mudelite ja läbilõigete koostamiseks kasutati saadaolevad ruumiandmeid. Esmalt laeti Maa- ja Ruumiameti Geoportaalist (Maa- ja Ruumiamet 2025) alla ja koostati vajalikud kõrgusmudelite mosaiigid (5 m eraldusvõimega) mõlema järviku jaoks.

Geoloogiliste andmete saamiseks ja täpsustamiseks kasutati Eesti Geoloogilist baaskaarti 1:50000 (Eesti Geoloogiateenistus, 2025), 1:400 000 geoloogilist kaarti (Maa- ja Ruumiamet, 2025), ja 1:200 000 geoloogilist kaarti (Eesti Geoloogiateenistus, 2025). Puurkaevude ja puuraukude andmestik saadi Eesti veekasutuse andmebaasist (VEKA) (Keskkonnaagentuur, 2025). Puurkaevude andmestiku punktandmete põhjal interpoleeriti Alba ja Kirikla piirkonnale aluspõhja pealispinna, ja maapinnalähedase põhjaveetaseme pinna (kasutades kuni 35 m sügavusi kaevusid) kõrgusmudelid, mida kasutati ka hüdrogeoloogiliste läbilõigete tegemisel. Aluspõhjakiivimite leviku ja avamusalade täpsustamisel tugineti puurkaevude läbilõigetele ja 1:200 000 aluspõhja geoloogilisele kaardile (Eesti Geoloogiateenistus, 2025). Karstijärvikute pinnavalgalad piiritleti kasutades Vainu et al (2021) meetodikat. Kogu ruumiandmete analüüs viidi läbi ArcGIS Pro 3.3.2. tarkvara kasutades.

2.1. Alba karstijärvik

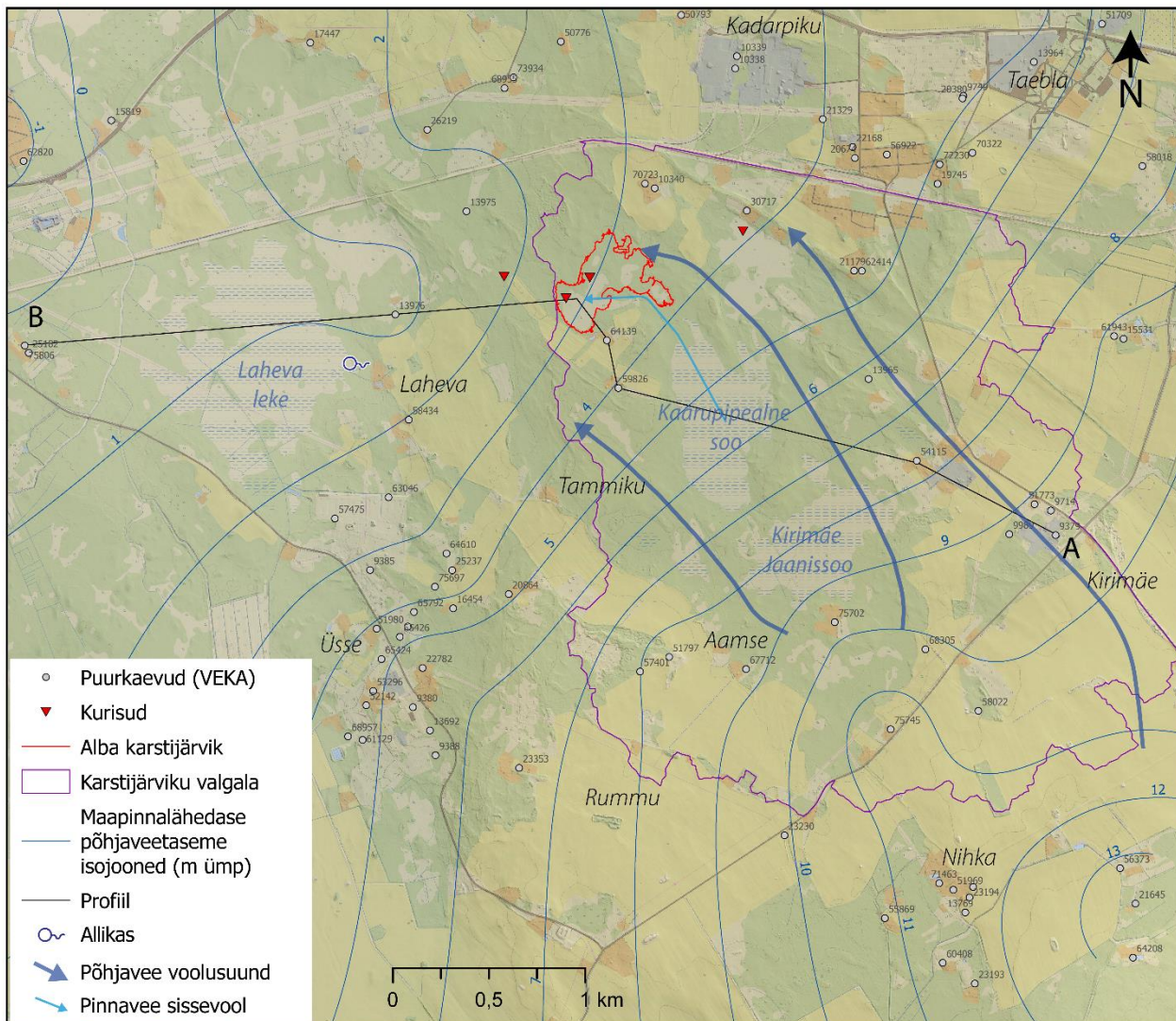
Alba karstijärvik asub Lääne-Nigula valla Kadarpiku küla ja Haapsalu linna Laheva küla piiril (Joonis 2.1). Karstijärvik paikneb lainjal moreentasandikul, kus maapinna absoluutkõrgused langevad idast ja kagust lääne-loode suunas, vahemikus 5–10 m ü.m.p. Maastikuliselt kujutab see ala Lääne-Eesti rannikumadalikku, millele annab ilmet lauged põikmoreenid, mis markeerivad sõõrikujuliselt edelast kirde suunas (Jõõdre–Taebla) kulgevat, õrnalt väljajoonistuvat rannaastangu vööndit.

Karstijärviku alal ja selle lähiümbruses moodustavad aluspõhja Ordoviitsiumi ja Siluri ladestu Pirgu ja Porkuni, ning Juuru lademe karbonaatkiivimid (Geoloogilised kaardid mõõtkavas 1:200 000, Eesti Geoloogiateenistus, 2025). Aluspõhjakiivimite lasuv pind on nõrgalt lainjas. Aluspõhja pind lasub karstijärviku alal ligikaudu 1 kuni 5 m ü.m.p kõrgusel ja langeb lääne/loode suunas. Järvikust 150 m lõuna pool asub puurkaev PRK0064139, mille kirjelduse järgi on aluspõhja kõrguseks 5 m ü.m.p, ning sellel lasub ligikaudu 3 m paksune kiht moreeni. Uurimispiirkonnas kannavad maapinnalähedased aluspõhjakiivimid kahte olulisemat veekihti: Siluri-Ordoviitsiumi veekompleksi Juuru veekiht (S_{jr}) ala lõunaosas ja Porkuni-Pirgu veekiht (O_{pr}-prg) (Joonis 2.2), mis avaneb ala põhjapoolses osas.

Aluspõhi on piirkonnas üldjuhul kaetud kvaternaarse pinnakatte setetega, mis koosneb peamiselt jämeperdset materjali ja lubjakivirähka sisaldavast saviliivmoreenist (Joonis 2.2). Vähemal määral leidub moreenil ka limno- ja fluvioglaatsiaalseid setteid: peenliivad, kruusad, liivsavi, jne. Pinnakattes esineb ajuti pinnasevett, mis võib moodustada katkendliku ülaveekihi. Paiguti, näiteks Taebla, Kadarpiku, Kirimäe, Nihka ja Üsse külade piirkonnas, on pinnakatte kiht õhuke ja esineb alvareid. Kui pinnakatte on suhteliselt vettpidav, võib see tingida lamava aluspõhjalise veekihi kohtaist survelisust (näiteks Laheva Leke näide Joonis 2.2).

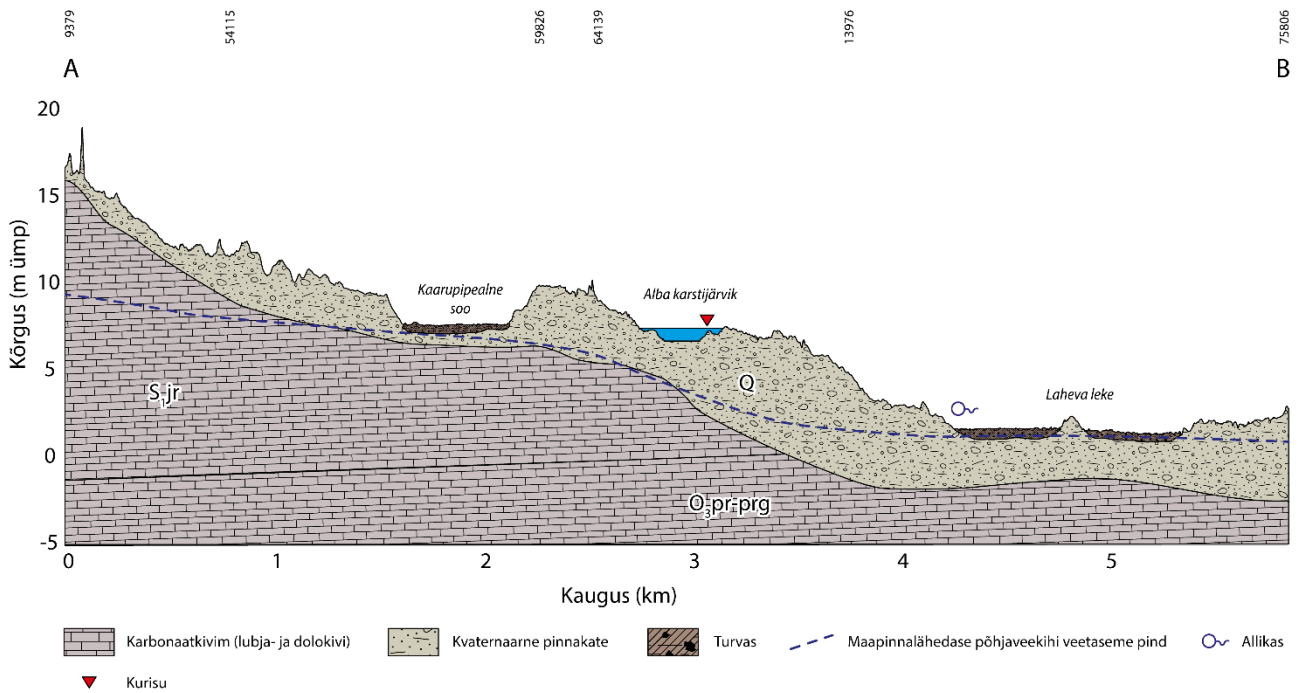
Alba karstijärvik tundub olevat Eesti mõistes mõneti tüüpiline aluspõhjaastanguesine ajutine veekogu. Alba karstijärvik jääbki loodest ja põhjast põikmoreeniga piiratud soostunud nõkku, mille lõunapoolses osas laiub Kirimäe Jaanisoo ja sellest loode pool Kaarupipealne soo, mis on tüübilt liigirikkad madalsood (Joonis 2.1). Nõo suuremad absoluutkõrgused on selle kaguosas ning madalamad põhjaosas. Madalsoo ja nõgu tervikuna saab tõenäoliselt oma vee lõunas ja kagus asuvatelt kõrgematelt aladelt (Tammiku ja Kirimäe), mis seejärel voolab soostunud nõos õhukese pinnakattega põhja- ja loodeosa suunas, kuhu moodustubki ajuti Alba karstijärvik (Joonis 2.1). Alba karstijärviku arvutuslik pinnaveevalgala suurus on 8,16 km² (Joonis 2.1). Maakasutuses annab tooni põllumaa, mis jääb valdavalt karstijärviku pinnaveevalgala ülemjooksu aladele. Maaparandussüsteemide registri andmetel ei ole need põllud üldjuhul maaparandussüsteemidega kuivendatud. Pindalalise katvuse poolest järgnevad põldudele metsamaa ja märgalad.

Ploompuu (2013) on järvikus ja selle vahetus ümbruses loendanud kolm kindlat ja kolm tõenäolist neelukohta (kurisut) (Joonis 2.1). Eriti kõrge veetaseme korral tekkivat järvikü länenurgast ka pindmine väljavool loode suunas. Potentsiaalseid allikaid, kus neelduv vesi maapinnale saaks voolata, võiks põhjaveetaseme isojoonte põhjal otsida lääne/loode poolt (Joonis 2.1). Põhikaardil ja samuti ka Ploompuu (2013) toodud kaardil on järvikust umbkaudu kilomeeter lääne pool asuva Laheva Leke nimelise soostunud nõo idaserval allikad (Joonis 2.1).



Joonis 2.1. Alba karstijärviku kontseptuaalne mudel. Joonisel on toodud maapinnalt esimese aluspõhjalise põhjaveekihi taseme isojooned ja nendelt tuletatud tõenäolised voolusuunad (kaevude veetaseme andmed on saadud VEKA andmebaasist). Aluskaardina on kasutatud Eesti Põhikaarti 1:10 000 (Maa- ja Ruumiamet, 2025).

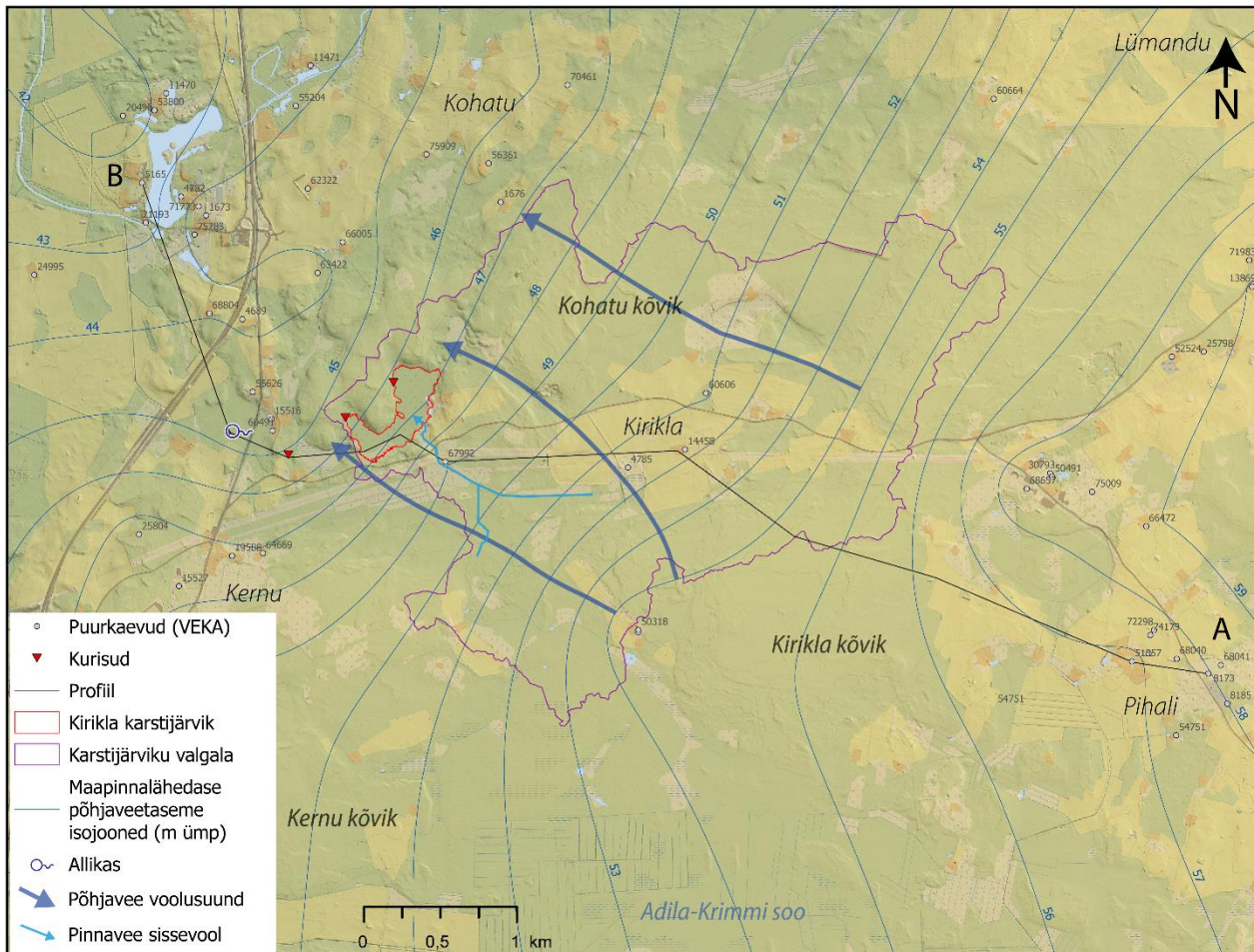
Kuigi Alba järvikü lähieümbruse soode geoloogilise ehituse kohta detailsemaid andmeid leida on üsna keeruline, leidub mõningaid andmeid teiste naabruses asuvate soode kohta (Rohense, Turvalepa jt). Piirkonna sood on üldjuhul madalsood, mille turba keskmine sügavus on pigem väike, jäädes kuni 1 m ümber (Viljasoo, 1952). Näiteks Haapsalu lähistel asuva Rohense soo lamami moodustab savi ja osalt ka liiv. Siinsetes soodes esineb sageli allikalist põhjavee väljavoolu, mis viitab seotusele aluspõhjaliste põhjaveekihtidega. Suurem on tõenäosus aluspõhja paljandumiseks õhukese pinnakattega soonõgude servaaladel. Ka Alba karstijärvikut toitvate madalsoode puhul pärineb osa äravoolust aluspõhjalistest veekihtidest.



Joonis 2.2. Alba karstijärviku hüdrogeoloogiline läbilõige. Läbilõike paiknemine maastikul on näidatud joonisel 2.1. Veekihtide liigestus ja lühendid Jõelegt & Polikarpus (2018) järgi. Q – Kvaternaari veekiht; S1jr – Juuru veekiht; O3pr-prg – Porkuni-Pirgu veekiht. Joonise ülaseravas on toodud läbilõike tegemiseks kasutatud puurkaevud/aukude katastrinumbrid (VEKA andmebaasist).

2.2. Kirikla karstijärvik

Kirikla karstijärvik asub Saue vallas, Kernu ja Kirikla küla piiril (Joonis 2. Joonis 2.3). Karstijärvik asub Harju platoo läänenõlval, ilmselt Balti jääpaisjärve kujundatud Kernu-Pahkla astanguvööndi ees, moreenküngaste ja fluvioglatsiaalse (fluvioglatsiaalne mõhnastik) või limnoglatsiaalse genesiga pinnavormide vahelises nõos. Ala maapinna absoluutkõrgused jäävad vahemikku 64,8–40,3 m ü.m.p, kõrgused langevad idast-kagust lääne-loode suunas. Piirkonna pinnamoe määravateks elementideks on eelnimetatud aluspõhjaastang ja piirkonnas selle tuumaks olevad õhukese pinnakattega Kohatu, Kirikla ja Kernu kõvikud, mille nõlvadel ja vahelistes nõgudes on settinud glatsiaalse, fluvioglatsiaalse, ja limnoglatsiaalse (peenliiv, liivsavi, saviliiv, viirsavi) tekkega setted.



Joonis 2.3. Kirikla karstijärviku kontseptuaalne mudel. Joonisel on toodud maapinnalt esimese aluspõhjalise põhjaveekihi taseme isojooned ja nendelt tuletatud tõenäolised voolusuunad (kaevude veetaseme andmed on saadud VEKA andmebaasist). Aluskaardina on kasutatud Eesti Põhikaarti 1:10 000 (Maa- ja Ruumiamet, 2025).

Karstijärviku alal ja selle lähinaabruses aluspõhjas avanevad Ülem-Ordoviitsiumi Pirgu, Vormsi ja Nabala lademe karbonaatkivimid (Joonis 2.4). Aluspõhja pealispinna kõrgused varieeruvad vahemikus 60,2–40 m ümp, kõrgused on suuremad ala ida ja kaguosas, ning langevad loode suunas. Aluspõhjakivimid on maapinna lähedal murenenud ja lõhelised (Tamm, 1985).

Pinnakatte paksus varieerub ala ulatuses olulisel määral. Kõvikute lagedel esineb aluspõhja paljandumist, astangute-kõvikute nõlvadel ja nende vahelistes nõgudes võib pinnakatte paksus ulatuda kuni 13 m, üldjuhul jääb see aga 2–5 m vahemikku (Joonis 2.4). Pinnakatte koosneb enamasti mullast/kasvukihist (0,2–0,6 m), mille all on liiv, kruus, saviliivmoreen ja selle all lokaalmoreen. Eelpoolmainitud kõvikutevahelistes nõgudes leidub vähemalt viis iseloomulikke sulglohku (s.h Kirikla karstijärvik), milles periooditi kujunevad ajutised seisuveekogud. Sarnase iseloomuga ajutisi veekogusid esineb näiteks veel ka Tallinn–Pärnu maanteest lääne pool Haiba, Kustja ja Mõnuste vahelisel alal.

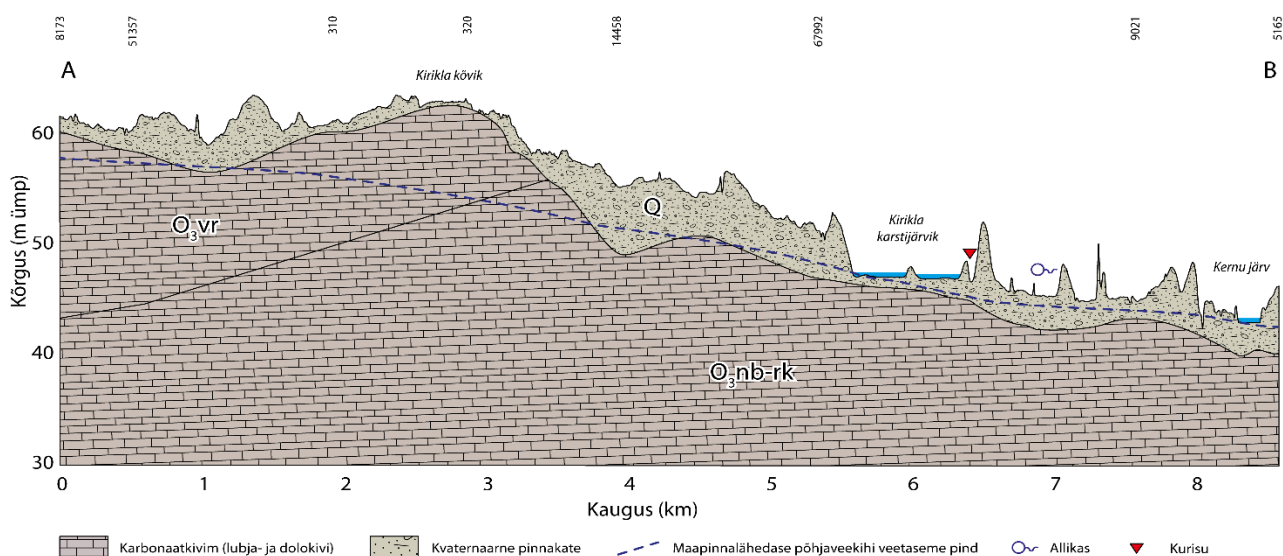
Sulglohkude põhjas ei pruugi pinnakatte paksus ülemäära suur olla, mis loob eeldused veevahetuseks pindmiste vete ja aluspõhjalise veekihi vahel. Geoloogilise baaskaardi 1:50 000 (Eesti Geoloogiateenistus, 2025) järgi esineb sulglohkude põhjas üldjuhul 1–2 m paksune pinnakatte kiht, mis koosneb moreenist, liivast või viirsavist ja nendel paiguti lasuvast madalsooturbast.

Mikkelsaar et al (2020) andmetel pigem ei esine Kohatu kõvikute näitel õhukeses kvaternaarses pinnakattes (Q) veevaru ning see paikneb põhjaveetasemest kõrgemal. Esimene olulisem veekiht moodustub Nabala ja Rakvere lademe karbonaatkivimites (O₃nb-rk), kus põhjaveetaseme jääb keskmiselt 6 m sügavusele maapinnast

(Joonis 2.4). Tamm (1985) andmetel esineb astanguesisel madalamal jääjärvetasandikul (Haiba ümbruses, karstijärvikust 3 km edela pool) kvaternaarses pinnakattes juba ajutist ülavett, mis moodustab koos lamava aluspõhjalise veekihi sademetest toituva survele-survetu veekompleksi, mille veetase oli maapinnast 0,05–2,2 m sügavusel. Pinnakatte limnoglatsiaalsed savid ja saviliivmoreenid käituvad suhtelise veepidemena, samal ajal kui lokaalmoreen on üldjuhul pigem vettjuhtiv.

Aluspõhjalise põhjaveekihi isojoonte ja modelleeritud pinnaveevalgla järgi saab Kirikla karstijärvik oma vee tõenäoliselt ümbritsevatelt õhukese pinnakattega Kohatu ja Kirikla kõvikutelt (Joonised 2.3 ja 2.4). Selle kohta annavad kinnitust ka kohalike tähepnanekud järvi põhjas ilmnevate allikate kohta. Lisaks voolab sinna oja ka Kirikla ja Kernu kõvikute vahelisest kuivendatud Adila-Krimmi madal soo põhjaservast, kus kogub kokku Kirikla kõviku loodejalami ees väljakiilduvad veed. Kirikla karstijärviku pinna valgala arvutuslikuks pindalaks on 8,1 km² (Joonis 2.3).

Karstijärviku valgale jäävad peamiselt metsamaa, vähem põllu- ning heinamaad ja märgalasid. Karstijärvikus on vähemalt kaks kurisut, kus vesi neeldub (Joonis 2.3). Üks teadaolev kurisu asub järvi vahetult lääne pool, soostunud nõo lääneserval, kuhu järvi ülevoolav vesi jõuab kraavi kaudu. Eelmainitud kurisus neelduv vesi voolab tõenäoliselt uuesti maapinnale lääne pool Kustja-Kernu teed, ligikaudu 400 m kaugusel asuvas allikas, mille vesi omakorda voolab Kernu järve suunas (Joonis 2.3). Kõrge veetaseme korral voolab osa järvi veest läbi läänepoolse nõo edasi põhja suunas asuvasse väiksematesse lohkudesse Kohatu küla suunal. On tõenäoline, et põhjapoolsetesse nõgudesse jõuab osaliselt ka järvi kurisutes neelduv vesi.



Joonis 2.4. Kirikla karstijärviku hüdrogeoloogiline läbilõige. Läbilõike paiknemine maastikul on näidatud joonisel 2.3. Veekihtide liigestus ja lühendid Jõelett & Polikarpus (2018) järgi. Q – Kvaternaari veekiht, O3vr – Vormsi veekiht/nõrk veepide; O3nb-rk – Nabala-Rakvere veekiht. Joonise ülavaservas on toodud läbilõike tegemiseks kasutatud puurkaevud/aukude katastrinumbrid (VEKA andmebaasist).

3. Inventuuri metoodika

Inventuur viidi läbi vastavalt Vainu et al (2019) töös esitatud karstijärvikute uuringukavale.

Järvikute veetase, ulatus ja üleujutuse kestus – Iga järviku võimalikult madalasse, samas mõistlikult ligipääsetavasse punkti paigaldati 2024. aasta sügislalve jooksul kergkruusaploki külge kinnitatud veetaseme- ja elektrijuhtivuse loger *Solinst Levelogger 5 LTC*, mis registreeris veesamba rõhku ja elektrijuhtivust 3 h intervalliga. Logerid paiknesid kergkruusaploki küljes oleva augustatud kanalisatsioonitoru sees, maapinnast ca 8 cm kõrgusel (Joonis 3.1). Logerid jäeti järvikutesse kuni veetaseme taandumiseni 2025. aasta kevadel, suvel või sügisel. Vee all oleva rõhuanduri mõõdetud andmete põhjal veetaseme tuletamiseks kasutati Alba järviku puhul Keskkonnaagentuuri Lääne-Nigula meteoroloogiajaama andmeid, kuna jaam jääb järvikust vähem kui kümne km kaugusele. Põhjusel, et teistest järvikutest jäävad meteoroloogiajaamad kaugemale, riputati uuringu jaoks 3 h intervalliga logivad õhurõhuandurid *Solinst Barologger 5 Model 3001* Kirikla, Lemmküla ja Kuksema järvikute juures asuvate puude külge. Sellisel viisil jäid kõik uuritavad järvikud lähimast õhurõhu mõõtepunktist kuni kümne km kaugusele. Veetaseme logeri mõõtmistulemuste teisendamiseks absoluutsele kõrguskaalale (m ü.m.p) mõõdeti veega täitumise perioodi jooksul järvikute veetaset kaks kuni neli korda RTK GPS seadmega *Leica GS18 T*. Veetaseme logerite mõõtmisandmed on lisas K1.

Kogutud andmete põhjal tuletati järvikute maksimaalne ulatus, veesügavuse jaotus järviku sees maksimaalse ulatuse ajal ja ruumala, kasutades Maa-ameti LiDAR-andmete põhjal *ArcPro 3.3* tarkvaraga loodud 1x1 m resolutsiooniga kõrgusmudelit. Kõrgusmudeli loomiseks kasutati järvikute võimalikult kuiva oleku ajal toimunud ülelennul kogutud andmeid. Kevadiste ülelendude ajal on järvikud olnud reeglina vähemalt osaliselt veega täitunud, mistõttu osutusid sobivamaks suviste metsanduslike ülelendude käigus kogutud andmed. Viimaste puuduseks on aga asjaolu, et järvikutes või nendega piirnevates lehtpuustikes on maapinna kõrguspunkte vähe ning mõõdistamiseks kasutatav laserkiir ei pruugi tungida läbi ka järvikute põhja kasvavast tihedast rohttaimestikust. Samuti võivad järvikute sügavamas osad olla veel metsanduslikegi ülelendude ajal veega täitunud. Kirjeldatud põhjustel on saadud veesügavuse ja ruumala andmed vähemal või rohkemal määral alahinnatud.



Joonis 3.1. Kergkruusaploki külge kinnitatud veetaseme- ja elektrijuhtivuse andur. Pilt: Marko Vainu.

Parima olemasoleva ülelennu andmetel loodud kõrgusmudelilt leiti veetaseme anduri poolt registreeritud kõrgeima veetaseme isojoon (ümardatud kümne cm täpsuseni) ja muudeti polügooniks. Polügooni abil muudeti 1x1 m kõrgusmudel järviku sügavusrastriks ja leiti järviku ruumala selle veetaseme korral. Paari järviku puhul kasutati polügooni tekitamiseks 10 cm kõrgemat veetaset, kui mõõtmistele vastava veetaseme kõrgusmudelile kandmisel selgus, et vaatluste põhjal üleujutatud olnud alad jäid kõrgusmudelil kuivaks. See võis olla põhjustatud asjaolust, et ülelennu ajal kattis järviku põhja tihe rohttaimestik, millest laserkiir läbi ei läinud.

Üleujutuse kestus järvikute erinevates osades leiti veetaseme andurite andmete põhjal. Arvutati päevade arv mõõteperioodi jooksul, mil päeva keskmine veetase oli konkreetsel kõrgusel, nt 85,39 m ü.m.p. Seejärel leiti kumulatiivne päevade arv, mil veetase oli vähemalt kõrgusel 85,39 m ü.m.p, nt 17 ning eeldati, et kõik järviku kõrgeima veetaseme isojoone sisse jäävad järviku kõrgusmudeli 1x1 m pikslid, mille kõrgusväärtus oli kuni 85,39 m ü.m.p, olid 17 päeva jooksul üleujutatud. Sellisel viisil leiti üleujutatud päevade arv kõigile järviku kõrgusmudeli pikslitele. Üleujutuse kestuse täpsus on sarnaselt sügavuskaardile sõltuv kõrgusmudeli täpsusest. Ülelennuaegse taimestiku või veepinna tõttu ekslikult kõrgemale mudeldatud kohtades on tuletatud üleujutuse kestus tegelikkusest lühem. Üleujutuse kestuse hindamist mõjutas ka uuringu ajale sattunud ebatüüpiliste veeoludega aasta. Kui varasemate teadmiste põhjal peaksid järvikud keskmisel aastal täituma hakkama kevadel lume sulamise ajal ning kuivama hiljemalt hilissuveks, oli Alba, Kirikla ja Kuksema järvikus vesi sees juba 2024. aasta detsembri alguses veetasemete andurite paigaldamise ajal. Osades järvikutes kestis veega täitumise periood aga sademeterohke suve tõttu sedavõrd kaua, et uuringu lõpptähtaja lähenemise tõttu tuli andurid välja võtta enne järvikute kuivamist.

Modelleeritud üleujutuse kestuse puhul eeldati, et ühesugusel kõrgusel olevad punktid kogu järviku piires olid kas kuivad või üleujutatud üheaegselt. Reaalsuses võib, eelkõige järviku kuivamise faasis, jääda vesi pidama halvasti vett läbilaskva põhjaga madalatesse lohkudesse, samal ajal kui sügavamad, põhjaveega paremini ühendatud lohud saavad kiiremini kuivaks. Seetõttu võib esineda olukordi, kus veetaseme anduri andmete põhjal võinuks eeldada, et mõni andurist kaugemal olev järviku osa oli mingil hetkel kuiv, kuid tegelikkuses oli seal n.ö jäänuklomp. Kirjeldatud kitsaskohtadele vaatamata peegeldavad leitud üleujutuse kestuse andmed tegelikkust parimal võimalikul viisil, arvestades, et igas järvikus oli vaid üks veetaseme andur.

Põhjaveetase – Järvikute eeldataval toitealadel, nendest kuni kilomeetri kaugusel, kasutusel olevaid põhjaveetaseme seirekaeve pole. Seetõttu otsiti samadelt aladelt eelistatult kuni paarikümne m sügavusi kaeve, mille omanikuga oleks võimalik saavutada kokkulepe sellesse veetaseme anduri paigaldamiseks. 2024. aasta sügis-talve jooksul paigaldati logerid *Solinst Levellogger 5 Junior*, mis registreerisid veesamba rõhku 3 h intervalliga, üheksasse kaevu. Iga järviku eeldatavale toitealale, peale Kuksema ja Lemmküla, sai üks põhjaveetaseme loger. Kuksema külas ei õnnestunud leida sobivat kaevu ka külavanema abiga. Lemmküla järviku eeldataval toitealal, järvikust kuni kilomeetri kaugusel, aga asustus puudub. Kuna Võhmetu ja Lemmküla järvikute eeldatavad toitealad asuvad kõrvuti, siis eeldati, et põhjaveetaseme muutus Võhmetu toitealal olevas kaevus on sarnane Lemmküla toitealal oleva põhjaveetasemega. Nende järvikute puhul paigaldati toitealale paigaldamata jäänud andur järvikutest eeldatava põhjavee voolusuuna suhtes allavoolu. Kui kuni paarikümne m sügavuse avatud vahemikuga kaevu sobivas asukohas ei leitud, kuid leiti kuni 30 m sügavuse avatud vahemikuga kaeu, siis pandi andur sinna. Põhjaveetaseme andur eemaldati kaevast reeglina samal ajal, kui järvikust eemaldati veetaseme andur.

Veetaseme anduri mõõtmistulemuste teisendamiseks absoluutsele kõrguskaalale (m ü.m.p) mõõdeti anduri paigaldamisel kaevude ülemise serva kõrgus RTK GPS seadmega *Leica GS18 T* ning uuringu jooksul mõõdeti kolmel kuni neljal korral veetaseme sügavust kaevu servast kas isekonstrueeritud plumpsomeetri või elektroonilise sügavusmõõtjaga. Veetaseme logerite mõõtmisandmed on lisas K1.

Veekvaliteet – Järvikute elektrijuhtivust mõõdeti samade logeritega, millega veetasetki, *Solinst Levellogger 5 LTC*. Need registreerisid elektrijuhtivust 3 h intervalliga. Logerid paiknesid kergkruusaploki küljes oleva augustatud kanalisatsioonitoru sees (Joonis 3.1), maapinnast ca 8 cm kõrgusel. Logerid jäeti järvikusse kuni veetaseme taandumiseni 2025. aasta kevadel, suvel või sügisel. Sarnast elektrijuhtivuse logerite veekogu põhja fikseerimise lahendust oli edukalt kasutatud mitmetes varasemates Tallinna Ülikooli ökoloogia keskuse vooluveekogude uuringutes. Käesolevas uuringus ilmnes aga pärast andmete mahalaadimist, et osadel juhtudel, kui loger asus mõõtmiste alguses väikeses, seisva veega veesilmas, suurenes mõõdetud elektrijuhtivus (25°C) tõenäoliselt plokist lahustunud ühendite tõttu märkimisväärselt. Selle nähtuse kinnitamiseks viidi laboris läbi katse, kus loger koos uue plokiga paigutati ca 50 liitrisesse vanni ning tuvastati, et 24 h-ga suurenes elektrijuhtivus (25°C) ca 20°C vees 400 µS/cm-lt 470 µS/cm-ni, 48 h-ga 690 µS/cm-ni ning üheksa päevaga 1270 µS/cm-ni. Seega ei kajastanud järvikutes, vähemalt mõõtmisperioodi alguses logitud

elektrijuhtivuse andmed järviku tegelikku elektrijuhtivust logeri asukohas. Lahustuvusprobleem vähenes eeldatavasti siis, kui järvikute veemaht suurenes ning võis uuesti tekkida kevadel, kui logerid jäid taas väikestesse lompidesse. Lisaks tuvastati logerite andmete puhul ka teisi, ilmselt nende töökindlusest tulenevaid probleeme, kus logeri näit oli samal ajal multimeetriga mõõdetud elektrijuhtivusest mitme mõõtmise vältel madalam, kuid siis tõusis või langes kiiresti õigema näiduni. Sarnast probleemi suudeti ka hiljem vannikatsetes korrata. Seega esitatakse allpool küll logerite mõõdetud elektrijuhtivuse andmed, kuid nende interpreteerimisel ollakse ettevaatlik. Logerite mõõdetud elektrijuhtivuse (25°C) andmed on lisas K1.

Igast järvikust võeti 2024. aasta detsembrist kuni 2025. aasta juunini kaks kuni neli veeproovi. Proovide arv sõltus järvikute veega täitumise perioodi pikkusest. Proovivõtukohtade asukohad järvikutes muutusid sõltuvalt konkreetsest veeseisust ja jääga kaetusest, kuid asusid kõik järvikute avavee osas, kus polnud tihedamat puistut või põõsastikuga ala. Proovid eelistati võtta 30 cm sügavuselt, kuid kui järvikut kattis õhuke või püdel jää, mis inimest ei kandnud, kuid mida polnud ka võimalik mõistlikul viisil lõhkuda, võeti proovid madalamast veest kalda äärest jää alt. Kui järvikud polnud jääs, mindi kahlamispükstega kaldalt ca meetrisügavusse vette ja võeti proov sealt otse pudelisse. Mõnikord kasutati proovi kaldast võimalikult kaugelt võtmiseks teleskoopvardaga proovivõtuammutit. Kui vett oli järvikus vähem kui meeter, võeti proov, minnes nii sügavale vette, kui oli võimalik. Lisaks järvikutele võeti pinnaveeproovid ka Kirikla järvikusse sissevoolavast ojast ning Kuksema järvikusse sissevoolavatest Kagavere ja Kuksema kraavidest.

OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskuse laboris määrati proovidest üldlämmastiku, nitraatlämmastiku, nitritlämmastiku, ammoniumlämmastiku, üldfosfori, fosfaatfosfori, vesinikkarbonaadi, klorofüll a, kollase aine ja orgaanilise aine üldsisaldus nii permanganaatse kui ka dikromaatse oksüdeeritavusena. 04. ja 05. aprillil kogutud proovidest määrati klorofüll a sisaldus Eesti Maaülikooli laboris. Kohapeal määrati veest multimeetriga *Hanna HI9829* pH, elektrijuhtivus (25°C), redokspotentsiaal, lahustunud ainete sisaldus, temperatuur ning hapnikumõõtjaga *Marvet Junior 2000* hapniku küllastusaste ja sisaldus. Ühel korral määrati ka vee hägusus. Enamikke näitajaid mõõdeti kohapeal järviku kohta kaks kuni kuus korda, sõltuvalt järviku veega täitumise perioodi pikkusest. Veeproovide tulemused on lisas K1.

Järvikute põhjaveeseire kaevudest, milles oli sees veetaseme loger, võeti mõõtmisperioodil kaks kuni kolm veeproovi. Ilma pumbata salvkaevudest ning pumbaga salvkaevudest, kus pererahvas kohal polnud, võeti proovid kaheliitrise batomeetriga *Uwitec Water Sample Bailer USB 50015*. Puurkaevudest ja pumbaga salvkaevudest, kus pererahvas kohal oli, võeti veeproovid voolikutest või kraanidest, eelnevalt veendudes, et kaevu ja kraani vahel vett keemiliselt ei töödelda ning lastes voolikus oleval veel vahetuda. Kahest puurkaevust, kus pererahvas kohal polnud ja kuhu kaheliitrine batomeeter ei mahtunud (Jalgsema ja Saksi järvikute juures) imeti veeproov veebruaris välja peene voolikuga ning aprillis võeti proov kitsa metallbatomeetriga *Solinst Point Source Bailer*. Üks põhjaveeproov võeti ka Kaskemäe talu ülevoolava allikajärvikuna toimivast tiigist. Põhjaveeproovidest määrati Eesti Keskkonnauuringute Keskuse laboris üldlämmastiku, nitraatlämmastiku, nitritlämmastiku, ammoniumlämmastiku, üldfosfori, fosfaatfosfori, vesinikkarbonaadi ja orgaanilise aine üldsisaldus nii permanganaatse kui ka dikromaatse oksüdeeritavusena. Kohapeal määrati multimeetriga *Hanna HI9829* veest pH, elektrijuhtivus (25°C), redokspotentsiaal, lahustunud ainete sisaldus ja temperatuur. Veeproovide tulemused on lisas K2.

Järvikute veekvaliteedi hindamisel lähtuti kalgiveelistele järvedele (S1) kehtestatud seisundi hindamise kriteeriumitest (Tabel 3.1) (Pinnaveekogumite..., 2020).

Tabel 3.1. Maismaa seisuveekogude pinnaveekogumite (tüüp S1) ökoloogiliste seisundiklasside piirid füüsikalise-keemiliste seisundinäitajate väärtuste järgi (Pinnaveekogumite..., 2020)

Tüüp S1 – kalgiveeline järv (analüüsitud proovide aritmeetiline keskmine)						
Kvaliteedinäitaja	Ühik	Väga hea	Hea	Kesine	Halb	Väga halb
pH		7–8,5	Väärtus täpsustamata	Väärtus täpsustamata	Väärtus täpsustamata	<7 või >8,5
Üldfosfor	mg/l	≤0,010	0,011–0,020	0,021–0,030	0,031–0,050	≥0,051
Üldlämmastik	mg/l	≤1,5	1,6–2,5	2,6–3,5	3,6–4,5	>4,5
Vee läbipaistvus	m	≥6	5,9–4,0	3,9–3,0	2,9–2,0	<2,0

Vee orgaanilise aine ja mineraalainete koguse ning aluselise hindamisel lähtuti Eesti pinnavee keemilise koostise võrdlevaks iseloomustamiseks esitatud piirväärtustest (Tabel 3.2). Vee värvuse ja kollase aine sisalduse järgi saab kaudselt hinnata orgaanilise aine päritolu. Roheline värvus on tingitud fütoplanktonist (autohtoonne ehk järves toodetud orgaaniline aine) ning kollakas, pruunikas ja punakas värvus huumusainetest (allohtoonne ehk valgalalt järve kantud orgaaniline aine). Dikromaat oksüdeerib ühtviisi hästi nii järves toodetud ehk autohtoonset orgaanilist ainet kui ka valgalalt sissekantavat ehk allohtoonset orgaanilist ainet (huumusaineid). Samas permanganaat oksüdeerib paremini fulvohappeid, mis moodustavad üldjuhul huumusainete koostisest enamiku. Seega näitab permanganaatne oksüdeeritavus eelkõige järve allohtoonse orgaanilise aine hulka. (Margot Sepp *pers comm*; Ott, 2008) Eelnevalt tulenevalt saab permanganaatse oksüdeeritavuse (KHT_{Mn}) ja dikromaatse oksüdeeritavuse (KHT_{Cr}) suhte ehk oksüdeeritavusprotsendi (OX%) järgi hinnata järve orgaanilise aine päritolu. Kui OX%≈20%, siis on orgaaniline aine tekkinud veekogus endas, kui OX%>60%, on orgaaniline aine tekkinud väljaspool veekogu. Kui OX%<40%, valdab järves tekkinud orgaaniline aine, kui OX%>40%, valdab valgalalt tekkinud orgaaniline aine (Mäemets, 1968). Samas ei pruugi need seaduspärad karstijärvikute puhul kehtida, kuna huumusained võivad järvikutesse leostuda ka üleujutatud mullast ning eralduda vee alla jäänud maismaataimestikust selle lagunemise käigus. Seega saab karstijärvikute puhul defineerida autohtoonse orgaanilise aine kui järviku veefaasi ajal moodustunud orgaanilise aine ning allohtoonse orgaanilise aine kui järviku kuiva faasi ajal moodustunud või valgalalt sisse kantud orgaanilise aine.

Tabel 3.2. Piirväärtused vees lahustunud orgaanilise aine ja mineraalainete sisalduse hindamiseks Eesti pinnaveses (Simm, 1975 järgi)

Sisaldus	Dikromaatne oksüdeeritavus KHT _{Cr} (mgO/l)	Permanganaatne oksüdeeritavus KHT _{Mn} (mgO/l)	Mineraalainete sisaldus (mg/l)	Aluselisus HCO ₃ ⁻ (mg-ekv/l)	Aluselisus HCO ₃ ⁻ (mg/l)
Väga väike	<10	-	<50	<0,5	<30
Väike	10–25	<10	50–120	0,5–1,3	30–79
Keskmine	26–35	10–15	121–250	1,4–2,6	80–159
Suurenenud	-	-	251–350	2,7–4,0	160–244
Suur	>35	>15	>350	>4,0	>244

Taimestik – Taimestiku inventuur Pandiveres asuvates karstijärvikutes viidi läbi 2024. aasta juulis ja augustis ning Alba ja Kirikla järvikus 2025. aasta juulis ja augustis. Järvikud käidi läbi ja kaardistati neis esinevad taimekooslused. Igas koosluses kirjeldati keskmiselt viis 1x1 m taimeruutu. Hinnati nii soontaimede liigilist koosseisu kui ka katvust, taimestiku kõrgust taimeruudus ja niitmise ning karjatamise survet ruudust 2 m raadiuses. Kooslustes, mis olid konkreetsetes järvikus levinud väikesel pindalal, piirduti kohati vähem kui viie ruuduga koosluse kohta ning kooslustes, mis esinesid mitmes alltüübis ning majandamisvormis (karjatatud/karjatamata), kirjeldati kohati rohkem kui viis ruutu koosluse kohta. Kokku kirjeldati kümnes järvikus 290 taimeruutu. Ruutude asukohakoordinaadid ning määratud taimeliigid ja katvused on lisas K3.

Kaardistusandmete ja ortofotode põhjal piiritleti kaarditarkvaras *ArcPro 3.3* järvikute taimekoosluste polügoonid.

Erinevalt teistest uuritud elustiku rühmadest, pole järvikute taimekoosluste puhul võimalik kasutada alaliste järvede seisundihindamise kriteeriume. Alaliste järvede seisundit hinnatakse veetaimede põhjal, kuid karstijärvikutes kasvavad valdavalt maismaataimed ning veetaimi on vaid väikestes alalistes või peaaegu alalistes veesilmades. Seetõttu ei antud järvikutele taimekoosluste põhjal seisundihinnangut, vaid eristati ja rühmitati nendes leitud kooslused, et edaspidi oleks võimalik erinevatele kooslustele omistada seisundit näitav tähendus.

Suurselgrootud – Proovid koguti 4.–5. aprillil 2025, enne veeputukate eeldatavat väljalendu; igast järvikust üks proov. Einjärvest ei õnnestunud proovi võtta, sest järvik oli selleks ajaks juba kuivanud. Proovivõtuaeg võis olla esinduslike proovide kogumiseks liiga varajane, kuid hiljem oleks olnud võimalik proove võtta veelgi vähematest järvikutest, sest suurem osa neist kuivasid uuringuaastal ebatüüpiliselt vara. Osadest järvikutest oleks olnud veeseisust lähtuvalt võimalik võtta teine proov ka mais, kuid uuringus oli planeeritud vaid üks suurselgrootute proovivõtt ja määramine. Materjal koguti nelinurkse standardkahvaga (raami serva pikkus 25 cm, sõelasilma läbimõõt 0,5 mm; EVS-EN ISO 10870:2012) järvikute kaldal valitud prooviaala keskmisest osast (proovikohast), mis oli ca 10 m pikk. Iga proov koosnes viiest juhuslikult 1 m pikkusest kahvatõmbest ning kvalitatiivsest proovist (Johnson, 1999, Medin et al, 2001). Kvalitatiivne proov hõlmas nii prooviaala tüüpilisi kui ka ülejäänud elupaiku. Selleks kasutati vajaduse järgi nii kahvatõmbeid kui käsitsi noppimist (näiteks taimedelt, suurtelt okstelt või kividelt).

Kahva kogunenud materjal loputati ja fikseeriti kohapeal 96% piirituses. Loomad loendati laboris ja määrati stereomikroskoobiga (suurendus 7–40 korda) võimalust mööda enamasti liigini, välja arvatud surusääsklased, väheharjasussid ja vesilestad, kelle määramine nõuab suuremat suurendust (Timm, 2015).

Seisundi iseloomustamiseks kasutati alaliste järvede hinnangukriteeriume (Pinnaveekogumite..., 2020), sest ajutistele vetele neid ei ole. Arvutati taksonite üldarv koos kvalitatiivse prooviga (T, taksonirikkus), Shannoni erisusindeks H' (Johnson, 1999), ASPT indeks (Armitage et al, 1983) ning EPT indeks ehk *Ephemeroptera*, *Plecoptera* ja *Trichoptera* (ühapäevikuliste, kevikuliste ja ehmeistiivaliste) taksonite arv proovis (Lenat, 1988). Rootsi happelisusindeks (Johnson, 1999) sellistele veekogudele ei kohaldu ning seda ei arvestatud. Taksonierisust hinnati viie tõmbeproovi alusel, muude indeksite puhul arvestati ka kvalitatiivset proovi. Kõigi kasutatud indeksite arvulised väärtused on seisundiga võrdelised: mida suurem arv, seda parem seisund.

Hinnangute andmisel lähtuti eeldusest, et kõik uuritud veekogud on kalgiveelised (tüüp S1) (Tabel 3.3). Väga karedaveelisi looduslikke järvi asustab teiste järvetüüpidega võrreldes üle keskmise palju liike (ehkki vähem kui keskmise karedusega järvede taimekooslustes). Samas pole neis eriti palju tundlike putukarühmade liike. Taksonierisus ja taksoni keskmine tundlikkus on enam-vähem keskmised.

Tabel 3.3. Maismaa seisuveekogude pinnaveekogumite (tüüp S1) ökoloogiliste seisundiklasside piirid suurselgrootute kvaliteedielemendi näitajate väärtuste järgi (Pinnaveekogumite..., 2020)

Tüüp S1 – kalgiveeline järv (analüüsitud proovide aritmeetiline keskmine)					
Kvaliteedinäitaja	Väga hea	Hea	Kesine	Halb	Väga halb
Taksonirikkus	≥26	25–22	21–17	16–6	<6
Tundlike taksonite arv (EPT)	≥5	4	3	2–1	0
Shannoni taksonierisus (H)	≥2,5	2,4–2,2	2,1–1,7	1,6–0,6	<0,6
ASPT (taksoni keskmine tundlikkus)	≥5,3	5,2–4,7	4,6–3,5	3,4–1,2	<1,2

Seisundi koondhinnang (korruga mitme indeksi põhjal) anti järgmiselt. Iga indeksile omistati saadud kvaliteediväärtusele vastav punktide arv: 5 (väga hea), 4 (hea), 2 (kesine) ja 0 (halb või väga halb). Hea ja kesise ning kesise ja halva seisundi vahel on seepärast suurem numbriline erinevus, et rõhutada nendevahelist sisulist tähtsust. Halva ja väga halva seisundi vaheline võimalik erinevus loeti üksikute indeksite puhul tähtsusetuks. Seejärel summeeriti iga proovikoha nelja indeksi punktid. Environmental Quality Ratio (EQR) tähendab tulemuse suurust protsentides, võrreldes etalonväärtusega ($4 \times 5 = 20$). Summa 18–20 (EQR 90–100%) tähistab kokkuvõttes väga head, 14–17 (EQR 70–90%) head, 8–13 (EQR 40–70%) kesist, 6–7 (EQR 30–40%) halba ja 0–5 (EQR <30%) väga halba seisundit.

Täiendavalt arutati põhja iseloomu kirjeldav indeks MESH (mida väiksem väärtus, seda pehmem põhi ja/või aeglasem voolukiirus) ja surusääsklaste vastsete protsent taksonite üldarvust Chir% (mida suurem väärtus, seda kõrgem degradeerituse tase) (Timm et al, 2011; Timm & Haldna, 2019). Need ei kuulu veekogude seisundi hindamise ametlikku protokoll, kuid annavad kasulikku lisainfot. Proovivõtukohtade kirjeldused on lisas K4, taksonite nimekirjad lisas K5.

Fütoplankton – Proovid koguti 4.–5. aprillil 2025 üheksast järvikust. Einjärvest ei õnnestunud proovi võtta, sest järvik oli selleks ajaks juba kuivanud. Kvalitatiivsed proovid koguti Apsteini planktonvõrkudega (silma suurused vastavalt 20 ja 48 µm) veesambast. Kvalitatiivsed proovid koguti liigilise koosseisu määramiseks ja liikide arvu kindlakstegemiseks. Kvantitatiivsed proovid võeti pinnakihi otse proovipudelisse ja fikseeriti Lugoli lahusega. Proovide kogumisel kasutati proovivõtustandardi (EVS-EN 16698:2015) meetodit. Kameraaltöötuseks kasutati Utermöhli meetodikat (1958), mis on EL standard (EVS-EN 16695:2015). Proovidest sadestati sõltuvalt fütoplanktoni arvukusest loenduskambris kas 3, 10 või 25 ml. Rakud loendati invertmikroskoobis *Nikon Eclipse Ti*. Mikroskoobis kasutati sõltuvalt vetikate suurusest 10x või 16x suurendusega okulaare ja objektiive suurendusega 10x, 20x, 40x, 100x. Proovide vaatlemisel kasutati erinevat mikroskoopia tehnikat (faaskontrast, Nomarsky tehnika) ja kõikidest proovidest tehti mikrofotod. Biomass arutati vetikate ruumalade mõõtmise kaudu (Hillebrand et al, 1999). Biomassi arvutamisel võeti vetikate erikaaluks 1.

Eesti karstijärvikud võivad olla sarnased kahele Eestis veepoliitika raamdirektiivi alusel kehtestatud järvetüübile – S1 ja S2 (Pinnaveekogumite..., 2020). Samas on nende režiim tavajärvedest väga erinev ning näitajate väärtused vajavad limnoloogilist seletust. Kasutati *Chl a* sisaldust, fütoplanktoni koondindeksit (FKI), ühtluse indeksit (J) ja koosluse kirjeldust (FPK) (Tabel 3.4). Fütoplanktoni koosluse hindamisel kasutati täiendatud meetodikat, mis on mitmel korral Maaülikoolist tellitud ja viimati esitatud vastava määruse muutmiseks (Väikejärvede..., 2024). Lisaks kasutati biomassi, *Chl a*, liikide arvu ja FKI hindamisel troofsusklassifikatsiooni Kõvaski ja Miliuse (1982) kriteeriumide järgi, kuid veidi muudetud kujul, arvestades hilisemaid uurimistulemusi (Tabel 3.5). Järvede seisundi hindamisel fütoplanktoni alusel kasutati ka ekspertarvamust. Fütoplanktoni taksonite nimekirjad on lisas K6.

Tabel 3.4. Maismaa seisuveekogude pinnaveekogumite (tüüp S1) ökoloogiliste seisundiklasside piirid fütoplanktoni kvaliteedielemendi näitajate väärtuste järgi (Pinnaveekogumite..., 2020)

Tüüp S1 – kalgiveeline järv (analüüsitud proovide aritmeetiline keskmine)						
Kvaliteedinäitaja	Ühik	Väga hea	Hea	Kesine	Halb	Väga halb
Klorofüll a sisaldus (0,5 m sügavusel)	µg/l	≤1,0	1,1–2,0	2,1–3,0	3,1–5,0	>5,0
Fütoplanktoni koondindeks		<2,0	2,0–4,0	4,1–7,0	>7	Väärtus täpsustamata
Pielou ühetaolisuse indeks		>0,8	0,7–0,6	0,5–0,4	0,3–0,2	<0,2

Tabel 3.5. Fütoplanktoni näitajate hindamiskriteeriumid (Kõvask ja Milius, 1982 modif.). * - liikide arv on hüpertroofsetes järvedes sageli madal

Parameeter	Ühik	Madal, oligotroofne	Keskmine, mesotroofne	Kõrge, eutroofne	Ülikõrge, hüpertroofne
Biomass	mg/L	≤ 3	3,1-15	15,1-30	>30
Liikide arv loendusproovis		≤20	21-40	41-60	≥61*
FKI		≤2	2,1-5	5,1-7	>7
Chla	µg/L	≤7	7,1-25	25,1-50	>50

Fütoplanktoni kogubiomassiga koos esitati tähtsamate vetikahõimkondade (sini-, räni-, rohe-, ikkes-, kold-, neel-, vaguvibur- ja silmviburvetikate) biomassid. Nygaardi fütoplanktoni koondindeks esitati siin modifitseeritud kujul (Ott & Laugaste, 1996), kohandatuna Eesti oludele. Fütoplanktoni koondindeks (FKI) arvutati järgmise valemi järgi:

$$FKI = \frac{Cy. + Chloroc. + Centr. + Eugl. + Cryp. + 1}{Desm. + Chr + 1}$$

kus liikide arv rühmiti: Cy. – sinivetikad, Chloroc. – algrohevetikad, Centr. – ketasränivetikad, Eugl. – silmviburvetikad, Cryp. – neelvetikad, Desm. – ikkesvetikad, Chr. – koldvetikad.

Ühtluse indeks J (Pielou, 1975) arvutati Shannoni liigierisusindeksi kaudu järgmiselt:

$$J = \frac{H'}{H'_{max}}$$

H' – Shannoni liigierisus

H' max – teoreetiline liigierisus (biomass, mis jaguneks ühtlaselt proovis leitud liikide vahel).

J väärtused jäävad vahemikku 0–1. Skaala on jaotatud võrdselt igas järvetüübis viide klassi ning seisundikriteeriumid on kõigis järvetüüpides samasugused (Pinnaveekogumite..., 2020). J on bioloogilise seisundiga võrdeline – mida suurem J väärtus, seda parem bioloogiline seisund.

Zooplankton – Proovid koguti 2025. aasta kevadel märtsi lõpus, samal ajal enamike järvikute teise veekvaliteedi prooviga, ning järvikutes, kus vesi püsis, ka aprillis, samal ajal enamike järvikute kolmanda veekvaliteedi prooviga. Mõlemad poovivõtuajad olid esinduslike proovide kogumiseks pigem liiga varajased, kuid hiljem oleks olnud proove võimalik võtta vaid üksikutest järvikutest, sest need kuivasid uuringuaastal ebatüüpiliselt vara. Märtsi lõpu proov koguti eesmärgiga igal juhul igast järvikust zooplanktoni proov saada, kuigi enamik järvikuid oli sellel hetkel veel osaliselt jääs. Kuna Võhmetu ja Lemmküla järvikud olid märtsi lõpus lausjääs, siis nendest märtsis proovi ei võetud. Varajane proovivõtt õigustas ennast, kuna aprillis polnud Einjärvest, Assamallast ega Albast enam võimalik proovi võtta. Mõnest järvikust oleks olnud võimalik proov võtta veel ka mais või juunis, kuid selleks ajaks oli uuringus planeeritud zooplanktoni proovide maht juba täis. Proovide kogumisel järgiti standardit „Water quality – Guidance standard for the sampling of zooplankton from standing waters“ (EVS-EN 15110:2006).

Proovide võtmisel kasutati Eesti väikejärvede seirele analoogset meetodikat, mille käigus kurnati vähemalt 40 liitrit karstijärviku vett läbi 50 µm silmasuuruse planktonivõrgu ja fikseeriti proov formaliiniga lõppkontsentratsioonil 4%. Karstijärvikute ühtlase madala sügavuse tõttu ei olnud mõtet minna proovivõtmiseks veekogu keskossa, vaid proovid võeti kaldalähedasest veest, kuid avaveealalt, kus polnud põõsaid ning oli võimalikult vähe rohttaimestikku. Zooplanktoni proovid koguti järviku samast osast, kus vastava proovivõtukorra veekvaliteedi proovid.

Proovide analüüsiks kasutati Bogorovi kambrit. Koguproovist loeti sõltuvalt loomade tihedusest üks kuni neli 5 ml mahuga alamproovi, mis moodustasid kokku 2,5–10% kogu proovi mahust. Väiksema arvukusega liikide

leidmiseks vaadati kvalitatiivselt üle kogu zooplanktoni proov. Mikroskoopiliseks analüüsiks ja loomade mõõtmiseks kasutati binokulaari suurendusel 32x, liikide täpsemaks määramiseks kasutati mikroskoopi suurendusega kuni 100x. Biomassi määramiseks mõõdeti võimalusel 20 isendit igast liigist (vormist), pikkuste alusel arvutati zooplankterite individuaalsed kaalud. Liikide keskmistest pikkustest arvutati regressioonvalemite abil nende keha ruumala vastavalt Dumont et al, (1975) ja Ruttner-Kolisko (1977) töödes esitatud liigi- või perekonnaspetsiifilistele konstantidele. Plankterite tihedus loeti veega võrdseks ehk 1 ml keharuumala on 1 g märgkaalu. Loomade arvukuste ja kaalude põhjal arvutati zooplanktoni biomass.

Proovides määratati zooplanktoni liigiline koosseis, arvukus ja biomass (lisa K7). Arvukusele ja biomassile anti hinnangud vastavalt Eesti väikejärvede seires kasutatavale skaalale (Tabel 3.6). Lisaks leiti arvukuses ja biomassis domineerivad taksonid ning suuremate rühmade (*Cladocera*, *Copepoda*, *Rotatoria*) protsentuaalne osakaal kogu arvukusest ja biomassist.

Zooplanktoni osas puuduvad järvede ökoloogilise seisundi hindamiseks kehtestatud näitajad ja klassipiirid (Pinnaveekogumite..., 2020). Kalgiveelistele järvedele (vee tüüp S1) ei pakkunud võrdlusandmestiku puudumise tõttu sobivaid näitajaid ega klassipiire ka Maileht et al (2024). Seetõttu ei anta ka käesolevas töös zooplanktoni näitajate põhjal hinnanguid järvikute ökoloogilisele seisundile. Kogutud andmed aitavad kaasa võrdlusandmestiku loomiseks, et tulevikus oleks võimalik vastavad näitajad ja klassipiirid kehtestada.

Tabel 3.6. Zooplanktoni biomassi ja arvukuse hindamise skaala

Hinnang/Näitaja	Arvukus, tuh is/m ³	Biomass, g/m ³
Väike	<50	<1
Keskmine	50 – 100	1 – 3
Suur	>100	>3

Fütobentos – Proovid koguti 2025. aasta kevadel. Proovide kogumisel järgiti standardit „Water quality – Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers and lakes“ (EVS-EN 127 13946:2014) ning juhendit „Pinnavee ökoloogilise seisundi...“ (Timm & Vilbaste, 2010). Proovivõtukohtad olid karstijärvikutesse paigutatud veetaseme andurite läheduses. Kuna tegemist oli järvikute sügavaimate osadega, loodeti et neis paigus on ränivetikakooslustel olnud enim aega välja kujuneda. Ränivetikaproovid koguti vees kasvavate või kasvanud (kui järvik oli proovivõtuajaks kuivanud) taimede veealustelt osadelt. Taimedel kasvavad ränivetikad eemaldati taimeosadelt kraapides ja veega loputades. Saadud keskmistatud proov koguti proovivõtu anumasse ja mineraliseeriti laboris 30% vesinikperoksiidi (H₂O₂) ja 10% vesinikloriidi (HCl) lahustega, et lagundada orgaaniline aine. Happe jääkide eemaldamiseks pesti töödeldud proove korduvalt destilleeritud veega. Ränivetikapreparaadid valmistati spetsiaalse vaiguga Naphrax (refraktsiooniindeks 1,7). Valmistatud püsipreparaate vaadeldi 1000-kordse suurendusega mikroskoobiga Olympus BX41 ning optiliste omaduste parandamiseks kasutati immersioonõli (nd=1,516). Preparaatidelt määrati ja loendati terved või vähemalt üle poole säilinud ränivetikarakud. Preparaatidelt loendati kuni 400 isendit. Proovidest loendatud fütobentose taksonid on lisa K8. Ränivetikad määrati madalaima võimaliku taksonoomilise tasemeni. Dominandiks loeti takson, mille suhteline arvukus oli >25%. Arvukaks loeti takson, mille suhteline arvukus oli >10%. Liigiliseks määramiseks kasutati Krammer (2002) ja Hofmann (2013) määrajaid. Perekonna *Eunotia* täpsemaks määramiseks kasutati lisaks Lange-Berlot et al (2011) ja perekonna *Pinnularia* määramiseks Krammer (2000) määrajaid. Fütobentose määrangu (fübe_m) leidmise aluseks oli kolm ränivetikaindeksit: IPS indeks (Specific Polluosensitivity Index) ehk ränivetikate spetsiifiline reostustundlikkuse indeks (Mertens et al, 2025), WAT ehk ränivetikate Watanabe indeks (Watanabe et al, 1990) ja TDI (Trophic Diatom Index) ehk ränivetikate troofsusindeks (Kelly et al, 2001).

Ränivetikaindeksite arvutamisel kasutati programmi *R* (versioon 4.5.1), kasutades paketti *diaThor* (versioon 0.1.4). Indeks IPS arvutatakse programmi poolt skaalas 1–20 ning indeksid WAT ja TDI skaalas 1–100. Kuna Timm & Vilbaste (2010) juhendi järgi on WAT indeksi väärtused 0–20, siis on programmiga *R* arvutatud WAT indeksid teisendatud sobivasse skaalasse. Samuti erinevalt kahest esimesest indeksist, mis on positiivses korrelatsioonis seisundiga (mida suurem indeksi väärtus, seda parem on seirekoha ökoloogiline seisund), näitab TDI olukorra paranemist indeksi väärtuse kahanedes (Tabel 3.7). Seetõttu arvutati indeks ümber suuruseks 100 - TDI, mille väärtus 100 näitab parimat ja väärtus 0 halvimat seirekoha ökoloogilist seisundit (Tabel 3.7). Fütobentose seisundihinnang (fübe_m) anti kolme indeksi (IPS, WAT, TDI) põhjal vastavalt metoodilises juhendis (Timm & Vilbaste, 2010) esitatud tabelile lisas 1.6. Hinnangut väga hea või hea ei saa anda veekogule, kus kasvõi ainult ühe indeksi väärtus näitab halba või väga halba seisundit.

Tabel 3.7. Ränivetikate kvaliteedinäitajate väärtuste ökoloogiliste seisundiklasside piirid vastavalt Timm & Vilbaste (2010) juhendile. Lühendid: IPS – indeks (*Specific Polluosensitivity Index*) ehk ränivetikate spetsiifiline reostustundlikkuse indeks, WAT – (*Watanabe index*) ehk ränivetikate Watanabe indeks, TDI – (*Trophic Diatom Index*) ehk ränivetikate troofsusindeks

Indeks	Vahemik	Väga hea	Hea	Kesine	Halb	Väga halb
IPS	18,2–0	>15,5	15,5–12,0	12,0–9,5	9,5–6,9	<6,9
WAT	18,7–0	>15,9	15,9–12,4	12,4–9,7	9,7–7,1	<7,1
TDI	35–100	<48	48–61	61–75	75–87	87–100
100 - TDI	65–0	>52	52–39	39–25	25–13	<13

4. Inventuuri tulemused

4.1. Alba karstijärvik

Alba karstijärvik asub Lääne-Nigula valla Kadarpiku küla ja Haapsalu linna Laheva küla piiril. Maa- ja Ruumiameti ortofotodest on järvikut kõige veerohkemana kujutatud 28.04.2012 fotol (Joonis 4.1.1). Järviku väljanägemist 24.03.2025 on kujutatud joonisel 4.1.2.



Joonis 4.1.1 Alba karstijärvik Maa- ja Ruumiameti 28.04.2012 ortofotol ning veetaseme anduri ja seirekaevu asukoht.



Joonis 4.1.2. Alba karstijärvik 24.03.2025. (Pilt: Marko Vainu).

4.1.1. Hüdroloogia

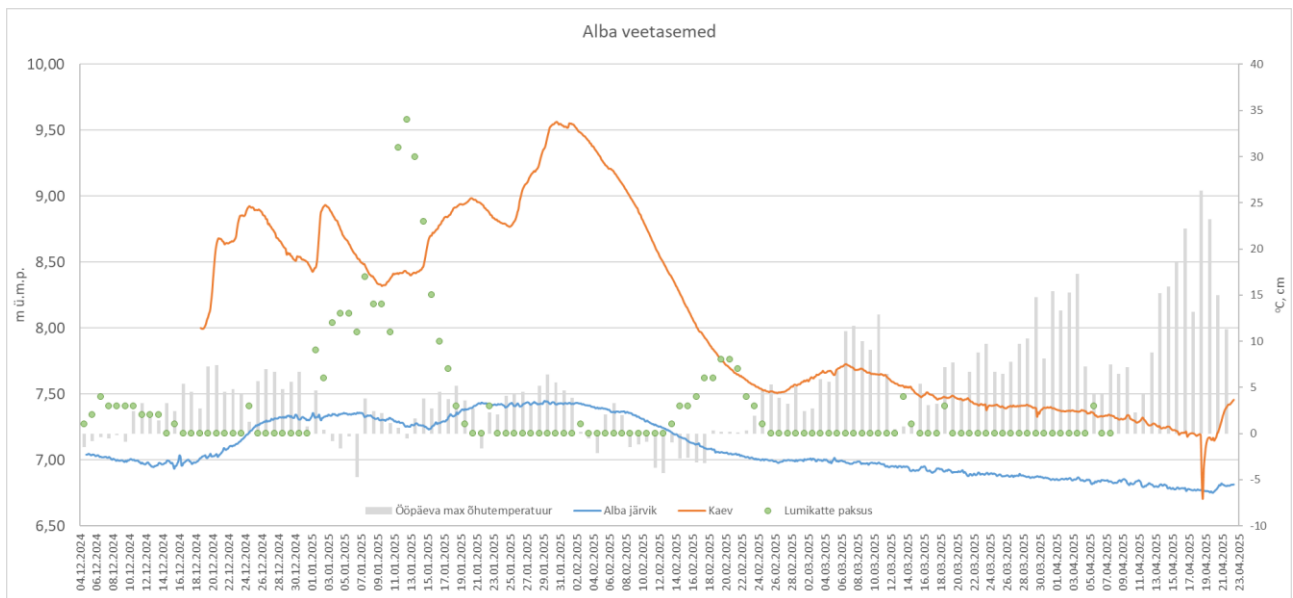
Veetaseme loger paigaldati järviku lääneossa (Joonis 4.1.1) 04.12.2024. Siis oli anduri kohal 32 cm vett, veetase oli kõrgusel 7,04 m ü.m.p (Joonis 4.1.3) ning järvik oli kaetud õhukese jääkihiga. Järgmise paari nädala jooksul langes veetase esmalt kuni 10 cm ning tõusis seejärel taas aeglaselt anduri sissepaneku tasemeni. Veeproovi võtmise ajal, 18. detsembril, oli järvik kaetud inimest kandva jääkihiga.

Vainu et al (2019) töös Alba järviku kontseptuaalset mudelit ei koostatud, seda tehti käesolevas töös (ptk 2.1), kuid Tõnu Ploompuu vaatluste põhjal oli juba varasemalt teada, et täitumisperiodil voolab järvikusse kagust sisse Jaanissoost algav ajutine oja. Samuti oli Tõnu Ploompuu vaatlustest teada, et piisava veetaseme saavutamise korral tekib järvikust väljavool loodesse Tallinn–Haapsalu raudteetammi suunas. Seal voolab vesi läbi raudtee all oleva truubi, läbi Ants Laikmaa majamuuseumi pargi, pöörab edelakaarde, voolab uuesti raudtee tammi alt läbi ning jõuab üle Laheva lekke soo ja mööda Möldri oja Võnnu ojja ning sealt Saunja lahte (Ploompuu, 2013). Kuna sissevoolav oja asub järviku kagusosas, eeldati, et järviku toiteala peab olema selles ilmakaares. Asustus on järvikust kagu pool aga hõre ning seal asub vaid kaks talu. Mõlemas on EELISE puurkaevude registri andmetel olemas küll ka puurkaevud, kuid need on ligi 40 m sügavused ja avavad seetõttu tõenäoliselt põhjaveekihte, mis järviku toitesse ei panusta. Seetõttu loeti parimaks olemasolevaks võimaluseks järviku toitealal põhjavee seiramiseks järvikust 300 m kagus asuv Alba talu 4,7 m sügavune salvkaev (Joonis 4.1.1).

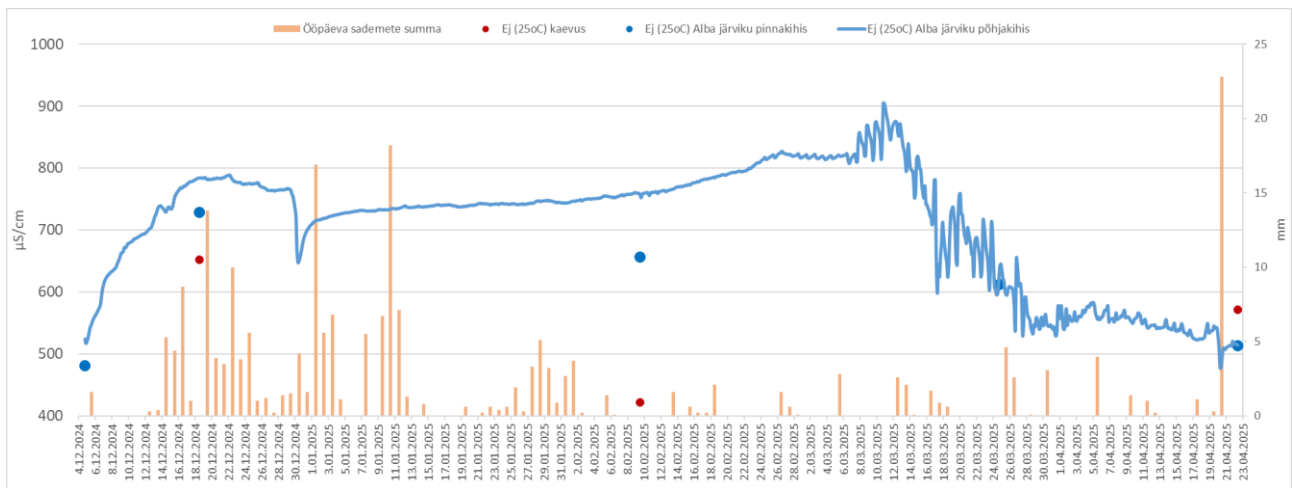
Alba talu salvkaevu paigaldati põhjaveetaseme loger 18. detsembril. Logeri paigaldamise ajal oli kaevus vett ca 2,4 m. Veetase oli kaevus ca ühe meetri võrra kõrgemal kui järvikus. Kogu mõõtmiste perioodi jooksul kuni 22. aprillini oli kaevu veetase järviku veetasemest kõrgemal, v.a lühiajaliselt aprilli keskel, mil kaevust võeti suurem kogus vett. Kui järviku veetase kõikus selle perioodi jooksul vaid 70 cm võrra, siis kaevu veetase 2,9 m võrra.

Järgmisel päeval pärast anduri paigaldamist kaevu algas seal kiire veetaseme tõus: 19. detsembril tõusis veetase kaevus 28 cm võrra ning tõus jätkus 24. detsembrini. Tõusu käivitasid tõenäoliselt sademed: 14. – 17. detsembril mõõdeti Lääne-Nigula meteoroloogiajaamas 19 mm sademeid ning 19. detsembril sadas 24 h-ga veel 14 mm (Joonis 4.1.4). Järgmise viie päevaga lisandus veel 27 mm. Järviku veetaseme kiirem tõus algas 21. detsembril ning 60 tunniga tõusis veetase 10 cm võrra ja sellele järgneva 60 tunni jooksul veel 12 cm võrra. Seega saab järviku veetaseme tõusu põhjendada lühiajalise viibega reaktsioonina põhjaveetaseme tõusmisele. Suuremad sajud lõppesid alates 25. detsembrist ning samast päevast alates hakkas kaevu veetase langema. Järviku veetaseme tõus aeglustus alates 26. detsembrist ning jõudis platooni 7,32–7,34 m ü.m.p 28. detsembril. Järviku veetaseme stabiliseerumine oli põhjaveetaseme sellise muutusega taaskord kooskõlas.

Järviku multimeetriga mõõdetud elektrijuhtivus (25°C) oli 4. detsembril 480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ning 18. detsembriks oli see suurenenud 730 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ni (Joonis 4.1.3). Veel rohkem suurenes sama perioodi jooksul logeriga mõõdetud elektrijuhtivus. Kui logeri andmete puhul võinuks kahtlustada kergkruusaploki lahustumise mõju, siis antud juhul näitasid ka logerist sõltumatult mõõdetud andmed elektrijuhtivuse olulist suurenemist juba enne kiirema veetaseme tõusu algust mõned päevad hiljem (Joonis 4.1.4). Kusjuures Alba talu kaevus oli 18. detsembril elektrijuhtivus järviku omast ca 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ madalam. Pigem võinuks eeldada elektrijuhtivuse suurenemist koos suurema põhjavee sissevoolu algusega. Hiljem, veebruari alguses, oli järviku multimeetriga mõõdetud elektrijuhtivuse erinevus kaevu omast veelgi suurem, üle 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ning järvikus oleva logeriga võrreldes lausa üle 330 $\mu\text{S}/\text{cm}$. **Seega ei esinda Alba talu kaevus olev vesi nähtavasti sama põhjaveekihti, mis toidab järvikut.** Kuna aga veetaseme muutuste üldine dünaamika järviku ja kaevu vahel oli üldjoontes kooskõlas, kui kaevu veetaseme kiired tõusud ja langused välja arvata, siis ilmselt toimusid sarnased muutused ka järvikut toitvas põhjaveekihtis.



Joonis 4.1.3. Veetaseme muutus Alba karstijärvikus ja Alba talu kaevus; ööpäeva maksimaalne õhutemperatuur ja lumikatte paksus Lääne-Nigula ilmajaamas (andmed, v.a veetasemed: Keskkonnaagentuur).



Joonis 4.1.4. Elektrijuhtivus (25°C) Alba järviku põhjakihis automaatanduri ning pinnakihis ja Alba talu kaevus üksikmõõtmiste põhjal; ööpäeva sademete summa Lääne-Nigula ilmajaamas (andmed, v.a elektrijuhtivus: Keskkonnaagentuur).

Edasised kaevu veetaseme muutused kuni veebruari alguseni olid äkilisemad kui järviku omad. Kaevu veetaseme langus poole meetri võrra 25. detsembrist 1. jaanuarini, sellele järgnenud poolemeetiline tõus teiseks jaanuariks ja järgnenud 60 cm suurune langus 9. jaanuarini järviku veetasemes selgelt ei väljendunud. Kuni 10. jaanuarini kõikus järviku veetase ca 5 cm vahemikus ning hakkas seejärel aeglaselt langema – 10 cm 15. jaanuarini. Vahepeal, 29.–30. detsembrini toimus järvikus logeri andmetel kiire elektrijuhtivuse langus: 24 h-ga üle 110 µS/cm. Kui eeldada, et see toimus päriselt ja tegemist polnud logeri streikimisega, saab seda põhjendada järvikut katnud jää sulamisega. Logeri mõõdetud vee temperatuur selle languse ajal küll madalamaks ei muutunud, mida oleks võinud rohke sulavee lisandumise puhul eeldada. Elektrijuhtivus tõusis pärast kiiret langust peaaegu sama kiiresti, kui oli langenud, kuid ei saavutanud languse-eelset taset. Pärast kiiret tõusu jätkus elektrijuhtivuse järk-järguline tõus kuni veebruari lõpuni.

Kaevu veetase reageeris aasta lõpus ja uue aasta alguses tugevalt sademetele. Nii detsembri lõpus kui jaanuari alguses toimus kaevu kiire veetaseme tõus samal või järgmisel päeval pärast vähemalt 10 cm sajuhulka, nt 1. jaanuaril sadas 17 mm. Seega võib kahtlustada, et vihmavesi valgus läbi pinnase otse kaevu ning vahetult pärast suuri sadusid ei esindanud kaevu veetase ümbritseva põhjavee taset. Sellele viitab ka

kaevu veetaseme üsna kiire alanemine pärast neid kiireid tõuse, mille käigus võis kaevu kogunenud vesi ümbritsevasse põhjaveekihti imbuda.

Kaevu veetase pööras taas tõusule 10. jaanuaril. Eelmiste päevade sulailmadega oli sulanud osa vahepeal sadanud lumest. Intensiivne sulamine algas 14. jaanuarist ja samast päevast alates hakkas kaevu veetase kiiresti tõusma. 14. jaanuarist 18. jaanuarini, kui kogu lumi oli ära sulanud, tõusis veetase kaevus ca pool meetrit. Järgnes veel üks lühiajaline, viis päeva kestnud 20 cm suurune langus, mis langeb kokku sademevaese perioodiga, ning seejärel kiire 80 cm tõus kuni 30. jaanuarini. Sademeid oli jaanuari lõpus pigem mõõdukalt ja need langesid vedelal kujul. Seega võib arvata, et sellel perioodil jõudis kaevu pigem üldine, jaanuari keskpaigas toimunud lumesulast tingitud põhjaveetaseme tõusu mõju ning 14. jaanuari kiire tõus oli olnud taas tingitud otse kaevu jõudnud sulaveest. Järelikult võiks tegelik pindmise põhjaveekihi veetaseme muutus kajastuda kaevu veetaseme kõveras, kui sellest n.ö tulvavee piigid eemaldada.

Järviku veetase hakkas uuesti tõusma 15. jaanuaril ehk päev pärast kaevu veetaseme kiire tõusu algust ning tõusis, ilma kaevu veetasemes avaldunud vahepealse languseta, kuni 29. jaanuarini. See tähendab, et järvik saavutas maksimaalse veetaseme päev enne kaevu, mis seab kaevu veetaseme sobivuse järvikut toitva põhjavee iseloomustamiseks veelgi suurema kahtluse alla. Järviku veetase oli maksimumhetkel 7,45 m ü.m.p (vett oli anduri kohal 73 cm). Vähemalt 7,40 m ü.m.p veetase püsis järvikus 20. jaanuarist 4. veebruarini. Selles ajavahemikus tuvastas Tõnu Ploompuu ka järvikust lääne poole alanud väljavoolu. Järviku veetase saavutas tipu veidi enne põhjaveetaseme tippu tõenäoliselt seetõttu, et väljavoolu tekkimise tõttu ei saanud järvikut veetase enam olulisel määral tõusta.

Kaevu veetase hakkas langema alates 1. veebruarist ning langes ühtlaselt kuni 26. veebruarini. Veebruari alguses algas külmaperiood, mil päeva maksimaalsed temperatuurid Lääne-Nigulas jäid nulli lähedale või miinuspoolele. See tähendab, et sademevee imbumine põhjavette lõppes ning selleks ajaks oli ilmselt jõudnud mööduda ka jaanuari keskpaiga lumesulavee mõju põhjaveetasemele.

Järvikust veeproovide võtmise ajal, 6. veebruaril oli väljavool järvikust lakanud, järvik oli jääs, kuid servas oli see piisavalt õhuke ja vesi piisavalt sügav, et kandva jääserva peale ei pääsenud. Veebruaris, pärast põhjaveetaseme languse algust, algas ka järvikus esmalt kiirem, seejärel aeglasem veetaseme langus, mis kestis kuni 19. aprillini, mil anduri kohale oli jäänud vett 3 cm (6,75 m ü.m.p).

Põhjaveetasemes oli vahepeal, 26. veebruarist 6. märtsini, toimunud paarikümne cm suurune veetaseme tõus, mille tekitas ilmselt veebruari keskel sadanud lume sulamine. Järviku veetasemes väljendus see vaid niipalju, et samal ajavahemikul selle veetaseme alanemine peatus. 25. veebruarist 8. märtsini kõikus järvikut veetase vahemikus 6,98 m ü.m.p-st 7,01 m ü.m.p-ni.

Märtsi algusest alates hakkas järvikus seni talve jooksul 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ juurde kerkinud ja veebruari lõpus stabiilselt selle juures püsinud logeriga mõõdetud elektrijuhtivus tugevalt kõikumama (Joonis 4.1.4). Sellest perioodist pole multimeetriga tehtud kontrollmõõtmiste tulemusi, mis kinnitaksid, et järvikut elektrijuhtivus tegelikult sedavõrd suur oli. Esmalt jõudis see 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ni (üheski teises järvikus sedavõrd suurt elektrijuhtivust pärast logeri sissepanekule järgnenud piigi möödumist ei registreeritud) ning siis hakkas kõikudes langema, kuni jõudis märtsi lõpuks ca 530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ juurde. Kõikumiste alguseks oli veetaseme anduri kohal langenud 25 cm-ni, mis tähendab, et järvikusse oli jäänud sedavõrd väike veemaht, et selles soojenevate ilmadega alanud ööpäevaste tsüklikena toimuvad biokeemilised protsessid (fotosüntees) võisid mõjutada vee pH-d ja seeläbi ionide lahustuvust kas järvikut vees või kergkruusaploki küljest. 24. märtsil multimeetriga mõõdetud elektrijuhtivus erines sama aja logeri mõõtmisest vähem kui 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ võrra, mis viitab, et vähemalt sellel perioodil olid logeri mõõtmistulemused usaldusväärsed. Kuna 6. veebruari ja 24. märtsi vahel multimeetriga mõõdetud elektrijuhtivuse andmeid pole ning nendevaheline erinevus oli vaid ca 45 $\mu\text{S}/\text{cm}$, puudub kindlus, kas logeri andmetes nähtav oluline elektrijuhtivuse vähenemine tegelikult toimus. Elektrijuhtivuse vähenemine võiks viidata, et veetaseme langedes muutus lisanduva põhjavee hulk järjekordseks väiksemaks. Samas sadas alates elektrijuhtivuse languse algusest 11. märtsil kuni selle miinimumi saavutamiseni 28. märtsil kokku vaid 15 mm ja see kogus oli jaotunud kaheksa päeva peale, mistõttu ei saa

järeldada, et järvikus oleks põhjavee päritoluga vesi asendunud otsese sademevee päritoluga veega. Mingi muudatus järviku vee ionikontsentratsioonis talvest kevadeni siiski toimus, sest 9. veebruaril, kui ei oli multimeetriga mõõdetult 660 $\mu\text{S}/\text{cm}$, oli HCO_3^- -sisaldus 311 mg/l. Samas 24. märtsil, kui ei oli 640 $\mu\text{S}/\text{cm}$, oli HCO_3^- - sisaldus hoopis suurem, 384 mg/l (Tabel 4.1.2). Järelikult pidi veebruaris olema järviku vees märtsist suurem sisaldus mõnel muul ioonil peale HCO_3^- -e.

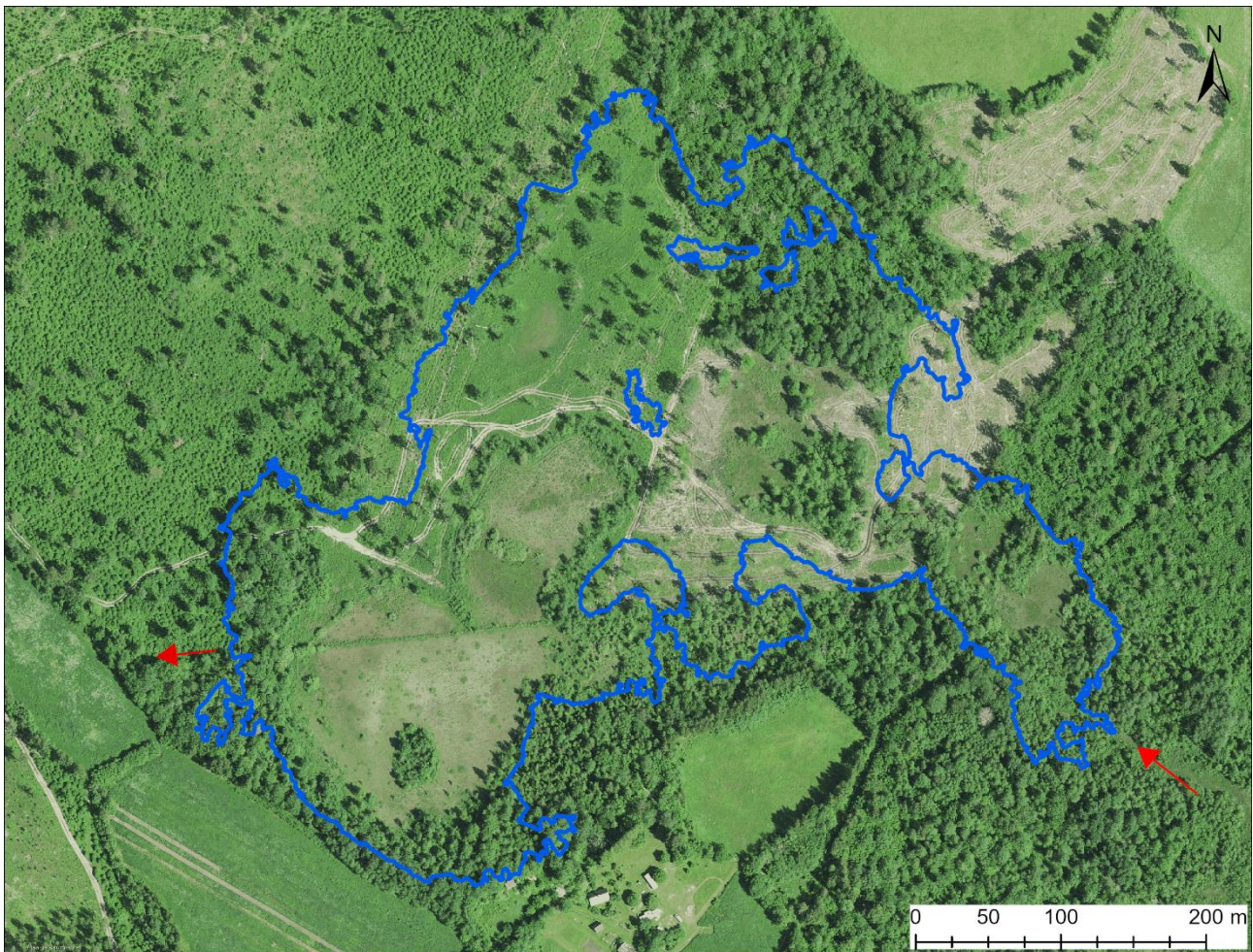
Pärast järviku veetaseme miinimumi saavutamist 19. aprillil järgnes 20. aprilli 23 mm-sele sajupäevale taas veetaseme mõne cm-ne tõus, kuid 22. aprillil peeti järvik piisavalt kuivanuks, et loger järvikust ära võtta (selle kohal oli 10 cm vett) ning edasise veetaseme käigu kohta andmed puuduvad. Põhjaveetaseme saavutas oma mõõtmisperioodi miinimumi (arvestamata 18. aprilli suurt veevõttu kaevust) samuti 19. aprillil, kuid seejärel tõusis kahe ja poole päevaga ca 30 cm. Ilmselt oli taaskord tegemist sademevee otse kaevu jõudmisega, mitte tegeliku pindmise põhjaveetaseme sedavõrd suure ja kiire tõusuga.

Juhuvaatluste põhjal selgus, et suviste vihmadega tuli vesi järvikusse püsivamalt tagasi ning 17. juulil oli seal vett kohati üle 30 cm ning ka veel 20. augustil oli seda sügavamates kohtades üle 20 cm.

Kuna järvik hakkas veega täituma ebatavaliselt vara ning veetaseme anduri järvikusse paneku ajaks oli selles juba teadmata aja vesi sees olnud, ei õnnestunud välja selgitada kogu järviku katkematu veeperioodi pikkust, kuid see oli üle 140 päeva, kui lugeda veeperioodi lõpuks 20. aprilli.

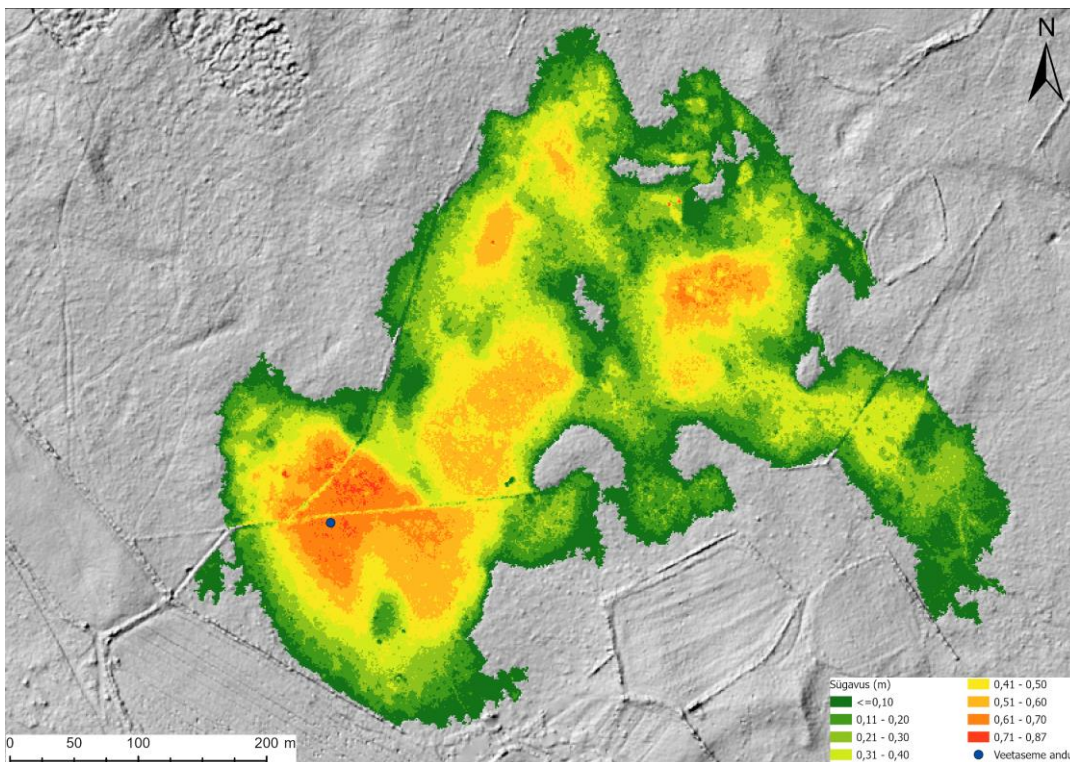
Uuringu tulemused **kinnitasid** käesolevas töös koostatud **Alba karstijärviku kontseptuaalses mudelis esitatut** (ptk 2.1), **et järviku toiteala jääb sellest lõuna ja kagu poole**. Lisaks sellele, et kagusuunast voolab järvikusse sisse oja, leidis ka kinnitust, et järvikust kagu pool on vähemalt järviku veega täitunud oleku perioodil põhjaveetaseme järviku veetasemest kõrgemal.

Järviku ulatuse, sügavusjaotuse ja mahu väljaselgitamiseks kasutati Maa- ja Ruumiameti 2022. aasta metsandusliku ülelennu LiDAR-andmeid (ülelennu kuupäev 25.06.2022). Järvik oli toona kuivanud ning olulisel osal järviku metsamaale jäävast alast tehtud lageraie. Seega vesi ega mets kõrgusmõõdistamist hilisemate ja varasemate kevadiste ning varasemate metsanduslike ülelendudega võrreldes sedavõrd palju ei seganud. Samas oli järviku põhi ülelennu ajaks juba taimestunud ning kohati võis maapinna kõrgusandmetes kõrvalekaldeid tekitada ka selle servaaladel jätkuvalt kasvav lehtmets. **Järviku kaldajoon, sügavusjaotus ja maht modelleeriti lähtudes kõrgusjoonest 7,40 m ü.m.p** (Joonis 4.1.5). **Nimetatud kõrgusjoonele vastava polügooni pindala ilma suuremate saarteta on 15,6 ha.**



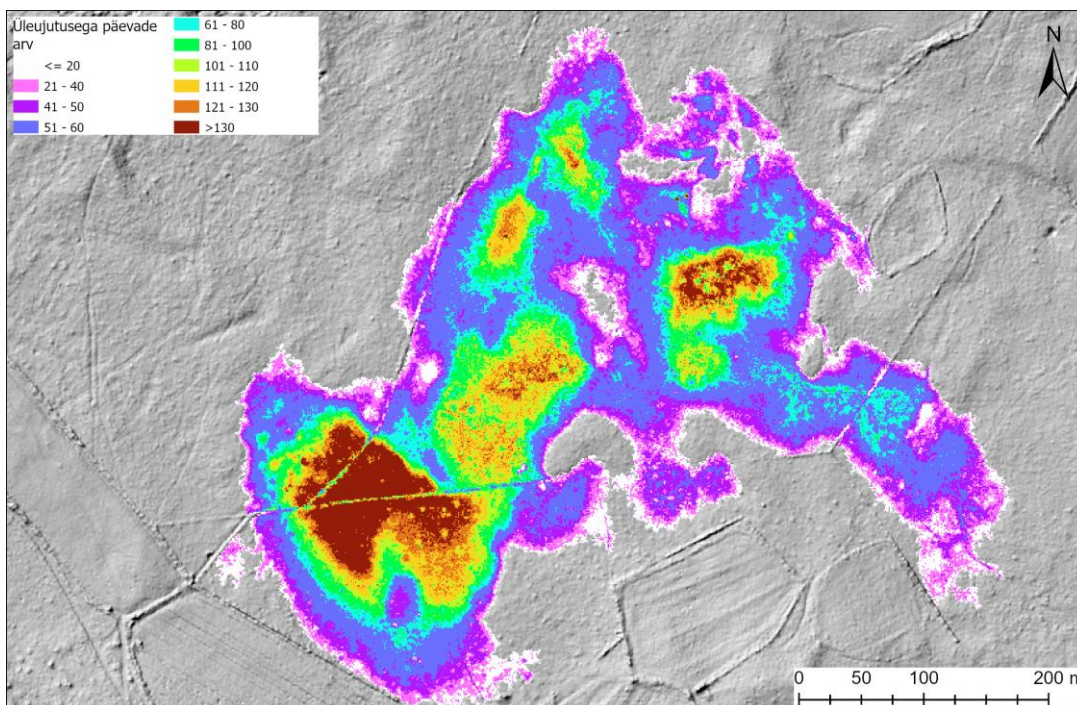
Joonis 4.1.5. Alba karstijärvi veepiir tasemel 7,40 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2022. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmodelile. Punaste nooltega on tähistatud pinnavee sisse- ja väljavoolu suund järvikusse ja järvikust.

Veetaseme 7,40 m ü.m.p põhjal modelleeritud 1x1 m resolutsiooniga sügavusjaotuste kaardil on järvi suurimaks sügavuseks selle veetaseme juures ca 85 cm. Sügavaimad on väikesed lohud järvi põhja- ja lääneosas (Joonis 4.1.6). **Veetaseme anduriga saadi suurimaks sügavuseks ca 80 cm (73 cm vett anduri kohal + ca 8 cm anduri kõrgus maapinnast).** Kõrgusmodeli põhjal oli anduri asukohas maksimaalne veesügavus 72 cm. Seega ei saanud 2022. aasta juunikuise ülelennu ajal järvi põhjas kasvanud rohttaimestik kõrgusmodelit moonutada rohkem kui mõni cm. Üksikuid sügavamaid lohke mitte arvestades asub järvi sügavaim ala edelaosas. Sellest madalamad, kuid maksimaalse veetaseme ajal üle 50 cm sügavused alad asuvad kesk-, põhja- ning kirdeosas. Neid ühendavad väljavoolu olemasolule vastava veetaseme korral 30–40 cm sügavused alad. Järvi kesk-, põhja- ja läänesossa moodustuvad kõrgema veetaseme ajal saared. **Järvi modelleeritud maht maksimaalse veetaseme ajal oli ca 40 000 m³ ning keskmine sügavus 0,3 m. Uuritud järvikutest on Alba kõige madalam.**



Joonis 4.1.6. Alba karstijärviku sügavus veetaseme kõrgusel 7,40 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2022. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudelile.

Modelleeritud üleujutuse kestuse andmete põhjal oli alates anduri paigaldamisest 2024. aasta detsembri alguses kõige pikemalt üleujutatud järviku edelasopi keskosa, kus asus ka veetaseme andur (Joonis 4.1.7). Seal püsis veesilm ilmselt ligi viis kuud, kui eeldada, et enne anduri paigaldamist oli vesi järvikus kuni kaks nädalat. Kogu järviku lääneosa ja idapoolne sügavam ala olid vee all kuni kolm kuud aasta alguses ning jäid märtsi teises pooles peaaegu kuivaks. Idapoolne, ülejäänud järvikust madala metsase künnisega eraldatud osa moodustas järviku läänepoolse osaga ühise veevälja kuni kahe kuu vältel aasta alguses.



Joonis 4.1.7. Päevade arv vahemikus 04.12.2024 kuni 22.04.2025, mil vastav ala Alba karstijärvikus oli vee all Maa- ja Ruumiameti 2022. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudeli ja veetaseme anduri mõõtmistulemuste põhjal.

4.1.2. Hüdrokeemia

Alba järvis on mõõdeti vee väliparameetreid kuuel korral ning võeti veeproove neljal korral. Veeproovid võeti ja väliparameetrid mõõdeti enamikel kordadel veetaseme anduri asukoha lähistelt (Joonis 4.1.1). Detsembris keskel võeti veeproov ja mõõdeti väliparameetrid jääaugust. Veebruari alguses võeti veeproov ja mõõdeti väliparameetrid järvis lõunaosast metsa ja avavee piirilt jää alt, kuna ebastabiilse jääkatte tõttu polnud võimalik veetaseme anduri lähistelega pääseda.

Järvis pH oli uuringu jooksul kalgiveelistele järvedele tüüpilises vahemikus 7,2-st 7,7-ni (Tabel 4.1.1). Lahustunud ainete sisaldus (mineraalsus) oli Simmi (1975) klassifikatsiooni järgi veefaasi alguses ja lõpus suurenenud ning ülejäänud aja suur. Vesinikkarbonaadi sisaldus oli püsivalt suur. HCO_3^- moodustas neljast proovivõtukorrast kolmel mineraalsusest ligi või üle 90%, kuid veebruaris vaid ca 75%. Milline ioon maksimaalse veetaseme ajal HCO_3^- domineerimist vähendas, polnud uuringus kogutud andmete põhjal võimalik välja selgitada. Hapnikuolud olid järvis kõigil mõõtmiskordadel kesised ning veebruari alguses jää all hapnik sisuliselt puudus.

Üldlämmastiku sisaldus oli kõigil mõõtmiskordadel, peale veebruari, väga heal ning veebruaris heal tasemel (Tabel 4.1.2). Nitraatlämmastikku oli kõigil mõõtmiskordadel väga vähe ning märtsis ja aprillis isegi alla määramispiiri. Detsembris ja märtsis oli kõigi mineraalsete lämmastikukomponentide sisaldus alla määramispiiri. See tähendab, et kogu järvis olev lämmastik oli orgaanilisel kujul. Veebruaris ja aprillis oli orgaanilise lämmastiku osakaal 90% juures.

Fosforisisaldus oli detsembrist märtsini heal tasemel ning kogu fosfor oli orgaanilisel kujul. Aprilli teiseks pooleks, kui proovivõtukohta oli jäänud paarkümmend cm vett, oli fosforisisaldus suurenenud kesisele tasemele. Sarnast kevadist fosforisisalduse tõusu võis täheldada ka mitmes teises uuritud karstijärvis. Seda saaks seletada redokstundliku fosfori vabanemisega pinnasest hapnikupuuduse tingimustes (Loeb et al, 2008; Dillon & Molot, 2024). Kui kuni aprilli alguseni oli klorofüll a sisaldus järvis olnud alla $1 \mu\text{g/l}$, siis aprilli teiseks pooleks oli see kasvanud väga halba seisundit tähistava $18 \mu\text{g/l}$ -ni. Põhjuseks võis olla fosfori kontsentratsiooni suurenemine, mis võimaldas järvis olevatel esmasproduktentidel aktiivselt fotosünteesima hakata. Kuna see toimus aga eeldatavasti looduslikel põhjustel, siis ei saa lugeda kalgiveelistele järvedele kohta väga suurt klorofüll a sisaldust inimtegevusest tingitud kõrvalekaldeks.

Orgaanilise aine sisaldus KHT_{Cr} järgi oli kõigil kordadel suur (Simm, 1975 järgi) ning kõige suurem aprilli teises pooles. See sobib kokku klorofüll a sisalduse suurenemisega aprillis. KHT_{Mn} järgi oli järvis orgaanilise aine sisaldus aga valdavalt keskmine ning vaid aprilli teises pooles napilt suur. Seetõttu oli oksüdeeritavusprotsent kõigil kordadel 30% ja 33% vahel, mis viitab, et järvis valdas autohtoonne ehk järve veefaasi ajal toodetud orgaaniline aine, mitte kuiva faasi ajal tekkinud või pinnaveevalgalalt sissetoodud huumusaineid sisaldav orgaaniline aine. Samas viitab kuiva faasi ajal akumulatsioon orgaanilise aine lagunemise/leostumise või järvisse kagu poolt sisse voolava oja mõjule kollase aine sisaldus, mis oli kõigil kordadel üle 7 mg/l . Selle põhjal saaks järvis liigitada tumedaveeliseks (Ott et al, 2021). Kuna detsembris, veebruaris ja märtsis oli klorofüll a sisaldus väike ehk orgaanilist ainet samal ajal ei toodetud, näib kollase aine sisaldus järvis toimunud paremini iseloomustavat, kui oksüdeeritavusprotsent. Kõigist uuritud järvikutest ületas vaid ühe Jalgsama järvis võetud proovi kollase aine sisaldus kahte väiksemat Alba järvis määratud kollase aine sisaldust. Detsembris ja aprillis Albast võetud proovidest määrati aga kõigist järvikutest suurimad kollase aine sisaldused (11 ja 12 mg/l). Selle põhjuseks võib ühelt poolt olla, et Alba järvis vabanes mingil põhjusel kõigist uuritud järvikutest enim huumusaineid ülejäänud pinnasest ja/või taimestikust või avaldas selle orgaanilise aine sisaldusele siiski olulist mõju kagu Jaanisoo poolt sissevoolav oja. Oja mõju selgitaks ka järvis suurt orgaanilise aine sisaldust juba talvel ja varakevadel, mil klorofüll a sisaldus oli veel alla määramispiiri ning jaheda vee tõttu ei saanud toimuda ka olulist biomassi lagunemist. Järvisisene produktsioon intensiivistus aga aprilliks. Ilmselt intensiivistus siis ka biomassi lagunemine/huumusainete vabanemine pinnasest, sest kollase aine sisaldus suurenes aprilliks märtsiga võrreldes.

Järviku veekvaliteedi andmete põhjal leidis kinnitust järviku uuringusse valimisel püstitatud eeldus, et selle toiteainekoormus on väike ning järvik ei kannata eutrofeerumise käes. Seega ei saa põhjaveekogum avaldada järviku seisundile ebasoodsat mõju.

Alba talu kaevust määrati vee väliparameetreid ja võeti veeproove kolmel korral. Proovid võeti kaevus oleva pumbaga ühendatud voolikust, lastes enne värskel veel voolikust läbi voolata. Peatükiks 4.1.1 on põhjendatud, miks ei esinda kaevus olev vesi tõenäoliselt järvikut toitvat põhjaveekihti. Kaevu veekvaliteedi andmed toetavad seda arvamust. Nimelt oli kaevu üldlämmastiku ja -fosforisisaldus kõigil kolmel korral oluliselt suurem kui järvikus (Tabel 4.1.2). Kalgiveeliste järvede piirväärtustega võrreldes oli detsembris ja veebruaris üldlämmastiku ja -fosforisisaldus väga halval ning aprillis üldlämmastiku sisaldus kesisel ja üldfosfori sisaldus halval tasemel. Kõigil kolmel korral oli peaaegu kogu fosfor kaevuvees fosfaadina. Kahel korral kolmest oli vähemalt 90% lämmastikust nitraadina ning kolmandal korral 78%. See viitab antropogeensele reostusele, mis tõenäoliselt on kohalikku päritolu. Kaevuvee orgaanilise aine ning eriti KHT_{Mn} järgi määratud orgaanilise aine sisaldus oli samuti teistest uuritud kaevudest suurem. Vee keskmine KHT_{Mn} oli ligi kaks korda suurem kui suuruselt järgmistes kaevudes. Põhjavee kohta ebatavaliselt suur KHT_{Mn} väärtus viitab pinnavee sissevoolule kaevu. Seda on oletatud kaevu ebatavaliste veetaseme kõikumiste põhjal ka peatükis 4.1.1. Pinnavee sissevool ei pea aga ilmingimata kaasa tooma kaevuvee toiteainesisalduse suurenemist. See saab toimuda siis, kui kaevu jõudev pinnavesi voolab üle või läbi toiteainerohke pinnase. Kaevu omanik ei osanud toiteainerohkuse allikaid välja pakkuda, kuna majapidamise septik asub kaevu suhtes allavoolu ehk kaevust Alba järviku pool. Et tegemist pole heitveega, viitab ka kaevuvee olematu või väga väike ammoniumlämmastiku sisaldus. Lokaalsele reostusele viitab ka asjaolu, et kaevuvee toiteainete sisaldus oli kõige väiksem aprilli teises pooles, paar päeva pärast seda, kui kaevust oli suur kogus vett välja pumbatud. **Seega on üldjäreldus, et Alba talu kaev ei sobi põhjavee poolt Alba järvikule avalduva mõju seiramiseks.**

Tabel 4.1.1. Alba järvikust ja Alba talu kaevust välitingimustes mõõdetud näitajad

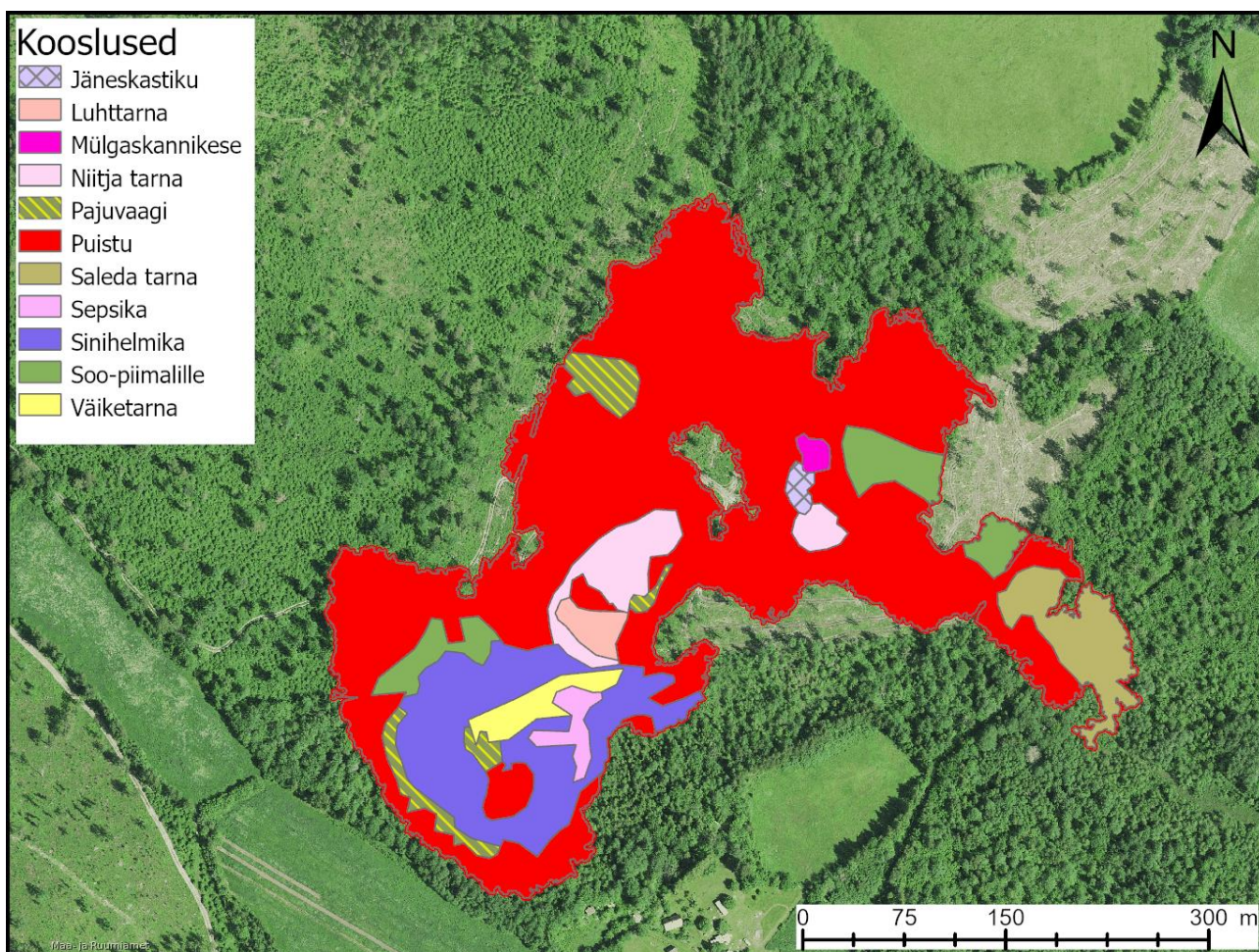
Objekt	Kuupäev	pH	ORP (mV)	SEC (µS/cm)	TDS (mg/l)	Temp (°C)	O ₂ (mg/l)	O ₂ %	Hägusus (NTU)
Järvik	04.12.2024	7,4	141	481	313	4,0			
Järvik	18.12.2024	7,2	17	729	474	2,7			
Järvik	09.02.2025	7,2	9	656	426	2,2	0,7	1	
Järvik	24.03.2025	7,5	116	612	398	6,6	2,9	21	
Järvik	05.04.2025	7,7	145	594	386	8,9			3,2
Järvik	22.04.2025	7,5	235	513	333	10,6	3,0	27	
Kaev	18.12.2024	7,2	213	652	424	7,5			
Kaev	09.02.2025	7,6	225	422	274	3,2			
Kaev	22.04.2025	7,6	274	571	371	5,0			

Tabel 4.1.2. Alba järvikust ja Alba talu kaevust võetud proovidest laboris määratud näitajad. Sinine – väga hea, roheline – hea, kollane – kesine, oranž – halb, punane – väga halb seisund

Objekt	Kuupäev	Nüld (mg/l)	NH ₄ ⁻ -N (mg/l)	NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	Püld (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)	TN:TP	KHT _{Cr} (mgO/l)	KHT _{Mn} (mgO/l)	Y (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Chl-a (µg/l)
Järvik	04.12.2024												
Järvik	18.12.2024	0,9	<0,008	0,08	<0,005	0,011	<0,005	82	36	12	11	421	<1
Järvik	09.02.2025	1,9	0,041	0,12	0,005	0,018	<0,005	106	34	11	8,2	311	<1
Järvik	24.03.2025	0,7	<0,008	<0,01	<0,005	0,012	<0,005	58	38	12	8,1	384	<1
Järvik	05.04.2025												0,3
Järvik	22.04.2025	1,2	0,074	<0,01	<0,005	0,029	0,017	41	48	16	12	317	18
Kaev	18.12.2024	11	<0,008	9,9	<0,005	0,095	0,091		17	6,2		366	
Kaev	09.02.2025	6,4	0,016	5,0	0,005	0,180	0,179		20	6,5		281	
Kaev	22.04.2025	3,2	<0,008	3,1	<0,005	0,043	0,043		20	4,1		354	

4.1.3. Taimestik

Alba paigutub koos Kiriklaga sinihelmikakoosluste rikaste, ühtlasi saleda tarna koosluste vaeste karstijärvikute hulka. Enamiku järviku üleujutatavast alast hõlmab küll puistu, kuid suurema lageala katab sinihelmika kooslus, mis ei ole väga dominantne (Joonis 4.1.8). Peale sellega põimuva sepsika ja väiketarnade koosluse võiks eristada laialehise villpea ja ahtalehise villpea variante. Keskel ja ida pool on ka soostumisega seotud (suur)tarnastike laike (niitja tarna, luhttarna ja sissevoolu piirkonnas ka saleda tarna kooslust). Alal on esindatud nii kannikeste kui soo-piimalille karstunud niidule eripärased kooslused, maranate kooslust on tagasihoidlikult teiste vahel ja teiste allvormidena (kaardistamata). Soo-piimalille kooslus esineb uuritustest ainult Albal.



Joonis 4.1.8. Alba järviku taimekooslused.

4.1.4. Suurselgrootud

Proovikoht oli veetaseme anduri lähisel (Joonis 4.1.1). Alba järvik oli uuritud veekogudest kõige taksonirikkam. Ainsana oli seal nii palju taksoneid (24), et see oli formaalselt isegi heal tasemel. Arvukamad neist olid pistesääsklaste vastsed (tüüpiline ajutiste vete tunnus), väikesed karbid (perekondadest herneskarp (*Pisidium*) ja keraskarp (*Sphaerium*)) ning vesikakand (*Asellus aquaticus*), kõiki üle 10%. Tulemus oli üllatav, kuna välisilmelt ei eristunud see järvik teistest kuidagi, pigem oli madalam ja väiksem. Samas, ükski nähtud liik Eestis haruldane ei ole. Ajutiste vete tavapärased asukad on neist triip-ahaskaan (*Erpobdella lineata*), loigutigu (*Aplexa hypnorum*) ja ehmesiivaline lombipurukas (*Trichostegia minor*). Seisund alaliste karedaveeliste järvede kriteeriumite järgi oli hea (Tabel 4.1.3).

Tabel 4.1.3. Alba järvi suurselgrootute kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a kevadel. T – üldine taksonirikkus, H' – Shannoni erisus, ASPT – taksoni keskmine tundlikkus, EPT – tundlike taksonite rikkus, MMQ – seisund, Chir% - surusääsklaste vastsete protsent taksonite üldarvust

Kuupäev	T	H'	ASPT	EPT	suse_m (MMQ)	MESH	Chir%
05.04.2025	24	2,60	4,08	4	15	1,06	0,2

4.1.5. Fütoplankton

Proovi võeti veetaseme anduri lähistelt (Joonis 4.1.1). Alba järvik oli väga liigivaene. Arvukas oli pikoplankton ja mõned sulgränivetikad. Fütoplanktonist oli veidi neelvetikaid ja mõni üksik isend silmviburvetikatest ning dinofüütidest. Seisund alaliste järvede kriteeriumite järgi oli kesine (Tabel 4.1.4).

Tabel 4.1.4. Alba järvi fütoplanktoni kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud. Chl a – klorofüll a sisaldus µg/l; J – ühtluse indeks; FKI – fütoplanktoni koondindeks; FLA – liikide arv loendusproovis ja võrkude proovis; FBM – biomass g/m³; CY, BAC, CHL, CONJ, CHR, CRY, DINO, EU – vastavalt sini-, räni-, rohe-, ikkes-, kold-, neel-, vaguvibur-, silmviburvetikate biomass g/m³

Kuupäev	Chl-a	J	FKI	FLA	FBM	CY	BAC	CHL	CONJ	CHR	CRY	DINO	EU	Dominandid	Kooslus
05.04.25	0,3	0,3	5	5+2	0,89	0,706	0	0	0	0	0,14	0,05	0	Pikoplankton (määramata sinivetikas).	Kesine

4.1.6. Zooplankton

Järvikust sai proovi võtta ainult märtsis, sest aprilli proovivõtukorraks oli järvi põhja jäänud vähem kui 20 cm sügavune lomp. Järvi zooplanktoni arvukus oli suur, kuid kuna domineerisid aerjalgsete naupliusvastset, siis biomass jäi väikeseks (Tabel 4.1.5.). Zooplanktoni kooslus oli liigivaene. Aerjalgsetest esines *Acanthocyclops robustus* ja keriloomadest *Euchlanis dilatate*. Leiti ka üksikuid rullikuliste (Harpacticoida) esindajaid.

Tabel 4.1.5. Alba järvi metazooplanktoni rühmade arvukus (A) ja biomass (BM) ning peamiste rühmade osa koguarvukusest ja biomassist

	Kuupäev	Kokku	Cladocera	Copepoda	Rotatoria	Clad %	Cop %	Rot %
A, ind m ⁻³	24.03.2025	163 200	0	161 400	1800	0,0	98,9	1,1
BM, mg m ⁻³	24.03.2025	447	0	441	5	0,0	98,8	1,2

4.1.7. Fütobentos

Alba karstijärvi fütobentose seisund (fübe_m) oli hea (Tabel 4.1.5). Ränivetikate spetsiifiline reostustundlikkuse ja troofsuse indeksid näitasid väga head, kuid Watanabe indeks kesist seisundit. Kokku määrati 16 taksonit bentiilisi ränivetikaid. Domineeris *Gomphonema acuminatum* var. *scardicum* (39,4%). Arvukalt esinesid *Eunotia bilunaris* (20,8%) ja *Gomphonema parvulum* (15,7%). *Eunotia bilunaris* on oligotroofsete vete tunnusliik, kuid *Gomphonema parvulum* seevastu tugevalt eutrofeerunud vete tunnusliik. *Gomphonema acuminatum* var. *scardicum* on omane mesotroofsetele vetele.

Tabel 4.1.5. Alba karstijärvi fütobentose kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a. kevadel. IPS – spetsiifiline reostustundlikkuse indeks, WAT – Watanabe indeks, TDI – troofsusindeks

Aeg	Substraat	Taksonite arv	fübe indeksid			fübe_m
			IPS	WAT	100-TDI	
22.04.2025	makrofüüdid	16	16	12,1	57,1	hea

4.1.8. Kokkuvõte

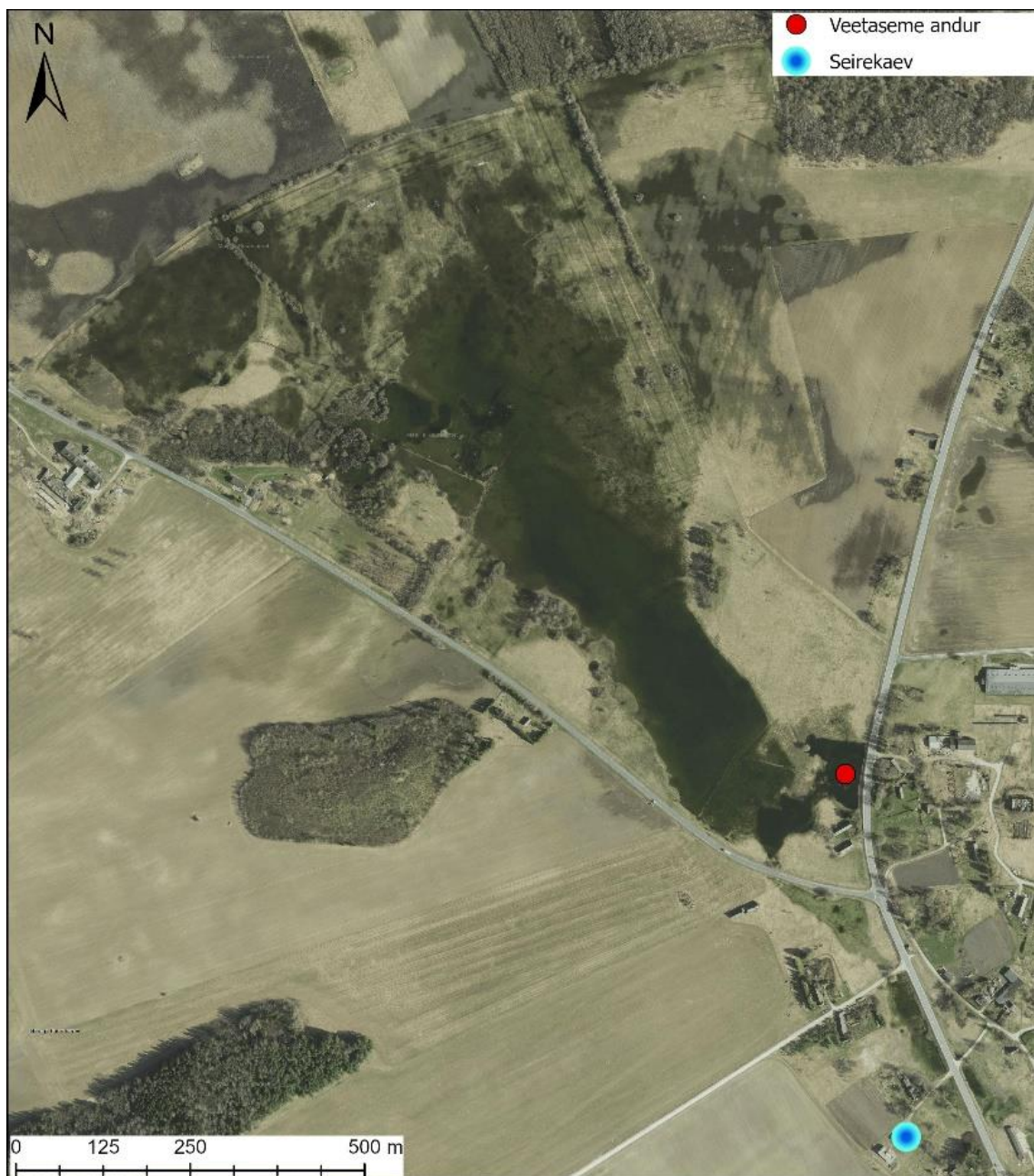
Alba järvik oli uuritustest kõige madalam ning selle veetase uuringuaastal mõõdetust oluliselt kõrgemale tõusta ei saagi, kuna järvikul tekib pinnavee väljavool. Järviku toiteala jääb sellest ida ja kagu poole. Kirikla järviku kõrval oli tegemist ühe vähetoiteliseima järvikuga uuritustest. Vesi oli järvikus aga uuritustest kõige kollasem. Selle põhjuseid tuleks täpsemalt uurida, kuid vähemalt osaliselt saab seda selgitada järvikusse sissevoolava oja mõjuga. Kuna oja algab madalsoost ja järviku vesi on suure vesinikkarbonaadi sisaldusega, siis liigitub Alba järvik kindlalt põhjaveest toituvate karstijärvikute hulka, kuid vahetult järvikusse avanavat põhjavett on seal tõenäoliselt vähem kui näiteks Kirikla järvikus, mille täitumisel on samuti oluline roll põhjaveetoitelisel ojal.

Järviku elustikurühmade näitajad on üldjoontest kooskõlas järviku vähetoitelisusega. Suurselgrootute taksoneid oli järvikus uuritustest kõige rohkem ning tegemist oli ühega kahest järvikust, mis sai isegi alaliste kalgiveeliste järvede kriteeriumite põhjal hea suurselgrootute seisundihinnangu (väga head seisundihinnangut ei saanud ükski järvik). Kokkuvõttes head seisundit näitasid ka fütobentose kvaliteedielemendid. Taimestiku poolest levis järvikus Pandivere järvikutega võrreldes ulatuslikumal alal sinihelmikakooslus, mis võib esialgsel hinnangul olla toiteainevaesuse tunnuseks. Järviku zooplanktonikooslus oli küll liigivaene, kuid selle põhjuseks võis pigem olla asjaolu, et järvikust ei olnud võimalik võtta proovi soojemal perioodil. Edaspidi tuleks järviku zooplanktoni kooslust uurida ka tavapärasema veerežiimiga aastal, kui järvikus on vesi sees veel hiliskevadel. Ka järviku fütoplankton oli liigivaene, kuid see näib olevat karstijärvikute üldine tunnus.

Seega saab järeldada, et **inimmõju järviku veekvaliteedile ja seetõttu ka selle elukooslustele on väike ning see sobib**, koos Kirikla järvikuga, **vähese inimmõjuga karstijärvikute etaloniks vähemalt Lääne-Eestis**. Kuna Pandiveres ühtegi vähese inimmõjuga järvikut piisava põhjalikkusega uurida ei õnnestunud, ei ole aga kindel, kas Albat saaks kasutada ka sealse piirkonna karstijärvikute hea seisundi etalonina.

4.2. Assamalla karstiluht

Assamalla karstiluht asub Tapa vallas Assamalla külas. Maa- ja Ruumiameti ortofotodest on järvikut kõige veerohkemana kujutatud 06.05.2022 fotol (Joonis 4.2.1). Järviku väljanägemist 25.03.2025 on kujutatud joonisel 4.2.2.



Joonis 4.2.1. Assamalla karstiluht Maa-ja Ruumiameti 06.05.2022 ortofotol ning veetaseme anduri ja seirekaevu asukoht.



Joonis 4.2.2. Assamalla karstiluht 25.03.2025. Pilt: Marko Vainu.

4.2.1. Hüdroloogia

Veetaseme andur paigaldati karstiluha kaguosas olevasse kurisusse (Joonis 4.2.1) 12.12.2024. Kurisu oli sellel ajal kuiv. Samal päeval paigaldati põhjaveetaseme andur karstiluhast (edaspidi *järvikust*) 400 m kagu poole, Assamalla küla Kalevipoja tee 6 kinnistul olevasse 6,2 m sügavusse salvkaevu. Anduri paigaldamise ajal oli kaevus ca 2,1 m vett. Veetase kaevus oli enam-vähem võrdne kurisu põhjaga järvikus oleva anduri asukohas. Vainu et al (2019) töös esitatud kontseptuaalse mudeli põhjal asub järviku toiteala sellest kagu pool, mistõttu otsiti sobivat kaevu just Assamalla külast. Kuigi külas peaks EELISE puurkaevude registri põhjal asuma leitud salvkaevust põhja pool ka paar sobiva sügavusega puurkaevu, ei saadud nende omanikega ühendust.

Kuni 19. detsembrini langes veetase kaevus kuni 30 cm ning hakkas tõusma 20. detsembri öösel (Joonis 4.2.3). 21. detsembri hommikul kella 9:00-ks oli veetase kaevus tõusnud järvikus olevast andurist kõrgemale ning tõus jätkus. Järvikus olev andur jäi vee alla kolm tundi hiljem. Seega hakkas järvik veega täituma vaid mõned tunnid pärast seda, kui põhjaveetaseme järvikust kagu pool ületas järviku põhja kõrguse. Veetaseme tõusule eelnenud 19. detsembril oli õhutemperatuur plussis ning Väike-Maarja ilmajaamas mõõdeti 5 mm sademeid (Joonis 4.1.3). Päeva jooksul vähenes lumikatte paksus ilmajaamas 12 cm võrra. Seega käivitasid vihm ja rohke sulavesi põhjaveetaseme tõusu ja järviku täitumise väga lühikese viibeajaga.

Vahetult pärast veega täitumise algust mõõtis loger ülisuuri elektrijuhtivusi, mis ulatusid mõneks tunniks üle 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Joonis 4.2.4). Paari päevaga langes see ca 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ni ning aeglasemas tempos aasta lõpuks ca 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ni. Sellel tasemel püsis elektrijuhtivus, kõikides vaid 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ piires, kuni aprilli alguseni. Järviku täitumisaegse elektrijuhtivuse piigi saaks kanda kergkruusaploki küljest lahustunud ühendite arvele, aga sedavõd suurt elektrijuhtivust ei saavutatud uue kergkruusaploki leotamise vannikatsel (vt ptk 2) ca 50 l vees isegi üheksa päevaga. Seega võib teha ettevaatliku järelduse, et esmane järvikusse tunginud vesi oli tõepoolest palju suurema elektrijuhtivusega kui hilisem. Selle kohta, millistest ühenditest karstiõõnsustesse tunginud vesi need puhtaks pesi ja elektrijuhtivuse ajutiselt suureks viis, andmed puuduvad. Seirekaevus olev andur elektrijuhtivust ei mõõtnud, mistõttu pole teada, kas selline tõus toimus ka seal. Üksikmõõtmiste põhjal püsis kaevuvee elektrijuhtivus kogu uuringuperioodi sarnasel tasemel järviku stabiliseerimisjärgse elektrijuhtivusega, ca 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

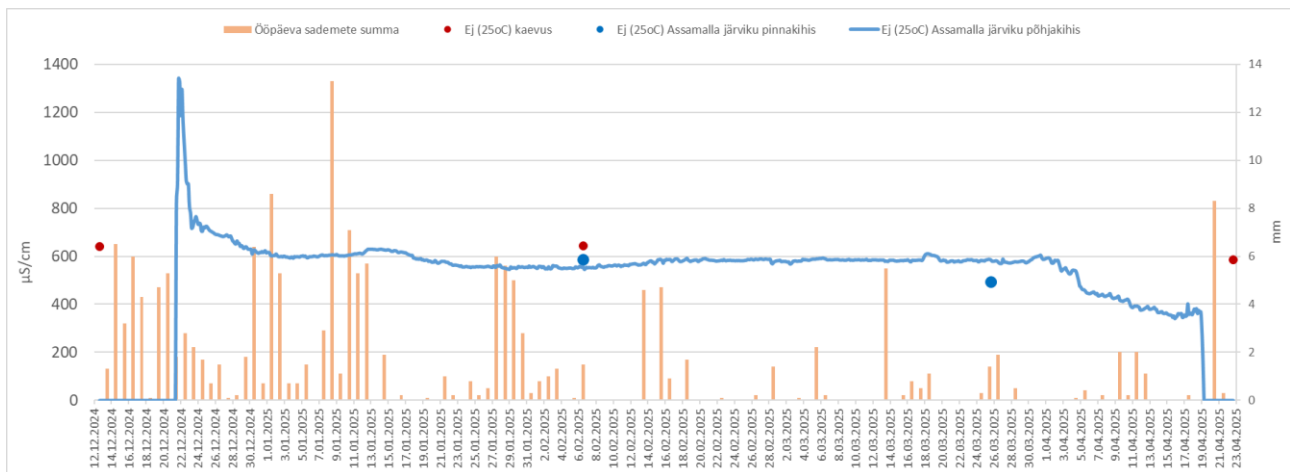
Nii põhjavee- kui järviku veetaseme tõus kestis samal viisil, et põhjaveetaseme kaevus oli mõned cm järviku veetasemest ees, kuni 24. detsembrini. Järviku veetaseme kiire tõus jätkus: kuue päevaga 21. detsembrist

kuni 27. detsembrini tõusis järviku veetase meetri võrra. Põhjaveetaseme tõus 24. detsembrist alates aga aeglustus ning jõudis platoonile 30. detsembril. Jõuludele eelnenud ajal oli sademeid vähe ning sulavee mõju põhjaveetasemele hakkas nähtavasti vähenema. 31. detsembrist alates langes temperatuur miinusesse ning põhjavee toitumine vähenes veelgi. Seega oli põhjaveetaseme langusesse pöördumine meteoroloogiliste tingimustega kooskõlas.

Veetaseme tõusu pidurdumine kaevus, millele ei järgnenud kohe järviku veetaseme tõusu pidurdumist tõi kaasa olukorra, kus kaevu veetase oli alates 24. detsembrist järviku veetasemest madalam ning kuni aasta lõpuni oli veetasemete erinevus kuni 22 cm. Järviku veetaseme tõus sisuliselt peatus 27. detsembril kõrgusel 113,23 m ü.m.p ning järgneva viie päeva jooksul tõusis see veel vaid viis cm. Tõenäoliselt ei asu anduriga kaev peamiselt põhjavee Assamalla järvikusse voolamise suunal, vaid see jääb kaevust kirde ehk Assamalla külas asuvate põllumajandusettevõtete poole. See selgitaks, kuidas sai järviku veetase tõusta kaevu veetasemega võrreldes ennaktempos. Ilmselt püsis põhjaveetaseme kaevust kirde pool järviku veetasemest kõrgemal vähemalt 1. jaanuarini, mil veetaseme tõus ka järvikus lõppes.



Joonis 4.2.3. Veetaseme muutus Assamalla karstiluhl ja Kalevipoja tee 6 kaevus; ööpäeva maksimaalne õhutemperatuur ja lumikatte paksus Väike-Maarja ilmajaamas (andmed, v.a veetasemed: Keskkonnaagentuur).



Joonis 4.2.4. Elektrijuhtivus (25°C) Assamalla järviku põhjakihis automaatanduri ning pinnakihi ja Kalevipoja tee 6 kaevus üksikmõõtmiste põhjal; ööpäeva sademete summa Väike-Maarja ilmajaamas (andmed, v.a elektrijuhtivus: Keskkonnaagentuur).

Külmade ilmade tõttu hakkas põhjaveetase kaevus alates 3. jaanuarist langema ning langes kuni 13. jaanuarini ca 30 cm. Ka järviku veetase langes aasta algusest kuni 14. jaanuarini kümmekond cm. Seega langes põhjaveetase sellel perioodil järviku veetasemest madalamale ka ilmselt kaevust kirde pool. Suurim veetasemete erinevus kaevu ja järviku vahel oli 13. jaanuaril, kui see ulatus üle 30 cm. Pärast päeva kestnud suhtelist stabiilsust hakkas põhjaveetase alates 14. jaanuari õhtust kiiresti tõusma. Täpselt samal ajal hakkas tõusma ka järviku veetase, vaatamata asjaolule, et kaevu veetase oli sellel hetkel endiselt üle 30 cm järviku veetasemest madalamal ning ilmselt pidi põhjaveetase olema järviku veetasemest madalamal ka kaevust kirde pool. Loogiline põhjaveest sõltuv veetaseme muutuste tsükkel karstijärvikutes on selline, kus järviku veetaseme muutused on põhjaveetaseme muutustest toitealal järviku lähedal pidevalt n.ö maas. Veetasemete tõusu algpõhjus oli 14. jaanuari sulailm, mille käigus hakkas vahepeal ilmajaamas 30 cm paksuseks kasvanud lumekiht kiirelt kahanema. Järviku veetaseme tõusu saaks seega selgitada sulavee otse sellese jõudmisega. Teatavat toetust sellele hüpoteesile pakuvad elektrijuhtivuse andmed, kuna alates 15. jaanuarist hakkas see järvikus aeglaselt langema. Languse ulatus ei viidanud küll ohtra lahja vee jõudmisele järvikusse, kuid kuna andur asus selleks ajaks enam kui meetri sügavusel kurisu põhjas, ei pruukinud sulavee tekitatud lahjendav efekt andurit ümbritseva põhjakihini jõuda.

Kaevu ja järviku veetasemete erinevus hakkas aga kiiresti vähenema ning 18. jaanuaril tõusis see järviku veetasemest kõrgemale. Järviku veetaseme tõus sellest küll kiiremaks ei muutunud. Põhjuseks ilmselt asjaolu, et lauge ja laiuv nõo tõttu (Joonis 4.2.6) on järviku veetaseme tõusmiseks iga järgmise cm võrra vaja aina rohkem vett.

Põhjaveetase tõusis kuni 22. jaanuarini, langes seejärel 26. jaanuarini kümmekond cm ning hakkas seejärel taas kiiresti tõusma, saavutades mõõtmisperioodi maksimumi, 113,99 m ü.m.p, 1. veebruaril. Järviku veetaseme tõusus põhjavees täheldatud lühiajaline langus ei kajastu. Küll püsis järviku veetase 20. jaanuarist 26. jaanuarini sentimeetritki muutumata kõrgusel 113,35 m ü.m.p. Põhjaveetaseme lühiajaline langus oli põhjustatud ilmselt vahepealsetest külmematest ilmadest, sest 21. jaanuaril oli õhutemperatuur ainult miinuses ning ka järgmiste päevade maksimum oli vaid kraadi võrra plussis. Ilm läks jälle soojemaks alates 25. jaanuarist ning ära sulas ka viimane alles jäänud lumi. Lisaks sadas 27. jaanuarist 30. jaanuarini 19 mm vihma. See viis põhjaveetaseme taas kiirele tõusule.

Järviku veetase tipnes 5.–7. veebruaril saavutatud veetasemega 113,50 m ü.m.p. Veeproovi võtmise ajal, 6. veebruaril, järvikul jääd polnud. Järviku veetaseme tipp saabus mõned päevad hiljem kui põhjaveetaseme tipp kaevus. Kuna maksimumhetkel oli põhjaveetase järviku veetasemest 57 cm kõrgemal, siis jätkus järvikus ilmselt neeldumist ületav põhjavee sissevool ka mõned päevad pärast seda, kui põhjaveetaseme tipp oli juba möödas. Põhjaveetase pööras kiiresti langusesse alates 2. veebruarist ning langes ühtlases tempos kuni 5. märtsini. 2. veebruar oli ka esimene päev pärast 21. jaanuari, kui õhutemperatuur ilmajaamas plusspoolele

ei tõusnud. Temperatuurid jäid miinusesse kuni 23. veebruarini. Seega hakkas põhjaveetase sellel perioodil langema, kuna ei saanud külmunud maapinna tõttu toidet juurde.

Järviku veetase hakkas langema alates 8. veebruarist sarnase tempoga, nagu oli tõusnud. Järelikult muutus sellest ajast alates põhjavee positiivne gradient järvikust ülesvoolu sedavõrd väikeseks, et põhjavee sissevoolu hulk järvikusse ei suutnud enam ületada vee väljavoolu hulka järvikust põhjavette. Kaevus langes põhjaveetase järviku veetasemest madalamale 16. veebruaril.

Järviku veetase saavutas jaanuari keskpaiga taseme (30 cm kõrgeimast veetasemest madalamal) uuesti 1. märtsiks. Sarnaselt põhjaveetaseme langusele, jätkust ka järviku veetaseme langus kuni 5. märtsini. Järgnes kiire, järvikus 33 tunniga 14 cm suurune ja põhjavees 39 tunniga 20 cm suurune veetaseme tõus. Kusjuures järvikus algas veetaseme tõus ca kuus tundi varem kui põhjavees. Põhjuseid, miks veetaseme sedavõrd kiire tõus just 5. märtsil toimus, Väike-Maarja ilmajaama andmetest selgelt välja ei tule. Sellel päeval sadas küll 2 mm, aga sedavõrd väike kogus üksi ei saa olla kiire, paarikümne cm suuruse veetaseme tõusu põhjuseks. Lumekihi õhenemine oli alanud juba 16. veebruarist, kuid vähemalt esialgu ilmselt tihenemise ja sublimatsiooni tõttu, sest ööpäeva maksimaalsed temperatuurid püsisid miinuses. Õhutemperatuur hakkas plusspoolele jõudma alates 23. veebruarist ning lumekiht oli jõudnud 5. märtsi hommikuks kahaneda 6 cm-ni. Selle päeva jooksul sulas aga ilmajaamas vihma toel täielikult. Võimalik, et mõõdetud kiire veetaseme tõusu järvikus ja kaevus tekitas vihm koos viimase lume sulamisest tekkinud veega. Kui jaanuari keskel võis sulaperioodi mõju järviku vee elektrijuhtivusele kergelt aimata, siis 5.–6. märtsi sündmus ei avaldunud elektrijuhtivuse andmetes mingilgi määral.

Järviku veetase oli seejärel üle nädala stabiilne ning pööras langusesse uuesti 14. märtsil. Ka põhjaveetase oli mõned päevad stabiilne, kuid hakkas langema enne järviku veetaseme langust, 11. märtsil. Edasi langesid nii järviku kui ka põhjaveetase ühtlases tempos, järviku veetase küll põhjaveetasemest veidi kiiremini, mistõttu järviku ja põhjaveetaseme erinevus järk-järgult vähenes. Järvikus olnud andur jäi kuivale 19. aprillil. Kaevus oli andur sees kuni 22. aprillini ning nende kolme päeva jooksul põhjaveetaseme langus jätkus. Alates veega täitumise algusest 21. detsembril kuni kuivamiseni 19. aprillil kestis veeperiood anduri asukohas 119 päeva.

Uuringu tulemuste põhjal **saadi toetust** Vainu et al (2019) töös esitatud **Assamalla karstiluha kontseptuaalses mudelis olevale üldisele voolusuunale, et järvikusse voolab põhjavesi sisse kagukaarest.** Uue teadmisenälgusena selgus, et konkreetsemalt lõunakagust voolab vesi järvikusse selle täitumise ajal vaid teatud perioodidel. Uuringuaastal panustas nimetatud suund järviku täitumisse vee sissevoolu alguses ning kõige kõrgema veetaseme ajal. Peamine järviku toide tuleb ilmselt kagust ja idakagust, kuid see vajaks edasiste mõõtmistega kinnitamist. Uuringu tulemused viitavad, et perioodidel, kui nendes muudes suundades tõuseb põhjaveetase kiiremini kui lõunakagus, võib järviku vesi hakata lõunakagu suunas põhjaveekihti valguma ning kui ka lõunakagus tõuseb põhjaveetase uuesti järviku veetasemest kõrgemale, pöörduv põhjavee voolusuund seal taas järviku poole. Järviku tühjenemisel vastupidine veevool järvikust põhjavette lõunakagu suunas aga taastub. **Seega oleks Assamalla järviku sobivama põhjavee seirekaevu asukoht Kalevipoja tee 6 kaevust kirde pool.**

Järviku ulatuse, sügavusjaotuse ja mahu väljaselgitamiseks kasutati Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku ülelennu LiDAR-andmeid (ülelennu kuupäev 13.06.2020). Järvik oli toona enamjaolt kuivanud, vett oli loodeosas asuvates süvendatud lohkudes (Joonis 4.2.5). Samas oli järviku põhi ülelennu ajaks juba taimestunud. **Järviku kaldajoon, sügavusjaotus ja maht modelleeriti lähtudes kõrgusjoonest 113,50 m ü.m.p. Sellele kõrgusjoonele vastava polügooni pindala ilma suuremate saarteta on 19,5 ha.** Varem on järviku veepiiri asukohta eeldatava kõrgeima veetaseme korral tuvastatud 2022. aasta kevadel (Vainu et al, 2022). Toona oli järviku ulatus oluliselt suurem, kui 2025. aasta suurima ulatuse ajal ning kõrgeimaks veetasemeks määrati toona kohapeal fikseeritud veepiiri asukoha põhjal 113,7 m ü.m.p. Sellise veetaseme korral saadi järviku pindalaks 49,7 ha (Joonis 4.2.6).

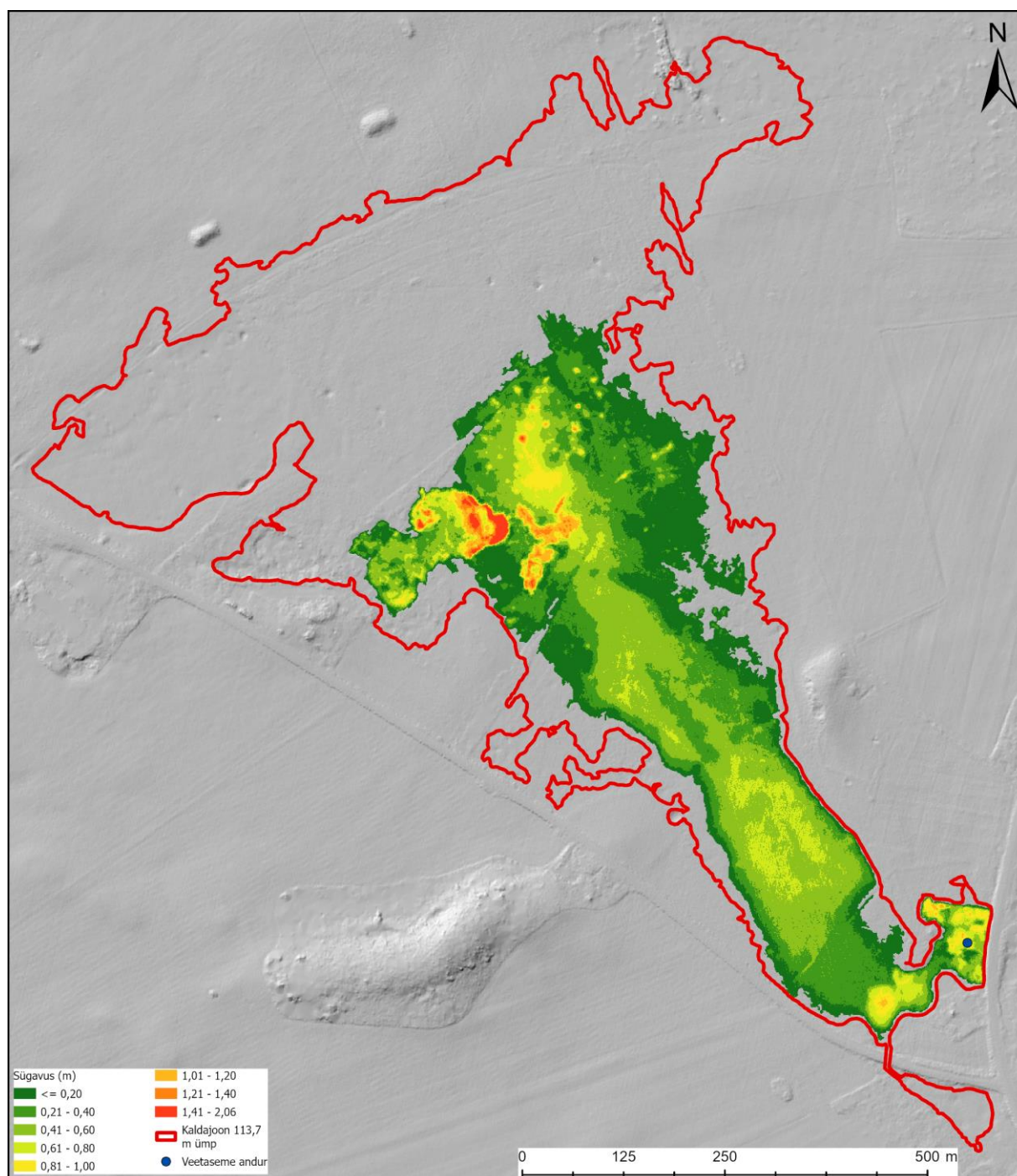


Joonis 4.2.5. Assamalla karstijärviku veepiir tasemel 113,5 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmodelile.

Veetaseme 113,50 m ü.m.p põhjal modelleeritud 1x1 m resolutsiooniga sügavusjaotuste kaardil on järvi suurimaks sügavuseks ca 2,1 m ning sügavaimad alad on 2025. aasta suurima ulatuse piiri arvestades järvi loodeosas olevad süvendatud lohud (Joonis 4.2.6). Kuna osades neist oli LiDAR-ülestõusmisajal vesi sees, siis on nende tegelik sügavus tõenäoliselt veelgi suurem. **Veetaseme anduri asukohas oli modelleeritud veesügavus maksimaalse täitumise ajal ca 1,35 m, samal ajal oli veetaseme anduri andmetel veesügavus seal ca 1,45 cm.** Seega ei saanud ülestõusmisajal järvi põhjas kasvanud rohttaimestik kõrgusmodelit moonutada rohkem kui kümnekond cm.

Sügavusandmetest on näha, et Assamalla luha kaguosas asuvad kaks sügavat lohku ning teine sügavamate lohude ala on loodeosas. Enamik luha-alast on nendest lohudest kõrgemal ning lauge ja tasane. Seetõttu

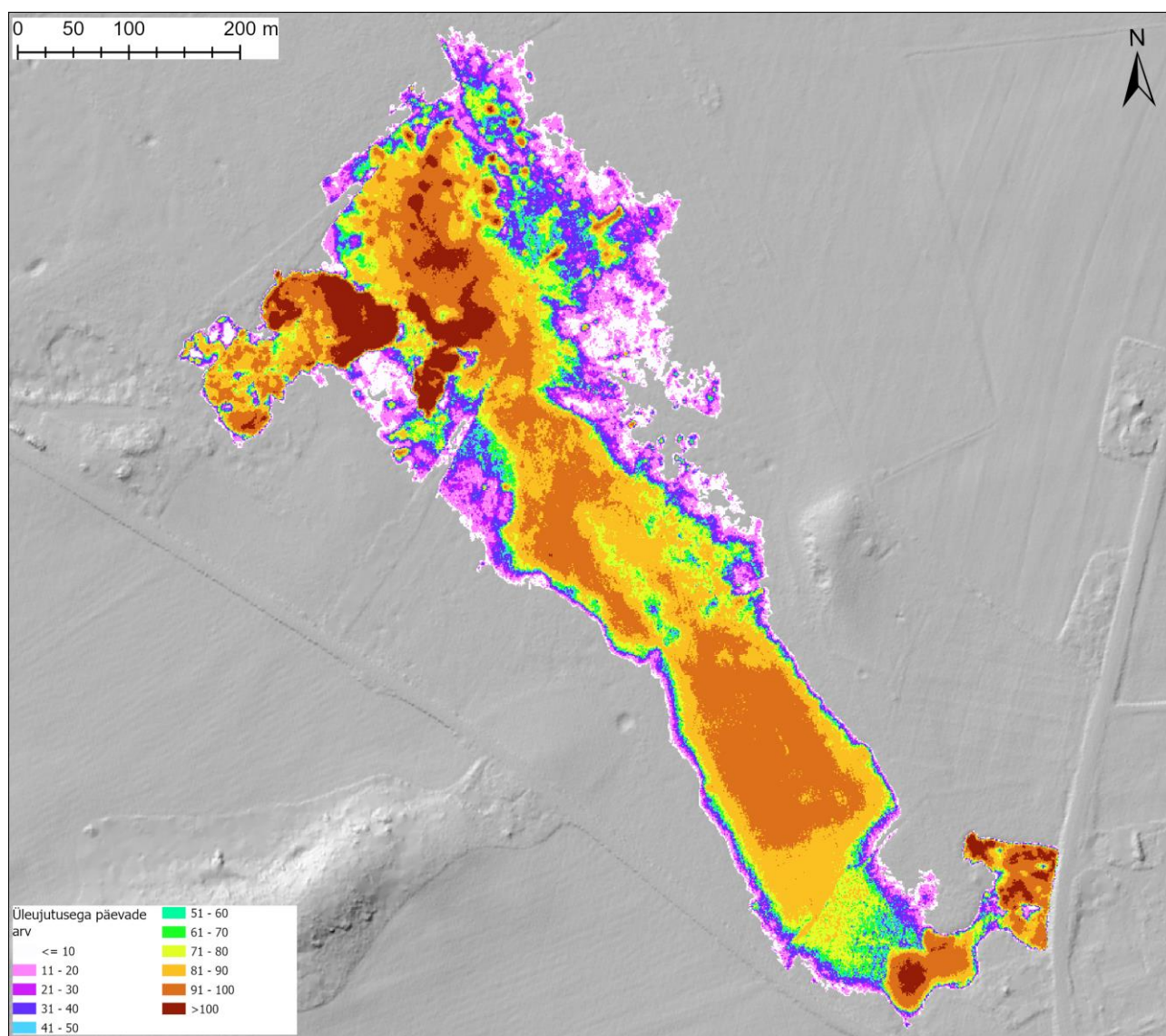
oli suuremal osal luhast maksimaalse täitumise ajal, veebruari alguses, vett ca pool meetrit. Järviku modelleeritud maht maksimaalse veetaseme ajal oli ca 70 000 m³ ning keskmine sügavus 0,4 m.



Joonis 4.2.6. Assamalla karstijärviku sügavus veetaseme kõrgusel 113,50 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmodelile.

Modelleeritud üleujutuse kestuse andmete põhjal olid loogiliselt kõige pikemalt üleujutatud järviku sügavaimad osad, kus vesi püsis kolm kuni neli kuud (Joonis 4.2.7), loodeosa süvendatud lohudes tõenäoliselt kauemgi. Järviku ulatuslikus keskosas püsis vesi ca kolm kuud. Ühtse veevälja moodustas järvik paari kuu jooksul aasta alguses, sest kaguosas asuvat kahte sügavamalt ala lahutab kõrgem künnis ning neist edelapoolsemat järviku keskosast omakorda sadakonna m laiune kõrgem ala. See tähendab, et uuringuaastale sarnaste, pigem veevaeste tingimuste korral, on ühest veetaseme andurist järviku üleujutuse kestuse seiramiseks vähe. Perioodidel, kui anduri asukohaks olnud lohk polnud ühtse veevälja kaudu ülejäänud järvikuga ühendatud, võis veetase ülejäänud järvikus anduri asukohast erineda.

2019. aastal koostatud kontseptuaalse mudeli põhjal (Vainu et al 2019) toimub põhjavee sissevool järvikusse eelkõige kagusuunast. See voolusuund sai kinnitust ka käesolevas uuringus. Seega, kui esimesena hakkab põhjavesi sisse voolama ainult anduri asukohaks olnud lohku, siis võib ülejäänud järviku täitumine toimuda sellest lohust väljavoolava vee kaudu. Jooniselt 4.2.3. on näha, et kiire veetaseme tõus lõppes kõrgusel ca 113,2 m ü.m.p ning tühjenemisel algas kiire veetaseme langus samal kõrgusel. Tegemist on kõrgusega, mil anduri asukohaks olev lohk saab vett täis ning veetaseme edasisel tõusmisel hakkab vesi voolama edelapoolsesse lohku ja samal ajal ka edasi ülejäänud järvikusse. Seetõttu pole sama suure sissevoolava vooluhulga korral sama kiire veetaseme tõus enam võimalik. Põhjaveetaseme langemisel ja järviku tühjenemisel kaotavad ülejäänud alad ühenduse põhjaveetasemega otseselt seotud aladega ning kehvema veejuhtivusega pinnase korral jääb neis olev vesi n.ö põhjaveetaseme kohale rippuma. Seda nähtust oli võimalik uuringu käigus jälgida, kui anduri asukohas olev madalamal asuv lohk oli aprilli teises pooles kuiv, aga järviku kõrgemal asuvas keskosas oli veel vesi sees (Joonis 4.2.8). Selgitamaks välja, kas järviku täitumine toimub ainult kaguosas olevate lohku kaudu või samal ajal valgub vett välja ka loodeosas olevatest lohkudest, oleks vajalik jälgida ühe täitumistsükli jooksul järviku veetaseme mitme veetaseme logeriga.



Joonis 4.2.7. Päevade arv vahemikus 12.12.2024 kuni 19.04.2025, mil vastav ala Assamalla karstijärvikus oli vee all Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudeli ja veetaseme anduri mõõtmistulemuste põhjal.



Joonis 4.2.8. Assamalla luha kaguosas olev lohk koos veetaseme anduriga (vasakul) 19. aprillil 2025; luha keskosas säilinud põhjaveetaseme kohal rippuv veesilm samal päeval (paremal). (Pildid: Marko Vainu).

4.2.2. Hüdrokeemia

Assamalla järvikus mõõdeti vee väliparameetreid kolmel korral ja võeti veeproove kahel korral. Veeproovid võeti ja väliparameetrid mõõdeti veebruaris ja märtsis veetaseme anduri asukohast (Joonis 4.2.1) ca 140 m edela pool. Aprilli alguses mõõdeti väliparameetrid anduri asukohast ca 290 m loode pool. Selleks hetkeks oli sealne veeala anduri asukohas olevas lohus asuvast veealast eraldunud, kuid oli sellest pindalaliselt suurem. Aprilli teises pooles polnud võimalik järvikust veeproove võtta ega väliparameetreid mõõta, kuna anduri asukohaks olev lohk oli kuivanud ning varasemasse proovivõtukohta oli alles jäänud madal ning roheliseks värvunud veesilm, mis ilmselgelt ei esindanud enam järviku tavapärase vett (Joonis 4.2.9).



Joonis 4.2.9. Roheliseks värvunud vesi Assamalla karstijärvikus 22.04.2025 (Pildid: Kaili Jaago).

Järviku pH oli uuringu ajal kalgiveelistele järvedele tüüpilises vahemikus 7,6-st 7,9-ni (Tabel 4.2.1). Lahustunud ainete sisaldus (mineraalsus) oli Simmi (1975) klassifikatsiooni järgi maksimaalse veetaseme ajal suur ning märtsis suurenenud. Aprilli alguse mõõtmise põhjal oli see keskmine, aga siis mõõdeti näitajaid selleks ajaks tõenäoliselt põhjaveest eraldunud veesilmas, mille vesi oli sademeveega lahjenenud. Sellele viitab ka väiksem elektrijuhtivus. Aluselisis oli mõlemal analüüsikorral suur. HCO_3^- moodustas veebruaris mineraalsusest 80% ja märtsis ligi 90%. Seega vähendasid, sarnaselt Alba järvikule, ka Assamallas maksimaalse veetaseme ajal mõned muud ioonid vesinikkarbonaadi domineerimist. Hapnikuolud olid kõigil kordadel head. Tõenäoliselt panustas headesse hapnikuoludesse vähemalt osaliselt asjaolu, et järvik polnud ei veebruaris ega märtsis jääs.

Üldlämmastiku sisaldus oli veebruaris väga halval ning märtsis kesisel tasemel (Tabel 4.2.2). Veebruaris ületas üldlämmastiku sisaldus väga halva seisundi piirväärtust (4,5 mg/l) enam kui kaks ja pool korda. Üldlämmastiku sisaldus järviku vees vähenes veebruarist märtsini kolm korda. Veebruaris moodustas nitraatlämmastik üle 90% lämmastikust ning märtsis 85%. Sarnast lämmastiku- ja nitraadisalduse vähenemist pärast maksimaalse täitumise aega võis täheldada ka mitmete teiste uuritud Pandivere karstijärvikute puhul.

Fosforisisaldus oli järvikus aga nii veebruaris kui märtsis väga halval tasemel. Märtsis oli see suurem kui veebruaris ning ületas väga halva seisundi piirväärtust (0,051 mg/l) neli ja pool korda. Veebruaris oli kogu järvikus olev fosfor fosfaadina ning märtsis ligi 75% fosforist. Trendi, et järviku vee fosforisisaldus veega täitumise perioodi jooksul suurenes, esines mitmes uuritud järvikus. Kui enamike järvikute puhul võib selle põhjuseks oletada redokstundliku fosfori vabanemist pinnasest hapnikupuuduse tingimustes, siis Assamalla järviku hapnikuolud olid mõõtmiskordadel, vähemalt kaldalähedases vees, head. Enamikest teistest järvikutest erinev oli ka asjaolu, et Assallas oli fosforisisaldus juba veebruari alguses ülisuur (kõigist uuritud järvikutest suurim). Assamalla puhul võivad üheks täiendavaks fosfori allikaks olla rändlindude (peamiselt haneliste) väljaheidetud, kuna linde koguneb kevadeti Assamalla luhale palju (Porkuni maastikukaitseala..., 2023). Samas ei olnud rändlinde luhal detsembris üleujutuse algusest kuni maksimaalse veetaseme saavutamise ja veeproovi võtmiseni veebruaris. Seetõttu ei saa järviku algset ülikõrget fosforisisaldust lindudega põhjendada. Eelmise kevade linnusõnnikus olevad toiteained peaksid aga olema vegetatsiooniperioodil seotud biomassi. Fosfor võis pärineda ka üleujutatud taimse biomassi lagunemisest, kuid sellisel juhul pidanuks veebruari alguses olema vähemalt teatud hulk fosforist orgaanilisel kujul, sest on vähetõenäoline, et viiekraadises vees on kogu biomassi lagunemisel vabanenud orgaaniline fosfor mikroorganismide poolt fosfaadiks mineraliseeritud.

Orgaanilist fosforit oli järviku vees märtsi teises pooles, samal ajal kui fosfaadisaldus oli veidi vähenenud. Seega näib, et biomassi lagunemine saaks seletada fosforisisalduse suurenemist veebruarist märtsini, kuid biomassi lagunemisel pidanuks vette lisanduma ka lämmastikku, samas vähenes selle kogus sama ajaga mitu korda. Seega pidi fosforit lisanduma kusagilt, kus lämmastikku pole ning järelikult jääb fosforisisalduse suurenemise enam-vähem usutavaks põhjuseks ikkagi vabanemine üleujutatud pinnasest. Kuigi kaldalähedases vees anoksilisi tingimusi polnud, võisid need siiski esineda sügavamates osades ja soodustada fosfori vabanemist. Anoksilised tingimused võisid osaliselt panustada ka vee nitraadi- ja üldlämmastiku sisalduse vähenemisse, kuna neis tingimusteks denitrititseeritakse nitraat gaasiliseks lämmastikuks. Veebruari alguse suurel fosforisisaldusel peab aga olema muu põhjus, milleks kõige tõenäolisemalt on sissevool koos põhjaveega.

Orgaanilise aine sisaldus KHT_{Cr} järgi oli veebruaris alla määramispiiri ja märtsis keskmine. KHT_{Mn} järgi oli orgaanilise aine sisaldus veebruaris samuti alla määramispiiri ning märtsis väike. Märtsis oli oksüdeeritavusprotsent 24%, mis viitab, et sisuliselt kogu orgaaniline aine oli tekkinud järviku veefaasi ajal. Sellele viitas ka väike kollase aine sisaldus.

Klorofüll a kalgiveeliste järvede kohta suur sisaldus veebruari alguses (kaks korda üle väga halva seisundiklassi piiri), samal ajal kui orgaanilise aine sisaldus oli mõlemal viisil määratuna alla määramispiiri, näib selgitamatu. Märtsi teiseks pooleks viiekordistus klorofüll a sisaldus veelgi. See on paremini selgitatav, kuna Assamalla oli märtsis ainus järvik, kus zooplanktoni proovide kogumisel tekkis proovipudeli põhja märkimisväärne niitvetikate kiht. Niitvetikatega olid kaetud ka vee all olevad taimed. Seetõttu oli ülisuur klorofüll a sisaldus loogiline. Samas oli poolteist nädalat hiljem, fütoplanktoni proovide kogumise ajal võetud veeproovis klorofüll a sisaldus ligi 20 korda väiksem ning väike oli ka fütoplanktoni biomass (vt ptk 4.2.5). Võimalik, et erinevuse tingis asjaolu, et fütoplanktoni proov võeti veesilmast, mis oli selleks ajaks veeproovide võtmise kohast eraldunud. Järviku toite- ja orgaanilise aine sisalduse muutuseid arvestades on kergem põhjendada märtsikuist suurt klorofüll a sisaldust kui aprilli alguse väikest fütoplanktoni biomassi ja märtsi teisest poolest kordades väiksemat klorofüll a sisaldust. Kuna põhjavee sissevool järvikusse oli märtsi teiseks pooleks lakanud või oluliselt vähenenud (vt ptk 4.2.1), siis ka nitraate järvikusse enam ei lisandunud või lisandus vähe

ning need seoti aktiivselt biomassi ja lämmastikisisaldus vähenes. Järvikusisesele produktsioonile viitas samuti dikromaatse oksüdeeritavuse vähemalt kahekordistumine veebruari algusest märtsi teise pooleni. Fosforisisaldus oli järvikus püsivalt suur ja toetas aktiivset produktsiooni. Sellisel viisil oleks lämmastikisisalduse vähenemine, fosforisisalduse püsimine ja klorofüll a ning orgaanilise aine sisalduse suurenemine loogiliselt põhjendatav.

Järviku saab veekvaliteedi ja klorofüll a andmete põhjal hinnata tugevalt eutrofeerunuks.

Kalevipoja tee 6 kaevust mõõdeti vee väliparameetreid kolmel korral ning võeti veeproove kahel korral. Proovid võeti batomeetriga *Uwitec Water Sample Bailer USB 50015*. Ühel ja samal ajal sai järvikust ja kaevust väliparameetreid mõõta vaid ühel korral, sest kaevu esimese seireringi ajal oli järvik veel kuiv ning viimase seireringi ajal juba jälle kuiv. Vee pH oli kaevus kõigil mõõtmiskordadel sama ning järviku pH-st veidi väiksem (Tabel 4.2.1). Kaevuvee mineraalsus oli veebruari alguses järviku veest ca 10% suurem (ca 40 mg/l) ja HCO₃⁻ sisaldus 8% suurem. Veebruaris moodustas HCO₃⁻ -sisaldus mineraalsusest 80% ehk sama suure osakaalu, nagu järvikus. Seega oli kaevuveesi järviku veega küllalt sarnane, et viidata kaevuvee jõudmisele järvikusse. Põhjavee mõnevõrra suurem mineraalsus karstijärvikute veega võrreldes on eeldatav, kuna järvikus on põhjaveele lisaks ka otseste sademete või pindmise äravooluga sinna jõudnud vett. Kaevu ja järviku vee veetasemete erinevus veebruari alguses (Joonis 4.2.3) viitas samuti põhjaveevoolule kaevu suunast järviku suunas.

Üldlämmastiku sisaldus kaevuvees oli veebruari alguses samuti järviku vee üldlämmastiku sisalduse sarnane, kuigi 1 mg/l väiksem (Tabel 4.2.2). Erinevalt järviku vee lämmastikisisaldusest vähenes kaevuvee lämmastikisisaldus aprilli teiseks pooleks vaid 1 mg/l võrra. Kui veebruaris oli kaevuvees ka ca 1 mg/l orgaanilist lämmastikku, siis aprilli teises pooles koosnes sisuliselt kogu kaevuvee lämmastik vaid nitraadist. Üldfosfori sisaldus oli veebruari alguses suur ka kaevuvees, tunduvalt üle kalgiveeliste järvede väga halva seisundiklassi piiri. Samas oli fosfori kontsentratsioon kaevus kaks korda väiksem kui järvikus. Aprilli teiseks pooleks vähenes see kaevuvees üle kahe korra, kuid jäi ikkagi kalgiveeliste järvede kriteeriumite põhjal halba seisundiklassi. Peaaegu kogu fosfor oli mõlemal korral kaevus fosfaadina. Orgaanilise aine sisaldus jäi mõlemal viisil määratuna mõlemal korral alla määramispiiri, mis on pinna- ja heitvee poolt mõjutamata põhjavee puhul ootuspärane. Nende andmete põhjal saab järeldada, et kuigi aprilli teiseks pooleks oli kaevu veetase langenud järviku veetasemest madalamale (Joonis 4.2.3) ei olnud kaevuvees märke selle kohta, et järviku vesi oleks selleks ajaks kaevu jõudnud.

Seega leidis kogutud andmete põhjal kinnitust, et nii ohter lämmastik kui fosfor jõuavad Assamalla järvikusse põhjaveest. Fosfori puhul ei suutnud selle sisaldus põhjavees selgitada küll kogu järviku fosforisisaldust maksimaalse veetaseme ajal. Kuid veetaseme andmete põhjal selgus, et uuringukaev ei asunud järviku peamisel põhjavee toitumise suunal.

Kalevipoja tee 6 kaev sobib küll parema kaevu puudumisel Assamalla järvikule põhjavee poolt avalduva mõju seireks, kuid eelistatum oleks leida mõni sellest kirde pool Assamalla küla keskuses.

Tabel 4.2.1. Assamalla järvikust ja Kalevipoja tee 6 kaevust välitingimustes mõõdetud näitajad. *Näitajad mõõdeti ülejäänud kahe korraga võrreldes 250 m loode pool

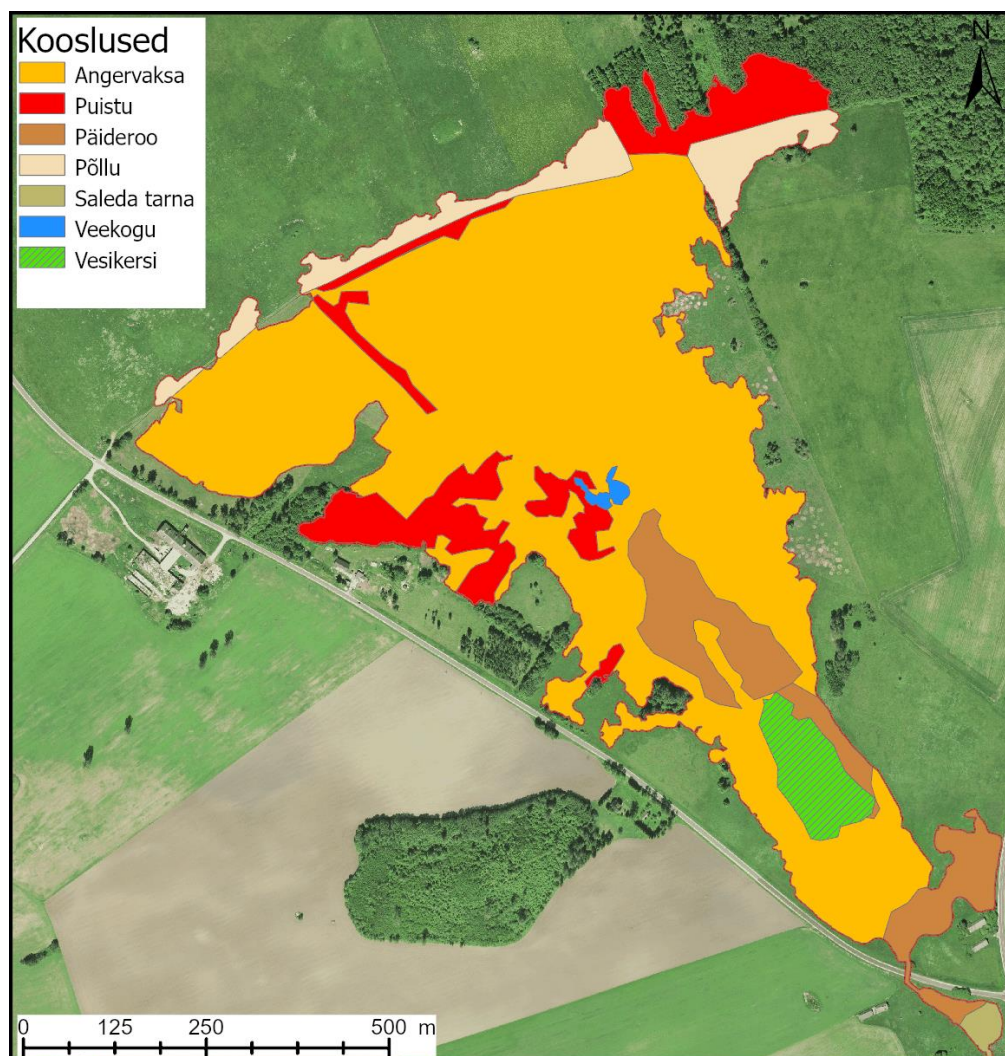
Objekt	Kuupäev	pH	ORP (mV)	SEC (µS/cm)	TDS (mg/l)	Temp (°C)	O ₂ (mg/l)	O ₂ %	Hägusus (NTU)
Järvik	06.02.2025	7,8	248	585	380	5,1	11,6	86	
Järvik	25.03.2025	7,6	180	492	320	5,1	12,0	88	
Järvik*	04.04.2025	7,9	144	317	206	7,5			12
Kaev	12.12.2024	7,5	284	641	417	8,1			
Kaev	06.02.2025	7,5	271	644	419	7,0			
Kaev	22.04.2025	7,5	294	587	382	6,9			

Tabel 4.2.2. Assamalla järvikust ja Kalevipoja tee 6 kaevust võetud proovidest laboris määratud näitajad

Objekt	Kuupäev	Nüld (mg/l)	NH ₄ ⁻ -N (mg/l)	NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	Püld (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)	TN:TP	KHT _{Cr} (mgO/l)	KHT _{Mn} (mgO/l)	Y (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Chl-a (µg/l)
Järvik	06.02.2025	12	<0,008	11	<0,005	0,19	0,19	63	<14	<1	0,8	305	11
Järvik	25.03.2025	4,0	0,075	3,4	0,021	0,23	0,17	17	27	6,4	4,1	281	53
Järvik	04.04.2025												3
Kaev	06.02.2025	11	<0,008	9,9	<0,005	0,089	0,085		<14	<1		329	
Kaev	22.04.2025	9,9	<0,008	9,7	<0,005	0,039	0,038		<14	<1		323	

4.2.3. Taimestik

Assamalla paigutub koos Saksi, Tudre ja Jalgsemaga märgade kõrgrohustute rikaste ning konkreetsemalt saleda tarna ja angervaksa koosluste domineerimisega järvikute hulka. Suurema osa järvikust hõlmab angervaksakooslus, saledat tarna on vaid järviku äärmises kagusopis (Joonis 4.2.10). Saksist, Jalgsemast ja Tudrest erinevalt on Assamallas dominandiks just angervaks tõenäoliselt järviku lühema üleujutusperioodi tõttu. Järviku kagu- ja keskkosas on levinud ka päiderooskooslus. Järviku keskkosas, lauges lohus, kus vesi, peale alaliste veesilmade, tõenäoliselt kõige kauem püsib, kasvab vesikersikooslus. Põhjaosas ulatub järviku maksimaalse veetaseme piir ka haritavale põllule. Puistunud alasad on pigem vähe, neid esineb lääne- ja kirdeosas lühema üleujutuse kestusega aladel. Uuringuaastal need vee alla ei jäänudki. Taimekoosluste poolest ei tulnud Assamalla, erinevalt enamikest teistest elustikurühmadest, märgatavate eutrofeerumise tunnustega esile. Uuringuaastal oli järviku lõunaosas tehtud heina ning järviku põhjaosa karjatati veistega.



Joonis 4.2.10. Assamalla järviku taimekooslused.

4.2.4. Suurselgrootud

Proovikoht oli veetaseme anduri asukohtast (Joonis 4.2.1) 290 m loode pool, kus oli proovivõtuajaks säilinud suurem veekogu, kui anduri asukohas. Assamalla oli uuritud järvikutest kõige taksonivaesem (8). Arvukaimad olid perekonna järvevana (*Limnephilus*) esindajad, kes arvatavasti esindavad ühtlasi ajutiste vete liike. Proovis leidunud väheharjasussid kuuluvad tõenäoliselt samuti poolveeliste või mullaliikide hulka. Seisund alaliste karedaveeliste järvede kriteeriumite järgi oli halb (Tabel 4.2.3).

Tabel 4.2.3. Assamalla järviku suurselgrootute kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a kevadel. T – üldine taksonirikkus, H' – Shannoni erisus, ASPT – taksoni keskmine tundlikkus, EPT – tundlike taksonite rikkus, MMQ – seisund, Chir% - surusääsklaste vastsete protsent taksonite üldarvust

Kuupäev	T	H'	ASPT	EPT	suse_m (MMQ)	MESH	Chir%
04.04.2025	8	2,14	3,75	3	6	0,80	9,4

4.2.5. Fütoplankton

Proov võeti veetaseme anduri asukohast (Joonis 4.2.1) 290 m loode pool, kus oli proovivõtuajaks säilinud suurem veekogu, kui anduri asukohas. Assamalla järviku liigiline koosseis on kevadises aspektis iseloomulik suurtaimerikastele järvedele. Järves valdasid neelvetikad, on ka kevadele iseloomulikke koldvetikaid (*Synura* sp, *Dinobryon sertularia*), kuid kogused olid väga väikesed. Seisund alaliste karedaveeliste järvede kriteeriumite järgi oli halb (Tabel 4.2.4).

Tabel 4.2.4. Assamalla järviku fütoplanktoni kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud. Chl a – klorofüll a sisaldus µg/l; J – ühtluse indeks; FKI – fütoplanktoni koondindeks; FLA – liikide arv loendusproovis ja võrkude proovis; FBM – biomass g/m³; CY, BAC, CHL, CONJ, CHR, CRY, DINO, EU – vastavalt sini-, räni-, rohe-, ikkes-, kold-, neel-, vaguvibur-, silmviburvetikate biomass g/m³

Kuupäev	Chl-a	J	FKI	FLA	FBM	CY	BAC	CHL	CONJ	CHR	CRY	DINO	EU	Dominandid	Kooslus
04.04.25	3	0,61	11	10	2,59	0,012	0	0,61	0	0	1,84	0	0,13	<i>Cryptomonas</i> sp	Halb

4.2.6. Zooplankton

Järvikust sai proovi võtta ainult märtsis, sest aprilli proovivõtukorraks oli järvik kuivanud. Järviku zooplanktoni arvukus oli suur, kuid biomass väike. Aerialgsete ja keriloomade arvukus oli ligikaudu võrdne (Tabel 4.2.5). Liikidest oli esindatud aerialgne *Acanthocyclops robustus* ja keriloomad *Euchlanis meneta*, *E. pellucida*, *Notholca squamula* ning perekond *Synchaeta*. Nii arvukuse kui biomassi osas domineerisid suhteliselt võrdselt *N. squamula* ja naupliusvastsed.

Tabel 4.2.5. Assamalla metazooplanktoni rühmade arvukus (A) ja biomass (BM) ning peamiste rühmade osa koguarvukusest ja biomassist

	Kuupäev	Kokku	Cladocera	Copepoda	Rotatoria	Clad %	Cop %	Rot %
A, ind m ⁻³	25.03.2025	216 500	0	102 000	114 500	0,0	47,1	52,9
BM, mg m ⁻³	25.03.2025	574	0	337	237	0,0	58,7	41,3

4.2.7. Fütobentos

Assamalla fütobentose proov võeti veetaseme anduri asukohaks olnud karstielehtrist, kuid kuna lehter oli selleks ajaks juba kuivanud, siis koguti proov lehtris olevalt taimestikult, mis oli varem olnud vee all, kuid proovivõtuajal oli kuival. Järviku fütobentose seisund (fübe_m) oli halb (Tabel 4.2.6). Ränivetikate spetsiifiline reostustundlikkuse indeks näitas väga head seisundit, Watanabe indeks head seisundit, kuid troofsusindeks väga halba seisundit. Tegemist oli ainsa järvikuga, mis oli troofsusindeksi põhjal halvas seisundis. Kokku määrati 11 taksonit bentilisi ränivetikaid. See oli Kirikla järel taksonivaesuselt järgmine tulemus. Assamallas järvikus domineeris *Planothidium lanceolata* (28,1%). Samas esines arvukalt veel nelja liiki: *Gomphonema parvulum* (20,9%), *Gomphonema subclavatum* (19,4%), *Planothidium hauckianum* (14,0%) ja *Gomphonema angustum* (12,9%). Kõik *Planothidium*'i perekonna liigid ja *Gomphonema parvulum* on omased tugevalt eutroofsetele vetele. Ülejäänud arvukalt esinenud taksonid on mesotroofsete vete tunnusliigid.

Tabel 4.2.6. Assamalla karstijärviku fütobentose kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a. kevadel

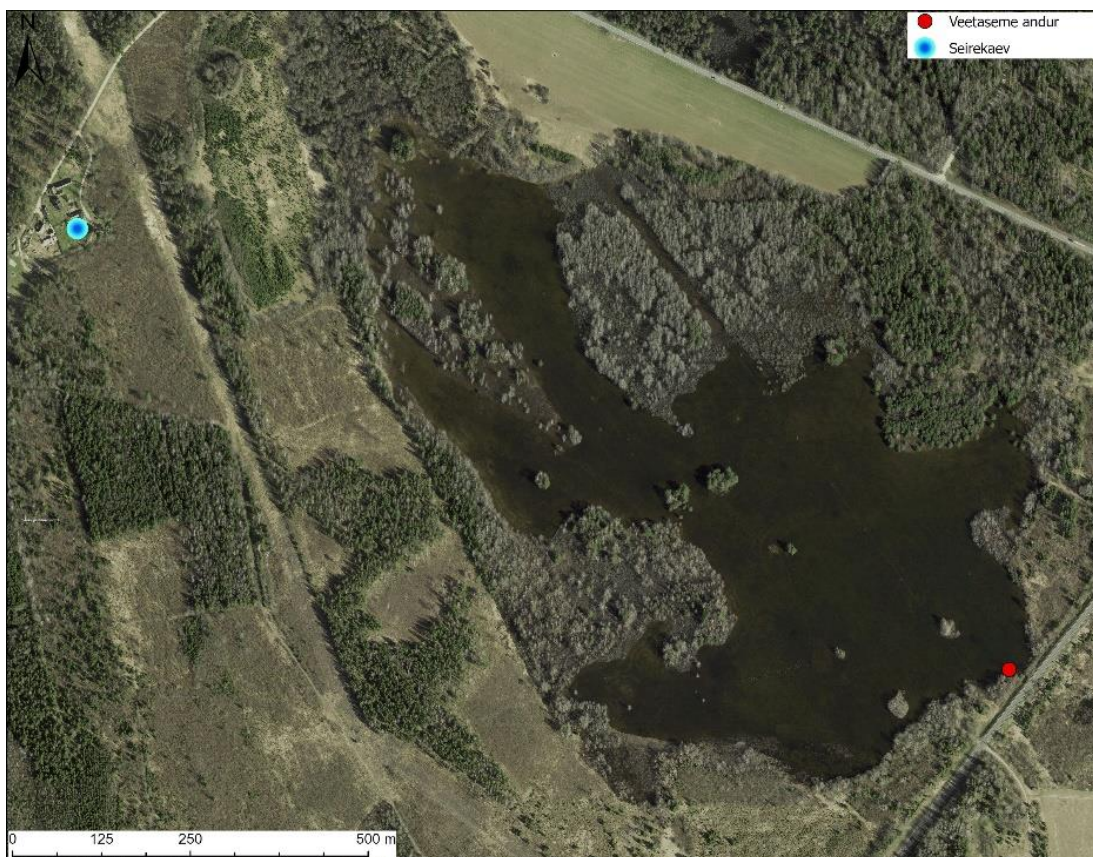
Aeg	Substraat	Taksonite arv	fübe indeksid			fübe_m
			IPS	WAT	100-TDI	
22.04.2025	makrofüüdid	11	15,7	13,1	11,3	halb

4.2.8. Kokkuvõte

Assamalla järvik oli koos Kuksema järvikuga uuritustest kõige eutrofeerunud. Selles oli väga palju lämmastikku ja fosforit juba järviku maksimaalse veetaseme ajal ning ka klorofüll a sisaldus saavutas märtsi lõpuks uuritud järvikutest ühe suurima väärtuse. Järviku hüdrokeemiliste näitajate dünaamikat ei saanud jälgida sama kaua, kui enamikes teistes järvikutes, sest see kuivas juba aprilliks ära. Samuti oli väheste olemasolevate andmetega võrreldes järviku maksimaalne ulatus uuringuaastal pigem keskmisest väiksem. Kuna lämmastiku- ja fosforisisaldus olid suured ka järviku põhjavee seirekaevus, mis hinnati põhjavee poolt järvikule avalduva mõju seireks enam-vähem sobivaks, saab järeldada, et järviku veekvaliteedile avaldub põhjavee kaudu tugev inimõju. Elustikurühmadest oli Assamallas kõige vähem suurselgrootute taksonid ning tegemist oli ainsa järvikuga, kus nii zooplanktoni arvukuses kui ka biomassis oli keriloomi aerjalgsetega võrreldavas osakaalus. Mõlemad näitajad iseloomustavad rikutud tasakaaluga veeökosüsteeme. Soojema perioodi zooplanktoni kooslust küll uurida ei saanud, kuna aprilliks oli järvik kuivanud. Halba seisundit näitasid ka fütoplanktoni näitajad, mis üldiselt karstijärvikutes hea indikatiivsusega pole. Samuti oli, ainsana uuritustest, järviku seisund halb fütobentose põhjal. **Seega saab järeldada, et järviku seisund on põhjavee kaudu avalduva suure toiteainekoormuse tõttu ebasoodne.**

4.3. Einjärve karstijärvik

Einjärve karstijärvik asub Tapa valla Savalduma külas. Maa- ja Ruumiameti ortofotodest on järvikut kõige veerohkemana kujutatud 06.05.2022 fotol (Joonis 4.3.1). Järviku väljanägemist 06.02.2025 on kujutatud joonisel 4.2.2.



Joonis 4.3.1. Einjärve karstijärvik Maa- ja Ruumiameti 06.05.2022 ortofotol ning veetaseme anduri ja seirekaevu asukoht.



Joonis 4.3.2. Einjärv 06.02.2025. Pilt: Marko Vainu

4.3.1. Hüdroloogia

Veetaseme andur paigaldati järviku kaguosas olevasse kurisusse (Joonis 4.3.1) 12.12.2024. Kurisu oli sellel ajal kuiv. Kurisu hakkas veega täituma 24. detsembril (Joonis 4.3.3). Sellele eelnenud päevadel oli Väike-Maarja ilmajaama andmetel sulanud 17 cm lund ja sadanud viie päevaga 17 mm vihma. Kuna põhjaveetaseme anduri jaoks sobiva kaevu leidmine võttis aega, siis paigaldati andur järvikust 400 m loode poole Savalduma küla Priidiku talu 22 m sügavusse puurkaevu alles 28. detsembril, mil järvikus oli vesi juba viiendat päeva tõusmas. Kaevu sügavuse ütles omanik. Seda üle mõõta ei saanud, kuna kaevus oli pump sees. Puurkaevu täpsema ehituse kohta andmed puuduvad. Tulenevalt Vainu et al (2019) töös koostatud kontseptuaalsest mudelist sai kaevu ainus sobiv asukoht olla Savalduma küla Savalduma ja Einjärve karstijärvikute vahelises osas. Põhjuseks asjaolu, et Einjärve peaks toitma Savalduma järvikus neelduv vesi.

Põhjaveetaseme mõõtmise alguseks ei olnud järviku veetaseme jõudnud veel tõusta nii kõrgele, et üle oleks olnud ujutatud Einjärve lauge nõo põhi (Joonis 4.3.7) ning vesi oli ainult kurisutes. On üllatav, et põhjaveetaseme oli kaevus mõõtmise alguses tervelt 1,6 m järviku veetasemest kõrgemal. 1:50 000 geoloogilise kaardi põhjal on kaevu ja järviku vahel ning järviku põhjas pinnakatte paksus alla kahe meetri. Pinnakatteks on küll moreen, kuid arvestades, et aluspõhjani ulatuvaid karstilehtreid leidub üle Einjärve nõo põhja ning kaevule lähimad lehtrid asuvad sellest vähem kui poole km kaugusel, peab ala geoloogiline ehitus olema praegu teadaolevast keerulisem. Sedavõrd suure gradiendi püsimise põhjuste väljaselgitamiseks oleks vajalik läbi viia täiendavad geoloogilised uuringud.

Põhjaveetaseme tõusis 28. detsembrist 1. jaanuarini ca 15 cm võrra, püsis mõned päevad suhteliselt stabiilne ja hakkas alates 4. jaanuarist langema ning langes kuni 12. jaanuarini samuti ca 15 cm võrra. Seega toimus Einjärve seirekaevus sarnane põhjaveetaseme muutus, nagu Assamalla kaevus. Põhjusedki olid järelikult samad. Jõuludele eelnenud ajal oli sademeid vähe ning detsembri keskpaiga sulavee mõju põhjaveetasemele hakkas nähtavasti vähenema. 31. detsembrist alates langes õhutemperatuur miinusesse ning põhjavee toitumine vähenes veelgi.

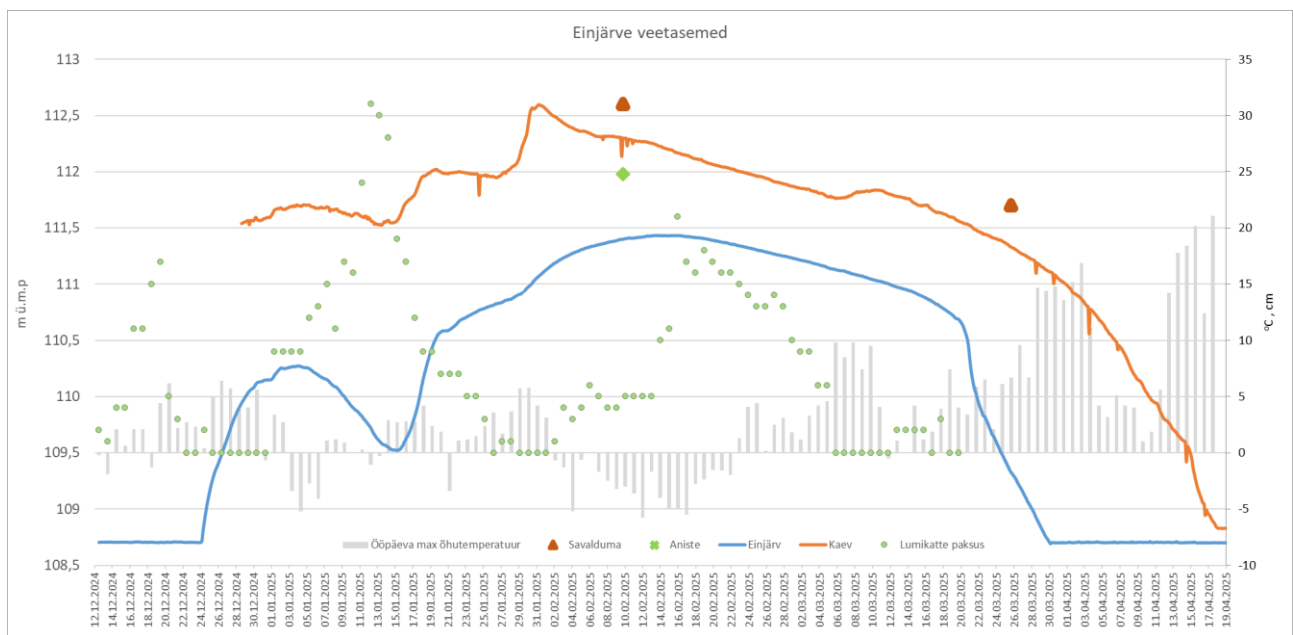
Järviku veetaseme tõusis pärast täitumise algust kiiresti kuue päevaga 30. detsembriks 1,4 m võrra, seejärel kuni 4. jaanuarini aeglasemalt veel ca 15 cm võrra. Edasi langes veetaseme kiiresti 15. jaanuarini ca 75 cm. Seega veetaseme muutuste suund järvikus ja põhjavees langesid kokku ning karstijärvikutele tüüpilisena oli selle veetaseme muutus mõned päevad põhjaveetaseme muutusest maas. Küll aga viitab järviku veetaseme muutuste palju suurem amplituud, sarnaselt suurele gradiendile kaevu veetasemega, et Einjärve dünaamilise seose mehhanism (vähemalt seirekaevus avaneva) põhjaveekihiga on keerulisem, kui tavapärane vabapinnalise põhjavee seos karstijärvikutega (nt. Jalgsema, Tudre, aga ka Assamalla). Seirekaevu ja kurisu veetasemete erinevus jõudis 15. jaanuariks 2,1 m-ni.

Seirekaevuga võrreldes on ebatüüpiline ka Einjärve vee elektrijuhtivuse käik. Esimene järvikusse jõudnud vesi oli juhtivusega ca 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Joonis 4.3.4). Seejärel hakkas see vahepealsete äkilisemate üles-alla muutustega vähenema. Kui Assamalla puhul oli näha, et esimene karstiõõnsuste läbipesemisel järvikusse jõudnud vesi oli põhjavee üldisest foonist oluliselt mineraalainerikkam, siis Einjärve puhul ei üllatanud esimene vesi mitte mineraalainerohkuse, vaid vähesusega. Selle elektrijuhtivus oli 28. detsembril ca 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ väiksem kui seirekaevus. Seirekaevu vee elektrijuhtivus oli kõigil kolmel mõõtmiskorral 670 ja 620 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vahel. Enam-vähem sellise tasemeni ulatus Einjärve vee elektrijuhtivus logeri andmetel vaid veebruari lõpus ja märtsi alguses, kui veetaseme oli juba langusfaasis. Jaanuari keskpaigast veebruari keskpaigani püsis järviku elektrijuhtivus 250 ja 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vahel, mis on Pandivere tüüpilisest põhjaveest oluliselt madalam. Proovivõtul, 6. veebruaril, oli järviku kalda äärest jääaugust multimeetriga mõõdetud elektrijuhtivus (25°C) 480 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Loger mõõtis samal ajal kurisu põhjas elektrijuhtivuseks 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sellest võiks kahtlustada süstemaatilist viga logeri andmetes. Samas klappisid 25. märtsi proovivõtul otse kurisust multimeetriga mõõdetud elektrijuhtivus (530 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ja logeri mõõdetud elektrijuhtivus (530 $\mu\text{S}/\text{cm}$) täielikult. Seega jäi selgusetuks, kas logeri varasemad andmed lahja vee kohta kurisu põhjas võisid olla usaldusväärsed või mitte. Küll võib olla kindel, et järviku vesi oli seirekaevu vee elektrijuhtivusest oluliselt väiksem, sest veebruari alguses oli multimeetriga mõõdetult elektrijuhtivuste vahe üle 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ning ka märtsi teises pooles oli

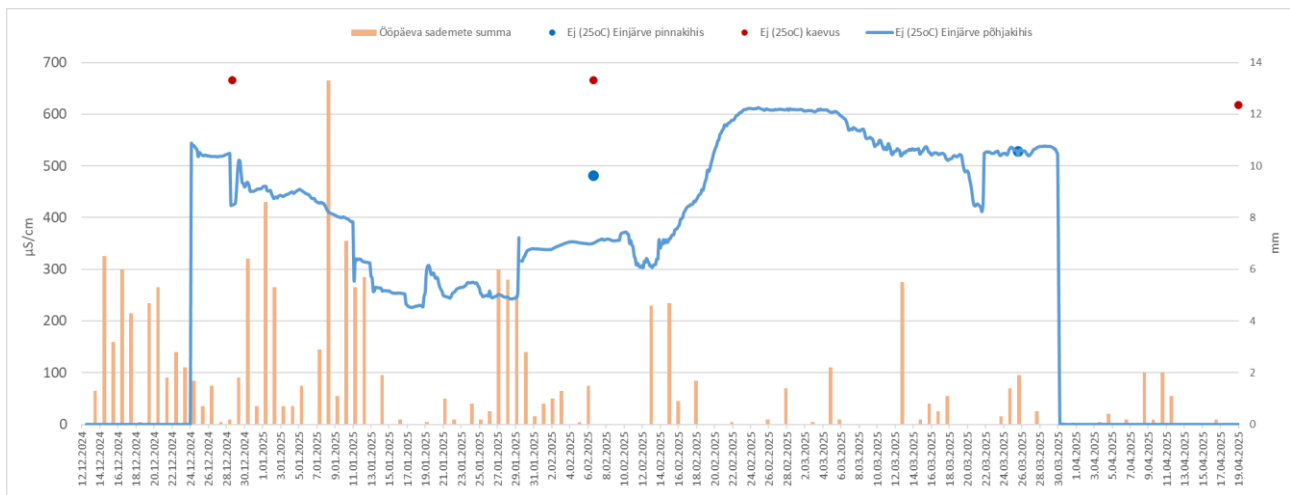
multimeetriga mõõdetud elektrijuhtivus ca 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ väiksem, kui väikseim uuringu perioodil kaevust mõõdetud elektrijuhtivus.

Põhjaveetaseme mõõdukas langus pöördus kiirele tõusule 15. jaanuaril ning veetase kerkis 19. jaanuariks ca pool meetrit. Veetasemete tõusu käivitajaks oli ilmselt 14. jaanuari sulailm, mille käigus hakkas vahepeal ilmajaamas 30 cm paksuseks kasvanud lumekiht kiirelt kahanema. Järgnes aeglane ja väike (alla 10 cm) põhjaveetaseme langus kuni 26. jaanuarini ning kiire, ca 65 cm-ne tõus 31. jaanuarini. See lühiajaline langus oli põhjustatud ilmselt vahepealsetest külmematest ilmadest, sest 21. jaanuaril oli õhutemperatuur ainult miinuses ning ka järgmiste päevade maksimum oli vaid kraadi võrra plussis. Ilm läks jälle soojemaks alates 25. jaanuarist ning ära sulas ka viimane alles jäänud lumi. Lisaks sadas 27. jaanuarist 30. jaanuarini 19 mm vihma. See viis põhjaveetaseme taas kiirele tõusule.

Järviku veetase hakkas kiiresti tõusma alates 15. jaanuarist. Tõusu kiirus aeglustus alates 20. jaanuarist, mil veetase oli kõrgusel ca 110,59 m ü.m.p. Samal ajal pidurdus ka põhjaveetaseme tõus ja pöördus väikesesse langusesse, aga järvi puhul selgitab just sellel kõrgusel veetaseme tõusu pidurdumist hästi ka asjaolu, et sellel kõrgusel sai anduri asukohaks olnud kurisu vett täis ning vesi hakkas valguma laiiali järvi laugesse nõkku (Joonis 4.3.7). Järviku veetaseme tõus kiirusega 2–3 cm ööpäevas kestis kuni 29. jaanuarini ning siis hakkas veetase tõusma kiirusega 6–7 cm ööpäevas. See muutus langeb lühikese viibega kokku põhjaveetaseme kiire tõusu algusega. Järviku veetase tõusis kuni veebruari keskpaigani, mil 12. veebruarist kuni 16. veebruarini saavutati mõõtmisperioodi kõrgeim veetase 111,43 m ü.m.p. Kõrgusel vähemalt 111,40 m ü.m.p püsis vesi 9. veebruarist 19. veebruarini. Veeproovi võtmise ajal, 6. veebruaril, oli järvik kuni kaldani jääs. Seega saavutati kõrgeim veetase jäänud olekus.



Joonis 4.3.3. Veetaseme muutus Einjärve karstijärvikus, Priidiku talu kaevus; Savalduma ja Aniste karstijärvede veetasemed üksikmõõtmiste põhjal; ööpäeva maksimaalne õhutemperatuur ja lumikatte paksus Väike-Maarja ilmajaamas (andmed, v.a veetasemed: Keskkonnaagentuur). Lühiajalised järsud veetaseme langused ja järgnevad kiired tõusud kaevu veetaseme kõveral on tingitud rohkest vee kaevust väljapumpamisest nendel hetkedel.



Joonis 4.3.4. Elektrijuhtivus (25°C) Einjärve põhjakihis automaatanduri ning pinnakihis ja Priidiku talu kaevus üksikmõõtmiste põhjal; ööpäeva sademete summa Väike-Maarja ilmajaamas (andmed, v.a elektrijuhtivus: Keskkonnaagentuur).

Põhjaveetase hakkas langema juba 31. jaanuaril. Ilmselt oli selleks ajaks lõppenud jaanuari keskpaiga lumesula mõju põhjasveetasemele. Lisaks läksid ilmad veebruari algusest ka külmemaks: Väike-Maarja ilmajaamas oli 2. veebruar esimene päev pärast 21. jaanuari, kui õhutemperatuur seal plusspoolele ei tõusnud. Temperatuurid jäid miinusesse kuni 23. veebruarini. Seega hakkas põhjaveetase sellel perioodil langema, kuna ei saanud külmunud maapinna tõttu toidet juurde.

Tähelepanuväärne on, et järviku veetase tõusis enam kui kaks nädalat pärast seda, kui põhjaveetase juba langes. See, **järviku lahja vesi** (ka multimeetriga mõõdetult) ning **ebatavaliselt suur gradient kaevu ja järviku veetasemete vahel viitavad, et järvik ja kaev toituvad erinevatest põhjaveekihtidest.**

Järviku veetaseme langus oli kuni 20. märtsini aeglasem, kaks kuni neli cm päevas, ning pärast seda kiirem, nt 21. märtsil langes veetase 35 cm võrra. Veetaseme kiire alanemine algas siis, kui vesi oli jäänud ainult kurisusse ning ülejäänud järvik oli kuivanud. Põhjaveetaseme langus pidurdus ajutiselt 6. märtsil ning veetase tõusis mõne päeva jooksul 7 cm võrra, kuid siis jätkus veetaseme järjest kiirenev langus. Märtsi esimese nädala lõpu ajutise põhjaveetaseme tõsu võimalikke põhjuseid on lahatud Assamalla järviku hüdroloogia peatükis (ptk 4.3.2). See lühiajaline põhjaveetaseme tõus järviku veetaseme muutuses ei avaldunud, mis omakorda tähendab, et ca 20 cm lume sulamine veebruari keskpaigast alates ei tekitanud järviku veetasemes mitte mingit nähtavat muutust.

Veeproovi võtmise ajal, 25. märtsil oli vett vaid kurisus, kuid kurisu peal olid õhus rippuvad jääplaadid (Joonis 4.3.5). Veetaseme andur jäi kuivale 30. märtsil. Järviku veetaseme langus pärast seda, kui vesi oli jäänud ainult kurisusse, oli põhjaveetaseme langusega võrreldes sedavõrd kiire, et vahetult enne järviku kuivamist oli põhjaveetase tervelt 2,4 m järviku veetasemest kõrgemal. See tekitab taaskord vastuseta jääva küsimuse, miks sellisest veetaseme erinevusest ei piisanud järviku veetaseme säilitamiseks. Põhjaveetase langes anduriga kurisu põhja kõrguseni alles ca 19. aprillil. Kuigi põhjaveetaseme andur võeti kaevust välja 19. aprillil, oli see jäänud 17. aprillil kuivale, sest anduri kaevu panekul ei osatud arvestada, et see võib kevadeks langeda üle kolme meetri, võrreldes anduri kaevu paneku hetkega.

Alates veega täitumise algusest 24. detsembril kuni kuivamiseni 30. märtsil kestis järviku veeperiood 96 päeva. See oli uuritud järvikutest lühim veega täitunud oleku aeg, 23 päeva lühem kui lühiduselt järgmise, Assamalla järviku veega täitunud oleku aeg.

Vainu et al (2019) töös esitatud kontseptuaalse mudeli töepära kontrollimiseks mõõdeti pisteliselt RTK GPS seadmega *Leica GS18 T* Einjärvest läände jääva Savalduma karstijärve ja Einjärvest põhja jääva Aniste karstijärviku veetasemeid. Mõlemaid oli Einjärve kiirest kuivamisest tulenevalt võimalik mõõta ainult jäätunud olekus ning Aniste veetaset ainult ühel korral, sest see oli kuivanud juba 25. märtsiks, mil Einjärve

suurimas kurisus oli veel vesi sees. Savalduma veetase oli 9. veebruaril 112,60 m ü.m.p ning Aniste veetase 111,98 m ü.m.p. Einjärve veetase oli samal ajal 111,40 m ü.m.p ning seirekaevu veetase 112,30 m ü.m.p. Seega oli Savalduma järve veetase vastavalt eeldatule kõige kõrgem. Seirekaevu veetase oli Savalduma järve omast madalam, mis viitab, et kontseptuaalses mudelis kujutatud vee voolusuund Savalduma järvest kagusse Einjärve poole peaks kehtima. Aniste veetase oli madalam nii Savalduma järve kui ka seirekaevu veetasemest, seega ka veevool Savalduma järvest Aniste poole peaks olema tõene. Samas oli Aniste veetase aga üle poole meetri kõrgem kui Einjärve veetase. See tähendab, et ka Aniste järvest peaks vesi liikuma Einjärve poole. Seda võib lugeda uueks teadmiseks, aga vajaks kinnitamist sagedasemate veetaseme mõõtmistega. 25. märtsil oli Savalduma järve veetase 111,70 m ü.m.p. Seirekaevus oli veetase samal ajal 111,34 m ü.m.p ja Einjärves 109,32 m ü.m.p. Seega oli Savalduma veetase jätkuvalt kõrgeim.

Siiski **jäi** kõigist uuritud järvikutest **Einjärve veerežiimi kohta üles enim vastuseta küsimusi, mis vajaksid täiendavat uuringut rohkemate põhjaveetaseme anduritega järviku ümbruses.** Üldjoontes saadi kogutud andmetega toetust Vainu et al (2019) töös esitatud kontseptuaalses mudelis olevale üldisele voolusuunale, et Einjärve peaks põhjavesi sisse voolama läänest Savalduma järve poolt. Uuringu seirekaevu veetase oli pidevalt järviku veetasemest kõrgemal. Samas olid veetasemete erinevus, järviku veetaseme muutuste kohatine sõltumatus seirekaevu veetaseme muutustest ning enamiku täitumisperiodist oluliselt lahjem vesi midagi, mida mudeli põhjal ei oleks eeldanud.



Joonis 4.3.5. Einjärve anduri asukohaks olnud kurisu 25.03.2025 (Pilt: Marko Vainu).

Järviku ulatuse, sügavusjaotuse ja mahu väljaselgitamiseks kasutati Maa- ja Ruumiameti 2018. aasta kevadise ülelennu LiDAR-andmeid (ülelennu kuupäev 06.05.2018). Järvik oli toona kuivanud, vett näis olevat vaid kurisute põhjas. Tegemist oli ainsa järvikuga, mis oli mõne kevadise ülelennu ajal kuiv ning mille puhul sai kasutada kevadisi LiDAR-andmeid. Seega eeldatavasti on Einjärve kõrgusmudel teiste järvikute kõrgusmudelitest täpsem, kuna suviste ülelendude laserandmetega kaasnevat ebatäpse maapinna kõrguse probleemi ei tohiks olla. **Järviku kaldajoon modelleeriti lähtudes kõrgusjoonest 111,40 m ü.m.p. Sellele kõrgusjoonele vastava polügooni pindala ilma suuremate saarteta on 53,5 ha** (Joonis 4.3.6). Varem on järviku veepiiri asukohta eeldatava kõrgeima veetaseme korral tuvastatud 2022. aasta kevadel (Vainu et al,

2022). Toona oli järviku ulatus mõnevõrra suurem, kui 2025. aasta suurima ulatuse ajal, ning kõrgeimaks veetasemeks määrati toona kohapeal fikseeritud veepiiri asukoha põhjal 112,0 m ü.m.p. Sellise veetaseme korral saadi järviku pindalaks 70,4 ha (Joonis 4.3.7).

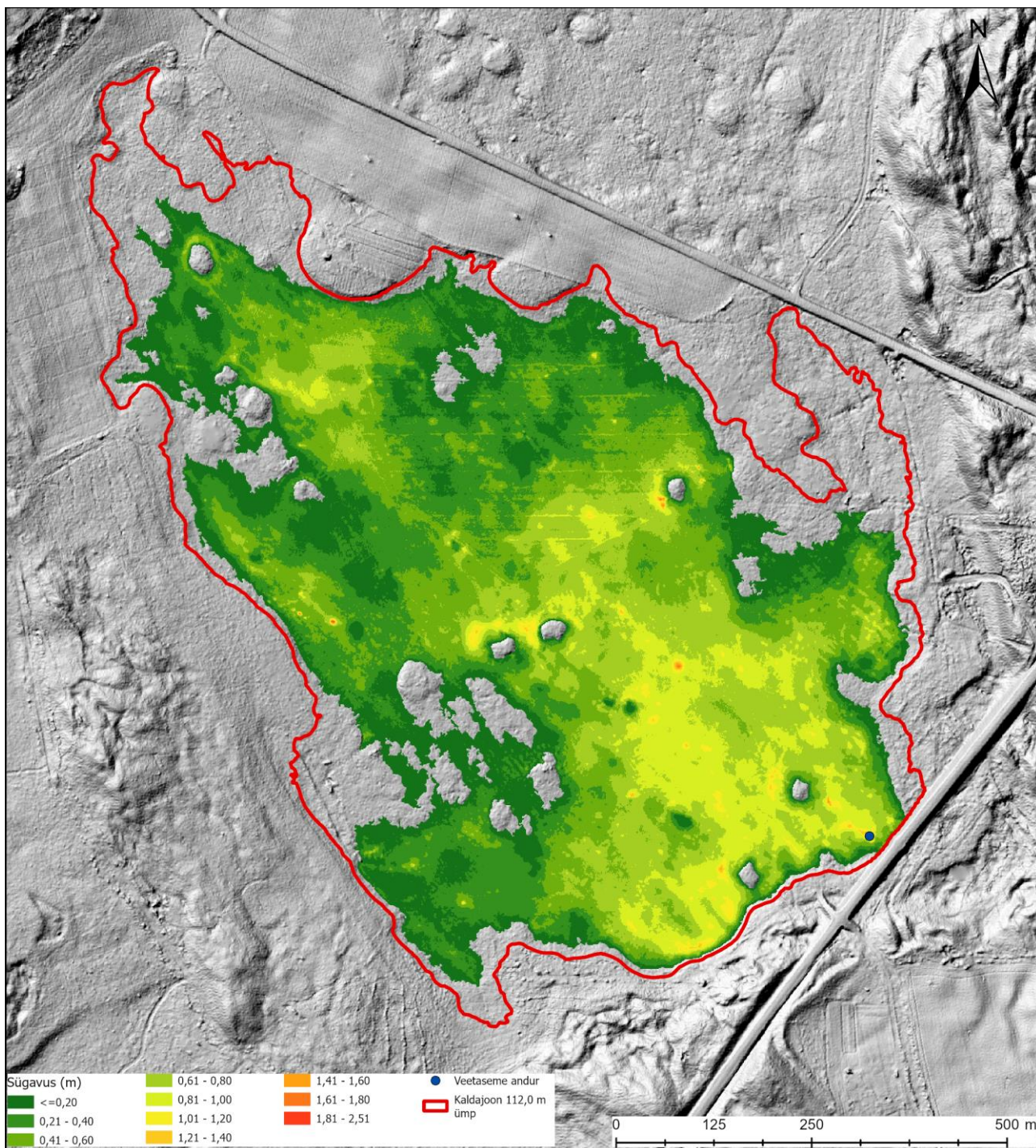


Joonis 4.3.6. Einjärve karstijärviku veepiir tasemel 111,4 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2018. aasta kevadise lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudelile.

Veetaseme 111,40 m ü.m.p põhjal modeleeritud 1x1 m resolutsiooniga sügavusjaotuste kaardil on järviku suurimaks sügavuseks ca 2,5 m ning sügavaim ala on veetaseme anduri asukohaks olev kurisu (Joonis 4.3.7). **Veetaseme anduri andmetel oli maksimaalse täitumise ajal sealne veesügavus ca 2,8 m.** Kuna kõrgusmudeli aluseks oleva ülelennu ajal oli kurisus vesi põhjas, siis tuleneb sügavuste erinevus sellest.

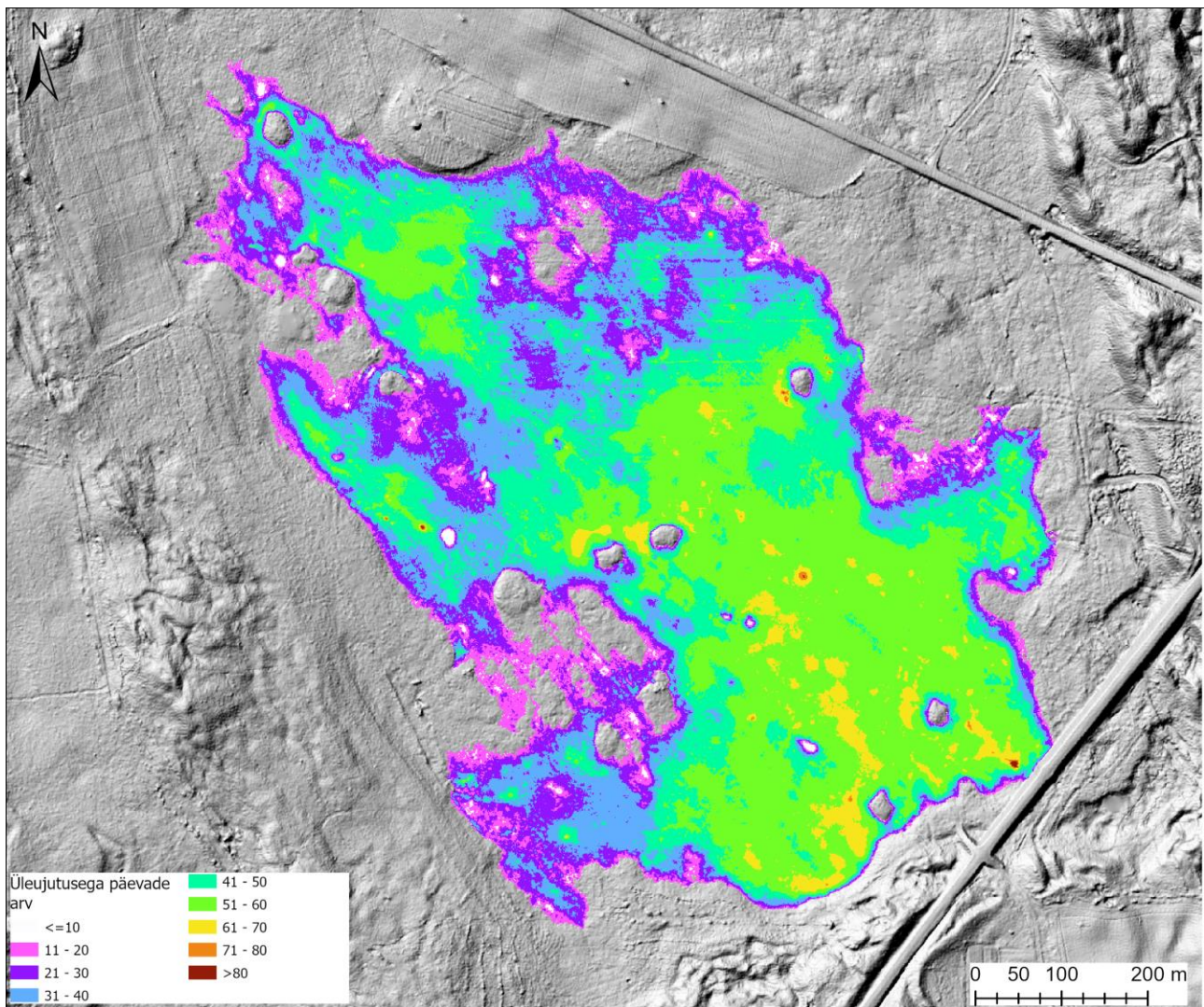
Sügavusandmetest on näha, et Einjärve nõgu on suhteliselt ühtlase põhjaga, milles eristuvad sügavamate aladena kurisute asukohad (Joonis 4.3.7). Nõo põhi on kaldu kagu poole, mistõttu keskmine sügavus oli suurem järviku kaguosas. Suuremad, järviku põhiosast mõnevõrra eraldatud, sügavamad alad on järviku kirde- ja lääneosas. Maksimaalse täituvuse ajal oli veesügavus järviku põhiosas valdavalt 60–100 cm. Järvikus oli uuringuaasta maksimaalse veetaseme juures tosinkond ümarat saart, mis nende tippude kõrgusi

arvestades jäävad veest välja ka veerohkematel aastatel. Sarnaseid ümaraplaanilisi künkaid on Einjärve nõos veel, mistõttu aastatel kui järvik hõlmab nõos suurema pindala, on ka saarte arv suurem. Lisaks ümatatele saartele on järvikus ka keerulisema kujuga madalamaid saari, mis veerohkematel aastatel jäävad vee alla. **Järviku modelleeritud maht maksimaalse veetaseme ajal oli ca 240 000 m³ ning keskmine sügavus 0,45 m.**



Joonis 4.3.7. Einjärve karstijärviku sügavus veetaseme kõrgusel 111,40 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2018. aasta kevadise lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudelile.

Modelleeritud üleujutuse kestuse andmete põhjal püsis valdavas osas järvikus vesi poolteist kuni kaks kuud (Joonis 4.3.8). Ühtse veevälja moodustas järvik kõrgusjoone 111,40 m ü.m.p ulatuses ca kuu aja jooksul veebruaris. Pärast seda võisid järviku edela- ja lääneossa jääda isoleeritud veelad. Põhjaosas olev sügavam alad oli järviku põhiosaga ühendatud pooleteise kuu vältel ning veetaseme taandumisel eraldusid põhiosast märtsi keskel.



Joonis 4.3.8. Päevade arv vahemikus 12.12.2024 kuni 19.04.2025, mil vastav ala Einjärve karstijärvikus oli vee all Maa- ja Ruumiameti 2018. aasta kevadise lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudeli ja veetaseme anduri mõõtmistulemuste põhjal.

4.3.2. Hüdrokeemia

Einjärves mõõdeti vee väliparameetreid ja võeti veeproove kahel korral, kuna aprilliks oli järvik kuivanud. Veebruaris võeti veeproov ja mõõdeti parameetrid järviku kaldalähedasest veest jääaugust veetaseme anduri asukohast (Joonis 4.3.1) 70 m edela pool. Veeproovi võtmise ajal oli järvik kaetud jääga, millest võis inimene pikema ühe koha peal seismise korral läbi vajuda (Joonis 4.3.2). Märtsis võeti veeproov anduri asukohaks olnud kurisust, sest mujal selleks ajaks enam vett polnud.

Järviku pH oli mõlemal korral kalgiveelistele järvedele tüüpilises vahemikus 7,3-st 7,8-ni (Tabel 4.3.1). Lahustunud ainete sisaldus (mineraalsus) oli Simmi (1975) klassifikatsiooni järgi mõlemal korral suurenenud. Aluselisus oli mõlemal korral suur. HCO_3^- moodustas veebruaris mineraalsusest ligi 90% ning märtsis ligi 100%. Hapnikuolud olid järvikus veebruaris jää all keskpärased ning märtsi lõpus kurisusse alles jäänud vees halvad.

Üldlämmastiku sisaldus oli veebruari alguses kesisel ja märtsis väga heal tasemel (Tabel 4.3.2). Veebruaris moodustas nitraatlämmastik 80% üldlämmastikust ja märtsis 70%. Lämmastiku- ja nitraadisalduse vähenemine veega täitunud perioodi jooksul oli sarnane enamikele teistele uuritud järvikutele.

Fosforisisaldus oli veebruaris heal ja märtsis kesisel tasemel. Sealjuures moodustas fosfaatfosfor veebruari alguses alla poole vee fosforisisaldusest, kuid märtsis ligi 90%. Ka fosforisisalduse suurenemine oli sarnane enamikele teistele uuritud järvikutele ning seda saab seostada fosfori vabanemisega üleujutatud pinnasest.

Orgaanilise aine sisaldus oli mõlemal korral mõlemal viisil määrates väike. Väike oli ka kollase aine sisaldus. Oksüdeeritavusprotsent oli veebruaris 29% ning märtsis vaid 12%. See viitab, et järvikus valdas kõrgeima veetaseme ajal veefaasis moodustunud orgaaniline aine ning märtsis oli seal praktiliselt vaid veefaasis moodustunud orgaaniline aine. Klorofüll a sisaldus oli mõlemal korral alla määramispiiri, mis on kooskõlas väikese orgaanilise aine sisaldusega. Kuigi märtsiks oli järvikus fosforisisaldus tõusnud, siis ilmselt ei toonud see kaasa produktsiooni suurenemist seetõttu, et lämmastikku oli vees vähe ning ka veetemperatuur oli madal. Alba järvikus oli ainult veidi suuremate Nüld ja Püld sisalduste juures klorofüll a sisaldus aprilli teiseks pooleks 18 µg/l. Oluliseks Einjärve produktsiooni piiravaks näitajaks osutus ilmselt veetemperatuur ning võib oletada, et kui järvikus vesi kauem oleks püsinud, oleks ka selle klorofüll a sisaldus suurenenud.

Teiste järvikute puhul on lämmastikuisalduse vähenemist seostatud järvikute produktsiooni suurenemisega, millele viitavad ka suurenenud klorofüll a sisaldused. Einjärves nii lämmastiku- kui ka nitraadisisaldus küll vähenesid, aga klorofüll a sisaldus ei suurenenud. Samas suurenes fosforisisaldus. Seega näib, et Einjärves olid toiteainesisalduse muutustel vaid abiootilised põhjused ning nitraadi- ja koos sellega ka lämmastikuisalduse vähenemist saab seostada järviku põhjas toimunud denitrifikatsiooniprotsessidega.

Kuigi Einjärves oli lämmastikuisaldus veebruaris ja fosforisisaldus märtsis kesisel tasemel, oli järviku toiteainetesisaldus ülejäänud Pandivere piirkonna järvikutega võrreldes väike. Kuna ka klorofüll a sisaldus oli väike, siis võib Einjärve lugeda uuringuaastal eutrofeerumisest mõjutatamata järvikuks. Uuringuaastal kuivas Einjärv aga väga vara ning pikema püsimise korral võinuks eutrofeerumise märke rohkem ilmned, näiteks fosfori vabanemist pinnasest. Teisalt oli järviku täitumisaegne lämmastikuisaldus piisavalt väike ning see ei sõltu tõenäoliselt oluliselt määral järviku täitumise algusajast. Seega näiteks Assamalla järvikuga võrreldavaid klorofüll a sisaldusi poleks Einjärve kujunenud ka pikema vee püsimise korral.

Priidiku talu kaevust mõõdeti vee väliparameetreid kolmel korral (Tabel 4.3.1) ja võeti veeproove kahel korral (Tabel 4.3.2). Proovid võeti kaevus oleva pumbaga ühendatud õuekraanist, lastes enne proovivõtmist veel kraanist voolata. Ühel ja samal ajal sai järvikust ja kaevust väliparameetreid mõõta vaid ühel korral, sest kaevu esimese seireringi ajal oli järvik veel kuiv ning viimase seireringi ajal juba taaskord kuiv. Vee pH oli kaevus kõigil mõõtmiskordadel sarnane ning jäi järvikust mõõdetud pH väärtuste vahele. Kaevuvee mineraalsus oli veebruari alguses järviku veest enam kui kolmandiku võrra suurem ja HCO_3^- -sisaldus ligi 60% võrra suurem. Sealjuures moodustas HCO_3^- mõlemal proovivõtukorral enam-vähem kogu kaevuvee mineraalsuse. Seega oli kaevus olev vesi järvikus olevast veest oluliselt erinev ning toetab veetaseme andmete analüüsi (vt ptk 4.3.1) põhjal tehtud järeldust, et Priidiku talu kaevus olev põhjavesi ei iseloomusta Einjärve toitvat põhjaveekihti. Sellele viitavad ka kaevu toiteainesisalduse andmed. Lämmastikuisaldus kaevus oli veebruari alguses enam kui kolm korda väiksem kui järvikus ning nitraadisisaldus enam kui kümme korda väiksem. Kaevus oli aga peaaegu sama palju ammooniumlämmastikku kui nitraatlämmastikku. Kaevuvee ORP põhjal selles denitrifikatsiooni toetavaid tingimusi polnud. Erakordselt suur oli kaevuvee üldfosforisisaldus veebruaris, kusjuures kogu fosfor oli orgaanilisel kujul. Aprillis oli fosforisisaldus küll kuus korda väiksem, kuid ikkagi kordades suurem, kui järvikus märtsi lõpus. Aprillis oli kaevuvees ka vähesel määral fosfaate, aga ligi 90% fosforist oli endiselt orgaanilisel kujul. Seega oli kaevuvee toiteainete sisaldus järviku veest väga erinev ja kinnitas järeldust, et kaevus olev vesi järvikusse ei jõua. Ammoonium ja fosfor võisid pärineda vahetult Priidiku talu kõrval olevast erinevate loomade kasvatamisega tegelevast talust, aga ka neist 700 m loode pool olevas Savalduma karstijärvikus neelduvast heitveest (Salu, 2009; Koit & Vainu, 2017). Orgaanilise aine sisaldus KHT_{Cr} järgi oli kaevus mõlemal korral alla määramispiiri ning ka KHT_{Mn} sisaldus oli mõlemal korral väike, mistõttu otsest heitveesignaali kaevuvees polnud. **Seega on üldjäreldus, et Priidiku talu kaev ei sobi põhjavee poolt Einjärvele avalduva mõju seiramiseks.**

Järviku väike fosforisisaldus ei ole heas kooskõlast hüpoteesiga, et järvikut toidab Savalduma järvikus neeldunud vesi, mistõttu ka nii järviku kui kaevu veekvaliteedi andmed kinnitavad veetaseme andmete põhjal tehtud järeldust, et järviku veerežiimi tuleks edaspidi põhjalikumalt uurida.

Tabel 4.3.1. Einjärve järvikust ja Priidiku talu kaevust välitingimustes mõõdetud näitajad

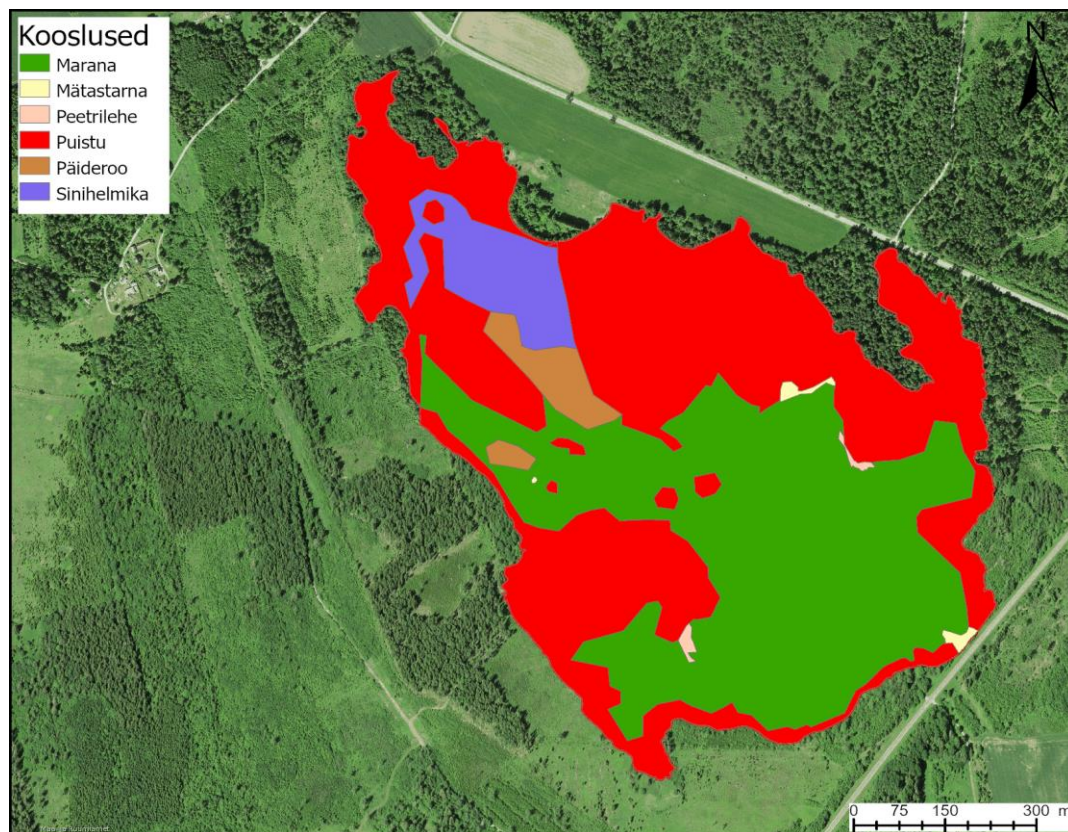
Objekt	Kuupäev	pH	ORP (mV)	SEC (µS/cm)	TDS (mg/l)	Temp (°C)	O ₂ (mg/l)	O ₂ %
Järvik	06.02.2025	7,8	243	481	313	1,0	8,2	53
Järvik	25.03.2025	7,3	170	528	343	3,8	4,3	29
Kaev	28.12.2024	7,5	139	665	432	7,3		
Kaev	06.02.2025	7,4	152	665	432	5,7		
Kaev	22.04.2025	7,6	108	617	401	7,6		

Tabel 4.3.2. Einjärve järvikust ja Priidiku tee kaevust võetud proovidest laboris määratud näitajad

Objekt	Kuupäev	Nüld (mg/l)	NH ₄ ⁻ -N (mg/l)	NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	Püld (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)	TN:TP	KHT _{Cr} (mgO/l)	KHT _{Mn} (mgO/l)	Y (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Chl-a (µg/l)
Järvik	06.02.2025	3,0	<0,008	2,4	0,007	0,018	0,007	167	15	4,3	3,3	275	<1
Järvik	25.03.2025	0,7	<0,008	0,5	<0,005	0,024	0,021	29	15	1,8	0,7	336	<1
Kaev	06.02.2025	0,9	0,140	0,2	<0,005	0,910	<0,005		<14	2,0		433	
Kaev	22.04.2025	0,9	0,280	0,4	<0,005	0,150	0,017		<14	3,2		403	

4.3.3. Taimestik

Einjärv paigutub uuritustest ainsana maranaterikaste (roomav maran ja hanijalg) karstijärvikute hulka. Ligi poole järviku üleujutatavast alast hõlmab puistu. Lagealast katab suurema osa maranate kooslus (Joonis 4.3.9). Võimalik, et maranate silmapaistev osa on kujunenud pikaajalise niitmise tulemusena. Põhja pool väiksema niitmise intensiivsusega alal on suurel alal sinihelmika kooslust ja päideroo kooslust. Teisi kooslusi on väga väikestel aladel eelkõige servas. Alba ja Kirikla kõrval oli Einjärv kolmas kõige väiksema vee toiteainete sisaldusega järvik. Seega võib lisaks sinihelmikakoosluste domineerimisele ka maranate domineerimine viidata järvikutes vähetoitelistele tingimustele.



Joonis 4.3.9. Einjärve taimekooslused.

4.3.4. Zooplankton

Järvikust sai proovi võtta ainult märtsis, sest aprilli proovivõtukorraks oli järvik kuivanud. Märtsis võeti proov veetaseme anduri asukohaks olnud karstilehtrist, sest ülejäänud järvik oli ka juba selleks ajaks kuivanud. Zooplankton oli väga vähearvukas ja ka biomass oli väike (Tabel 4.3.3). Liikidest esines aerjalgne *Acanthocyclops robustus* ja keriloom *Euchlanis dilatata*. Domineeris *A. robustus*, mille vähikvastsete arvukus ületas naupliusvastsete arvukuse. Lisaks määratud liikidele olid zooplanktoni proovis ka üksikuid tuvastamata jäänud rullikuliste (Harpacticoida) esindajaid ja pehmeid keriloomi.

Tabel 4.3.3. Einjärve metazooplanktoni rühmade arvukus (A) ja biomass (BM) ning peamiste rühmade osa koguarvukusest ja biomassist

	Kuupäev	Kokku	Cladocera	Copepoda	Rotatoria	Clad %	Cop %	Rot %
A, ind m ⁻³	25.03.2025	5203	0	3687	1516	0,0	70,9	29,1
BM, mg m ⁻³	25.03.2025	34	0	32	2	0,0	94,3	5,7

4.3.5. Fütobentos

Einjärve fütobentose proov võeti veetaseme anduri asukohaks olnud karstilehtrist, kuid kuna lehter oli selleks ajaks juba kuivanud, siis koguti proov lehtris olevalt taimestikult, mis oli varem olnud vee all, kuid proovivõtuajal oli kuival. Karstijärviku fütobentose seisund (fübe_m) oli hea (Tabel 4.3.4). Ränivetikate troofsusindeks näitas väga head, spetsiifiline reostustundlikkuse indeks head ning Watanabe indeks napilt kesist seisundit. Kokku määrati 20 taksonit ränivetikaid. Samas määrati Einjärve karstijärvikust liigini määramata planktiline ränivetikas (4%). Selles karstijärvikus domineerivat liiki ei olnud, kuid arvukalt esines kahte liiki: *Gomphonema parvulum* (21,7%) ja *Meridion circulare* (12,4%). Kui *Gomphonema parvulum* on eutroofsete vete tunnusliik, siis *Meridion circulare* on omane vähese toiteainesisaldusega veekogudele.

Tabel 4.3.4. Einjärve karstijärviku fütobentose kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a. kevadel

Aeg	Substraat	Taksonite arv	fübe indeksid			fübe_m
			IPS	WAT	100-TDI	
22.04.2025	makrofüüdid	20	14,4	12,4	55,7	hea

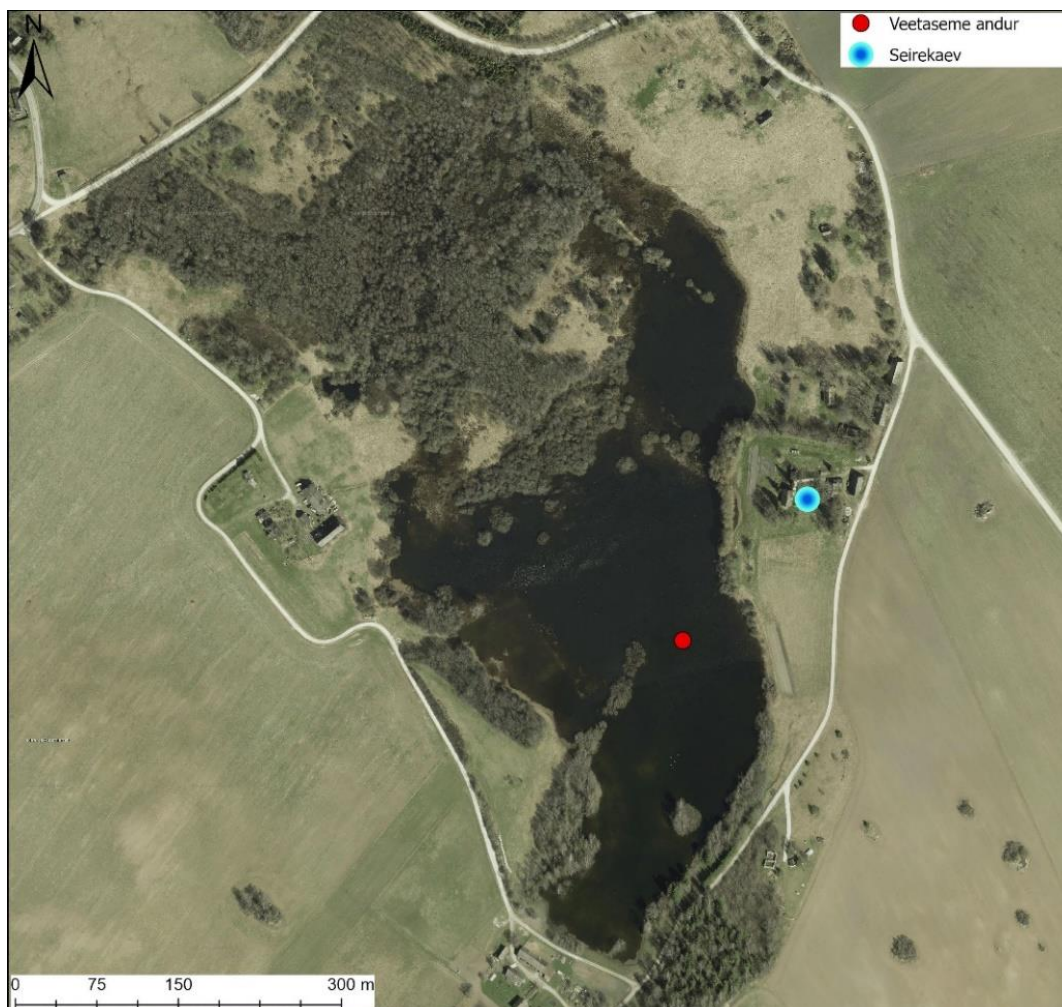
4.3.6. Kokkuvõte

Einjärve veefaas oli uuritud järvikutest uuringuaastal kõige lühem ning kuna see jäi talveperioodi, ei olnud järvikust võimalik koguda sama palju veekvaliteedi, aga eriti vee-elustiku andmeid, kui teistest järvikutest. Samuti oli väheste olemasolevate andmetega võrreldes järviku maksimaalne ulatus uuringuaastal pigem keskmisest väiksem. Järviku vee toiteainesisaldus nendes proovides, mida oli võimalik koguda, oli aga uuritud Pandivere järvikutest väiksem ning järvikus ei jõudnud toimuda ka enamikes teistes järvikutes täheldatud klorofüll a sisalduse plahvatuslikku suurenemist kevade jooksul. Järviku taimekooslused erinesid enamikest teistest uuritud Pandivere järvikutest, seal oli väiksemal alal levinud päideroo kooslus ning puudus saleda tarna ja angervaksa kooslus. Teisalt levis seal mõnevõrra rohkem sinihelmikakooslus, mida oli rohkem ka Albas ja Kiriklas, kus vee toiteainesisaldus oli samuti väike. Lisaks taimestikule oli võimalik analüüsida järviku zooplanktoni ja fütobentose kooslusi. Zooplanktoni arvukus oli väga väike ja kuigi arvukuses oli aerjalgsete kõrval oluline osakaal ka keriloomadel, mis pigem võiks viidata eutroofsematele tingimustele, ei saa saadud tulemusi pidada varajase proovivõtuaja ning proovivõtukohtade olnud lehtrisse jäänud vähese vee tõttu lõpuni esinduslikeks. Fütobentos näitas järvikus head seisundit. Suurselgrootute ega fütoplanktoni proove polnud võimalik üldse koguda, sest aprilli alguseks oli lehter täielikult kuivanud.

Seega on saadud tulemuste põhjal märke, et Einjärv võiks sobida Pandivere piirkonna karstijärvikute soodsa seisundi etaloniks, kuid vajalik oleks järviku veekvaliteeti seirata tavapärasema veerežiimiga aastal, mil vesi püsib järvikus hiliskevadeni. Samuti oleks vajalik tavapärasemal aastal koguda järvikust zooplanktoni ja suurselgrootute proove. Einjärve puhul jäi uuritud järvikutest kõige ebaselgemaks ka selle toiteala asukoht, sest järviku põhjavee seirekaevu dünaamika ja veekvaliteet järvikuga kooskõlas polnud ning Savalduma järvikus neeldunud Tamsalu linna heitveega reostunud fosfori ja orgaanilise aine rikas vesi Einjärve ei näi jõudvat. **Järelikult tuleb järviku veerežiimi, veekvaliteeti ja vee-elustikku täiendavalt uurida.**

4.4. Jalgsema karstijärvik

Jalgsema karstijärvik asub Järva valla Jalgsema külas. Maa- ja Ruumiameti ortofotodest on järvikut kõige veerohkemana kujutatud 06.05.2022 fotol (Joonis 4.4.1). Järviku väljanägemist 20.04.2025 on kujutatud joonisel 4.4.2.



Joonis 4.4.1. Jalgsema karstijärvik Maa- ja Ruumiameti 06.05.2022 ortofotol ning veetaseme anduri ja seirekaevu asukoht.



Joonis 4.4.2. Jalgsema karstijärvik 25.03.2025. Pilt: Kaili Jaago.

4.4.1. Hüdroloogia

Veetaseme andur paigaldati järviku lääneosas olevasse kurisusse (Joonis 4.4.1) 10.12.2024. Kurisu põhjas oli sellel ajal madal lomp ning anduri peal oli vett 8 cm. Järgmiste päevade jooksul tõusis veetase mõne cm võrra, kuid sisuline järviku täitumine algas 20. detsembril (Joonis 4.4.3). Enne seda, 14. detsembril, paigaldati järvikust 60 m ida poole, Maasika talu 30 m sügavusse puurkaevu (PRK0060950) veetaseme andur. Anduri kaevu paneku hetkel oli järvikus anduriga kurisus endiselt vaid parkümmend cm vett ning veetase oli kaevu veetasemega võrdne. EELISe andmetel on kaevu asukohas 3 m saviliivmoreeni ning all lubjakivi. Manteltoru ulatub kaevus 11,7 m sügavusele. Sobivat kaevu otsiti Jalgsema külast järvikust põhja ja ida poolt, kuna Vainu et al (2019) töös koostatud kontseptuaalse mudeli põhjal asub järviku toiteala sellest põhja ja kirde pool. Jalgsema külavanema sõnul küla põhjapoolsetes taludes sobiva sügavusega kaevu pole.

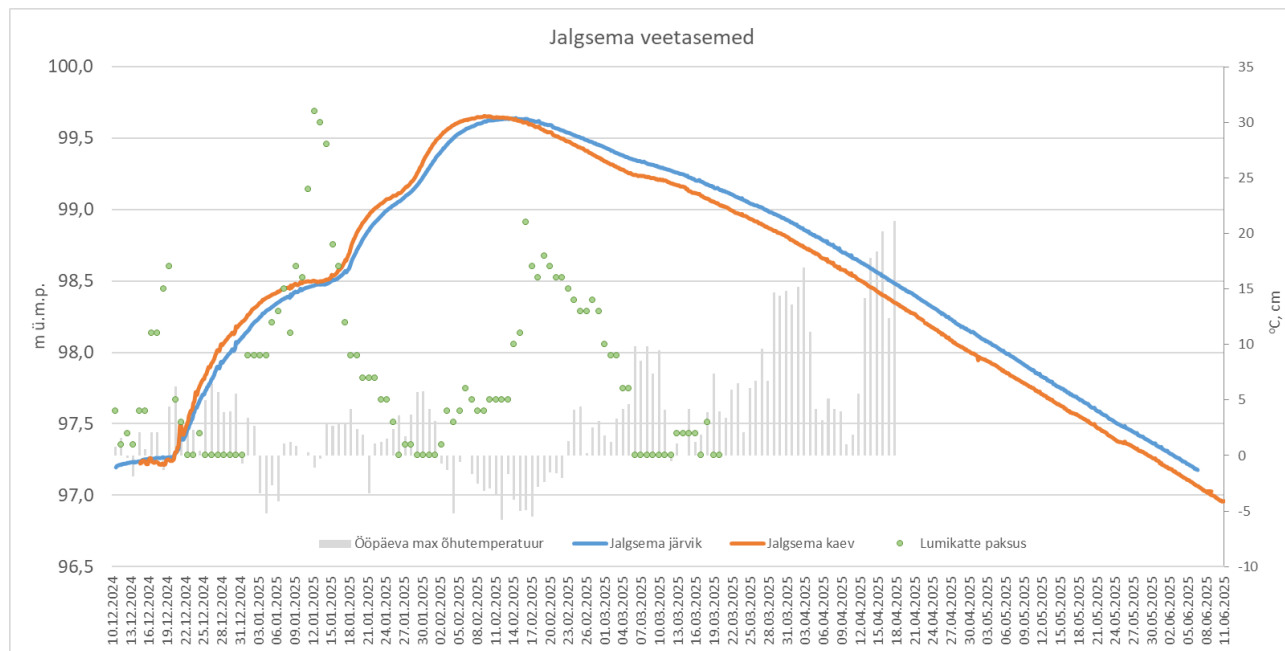
Põhjaveetaseme tõus kaevus algas täpselt samal ajal kui järvikus. 20. detsembri öösel vahemikus kella kolmest kuueni tõusis kaevu veetase kolme cm võrra ja järviku veetase kahe cm võrra. Kui tõusu alguses olid mõlemad veetasemed võrdsed, siis 21. ja 22. detsembri vahetuseks oli kaevu veetase tõusnud 5 cm järviku veetasemest kõrgemale ja 23. detsembriks 10 cm kõrgemale. Veetaseme tõusule eelnenud 19. detsembril oli õhutemperatuur plussis ning Väike-Maarja ilmajaamas mõõdeti 5 mm sademeid (Joonis 4.4.4). Päeva jooksul vähenes lumikatte paksus ilmajaamas 12 cm võrra. Seega käivitasid vihm ja rohke sulavesi põhjaveetaseme tõusu ja järviku täitumise väga lühikese viibeajaga.

Jalgsema järvikust logeriga mõõdetud elektrijuhtivuse andmetes on sedavõrd palju seletamatut ja järviku kaldalähedasest pinnaveest multimeetriga mõõdetud andmetega vastuolulisust, et kindlam on pidada logeri mõõtmistulemusi vigasteks. Vahetult logeri sissepanekule järgnenud kiiret elektrijuhtivuse tõusu (Joonis 4.4.4) saab seostada kergkruusaploki lahustumisega ning sellele enne järviku veetaseme tõusu järgnenud sama kiiret langust ilmselt kurisus oleva lombi peale moodustunud jää sulamisega. Kuid edasine on raskesti tõlgendatav. Koos veetaseme tõusuga hakkas tõusma ka järviku vee elektrijuhtivus, mis võiks olla seostatav põhjavee sissevooluga, kuid tõus oli märkimisväärselt aeglane. Kui veetaseme tõusu alguses oli elektrijuhtivus ca 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siis 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ juurde jõuti alles jaanuari lõpuks (Joonis 4.4.4). Sarnane elektrijuhtivus oli Maasika talu kaevust väljapumbatud veel 14. detsembril. Kui eeldada, et see iseloomustas järvikut toitvat põhjaveekihti, siis ei ole loogiline, et kurisu põhjas, kus oli enne veetaseme tõusu algust paarikümne cm sügavune lomp, läks vee lõplikuks segunemiseks järvikut täitva põhjaveega enam kui kuu aega. Lisaks olid suured vastuolud logeri mõõdetud ning veebruari alguses ja märtsi lõpus järviku kaldavees multimeetriga mõõdetud elektrijuhtivuste vahel. Kummalgi korral oli elektrijuhtivus kaldavees vastavalt 230 ja 170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ väiksem. Aprilli alguses vähenes järviku elektrijuhtivus logeri andmetel 28 h-ga ca 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ning erines aprilli teises pooles multimeetriga mõõdetust vaid 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ võrra. Selle suure languse saab

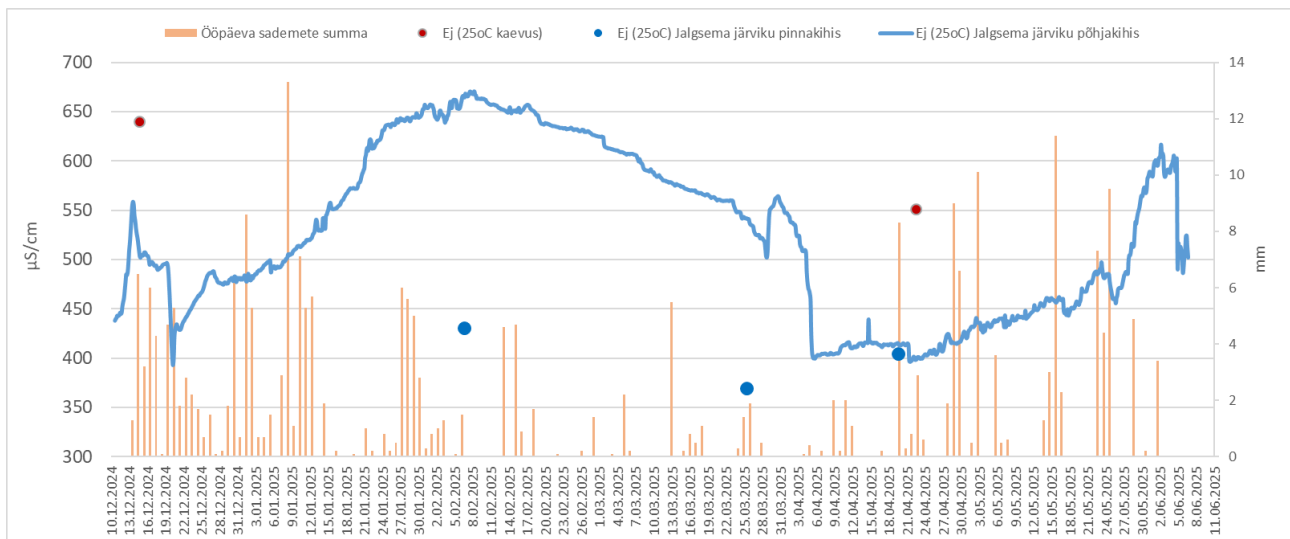
seostada järvikut katnud jää sulamisega ning sellest tingitud vee segunemisega järvikus. Temperatuurimuutusest tingitud segunemist näitab logeriga mõõdetud veetemperatuur, mis langes järviku põhjas logeri asukohas 31 tunniga enam kui kolm kraadi 8,5°C-lt 5,4°C-ni. Kummaline on selle juures küll asjaolu, et suurem osa kiirest elektrijuhtivuse langusest toimus päev enne temperatuuri langust. Igal juhul oli pärast seda vesi järvikus segunenud ning võimalik, et kuni selle hetkeni logeri asukohas püsinud kergkruusaploki lahustumise mõju kadunud.

Pärast seda, kui aprilli teises pooles oli logeri mõõdetud ej multimeetriga mõõdetule sarnane, hakkas ej logeri andmetel taas suurenema ning jõudis juuni alguseks uuesti 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ni. Samas võinuks järviku veetaseme langemisel, põhjaveetoite lakkamisel või vähenemisel ja sademevee osakaalu suurenemisel järviku vees pigem eeldada elektrijuhtivuse vähenemist. Mistõttu võis sellel perioodil kergkruusaploki lahustumine taas juhtivusnäitu mõjutama hakata. Kokkuvõtteks tuleb tõdeda, et logeri andmed võisid teatud perioodidel kajastada järviku põhjakihi vee tegelikku elektrijuhtivust, kuid on teadmata millised perioodid need olid ning pigem on tõenäoline, et enamiku ajast ei ole saadud andmed korrektsed.

Nii kaevu kui järviku veetasemed tõusid 8. jaanuarini ca 1,2 m, seejärel püsid nädala stabiilsed või tõusid paar cm päevas. Järviku veetase tõusis jaanuari alguses kaevu veetasemest veidi kiiremini ning umbes kümne cm- ne veetasemete erinevus vähenes 4. jaanuarist 13. jaanuarini kahele cm-le. Assamalla ja Einjärvel pidurdusid veetasemed varem ja tugevamalt. Nende puhul langes veetaseme tõusu pidurdumine kokku temperatuuri miinuspoolele langemisega alates 31. detsembrist ning lumikatte tekkimise ja sellega kaasnenud põhjavee toitumise vähenemisega. Nähtavasti jõudis ilma külmenemise mõju Jalgsesemasse hiljem. Tõenäoliselt on põhjus selles, et Jalgsesema asub Pandivere kõrgustiku nõlval, Assamalla ja Einjärvest madalamal. Seetõttu on seirekaevu ja järviku toitealad eelpoolnimetatutest oluliselt suuremad kui Pandivere võlvialal ja lühiajalised põhjavee toitumistingimuste muutused neis sedavõrd kiireid muutuseid põhjaveetasemes kaasa ei too. Selle juures on huvitav, et järviku täitumise alguses polnud Assamalla võrreldes viibeaega ning mõlemad hakkasid täituma samal päeval.



Joonis 4.4.3. Veetaseme muutus Jalgsema karstijärvikus ja Maasika talu kaevus; ööpäeva maksimaalne õhutemperatuur ja lumikatte paksus Väike-Maarja ilmajaamas (andmed, v.a veetasemed: Keskkonnaagentuur).



Joonis 4.4.4. Elektrijuhtivus (25°C) Jalgsema järviku põhjakihis automaatanduri ning pinnakihi ja Maasika talu kaevus üksikmõõtmiste põhjal; ööpäeva sademete summa Väike-Maarja ilmajaamas (andmed, v.a elektrijuhtivus: Keskkonnaagentuur).

Põhjaveetase hakkas taas kiiremini tõusma alates 16. jaanuarist ning järviku veetase paaripäevase viibega alates 18. jaanuarist (6–8 cm/päevas). Samaks päevaks oli taastunud umbes kümne cm suurune erinevus põhjavee- ja järviku veetaseme vahel. See veetaseme tõus algas vaid päeva hiljem kui Assamalla ja Einjärvel ning selle käivitajaks oli tõenäoliselt 14. jaanuari sulailm, mille käigus hakkas vahepeal ilmajaamas 30 cm paksuseks kasvanud lumekiht kiirelt kahanema.

Veetaseme tipu (99,66 m ü.m.p) saavutas põhjaveetase 9. veebruaril ning järvik mõned päevad hiljem 12. kuni 14. veebruaril (99,64 m ü.m.p). Seega toimus järviku täitumine tüüpilisel viisil, olles pidevalt mõned päevad ülesvoolu olevast põhjaveetasemest maas.

Vähemalt 99,60 m ü.m.p püsis järviku veetase 8. veebruarist 19. veebruarini. Veeproovi võtmise ajal, 6. veebruaril, oli järvik jääs, kuid kalda lähedal oli see sedavõrd õhuke, et jää peale polnud võimalik pääseda. Seega saavutas järvik kõrgeima veetaseme jääga kaetuna.

Põhjaveetase hakkas ühtlase kiirusega langema alates 9. veebruarist ning langes järviku veetasemest madalamale 14. veebruaril. Põhjaveetaseme langus algas Assamalla ja Einjärvega võrreldes taaskord viibega, kui ainult miinuses püsinud päevi oli olnud juba nädala jagu. Viibe põhjus on tõenäoliselt sama, mida kirjeldati jaanuari esimese poole veetaseme tõusu kiiruse pidurdumise juures.

Esialgul oli põhjaveetase järviku veetasemest vaid paar cm madalam, mis võib jääda ka kõrguste mõõtmisvea piiresse. Järviku veetase hakkas langema siis, kui põhjaveetase oli mõõdetud andmetel kolm cm järviku veetasemest madalam. Põhjaveetaseme erinevus järviku veetasemest suurenes veebruari lõpuks järk-järgult taaskord ca kümne cm-ni, kuid mitte kordagi oluliselt suuremaks. Veetasemete langus toimus aeglasemalt, kui oli toimunud veetasemete tõusmine. Veebruari esimeses pooles sadanud ca 20 cm paksuse lumekihi sulamine veebruari teises pooles ja märtsi alguses ei omanud kaevu ja järviku veetaseme langusele üllatuslikult mingit mõju. Kaevu veetaseme langus küll aeglustus märtsi esimesel nädalal veidi, aga Assamalla nii kaevus kui järvikus täheldatud järsku ja Einjärve kaevus täheldatud aeglasemat ja väiksemat veetaseme ajutist tõusu Jalgsemas polnud.

Teise veeproovi võtmise ajal, 25. märtsil, oli enamik järvikust endiselt jääs, kalda ääres oli kümnekond m lahtist vett. Veetaseme ühtlane langus kestis kuni 6. juunini, mil anduri kohale oli jäänud kuus cm vett ning järvik loeti kuivanuks ja andur eemaldati järvikust. Kaevu jäi andur kuni 22. augustini. Põhjaveetase jätkas ühtlast langust kuni 20. juunini. Seejärel järgnes ligi poolemeetrine veetaseme tõus kuni juuli keskpaigani ning taas umbes poolemeetrine langus kuni anduri eemaldamiseni. Suvise maksimumi ajal oli põhjaveetaseme kõrgus 97,31 m ü.m.p ehk täpselt sama, mis see oli olnud detsembris järviku täitumise

alguses. Kuna talvisel järvi veega täitumise perioodil muutusid järvi ja põhjaveetase heas kooskõlas, saab järeldada, et suvel võis järvi kurisutesse küll vesi sisse tulla, aga Alba järvikule sarnast suvist üleujutust (juhuvaatlused juulis ja augustis; ptk 4.1.1) Jalgsemas ei tekkinud.

Seega, kui lugeda järvi veeperioodi alguseks 20. detsembril, mil algas kiire veetaseme tõus ning lõpuks 3. juunit, mil veetase anduriga kurisus oli langenud samale tasemele, nagu 20. detsembril, oli veeperioodi pikkuseks 165 päeva.

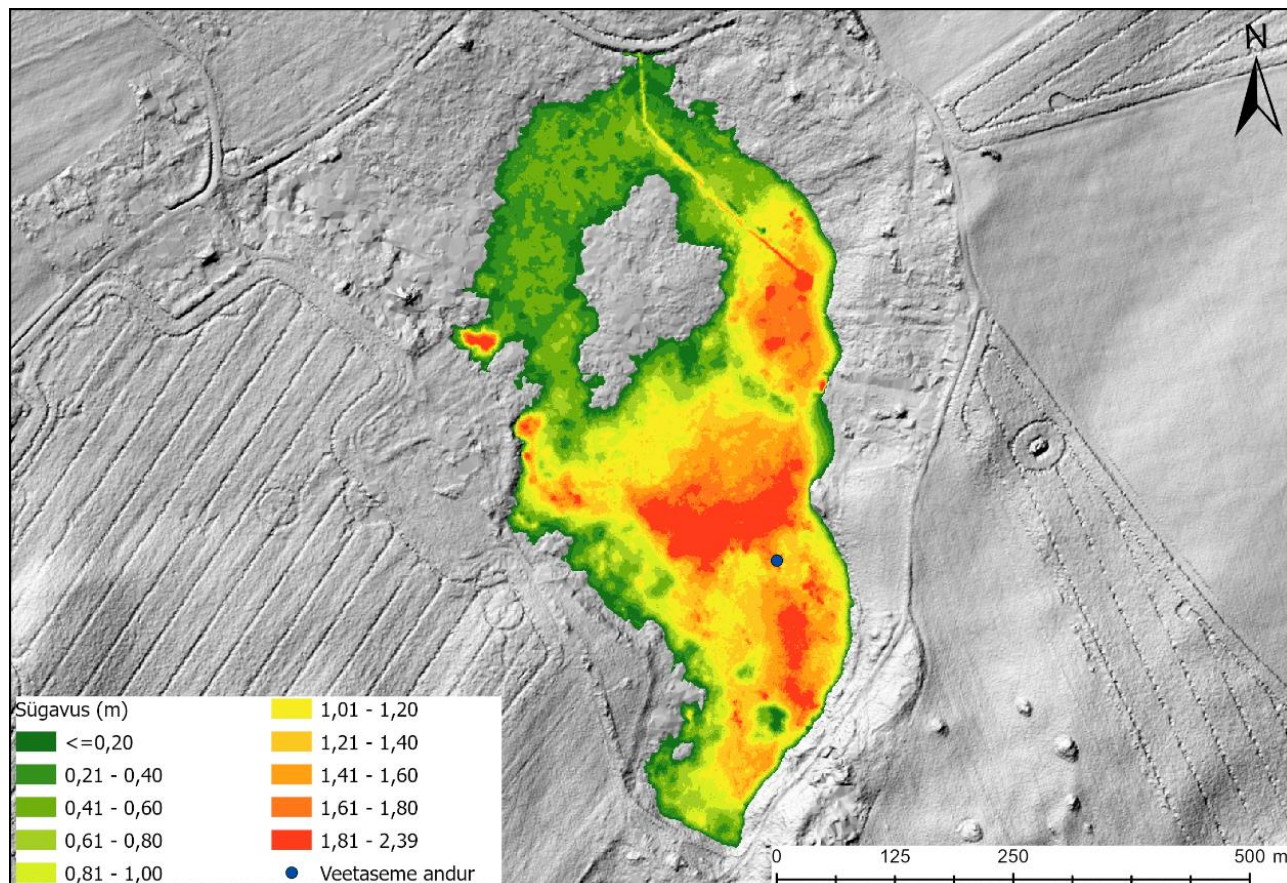
Uuringu tulemuste põhjal **saadi toetust** Vainu et al (2019) töös esitatud **Jalgsema karstijärvi kontseptuaalses mudelis esitatule, et järvi toiteala jääb sellest põhja- ja kirdekaarde**. Kui jagada järvi ümbritsev ala neljaks, jääb uuringu seirekaev järvi kirdesektori piirile. Selgus, et seal suunas on põhjaveetase järvi täitumise ajal järvikust kõrgem, mis viitab, et vesi voolab järvi poole. Tühjenemisfaasis võib aga esineda n.ö tagasivoolu, kus järvikust tagasi põhjaveekihti valguv vesi liigub lisaks kontseptuaalses mudelis esitatud lääne- ja loodesuunale ka kirdesuunas. Tõenäoliselt on järvikust põhja ja kirde pool põhjavee gradient järvi veetaseme suhtes pidevalt positiivne ja peamine sissevool järvi täitumise ajal toimub sellelt suunalt. Seda toetab 2024. aasta suvel tuvastatu, et ka täielikult kuivanud olekus voolas järvikusse põhja poolt sisse kraavitatud nire (Joonis 4.4.5), mis toona neeldus voolusängi põhjas enne selle lõpus olevasse kurisusse jõudmist. **Seega oleks järvi põhjaveeseirekaevu sobivam asukoht Maasika talu kaevust põhja pool.**

Järvi ulatuse, sügavusjaotuse ja mahu väljaselgitamiseks kasutati Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku ülelennu LiDAR-andmeid (ülelennu kuupäev 13.06.2020). Järvi näib olevat olnud ortofoto põhjal toona enamjaolt kuivanud. Vett on näha sügavamates lohudes taimestiku vahel (Joonis 4.4.5). Järvi põhi oli ülelennu ajaks taimestunud. **Järvi kaldajoon, sügavusjaotus ja maht modelleeriti lähtudes kõrgusjoonest 99,60 m ü.m.p. Sellele kõrgusjoonele vastava polügooni pindala ilma suuremate saarteta on koostatud kõrgusmudelil 18,6 ha.** Kevadel 2022 määrati järvi kõrgeimaks veetasemeks 99,30 m ü.m.p (Vainu et al, 2019). Seega on 2025. aasta veebruari veetaseme puhul tegemist järvi kõrgeima mõõdetud veetasemega ning selle põhjal loodud järvi pinda kujutav polügoon suurem kui 2022. aasta andmete põhjal loodud polügoon.



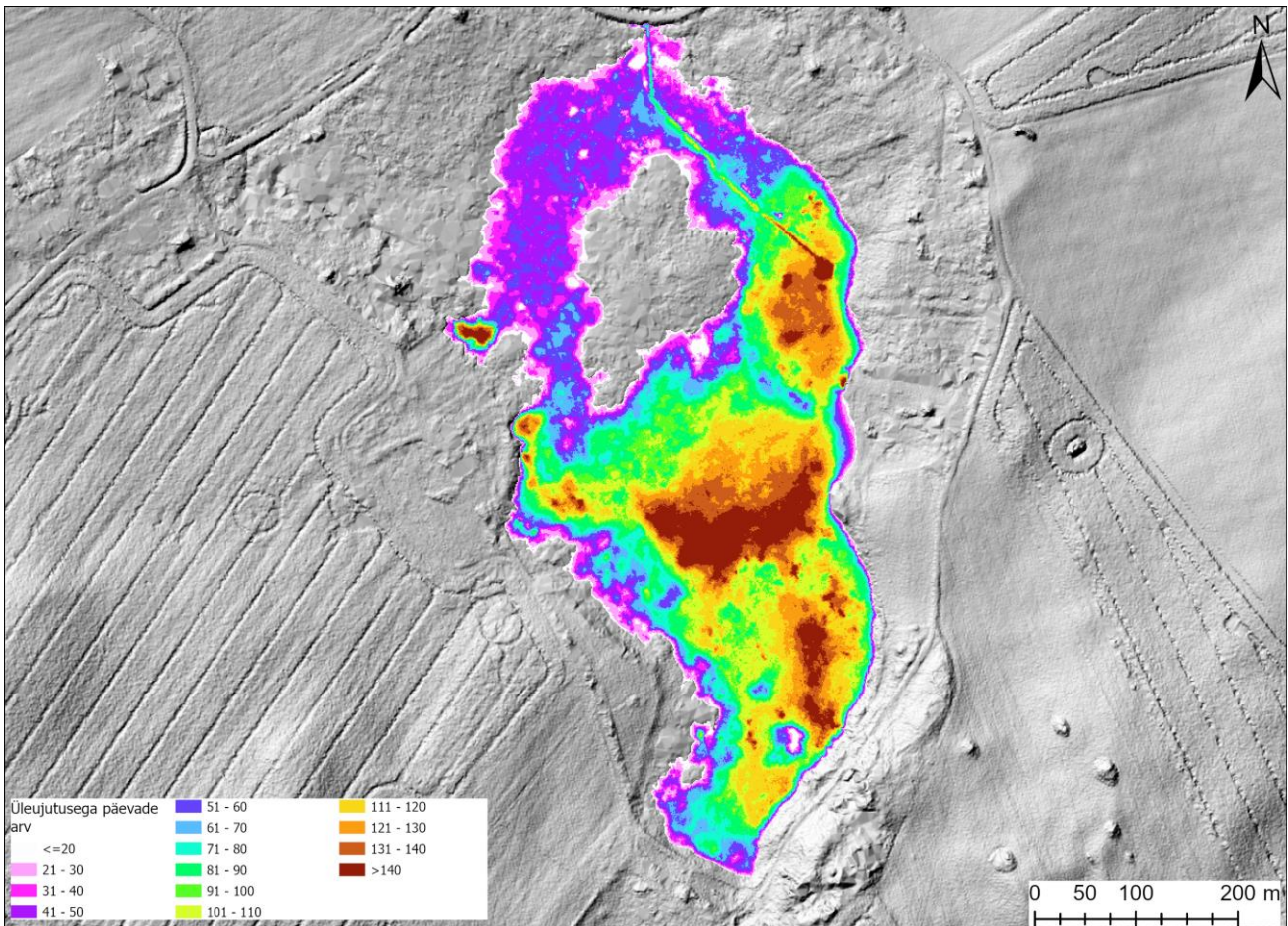
Joonis 4.4.5. Jalgsema karstijärvi veepiir tasemel 99,6 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudelile. Punase noolega on tähistatud pinnavee sissevoolu suund järvikusse.

Veetaseme 99,60 m ü.m.p põhjal modelleeritud 1x1 m resolutsiooniga sügavusjaotuste kaardil on järvi suurimaks sügavuseks ca 2,4 m. Suurim sügav ala asub järvi keskosas (Joonis 4.4.6). Kaks sügavamat ala asuvad ka järvi kirde- ja kaguosas. Väiksemaid sügavamaid kurisuid on järvi läänesosas. **Veetaseme anduri asukohas oli modelleeritud veesügavus maksimaalse täitumise ajal ca 2,1 m, samal ajal oli veetaseme anduri andmetel veesügavus seal ca 2,6 m.** Erinevuse põhjuseks on ilmselt asjaolu, et kõrgusmudeli aluseks oleva LiDAR-ülestõusu ajal oli kurisus vesi sees. Sügavusandmetest on näha, et suuremas osas järvis oli maksimaalse veetaseme ajal sügavus vähemalt 1 m. Järvi põhjaosas asub suur metsane saar ja lõunaosas väiksem saareke. **Järvi modelleeritud maht maksimaalse veetaseme ajal oli ca 170 000 m³ ning keskmine sügavus 0,9 m.**



Joonis 4.4.6. Jalgsena karstijärvi sügavus veetaseme kõrgusel 99,6 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudelile.

Modelleeritud üleujutuse kestuse andmete põhjal püsis valdavas osas järvis vesi vähemalt kolm kuud (Joonis 4.4.7). Lühiaalisem, kuni poolteist kuud, oli üleujutus järvi metsases kirdeosas. Veetaseme langedes jagunes järvi aprilli teises pooles kolmeks suuremaks, enam kui sajameetrise läbimõõduga, osaks. Mai keskpaigast juuni alguseni vett veel vaid järvi sügavamates osades.



Joonis 4.4.7. Päevade arv vahemikus 10.12.2024 kuni 06.06.2025, mil vastav ala Jalgsema karstijärvikus oli vee all Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudeli ja veetaseme anduri mõõtmistulemuste põhjal.

4.4.2. Hüdrokeemia

Jalgsema järvikust mõõdeti vee väliparameetreid neljal korral ja võeti veeproove kolmel korral. Veeproovid võeti ja väliparameetrid mõõdeti veetaseme anduri asukohast (Joonis 4.4.1) ida pool kaldalähedasest veest. Veebruari alguses oli järvik kaetud inimest mittekanvda jääga, mistõttu võeti veeproov ja mõõdeti parameetrid jääserva alt.

Järviku pH oli uuringu ajal kalgiveeliste järvede tüüpilises vahemikus 7,1-st 8,0-ni (Tabel 4.4.1), kuigi varieeruvus mõõtmiskordade vahel oli suurem kui enamikel uuritud järvikutest. Lahustunud ainete sisaldus (mineraalsus) oli Simmi (1975) klassifikatsiooni järgi enamikel kordadel suurenenud ning märtsis keskmine, kuigi suurenenud sisalduse piiri lähedal. Vesinikkarbonaadi sisaldus oli kõigil kolmel korral suurenenud ja suure klassi piiril. Seetõttu jäi järvik VRD-põhiste järvetüüpide klassifikatsioonis kalgiveeliste ja keskmise karedusega veega järvede piirile, olles kolme proovi keskmisena napilt kalgiveeline (Pinnaveekogumite..., 2020). **Jalgsema järvik oli uuritutest kõige pehmeveelisem.** HCO_3^- moodustas veebruaris ja aprillis mineraalsusest 85–90% ning märtsis peaaegu kogu mineraalsuse. Hapnikuolud olid veebruaris ja aprilli keskel keskpärased ning märtsis halvad. Veebruaris oli järvik kaetud õhukese jääga ning märtsis oli jääga kaetud suurem osa järvikust, vaid kalda ääres oli kümmekond meetrit lahtist vett. Sellistest tingimustest on ebasoodsate hapnikuolude olemasolu mõistetav. Aprilli keskel küll enam jääd polnud, kuid hapnikusisaldus oli endiselt madalavõitu, ilmselt järvikut täitva ohtra taimse massi lagunemise tõttu.

Üldläämmastiku sisaldus oli veebruaris napilt halval, aga märtsis ja aprillis väga heal tasemel (Tabel 4.4.1). Nitraatläämmastiku sisaldus moodustas veebruaris ca 70% üldläämmastikust, märtsis ca 40% ning aprillis oli nitraatläämmastikku alla määramispiiri. Seega moodustas järviku täitumise perioodil olulise osa lämmastikust

orgaaniline lämmastik. Aprillis oli järvis arvestataval määral ka ammooniumlämmastikku, mis võis olla sinna tekkinud taimsete jäänuuste lagunemisel.

Fosforisisaldus oli järvis kõigil kolmel korral väga suur ning vastas väga halvale seisundiklassile. Erinevalt paljudest teistest järvikutest oli Jalgsemal üldfosfori sisaldus suurim maksimaalse täitumise ajal. Märtsiks vähenes see 40% võrra. Enamike järvikutega sarnane oli asjaolu et aprilliks fosforisisaldus märtsiga võrreldes taas suurenes. Fosfaatfosfori sisaldus järvi vees oli aga oluliselt väiksem kui üldfosfori sisaldus. See eristab Jalgsema järvikut Assamalla ja Kuksema järvikutest, kus ka juba veebruaris alguses üldfosfori sisaldus üle 0,1 mg/l oli, kuid kus fosfaatfosfor moodustas sellest üle 80%. Veebruaris moodustas fosfaatfosfor Jalgsema vees veidi üle poole üldfosforist, märtsis vaid ligi 10% ning aprillis ligi 25%. Seega oli suure orgaanilise fosfori osakaalu poolest järvis sarnane Saksi järvikuga.

Sarnaselt Assamalla järvikule oli ka Jalgsemas juba veebruaris alguses klorofüll a sisaldus väga suur (19 µg/l) ning isegi ületas Assamalla sisaldust 1,7 kordselt. Märtsiks vähenes klorofüll a sisaldus kaks korda (kuigi jäi endiselt väga halvale tasemele) ning aprilli teiseks pooleks taas tõusis, kuid mitte sama kõrgele, kui see oli olnud veebruaris. Aprilli alguses fütoplanktoni proovi võtmise ajal määratud klorofüll a sisaldus oli aga kordades väiksem, samuti sarnaselt Assamallale. Aprilli alguse vähese klorofüll a sisaldusega läks kokku ka vähene fütoplanktoni biomass (vt ptk 4.4.5), kuid selliste klorofüll a kõikumiste põhjendamine on keeruline. Kui seda aprilli alguse klorofüll a näitu ignoreerida, saaks järvi vee lämmastiksisalduse vähenemist selgitada, sarnaselt teistele järvikutele, põhjavee sissevoolu vähenemise ja lämmastiku biomassi sidumise või denitrifitseerumisega hapnikupuuduse tingimustes. Suur klorofüll a sisaldus intensiivset produktsiooni justkui ka kinnitab. Miks, erinevalt enamikest teistest järvikutest vähenes selle käigus veebruarist märtsini ka fosfori sisaldus ning miks teiste järvikute puhul eeldatud fosfori vabanemine settest Jalgsemas antud perioodil fosfori kasutamist ei suutnud kompenseerida, jäi ebaselgeks. Märtsist aprilli keskpaigani toimunud klorofüll a ja fosforisisalduse suurenemine ning jätkuv lämmastiksisalduse vähenemine on teiste järvikutega sarnasem ning seletatav fosfori vabanemisega pinnasest ning seetõttu intensiivistuva produktsiooniga. Tõsi on aga see, et aprilli teiseks pooleks oli produktsiooni piiravaks elemendiks muutunud juba lämmastik, sest N:P suhe oli langenud 11-ni ja täiendava fosfori lisandumine produktsiooni suurendamisele enam kaasa ei saanud aidata.

Orgaanilise aine sisaldus oli nii KHT_{Cr} kui ka KHT_{Mn} järgi veebruaris väike, märtsis keskmine ja aprillis suur. Seega suurenes järvi orgaanilise aine sisaldus järjepidevalt. Samas oli Jalgsemas, erinevalt Assamalla, orgaanilise aine sisaldus veebruaris siiski KHT_{Cr} järgi määramispiirist oluliselt suurem, mistõttu polnud seal selgitamatut olukorda, kus suur produktsioon vette orgaanilist ainet ei tekitanud. Oksüdeeritavusprotsent oli Jalgsemas 33% ja 39% vahel, vähenedes veebruarist aprillini. See viitab, et järvis valdas küll veefaasi ajal moodustunud orgaaniline aine, kuid osa orgaanilist ainet pärines ka järvi kuiva faasi ajast või valgalalt. Veefaasi jooksul oksüdeeritavusprotsendi vähenemist saab põhjendada sellega, et esialgu oli vees suhteliselt rohkem üleujutatud pinnasest välja leostunud orgaanilist ainet ning veefaasi jooksul suurenes järves endas toodetud orgaanilise aine kogus rohkem, kui leostus juurde pinnasest ja/või vabanes biomassi lagunemisest. Kuna aga järvi kollase aine sisaldus märtsist aprillini siiski enam kui kahekordistus ning aprillis võis järvikut lugeda juba tumedaveeliseks (Ott et al, 2021), pidi ka leostumine ja/või taimestiku lagunemine intensiivselt toimuma.

Järvi saab üldfosfori ja klorofüll a sisalduse andmete põhjal lugeda mõõdukalt eutrofeerunuks. Samas tuleb välja tuua, et Jalgsema puhul peaaegu polnud probleemiks Pandiverele tüüpiline suur nitraadisaldus, vaid just fosforisisaldus.

Maasika talu kaevust mõõdeti vee väliparameetreid kolmel korral ning võeti veeproove kahel korral. Ühel ja samal ajal sai järvikust ja kaevust veeparameetreid mõõta kahel korral. Esimesel korral sai veeparameetrite mõõtmiseks kaevust vett välja lasta pumba ja õuekraani abil, kuid ülejäänud kahel korral mõõdeti näitajaid otse kaevust. Seal segas sügavamalt mõõtmist ning eriti veeproovide võtmist aga torustik ja pumba kinnitamiseks kaevus olnud kett. Seetõttu mõõdeti näitajaid erinevatel kordadel erineval sügavusel ning hiljem selgus, et vesi kaevus oli tugevalt stratifitseerunud (Tabel 4.4.1). Veebruaris imeti veeproov kaevust

välja peenikese voolikuga ning aprillis võeti proov kitsa metallbatomeetriga *Solinst Point Source Bailer*. Talveperioodil kaev veevõtmiseks aktiivses kasutuses ei olnud. Seega ei ole kaevust mõõdetud näitajad erinevate mõõtmiskordade vahel üks-ühele võrreldavad, kuid andmetest piisas järeldamiseks, et kaev ei ole Jalgsema järvikule põhjavee kaudu avalduva kvaliteedi mõju seiramiseks sobiv.

Kui detsembris kaevuveest mõõdetud pH oli piirkonnale omase väärtusega (Tabel 4.4.1), siis veebruaris ja aprillis oli kaevu pinnakihi vee pH ebatüüpiliselt kõrge (Tabel 4.4.1). Samuti oli pinnakihi vesi üsna mineraalainetevaene. Mineraalsus erines detsembris kaevust välja pumbatud ja veebruari alguses pinnakihis olnud vees kaks ja pool korda. HCO_3^- -sisaldus oli veebruaris kaevu pinnakihis kaks ja pool korda väiksem kui samal ajal järvikus. Aprillis oli erinevus järviku HCO_3^- sisaldusega küll vähenenud, aga see oli ikkagi järviku veest väiksem, samal ajal kui elektrijuhtivus oli ca 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ võrra suurem kui järvikus. Seega moodustas HCO_3^- aprillis kaevuvee mineraalsusest vaid ligikaudu poole ning poole pidid moodustama mingid muud ioonid. Kõigil kolmel korral, kui kaevuveest määrati redokspotentsiaali, valitsesid seal tugevalt redutseerivad tingimused, kusjuures aprilli teises pooles oli redokspotentsiaal pinnakihis veel negatiivsem kui mõni meeter sügavamal. Seetõttu polnud kaevuvee pinnakihis veebruari alguses ka nitraate ning peaaegu kogu lämmastik oli ammoniumina. Ammooniumi oli palju ka aprillis, kui proovi sai võtta sügavamalt, kuid seda oli siis kaks korda vähem kui veebruaris. Aprillis oli kaevuvees ka nitraate kaks korda ammoniumist rohkem. Üldlämmastiku sisaldus oli kaevuvees samas üsna väike. Veebruaris oli seda kaevu pinnakihis vähem kui samal ajal järvikus, aprillis aga rohkem. Võimalik, et osa lämmastikust oli veebruaris kaevu pinnakihis denitrifikatsiooni tulemusel lendunud. Kuid põhimõtteliselt olid nii järviku kui ka kaevuvee lämmastiku- ja nitraadisaldused suhteliselt väikesed, kui võrrelda Pandivere üldise fooniga. Mistõttu sedavõrd suurt vastuolu selle kaevu puhul järviku andmetega polnud, nagu näiteks Alba ja Einjärve seirekaevude puhul.

Kaevu veeparameetrite kummalisuse põhjuseid otsides saab välja tuua, et orgaanilise aine sisaldus ei olnud kaevuvees märkimisväärne. Veebruaris oli KHT_{Cr} alla määramispiiri, nagu enamikes uuritud kaevudes, ja kuigi aprillis oli see suurem (19 mgO/l), siis KHT_{Mn} jäi ka siis kaks korda alla põhjavee üldist KHT_{Mn} hea seisundi piirväärtust (5 mgO/l) (Põhjaveekogumite..., 2019). Samuti jäi see oluliselt väiksemaks, kui see oli olnud Alba talu kaevus. Seega märkimisväärset pinnavee sissevoolu kaevu veeparameetrite kummalisuse põhjusena esitada ei saa. Samuti ei olnud kaevu veetaseme andmetes tugevatele sadudele järgnenud lühiajalisi kiireid veetaseme tõuse ja languseid.

Kaevuvee fosforisisaldusel oli, sarnaselt lämmastikusisaldusele, järviku vee fosforisisaldusega sarnaseid jooni. Veebruaris, mil kaevu veetase oli järviku veetasemest kõrgemal ning veevool oleks pidanud toimuma järviku poole, oli kaevu pinnakihis fosforisisaldus suur, kuid ligikaudu kaks korda väiksem kui järvikus. Aprillis, mil kaevu veetase oli langenud järviku veetasemest madalamale ja teoreeriliselt võis toimuda järviku vee valgumine kaevu poole, oli fosforisisaldus kaevus pinnakihist mõned meetrid sügavamal kaks korda suurem, kui see oli olnud veebruari alguses. See oli suurem ka kui järvikus veebruari alguses. Kuna järviku vee väiksem fosforisisaldus ei saa põhjustada põhjavee suuremat fosforisisaldust, siis pidi ka aprillis kaevuvees olnud fosfor olema seal järvikust sõltumatult. Tähelepanuväärne, kuid selgitamata jääv on asjaolu, et kaevuvees oli fosfaatfosfori osakaal üldfosforist veelgi väiksem kui järvikus. Nimelt veebruaris oli see alla 40% ning aprillis vaid 10%.

Seega, kuna kaevuvee mineraalsuse näitajad ei läinud järviku omadega kokku **ei sobi Maasika talu kaev põhjavee kvaliteedi kaudu Jalgsema järvikule avalduva mõju seireks**, vähemalt olukorras, kui kaevu vett aktiivselt ei tarbita ning see tugevalt kihistub. Samas ei saa jätta tähelepanuta, et nii järvikus kui kaevus oli lämmastikusisaldus pigem väike ja fosforisisaldus läbi uuringuperioodi väga suur. Seega saab teha ettevaatliku järelduse, et **Jalgsema järvikus olnud rohke fosfor pärines vähemalt osaliselt põhjaveest**.

Tabel 4.4.1. Jalgsema järvikust ja Maasika talu kaevust välitingimustes mõõdetud näitajad. *Mõõdetud kaevu pinnakihist

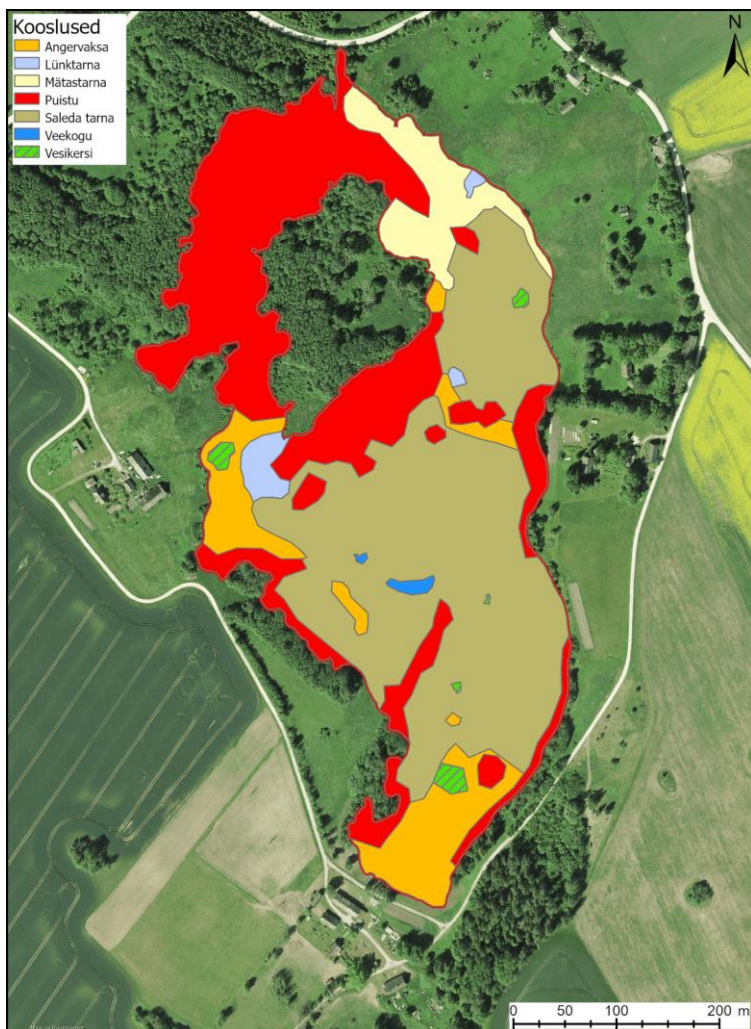
Objekt	Kuupäev	pH	ORP (mV)	SEC (µS/cm)	TDS (mg/l)	Temp (°C)	O ₂ (mg/l)	O ₂ %	Hägusus (NTU)
Järvik	06.02.2025	7,2	216	430	280	1,6	7,2	45	
Järvik	25.03.2025	7,1	5	369	240	5,0	1,6	10	
Järvik	04.04.2025	8,0	47	415	270	10,8			1,4
Järvik	19.04.2025	7,6	190	404	263	19,3	4,4	49	
Kaev	14.12.2024	7,5		640	416	6,5			
Kaev	06.02.2025*	8,4	-270	248	161	6,3			
Kaev	22.04.2025	8,1	-194	551	358	7,0			
Kaev	22.04.2025*	8,7	-256	259	166	7,0			

Tabel 4.4.2. Jalgsema järvikust ja Maasika talu kaevust võetud proovidest laboris määratud näitajad. *Mõõdetud kaevu pinnakihist

Objekt	Kuupäev	Nüld (mg/l)	NH ₄ ⁻ -N (mg/l)	NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	Püld (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)	TN:TP	KHT _{Cr} (mgO/l)	KHT _{Mn} (mgO/l)	Y (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Chl-a (µg/l)
Järvik	06.02.2025	3,6	<0,008	2,6	0,022	0,120	0,068	30	23	9,0	5,4	238	19
Järvik	25.03.2025	1,3	0,021	0,5	0,007	0,070	0,009	19	32	12	4,1	250	8,5
Järvik	04.04.2025												0,5
Järvik	19.04.2025	0,9	0,14	<0,01	<0,005	0,083	0,020	11	49	16	9,9	238	14
Kaev	06.02.2025*	2,2	1,94	<0,01	<0,005	0,066	0,024		<14	2,0		98	
Kaev	22.04.2025	3,0	0,93	1,9	<0,005	0,130	0,013		19	2,5		189	

4.4.3. Taimestik

Jalgsema paigutub koos Saksi, Tudre ja Assamalla märgade kõrgrohustute rikaste ning konkreetsemalt saleda tarna ja angervaksa koosluste domineerimisega järvikute hulka. Järvikus on kõige laiemalt levinud monotoonne saleda tarna kooslus (Joonis 4.4.8). Ida- ja lõunaosas, lühema üleujutuse kestusega aladel, on ka angervaksakoosluse levikualasid. Ainsana uuritud järvikutest levis Jalgsema põhjaosas arvestataval alal mätastarna kooslus. Järviku loodeosas on üleujutatav ulatuslik puistuala. Uuringuaastal karjatati järviku lõunaosas veiseid ning karjatatud alad oli tunduvalt liigirikkamad kui samade koosluste karjatamata alad.



Joonis 4.4.8. Jalgsema taimekooslused.

4.4.4. Suurselgrootud

Proovivõtukoht asus veetaseme anduri asukohast (Joonis 4.4.1) kagu pool järviku kaldavees. Jalgsema järvik oli taksonivaene (11), mis tähendab halba seisunditaset. Kaldavööndi taimestik oli muude veekogudega võrreldes üsna mudastunud. Kõige rohkem oli pistesääsklasi ja vesikakandit (*Asellus aquaticus*). Ajutiste vete tunnustaksoneid esindasid triip-ahaskaan (*Erpobdella lineata*) ja ehmeestiivaline *Grammotaulius* sp. Seisund alaliste karedaveeliste järvede kriteeriumite järgi oli väga halb (Tabel 4.4.3).

Tabel 4.4.3. Jalgsema karstijärviku suurselgrootute kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a kevadel. T – üldine taksonirikkus, H' – Shannoni erisus, ASPT – taksoni keskmine tundlikkus, EPT – tundlike taksonite rikkus, MMQ – seisund, Chir% - surusääsklaste vastsete protsent taksonite üldarvust

Kuupäev	T	H'	ASPT	EPT	suse_m (MMQ)	MESH	Chir%
04.04.2025	11	1,41	4,00	2	2	1,00	0,5

4.4.5. Fütoplankton

Proov võeti järvi kaldaveest veetaseme anduri asukohast (Joonis 4.4.1) kagu pool. Järvis domineerisid erinevat liiki neelvetikad perekonnast *Cryptomonas*, rohevetikas *Koliella* sp. Kevadisele veele iseloomulikud olid ka koldvetikad ning proovis leitud veel rohevetika niite perekonnast *Microspora*, aga neid oli hõredalt. Seisund alaliste järvede kriteeriumite järgi oli hea (Tabel 4.4.4).

Tabel 4.4.4. Jalgsema järvi fütoplanktoni kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud. Chl a – klorofüll a sisaldus µg/l; J – ühtluse indeks; FKI – fütoplanktoni koondindeks; FLA – liikide arv loendusproovis ja võrkude proovis; FBM – biomass g/m³; CY, BAC, CHL, CONJ, CHR, CRY, DINO, EU – vastavalt sini-, räni-, rohe-, ikkes-, kold-, neel-, vaguvibur-, silmviburvetikate biomass g/m³

Kuupäev	Chl-a	J	FKI	FLA	FBM	CY	BAC	CHL	CONJ	CHR	CRY	DINO	EU	Dominandid	Kooslus
04.04.25	0,5	0,4	1,75	12+4	1,45	0	0	0,01	0	0,02	1,41	0	0	<i>Cryptomonas</i> sp, <i>Koliella</i> sp	Hea

4.4.6. Zooplankton

Jalgsema järvikust oli võimalik zooplanktoni proovi võtta nii märtsis kui aprillis (Tabel 4.4.5). Zooplanktoni arvukus ja biomass olid suured juba märtsis ning kasvasid aprilliks veelgi. Väga suure arvukuse ja biomassiga olid proovis aerjalgsete naupliusvastsed. Zooplanktoni arvukus oli Jalgsema järvis kõikidest uuritud järvikutest suurim. Liikidest olid esindatud aerjalgsed *Acanthocyclops robustus*, hiidaerik (*Hemidiaptomus amblyodon*), karstijärvikutele iseloomulik Eestis haruldane segaaerik (*Mixodiaptomus theeli*), vesikirbud *Daphnia curvirostris*, *D. longispina* ja *Simocephalus vetulus*. Märtsis esines zooplanktonis ka pehmeid keriloomi, kes jäid määramata.

Tabel 4.4.5. Jalgsema metazooplanktoni rühmade arvukus (A) ja biomass (BM) ning peamiste rühmade osa koguarvukusest ja biomassist

	Kuupäev	Kokku	Cladocera	Copepoda	Rotatoria	Clad %	Cop %	Rot %
A, ind m ⁻³	25.03.2025	790 000	1000	756 500	32 500	0,1	95,8	4,1
A, ind m ⁻³	19.04.2025	1 954 075	8025	1 946 050	0	0,4	99,6	0,0
BM, mg m ⁻³	25.03.2025	3632	15	3585	33	0,4	98,7	0,9
BM, mg m ⁻³	19.04.2025	5670	120	5550	0	2,1	97,9	0,0

4.4.7. Fütobentos

Jalgsema karstijärvi fütobentose seisund (fübe_m) oli väga hea (Tabel 4.4.6). Ränivetikate spetsiifiline reostustundlikkuse ja troofsuse indeksid näitasid, et seisund on väga hea. Watanabe indeks näitas head seisundit. Kokku määrati 15 taksonit bentiilisi ränivetikaid. Selles karstijärvis domineeris ülekaalukalt *Achnanthydium minutissimum* (62,7%). Tegemist oli uuritud järvikute kõige monotoonsema ränivetikakooslusega, kuna üheski teises järvis ei moodustanud üks takson arvukusest üle 40%. Arvukas oli veel liik *Delicata delicatula* (13,1%). *Achnanthydium minutissimum* on omane vähese toiteainesisaldusega veekogudele ning *Delicata delicatula* väga vähese toiteainesisaldusega veekogudele. Jalgsema oli Saksi kõrval uuritud järvikutest teine, kus eutroofsete vete tunnusliiki *Gomphonema parvulum* peaaegu polnud, seda leiti vaid 0,5% arvukusega. Kuna vähe oli ka teisi eutrofeerumist või orgaanilist reostust indikeerivaid taksonid, oli Jalgsema kõigi kolme ränivetikaindeksi põhjal uuritud järvikutest kõige paremas seisundis.

Tabel 4.4.6. Jalgsema karstijärvi fütobentose kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a. kevadel

Aeg	Substraat	Taksonite arv	fübe indeksid			fübe_m
			IPS	WAT	100-TDI	
22.04.2025	makrofüüdid	15	17,3	13,5	82,1	väga hea

4.4.8. Kokkuvõte

Jalgsema järvi saavutas uuringuaastal varasemate teadaolevate vähete andmetega võrreldes maksimumilähedase ulatuse ning selle veefaas oli uuritud järvikute võrdluses pigem pikk. Järvi toiteala jääb sellest itta ja kirdesse. Erinevalt enamikust uuritud järvikutest oli selle fosforisisaldus suur juba maksimaalse veetaseme ajal. Fosforit oli palju ka järvi põhjavee seirekaevus. See hinnati küll muude näitajate tõttu põhjavee kvaliteedi kaudu järvikule avalduva mõju seireks ebasobivaks, samas suur fosforisisaldus kaevus viitab, et ka järvis võis see pärineda põhjaveest. Jalgsema eripäraks enamike teiste Pandivere järvikutega võrreldes oli pigem väike lämmastiksisaldus. Kuna reeglina on fosfor siseveekogudes tootmise piiravaks elemendiks, siis mõõdukale lämmastiksisaldusele vaatamata oli järvi klorofüll a sisaldus kalgiveeliste järvede kohta väga suur. Kuigi ametliku piirväärtuse põhjal napilt kalgiveeline, oli järvi uuritust kõige pehmeveelisem. Selle põhjused uuringust ei selgunud.

Elustiku andmed näitasid vastandlikke tulemusi. Taimestik domineeris karjatamata aladel saleda tarna sisuliselt puhaskooslus. Ühe liigi domineerimisega elupaika ei saa lugeda soodsas seisundis olevaks. Zooplanktoni puhul oli tähelepanuväärselt suur nii biomass kui ka arvukus ning mõlema moodustasid peaaegu täies ulatuses aerjalgsed. Sealhulgas leiti haruldast ja seni vaid karstijärvikutest leitud sega-aerikut. Keriloomade osakaal oli väga väike. Kuigi zooplanktoni koosluste indikaativsed näitajad karstijärvikutes vajavad veel täpsustamist, siis pigem ei saa nähtud kooslust pidada eutrofeerumist väljendavaks. Suurselgrootute põhjal sai järvi uuritust kõige halvema seisundihinnangu. Fütoplankton näitas seevastu head ja fütobentos kõigist uuritud järvikutest kõige paremat seisundit. Suurselgrootute puhul oli probleemiks nii üldine taksonite vähesus, mis oli omane kõigile uuritud Pandivere järvikutele, aga Jalgsemas oli ka kõige vähem tundlikke taksonid. See viitab, et teistest Pandivere järvikutest saadud kehvat seisundit ei saa kanda hindamissüsteemi mittesobivuse arvele. Nii, et elustiku komponentidest saab lugeda ebasoodsas seisundis olevaks nii taimestiku kui ka suurselgrootud. **Seega saab järeldada, et järvi seisund on põhjavee kaudu avalduva suure fosforikoormuse tõttu ebasoodne.**

4.5. Kirikla karstijärvik

Kirikla karstijärvik asub Saue valla Kernu ja Kirikla külade piiril. Maa- ja Ruumiameti ortofotodest on järvikut kõige veerohkemana kujutatud 08.05.2013 fotol (Joonis 4.5.1). Järviku väljanägemist 09.03.2025 on kujutatud joonisel 4.5.2.



Joonis 4.5.1. Kirikla karstijärvik Maa- ja Ruumiameti 08.05.2013 ortofotol ning veetaseme anduri ja seirekaevu asukoht.



Joonis 4.5.2. Kirikla karstijärvik 09.03.2025. Pilt: Marko Vainu.

4.5.1. Hüdroloogia

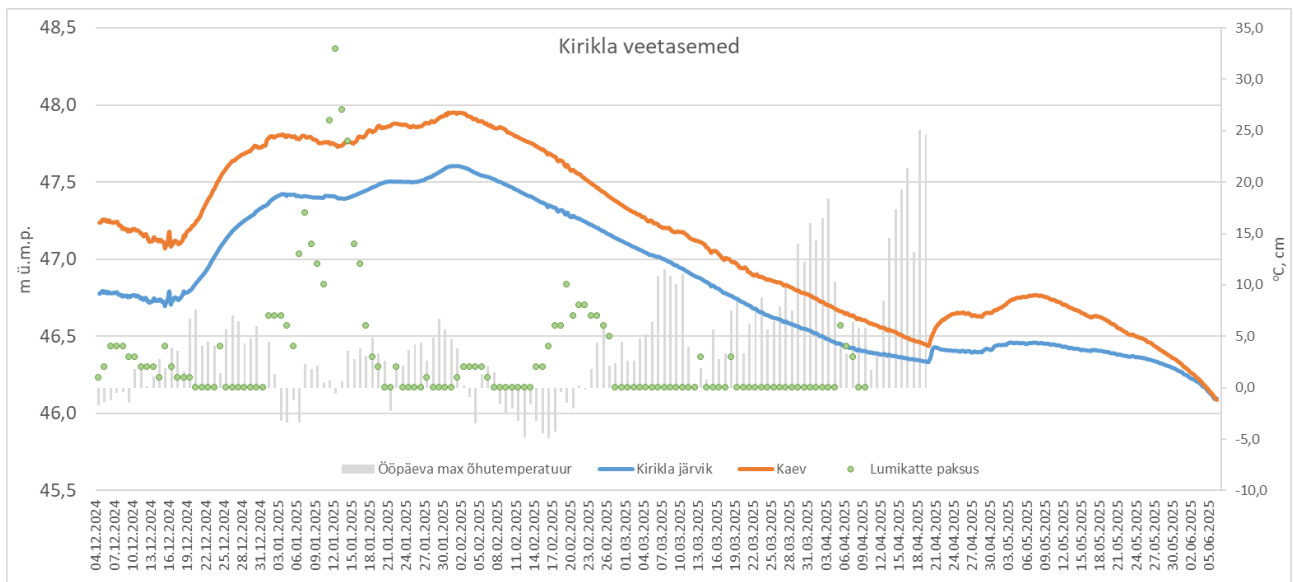
Veetaseme andur paigaldati järvi idaosas olevasse lohku (Joonis 4.5.1) 04.12.2024 ning siis oli anduri kohal juba 66 cm vett, veetase oli kõrgusel 46,78 m ü.m.p (Joonis 4.5.3) ning järvik oli kaetud õhukese jääkihiga. Kagu poolt voolas järvikusse sisse oja. Varem, oktoobri lõpus oli sama oja vesi neeldunud Kohila-Kernu tee all truubis.

Samal päeval paigaldati põhjaveetaseme andur järvikust 30 m idas asuvasse Kaskemäe talu 3,4 m sügavusse salvkaevu. Põhjaveetaseme anduri paigaldamise ajal oli kaevus vett ca 2,3 m. Veetase oli kaevus 45 cm kõrgemal kui järvikus. Kogu mõõtmiste perioodi jooksul oli kaevu veetase järvi veetasemest kõrgemal.

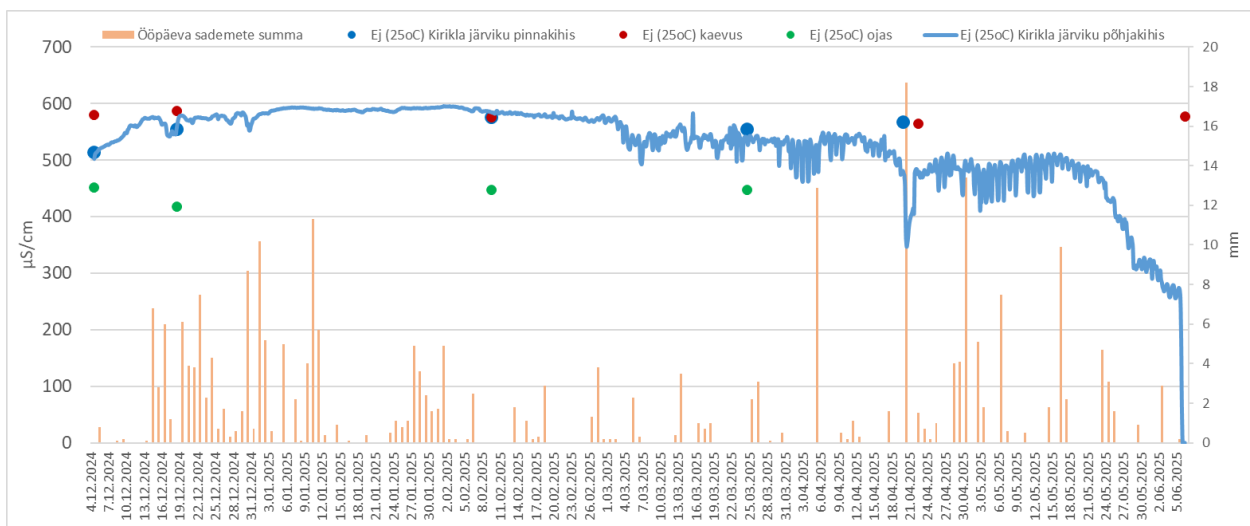
Vainu et al (2019) töös Kirikla järvi kontseptuaalset mudelit ei koostatud, seda tehti käesolevas töös (ptk 2.2) kuid kaardiandmete põhjal oli juba varasemalt teada, et järvikusse voolab täitumise ajal kagust sisse oja. Seetõttu järeldati, et järvi toiteala peab olema sellest kagu ja ida pool. Kohalikega suheldes selgus, et Kaskemäe talu kõrval olevas Keldimäe talus on ka puurkaev (puudub EELISE puurkaevude registrist), aga ligi 30 m sügavune. See peeti uuringu jaoks liiga sügavaks, kuna avab tõenäoliselt põhjaveekihte, mis järvi toitesse ei panusta. Järvikust kagus, Käbi kinnistul, asub EELISE puurkaevude registri andmetel küll ka 20,5 m sügavune puurkaev (PRK0067992), kuid sealsete elanikega ei õnnestunud kontakti saavutada.

Kuni 15. detsembrini langes kaevu veetase ca 15 cm võrra ja järvi veetase ca kümme cm võrra. Sellel perioodil valitsesid peamiselt miinuskraadid (Joonis 4.5.3) ja põhjavee toitumine oli takistatud. Seejärel kõikus põhjaveetaseme paari päeva jooksul ilma konkreetse suunas muutumata. Järvi veetase tõusis mõne cm võrra anduri sissepanekuaegse veetaseme lähedale. Veeproovi võtmise ajal, 18. detsembril, oli järvik kaetud inimest kandva jääkihiga. Kiirem veetaseme tõus nii kaevus kui järvikus algaski alates 18. detsembrist ning veetase tõusis ööpäevas kolm kuni neli cm kuni 2. jaanuarini. Kuusiku, kui Kiriklale lähima ilmajaama, andmetel oli selleks ajaks ära sulanud kogu detsembril esimeses pooles sadanud vähene lumi ning 14.–18. detsembrini oli tulnud ka 17 cm sademeid (Joonis 4.5.4), valdavalt vihmata. Järelikult sellest piisas, et põhjaveetaseme kiirelt kerkima panna. Elektrijuhtivus järvikus oli suurema osa uuringuperioodist stabiilne. Detsembril esimeses pooles kerkis see 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ juurest 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$ juurde juba enne kiire veetaseme tõusu algust ning veetaseme tõus eristatavat mõju ei avaldanud. Pisteliselt mõõdeti elektrijuhtivust ka seirekaevus ja järvikusse voolavas ojas, kui selle vesi järvikuni jõudis. Oja vesi oli uuringu jooksul 130–170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ võrra lahjem kui kaevuvee (Joonis 4.5.4). Detsembril alguses oli järvikus oleva vee elektrijuhtivus oja ja kaevuvee vahepealne, aga detsembril keskel ja veebruaril alguses sarnane kaevuveele. Oja veest suurem oli järvi elektrijuhtivus ka märtsi lõpus. Seega võib järeldada, et täitumise alguses oli järvikus oja ja vahetult järvikusse avanenud põhjavee segu, kuid veetaseme tõustes muutus domineerivamaks vahetult järvikusse avaneva põhjavee mõju.

Kaevu veetase püsis stabiilne kuni 7. jaanuarini ning seejärel langes kuni 13. jaanuarini mõned cm ja hakkas sama päeva teisest poolest alates taas tempoga mõni cm päevas tõusma. Järvi veetase käitus sellel perioodil sarnaselt. Pärast väikest languseperioodi hakkas see põhjaveega samas tempos tõusma öösel vastu 14. jaanuari. 3. jaanuarist läks ilm külmemaks ja lumi hakkas maapinnale kogunema, mistõttu veetaseme tõusu lõppemine oli loogiline. Sulailmad algasid taas 14. jaanuarist ehk samal päeval, kui kaevu veetase tõusma hakkas.



Joonis 4.5.3. Veetaseme muutus Kirikla karstijärvikus ja Kaskemäe talu kaevus; ööpäeva maksimaalne õhutemperatuur ja lumikatte paksus Kuusiku ilmajaamas (andmed, v.a veetasemed: Keskkonnaagentuur).



Joonis 4.5.4. Elektrijuhtivus (25°C) Kirikla järviku põhjakihis automaatanduri ning pinnakihis ja Kaskemäe talu kaevus üksikmõõtmiste põhjal; ööpäeva sademete summa Kuusiku ilmajaamas (andmed, v.a elektrijuhtivus: Keskkonnaagentuur).

Põhjaveetaseme saavutas tippu (47,95 m ü.m.p) 31. jaanuaril ja sama tase püsis 2. veebruari hommikuni ning hakkas seejärel ühtlases tempos langema. 2. veebruar oli ka esimene päev pärast 21. jaanuari, kui õhutemperatuur ilmajaamas üle 0,2 kraadi plusspoolele ei tõusnud. Kuni 23. veebruarini püsis õhutemperatuur valdavalt miinuspoolel ning põhjavee toitumine oli raskendatud ja veetaseme langus seega oodatav.

Järviku veetase saavutas kõrgeima taseme (47,61 m ü.m.p) kaevu veetasemega samal ajal. Kaevu veetase oli toona 34 cm järviku veetasemest kõrgemal. Kaevu ja järviku veetasemete erinevus püsis 32 ja 40 cm vahel terve jaanuari ning oli olnud detsembris kiire veetaseme tõusu ajal kuni 45 cm. Vähemalt 47,55 m ü.m.p veetase püsis järvikus 28. jaanuarist 5. veebruarini ning hakkas seejärel ühtlases tempos langema. Veeproovi võtmise ajal, 9. veebruaril, oli järvik jääs, kuid servadest piisavalt pehme, et jää peale ei õnnestunud pääseda. Samal ajal tuvastati, et kaevust 30 m edelas, vahetult järviku kõrval olevast tiigist toimus vee väljavool järvikusse. Tiik on järvikust pinnastammiga eraldatud ning selle veetase oli visuaalselt hinnates pidevalt järviku veetasemest kõrgemal, kuid muul ajal väljavoolu tiigist polnud. Veebruari alguses oli aga veetase tiigis tõusnud piisavalt kõrgele, et vesi hakkas voolama üle tammi. Tiigi veetasemeks mõõdeti 47,71 m ü.m.p.

Järviku veetase oli samal ajal 47,48 m ü.m.p ning kaevu veetase 47,84 m ü.m.p. Seega kinnitas nähtu, et Kirikla järvikut toidab idasuunast valguv põhjavesi.

Samal päeval tuvastati järvikü laaneservast ka pinnavee väljavool mööda oja (Joonis 4.5.5). Arvestades selle hetke järvikü veetaset ning asjaolu, et vee sügavus ojas oli ca 30 cm, võis väljavool alata umbes kõrgusel 47,20 m ü.m.p. Seega võis väljavool järvikust alata detsembri lõpus ja lõppeda 24. veebruari paiku, kui veetase langes alla 47,20 m ü.m.p. Umbes sellel kõrgusel aeglustus detsembri lõpus veidi järvikü veetaseme tõusu kiirus. See võib olla tingitud asjaolust, et väljavoolu tekkimisel ei saanud veetase enam sama kiiresti tõusta. Olulist mõju järvikü veetaseme tõusmisele väljavoolu tekkimisel aga polnud ning järvikü veetase kerkis pärast seda veel ligi 40 cm, sest järvikü väljavoolunõva ei suutnud ilmselt kogu lisanduvat vett kiiremini järvikust välja juhtida.



Joonis 4.5.5. Kirikla järvikust väljavoolav oja 09.02.2025. Pilt: Marko Vainu.

Väljavoolu olemasolu korral voolab vesi järvikust läänes olevasse, tõenäoliselt karstilise tekkega, nõkku; ühineb seal lõuna poolt voolava ojaga ning suundub edasi kirdesse, kus neeldub Jaani ja Palmi kinnistute vahel olevas kurisus. Vesi voolab välja 400 m loode pool olevas karstiallikas Karoli kinnistul ning jätkab teekonda mööda Vahtramäe kraavi Vasalemma jõkke.

Nii põhjavee- kui ka järvikü veetasemed langesid kuni 19. aprillini, kui anduri kohale oli jäänud 20 cm vett. Põhjaveetaseme erinevus järvikuga võrreldes oli selleks ajaks vähenenud kümne cm-ni. Kuna samal päeval võeti järvikust veeproov, oli võimalik veenduda, et selleks ajaks oli lõppenud veevool järvikusse mööda kagust suubunud oja. Selle vesi neeldus taas Kohila-Kernu tee all truubis. Seega ei avaldunud ka Kirikla järvikü ega selle seirekaevu veetasemes veebruari esimeses pooles sadanud lume sulamise mõju. Sama oli teiste uuritud järvikute (v.a lühiajaline veetaseme tõus Assamalla) ja enamike kaevudega. Järvikü muidu stabiilne elektrijuhtivus hakkas, sarnaselt Alba järvikule, märtsi algusest kõikumisele. Kõikumise põhjused olid ilmselt samad, aga täpselt teadmata, mis Albas, kuigi Kiriklas oli märtsi alguses veel meetrijagu vett.

20. aprillil tõusis järvikü veetase rohkete sademete toel kümmekond cm. Kuusiku ilmajaamas mõõdeti sellel päeval 18 mm, aga Kiriklast teisel pool, peaaegu sama kaugel asuvas Keila hüdromeetriaajas lausa 28 mm sademeid. See sündmus tõi kaasa ka kiire ja lühiajalise 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ suuruse elektrijuhtivuse languse. Kuna sündmuse-eelne elektrijuhtivus taastus paari päevaga, siis pidi sellel perioodil põhjavesi endiselt järvikusse voolama. See on kooskõlas sellega, et seirekaevu veetase püsis järvikü veetasemest jätkuvalt kõrgemal, mis viitab, et idast tulev põhjavee sissevool jätkus. Eelnevast saab omakorda järeldada, et järvikü veetaseme alanemine toimus seetõttu, et põhjavee sissevool oli väiksem, kui veevool järvikust kurisute kaudu

põhjaveete, mitte seetõttu, et põhjaveetoide oli täielikult lakanud ja järvikus olev vesi ei jõudnud piisavalt kiiresti kurisutes neelduda.

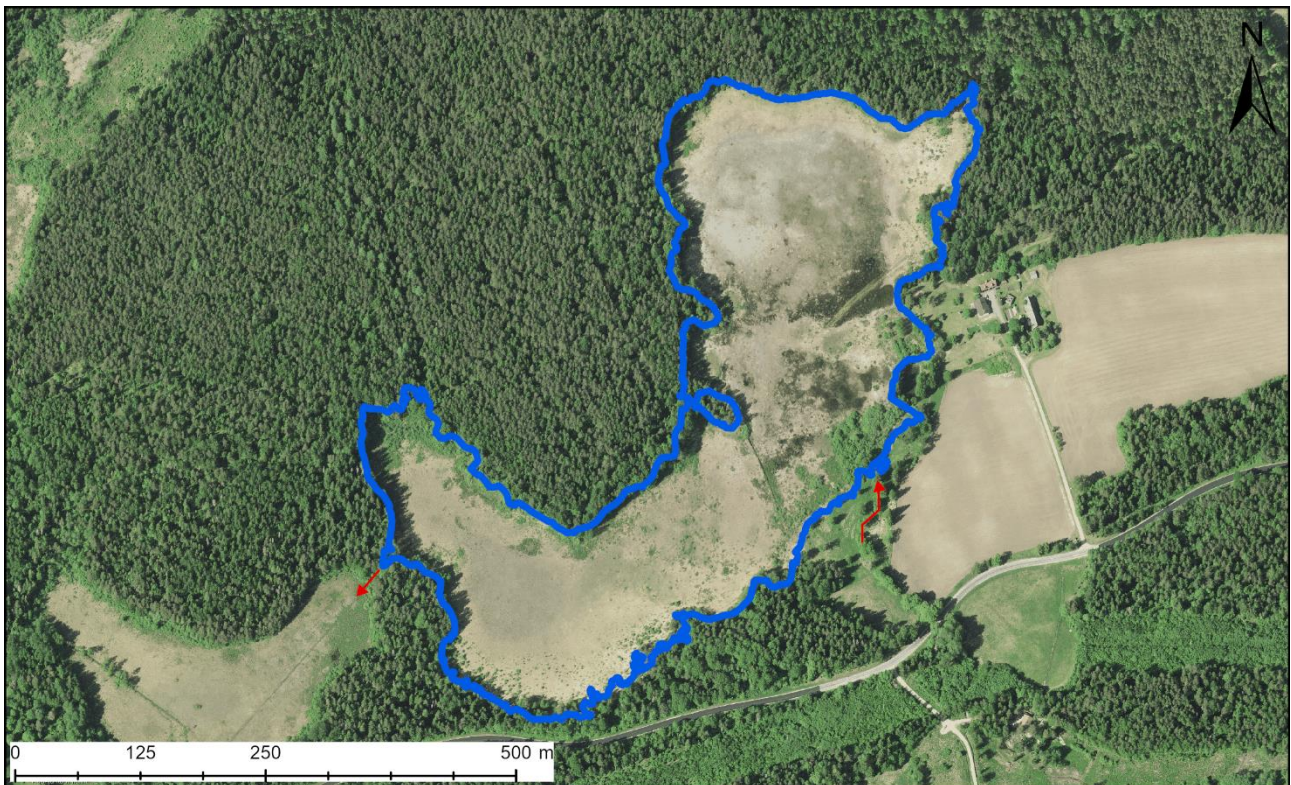
Kui järviku veetase tõusiski ainult ühe päeva ja seejärel stabiliseerus, siis põhjaveetase jätkas tõusmist kuni 24. aprillini. Seejärel püsis põhjaveetase mõned päevad stabiilsena ning tõusis alates 30. aprillist 7. maini veel 12 cm. 30. aprillil oli ka järgmine üle 10 mm sajuhulgaga päev. Kuna järviku veetase põhjaveetaseme tõusule ei reageerinud, kasvas kaevu ja järviku veetasemete erinevus selleks ajaks taas 30 cm-ni. Miks järviku veetase põhjaveetaseme tõusule omapoolse tõusuga ei reageerinud, jääb ebaselgeks. Põhjaveetase pidi samal ajal tõusma ka järvikust allavoolu, mistõttu lisaks põhjavee sissevoolu suurenemisele oleks pidanud vähenema ka vee väljavool järvikust põhjavette ning järviku veetase mingil määral tõusma.

Põhjaveetase hakkas taas langema alates 8. maist. Järviku veetase hakkas aeglaselt langema alates 10. maist. Põhjaveetaseme langus oli järviku veetaseme langusest kiirem ning veetasemete erinevus vähenes pidevalt, kuni põhjaveetase võrdsustust 4. juunil järviku veetasemega anduri asukohas. Selleks hetkeks oli anduri kohale jäänud veel vaid 5 cm vett. Edasi langesid mõlemad veetasemed samas tempos ning andur jäi kuivaks 5. juunil. Elektrijuhtivus anduri asukohas hakkas kiirelt langema mai viimases dekaadis, kui sinna oli jäänud 25 cm sügavune lomp. Tõenäoliselt toimus seal lombis oleva ja põhjaveetasemega kontakti kaotanud vee lahjenemine sademeveega ehk protsess, mida oodanuks järvikute lõppfaasis ka mujal, aga mis näiteks Alba või Jalgsema puhul andmetega kinnitust ei leidnud.

Kuna järvik hakkas veega täituma ebatavaliselt vara ning veetaseme anduri järvikusse paneku ajaks oli selles juba teadmata aja vesi sees olnud, ei õnnestunud välja selgitada kogu järviku katkematu veeperioodi pikkust, kuid see oli üle 180 päeva, kui lugeda veeperioodi lõpuks 5. juunit.

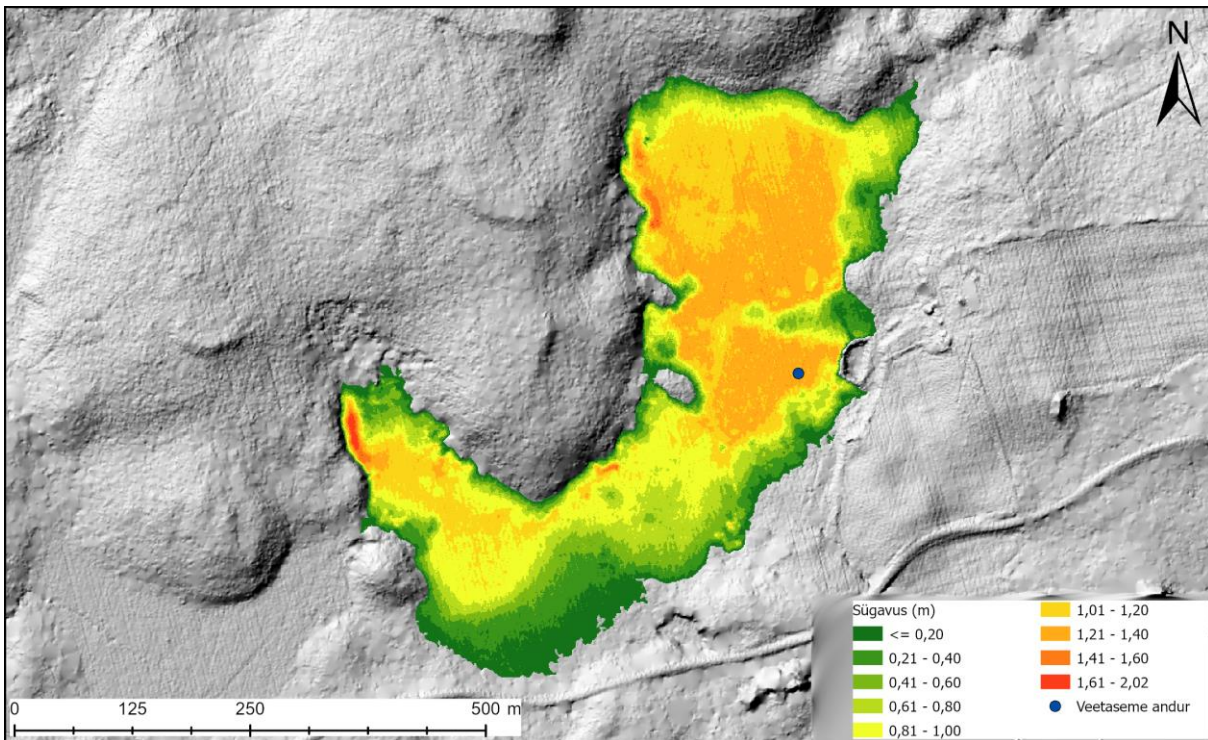
Uuringu tulemused **kinnitasid** käesolevas töös koostatud **Kirikla karstijärviku kontseptuaalses mudelis esitatut** (ptk 2.2), **et järviku toiteala jääb sellest ida ja kagu poole**. Lisaks sellele, et kagusuunast voolab järvikusse sisse oja, leidis ka kinnitust, et järvikust vahetult ida pool on põhjaveetase järviku veega täitunud oleku perioodil järviku veetasemest kõrgemal ning kõrge veetaseme ajal toimub järviku kaldanõlvalt põhjavee sissevool järvikusse selle veetasemest kõrgemal.

Järviku ulatuse, sügavusjaotuse ja mahu väljaselgitamiseks kasutati Maa- ja Ruumiameti 2018. aasta metsandusliku ülelennu LiDAR-andmeid (ülelennu kuupäev 26.05.2018). Järvik oli toona enam-vähem kuivanud ja roheline taimestik polnud seal veel võimust võtnud, kuid järviku sügavamates osades oli vesi osaliselt siiski veel sees. Seetõttu ei kajasta kõrgusmudeli pind nendel aladel maapinda. Järviku serva-aladel mõjutab LiDAR-kõrgusandmete täpsust aga tihe mets. Tõenäoliselt metsa tõttu ei tekkinud kõrgusmudelil veetaseme kõrguse 47,20 m ü.m.p juures järvikust väljavoolu. See tekkis kõrgusmudeli põhjal kõrgusel 47,50 m ü.m.p. **Järviku kaldajoon, sügavusjaotus ja maht modelleeriti lähtudes kõrgusjoonest 47,60 m ü.m.p** (Joonis 4.5.6). **Nimetatud kõrgusjoonele vastava polügooni pindala on 16,6 ha**. Tõenäoliselt on see järviku maksimaalse võimaliku pindala lähedal, kuna tegelikkuses kujuneb väljavool juba ca 40 cm madalama veetaseme juures. Mida kõrgemale järviku veetase väljavoolu olemasolul tõuseb, seda rohkem vett hakkab järvikust välja voolama ning veetaseme edasiseks tõusmiseks oleks vaja järjest suuremat sissevoolu.



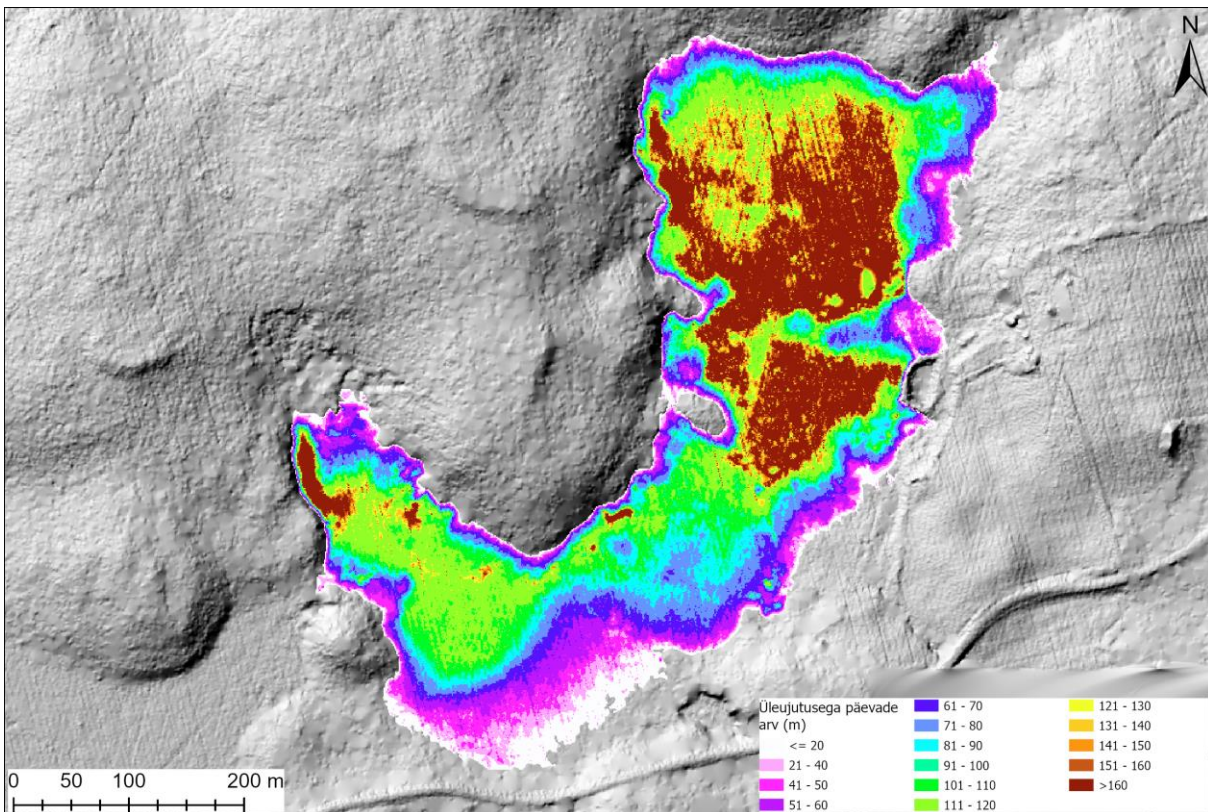
Joonis 4.5.6. Kirikla karstijärvi veepiir tasemel 47,60 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2018. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmodelile. Punase noolega on tähistatud pinnavee sissevoolu suund järvikusse.

Veetaseme 47,60 m ü.m.p põhjal modelleeritud 1x1 m resolutsiooniga sügavusjaotuste kaardil on järvi suurimaks sügavuseks ca 2,0 m ning sügavaimad alad on järvi edelapoolse sopi lääneosas ja järvi põhiosa loodeosas olevad kurisud (Joonis 4.5.7). **Veetaseme anduriga saadi suurim sügavus ca 1,6 m**, kuid kõrgusmodeli põhjal oli anduri asukohas veesügavus ca 1,3 m. Erinevus tuleneb tõenäoliselt asjaolust, et kõrgusmodeli aluseks oleva LiDAR-ülelennu ajal oli anduri asukohas vesi. Kui üksikuid sügavamaid kurisuid mitte arvestada, on järvi põhi üsna sile. Järvi põhiosa on mõnevõrra sügavamal kui edelaosa ning seetõttu oli ka põhjaosas maksimaalse veetaseme ajal veesügavus üle 1,2 meetri. Edelaosas jäi sügavus poole meetri ja meetri vahele. **Järvi modelleeritud maht maksimaalse veetaseme ajal oli ca 130 000 m³ ning keskmine sügavus 0,8 m.**



Joonis 4.5.7. Kirikla karstijärviku sügavus veetaseme kõrgusel 47,6 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2018. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmodelile.

Modelleeritud üleujutuse kestuse andmete põhjal oli suurem osa järvi põhjaosast üleujutatud üle nelja kuu alates anduri paigaldamisest detsembri alguses (Joonis 4.5.8). Ühtne veeväli, mis hõlmas kogu järvi piiritletud kontuuri, püsis kolm ja pool kuud. Märtsi teises pooles muutus järvi edelapoolne sopp ilmselt põhjaosast isoleeritud veealaks ja kuivas enamjaolt aprilli alguseks.



Joonis 4.5.8. Päevade arv vahemikus 04.12.2024 kuni 05.06.2025, mil vastav ala Kirikla karstijärvikus oli vee all Maa- ja Ruumiameti 2018. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmodeli ja veetaseme anduri mõõtmistulemuste põhjal.

4.5.2. Hüdrokeemia

Kirikla järvikus mõõdeti vee väliparameetreid kuuel korral ning võeti veeproove neljal korral. Veeproovid võeti järviku idaosast, üldjoontes samast piirkonnast, kus asus veetaseme andur. Väliparameetreid mõõdeti samast kohast, v.a aprilli alguses, kui fütoplanktoni ja suurselgrootute proovivõtul mõõdeti neid anduri asukohast 260 m edela pool. Veebruari alguses oli järvik kaetud vähemalt servas inimest mittekanvva jääga, mistõttu võeti veeproov ja mõõdeti väliparameetrid kaldalähedasest veest jääaugust.

Järviku pH oli uuringu ajal kalgiveelistele järvedele tüüpilises vahemikus 7,1-st 7,4-ni (Tabel 4.5.1). Oluliselt erinevam, kuid siiski tüüpilisse vahemikku jääv pH näit saadi aprilli alguses (7,9), kui seda mõõdeti ülejäänud kordadega erinevast kohast. Lahustunud ainete sisaldus (mineraalsus) oli Simmi (1975) klassifikatsiooni järgi kõigil kordadel, peale detsembri ja aprilli alguse, suur. Vesinikkarbonaadi sisaldus oli suur kõigil määramiskordadel, olles kõige väiksem detsembri keskel, enne kiire veetaseme tõusu algust. HCO_3^- moodustas detsembri keskel mineraalsusest 80%, veebruari alguses 90% ning märtsis ja aprillis ca 100%. Seda, millised ioonid detsembri keskel järviku vees, lisaks vesinikkarbonaadile, veel arvestatavat osatähtsust omasid, ei uuritud. Hapnikuolud olid veebruaris ja märtsis halvad, aprillis keskpärased. Veebruaris oli järvik kaetud jääga, kuid vähim hapnikusisaldus mõõdeti märtsis, kui jää oli sulanud.

Üldlämmastiku sisaldus oli kõigil kordadel, peale veebruari, väga heal tasemel (Tabel 4.5.2). Veebruaris oli see kesisel tasemel. Nitraatlämmastik moodustas üldlämmastikust kõigil kordadel, peale märtsi, peaaegu poole. Märtsis moodustas nitraatlämmastik 70% üldlämmastikust. Nii üldlämmastiku kui nitraadisaldus langesid, sarnaselt paljudele teistele uuritud järvikutele, veebruarist aprillini ilmselt seetõttu, et need seoti biomassi.

Fosforisisaldus oli detsembris, veebruaris ja märtsis alla määramispiiri, kuid aprillis halval tasemel. Kogu aprillis järviku vees olnud fosfor oli orgaanilise fosforina. Ka see, kevadeks fosforisisalduse kasvamine, trend esines enamikes uuritud järvikutes. Kuna aga fosfaatfosforit järviku vees polnud, jäi fosforiallikas veel suuremaks mõistatuseks kui teiste järvikute puhul, sest hapnikupuuduse tingimustes peaks mullast redoksreaktsioonide tulemusel vabanema just fosfaatfosfor. Fosforisisalduse järsu kasvuga aprilliks läheb väga hästi kokku klorofüll a sisaldus, mis oli kuudel, kui fosforit oli alla määramispiiri, samuti alla määramispiiri, kuid aprilliks oli tõusnud väga halba seisundit tähistava 10 $\mu\text{g/l}$ -ni. Kuna klorofüll a sisalduse suurenemine toimus aga eeldatavasti looduslikel põhjustel, siis ei saa lugeda selle väga suurt sisaldust inimtegevusest tingitud kõrvalekaldeks.

Orgaanilise aine sisaldus KHT_{Cr} järgi oli detsembris väike, kuid üle määramispiiri. Veebruaris ja märtsis oli see alla määramispiiri. Aprilli teises pooles oli see taas keskmine, olles suurem kui detsembris. KHT_{Mn} sisaldus oli detsembris keskmine, veebruaris ja märtsis väike ning aprillis Simmi (1975) klassifikatsiooni järgi samuti väike, kuid ca kaks ja pool korda suurem kui veebruaris ja märtsis. Oksüdeeritavusprotsent oli detsembris üle 40%, mis viitab, et järvikus domineeris kas valgalalt sisse kantud või kuiva faasi ajal moodustunud orgaaniline aine. Veebruaris ja märtsis ei saanud oksüdeeritavusprotsenti KHT_{Cr} alla määramispiiri tulemuste tõttu arvutada. Aprillis oli see 29%. Need andmed viitavad, et detsembris, enne kiire veetaseme tõusu algust oli järvikus peamiselt kagust sissevoolava oja kaudu tulnud vesi, mis põhjustas väiksema mineraalsuse ja suurema orgaanilise aine sisalduse. Kollase aine sisaldus oli detsembris samuti kõigist proovivõtukordadest suurem. Veebruaris ja märtsis domineeris põhjavee mõju, mistõttu orgaanilise aine sisaldus langes. Aprilliks, kui järv oli rikastunud fosforiga ning oli alanud aktiivne produktsioon, oli lisandunud järve veefaasis moodustunud orgaanilist ainet.

Järviku veekvaliteedi andmete põhjal leidis kinnitust järviku uuringusse valimisel püstitatud eeldus, et selle toiteainekoormus on väike ning järvik ei kannata eutrofeerumise käes. Seega ei saa põhjaveekogum avaldada järviku seisundile ebasoodsat mõju.

Järvikusse kagust sissevoolavast ojast määrati vee väliparameetreid neljal korral ja võeti veeproov kolmel korral Kohila-Kernu teest 30 m ülesvoolu. Aprillis ei võetud ojast enam veeproovi, kuna selle vesi neeldus Kohila-Kernu tee all truubis ega jõudnud järvikusse. Oja vee pH oli järviku pHst pidevalt suurem. Mineraalsus

ja HCO_3^- sisaldus olid pidevalt väiksemad, aga kui detsembri keskel oli HCO_3^- sisalduse erinevus järvikuga vaid ca 10 mg/l, siis hiljem ca 70 mg/l. HCO_3^- sisaldus moodustas mineraalsusest kõigil kordadel peaaegu 100%.

Üldlämmastiku sisaldus oli detsembris sama, nagu järvikus, ning veebruaris ja märtsis väiksem. Nitraatlämmastiku sisaldus oli kõigil kordadel väiksem. Eriti ilmikas oli erinevus veebruaris, kui järviku vees oli nitraatlämmastikku 1,4 mg/l, aga oja vees 0,3 mg/l. Üldfosforit oli kõigil kordadel alla määramispiiri. Orgaanilist ainet oli mõlemal viisil määratuna rohkem kui järvikus. KHT_{Mn} oli 7,1 kuni 15 mgO/l. Käesoleva töö kõite I ptk-s 4.5 tehtud vooluveekogumite põhjaveetoitelisuse analüüsi põhjal võib sellise orgaanilise aine sisaldusega vooluveekogu puhul eeldada olulist põhjaveetoidet.

Kaskemäe talu kaevust mõõdeti vee väliparameetreid viiel korral ning võeti veeproov kahel korral. Proovid võeti batomeetriga *Uwitec Water Sample Bailer USB 50015*. Veebruaris mõõdeti väliparameetrid ja võeti veeproov kaevu lähedal olevast tiigist, millel oli sellel hetkel väljavool järvikusse. Kaevu- ja tiigivee väliparameetrid olid sellel hetkel peaaegu identsed (Tabel 4.5.1).

Kaevuvee pH oli järviku veega sarnane. Mineraalsus oli detsembri alguses järviku veest ca 40 mg/l ja detsembri keskel ca 20 mg/l suurem. Veebruaris ja aprillis oli see aga järvikuga peaaegu identne. HCO_3^- sisaldus moodustas mineraalsusest kõigil kordadel peaaegu 100%.

Üldlämmastiku sisaldus oli kõigil kordadel järvikust suurem, kuid kui detsembri keskel oli erinevus kahekordne, siis veebruaris vaid 0,2 mg/l ja aprillis 0,5 mg/l. Nitraatlämmastiku sisaldus oli samuti kõigil kordadel järvikust suurem, kuid ka see erines veebruaris järvikust vaid 0,2 mg/l, samal ajal kui detsembris üle nelja korra. Ligi pool veebruaris tiigist järvikusse jooksunud põhjavees olevast lämmastikust oli orgaanilisel kujul. Üldfosforisisaldus oli põhjavees kõigil määramiskordadel, sh aprillis, kui järvikus oli fosforisisaldus halval tasemel, allpool määramispiiri. Ka orgaanilise aine sisaldus oli kõigil kordadel alla määramispiiri. Seega esindas kaevus olev vesi pinna- ja heitveest ning inimtekkelisest hajureostusest rikkumata põhjavett. Veebruarikuine tiigist määratud lämmastikusisaldus oli loodusliku fooni piiri peal, kuid selle põhjustas orgaaniline lämmastik, mitte nitraat, seega ei pruukinud see siiski olla inimtekkeline.

Ojast ja kaevust mõõdetud andmete põhjal on hästi näha, et esialgu omas sissevoolav oja järviku täitumisel olulist rolli, kuna järviku näitajad olid detsembris ojale sarnasemad kui hiljem. Kuid, et need polnud identsed, vaid oja ja põhjavee vahepealsed, siis oli ka juba detsembris järvikus oja- ja põhjavee segu. Kiire veetaseme tõusu detsembri teises pooles tõi aga selgelt kaasa otse järvikusse avanev põhjavesi, kuna veebruari alguseks olid järviku ja põhjavee näitajad muutunud väga sarnaseks. Ka edaspidi püsis järvikus rohkem põhjaveele kui ojaveele sarnanev vesi. Põhjavee andmed kinnitasid ka, et järviku vees aprillis olnud arvestatav fosforikogus ei saanud tulla põhjaveest, sest põhjavees seda polnud. Samuti ei saanud see tulla sissevoolavast ojast, kuna ka ojas seda polnud ning aprilliks ei voolanud oja ka enam järvikusse. Seega pidi fosfor pärinema järvikust endast.

Üldjäreldeusena saab Kaskemäe talu kaevu lugeda Kirikla järvikule põhjavee kaudu avalduva mõju hindamiseks sobivaks.

Tabel 4.5.1. Kirikla järvikust Kaskemäe talu kaevust, Kaskemäe talu tiigist ja Kirikla järvikusse sissevoolavast ojast välitingimustes mõõdetud näitajad. *Näitajad mõõdeti veetaseme anduri asukohast 260 m edela pool

Objekt	Kuupäev	pH	ORP (mV)	SEC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	O_2 (mg/l)	$\text{O}_2\%$	Hägusus (NTU)
Järvik	04.12.2024	7,1	292	513	333	4,4			
Järvik	18.12.2024	7,4	281	555	361	4,9			
Järvik	09.02.2025	7,4	224	576	374	3,5	5,5	35	
Järvik	24.03.2025	7,4	162	555	361	5,4	2,6	17	
Järvik*	05.04.2025	7,9	121	431	280	6,8			0,9
Järvik	19.04.2025	7,4	297	567	369	12,3	7,1	67	
Kaev	04.12.2024	7,3	284	580	377	6,1			
Kaev	18.12.2024	7,3	286	587	382	5,8			

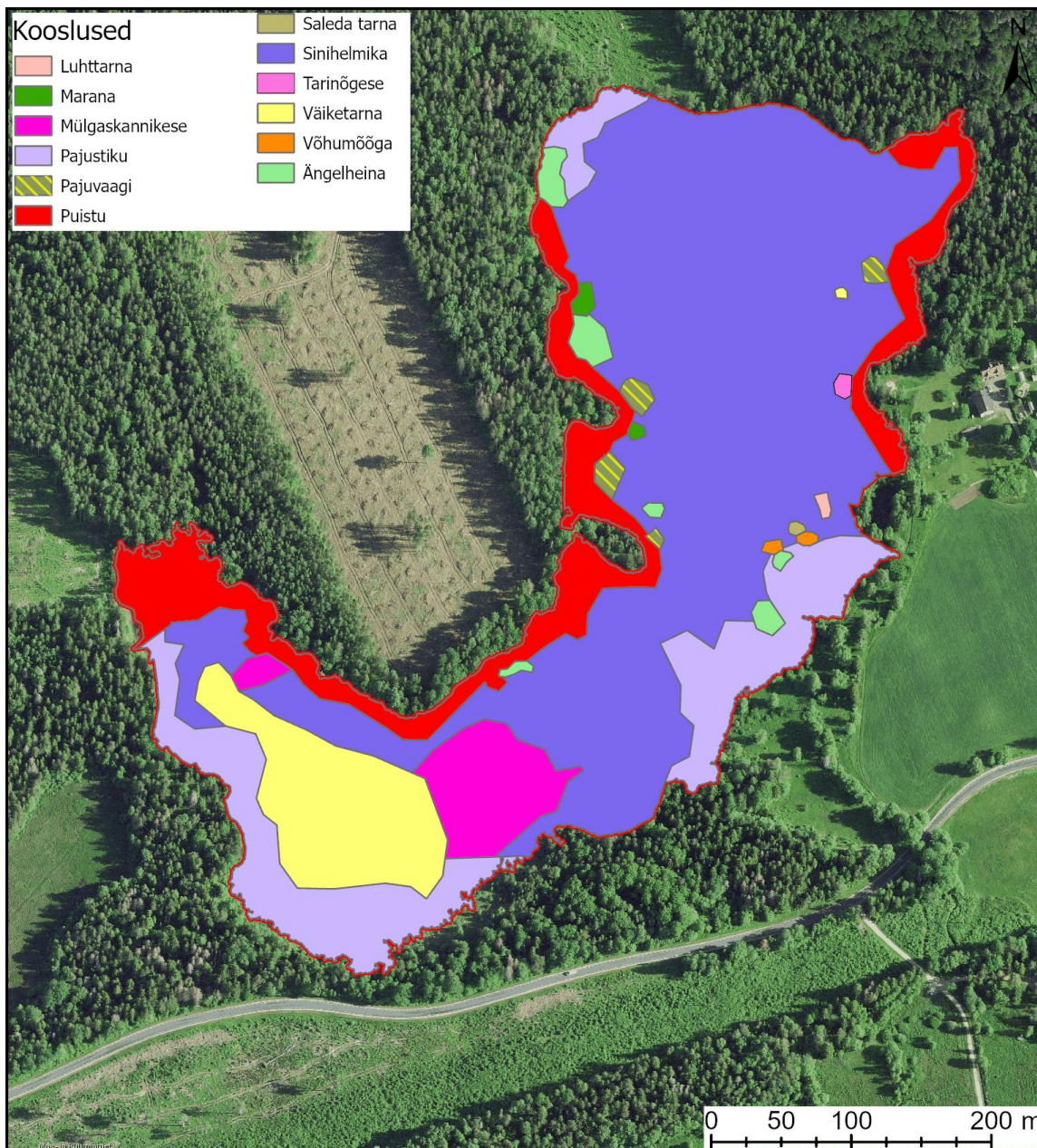
Objekt	Kuupäev	pH	ORP (mV)	SEC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	O ₂ (mg/l)	O ₂ %	Hägusus (NTU)
Kaev	09.02.2025	7,4	214	575	374	5,8			
Tiik	09.02.2025	7,5	213	570	371	5,4			
Kaev	22.04.2025	7,4	300	565	367	6,5			
Kaev	06.06.2025	7,6	170	577	375	7,6			
Oja	18.12.2024	7,9	272	451	293	0,2			
Oja	09.02.2025	8,0	205	418	272	0,2	12,3	77	
Oja	24.03.2025	8,3	192	448	291	3,7	12,3	88	
Oja	19.04.2025	8,2	265	475	309	13,2	8,7	83	

Tabel 4.5.2. Kirikla järvikust Kaskemäe talu kaevust, Kaskemäe talu tiigist ja Kirikla järvikusse sissevoolavast ojast võetud proovidest laboris määratud näitajad

Objekt	Kuupäev	Nüld (mg/l)	NH ₄ ⁻ -N (mg/l)	NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	Püld (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)	TN:TP	KHT _{Cr} (mgO/l)	KHT _{Mn} (mgO/l)	Y (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Chl-a ($\mu\text{g}/\text{l}$)
Järvik	18.12.2024	0,9	<0,008	0,4	<0,005	<0,01	<0,005	180	23	10	5,7	299	<1
Järvik	09.02.2025	2,8	0,019	1,4	<0,005	<0,01	<0,005	562	<14	2,8	1,8	342	<1
Järvik	24.03.2025	1,0	0,014	0,7	0,007	<0,01	<0,005	200	<14	2,4	1,4	360	<1
Järvik	05.04.2025												0,1
Järvik	19.04.2025	0,8	0,017	0,5	0,006	0,037	<0,005	23	28	8	1,7	366	10
Kaev	18.12.2024	1,8	<0,010	1,7	<0,005	<0,02	<0,005		<14	<1		378	
Tiik	09.02.2025	3,0	0,026	1,6	<0,005	<0,02	<0,005		<14	<1		372	
Kaev	22.04.2025	1,3	0,069	1,1	<0,005	<0,02	<0,005		<14	<1		360	
Oja	18.12.2024	0,9	<0,008	0,3	<0,005	<0,01	<0,005		27	15	11	287	<1
Oja	09.02.2025	1,7	<0,008	0,3	<0,005	<0,01	<0,005		28	11	11	268	<1
Oja	24.03.2025	0,6	<0,008	0,2	<0,005	<0,01	<0,005		23	7,1	5,5	293	<1

4.5.3. Taimestik

Kirika paigutub koos Albaga sinihelmikakoosluste rikaste, ühtlasi saleda tarna koosluste vaeste karstijärvikute hulka. Suuremat osa selle keskset ala katab sinihelmika kooslus (Joonis 4.5.9). Lääne pool on suuremal alal soostunud ja soo-väiketarnade kooslused (turbakihi all ilmselt vettpidav sete). Teistes järvikutes on väiketarnasid suhteliselt väiksematel aladel, aga ühtlasi sealjuures turbavaestel aladel. Lääneosas turbakihita alal on laialdaselt kannikeste kooslust, aga ainult mülgaskannikesega, nagu sageli jõgede lammidel. Teisi kooslusi on väikeste laikudena ja ribadena idapoolse osa servades, kus on ka selgemad kurisud. Puistu osakaal on väike, seda leidub vaid üleujutatava ala servas järviku kirdeosas ning lääne- ja loodeosas. Edela- ja kaguosas on ka pajustikku. Uuritud karstijärvikutest on sinihelmika kooslust veel rohkesti Einjärves. Kõigi kolme vees oli toiteainete sisaldus väike, mis võib tähendada, et sinihelmika ulatuslik levik on karstijärvikutes vähetoitelisuse indikaator.



Joonis 4.5.9. Kirikla taimekooslused.

4.5.4. Suurselgrootud

Proovikoht asus veetaseme anduri asukohast (Joonis 4.5.1) 260 m edela pool. Kirikla järvik oli taksonirikkuselt Albast järgmine (18), mis siiski tähendab ainult kesist taset, kui võrrelda väga karedaveeliste alaliste järvedega. Arvukamate hulka kuulusid samuti nii pistesääsklased kui vesikakand (*Asellus aquaticus*), aga ka ühepäevikuline suur kaldapäevik (*Siphonurus lacustris*), keda muudest uuritud paikadest ei leitudki. Ajutiste vete tüüplikeidest olid esindatud ehmeistiivalised *Holocentropus stagnalis* ja lombipurukas (*Trichostegia minor*). Seisund alaliste karedaveeliste järvede kriteeriumite järgi oli hea (Tabel 4.5.3).

Tabel 4.5.3. Kirikla karstijärviku suurselgrootute kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a kevadel. T – üldine taksonirikkus, H' – Shannoni erisus, ASPT – taksoni keskmine tundlikkus, EPT – tundlike taksonite rikkus, MMQ – seisund, Chir% - sursääsklaste vastsete protsent taksonite üldarvust

Kuupäev	T	H'	ASPT	EPT	suse_m (MMQ)	MESH	Chir%
05.04.2025	18	3,08	4,77	5	16	1,07	1,5

4.5.5. Fütoplankton

Proov võeti veetaseme anduri asukohast (Joonis 4.5.1) 260 m edela poolt. Kirikla järvik oli mikrovetikatest väga hõre, kus leidus peamiselt bentilisi sulgränivetikaid ja väga vähe planktonvetikaid. Seisund alaliste järvede kriteeriumite alusel oli hea (Tabel 4.5.4).

Tabel 4.5.4. Kirikla järvi fütoplanktoni kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud. Chl a – klorofüll a sisaldus µg/l; J – ühtluse indeks; FKI – fütoplanktoni koondindeks; FLA – liikide arv loendusproovis ja võrkude proovis; FBM – biomass g/m³; CY, BAC, CHL, CONJ, CHR, CRY, DINO, EU – vastavalt sini-, räni-, rohe-, ikkes-, kold-, neel-, vaguvibur-, silmviburvetikate biomass g/m³

Kuupäev	Chl-a	J	FKI	FLA	FBM	CY	BAC	CHL	CONJ	CHR	CRY	DINO	EU	Dominandid	Kooslus
05.04.2025	0,1	0,72	1	4+1	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0	0	Dominante ei saa eristada	Hea

4.5.6. Zooplankton

Kirikla järvikust oli võimalik zooplanktoni proovi võtta nii märtsis kui aprillis (Tabel 4.5.5). Zooplanktoni arvukus ja biomass olid järves mõlemal kuul tagasihoidlikud, aprillis siiski mitmeid kordi suuremad kui märtsis. Ka liike leiti aprillis kogutud proovis rohkem. Kahes proovis kokku leiti aerjalgsed *Acanthocyclops robustus*, *A. vernalis*, järve-pärisaerik (*Eudiaptomus gracilis*) ja rullikulised (Harpacticoida), vesikirbud *Chydorus sphaericus*, *Daphnia longispina*, *Polyphemus pediculus* ja *Simocephalus vetulus* ning keriloomad *Euchlanis dilatata*, *E. meneta*, *Keratella quadrata* ja *Notholca squamula*. Kõige arvukamalt oli proovis aerjalgsete naupliusvastseid, suurima osa biomassist moodustasid *A. robustus* vähkvastsed. Kirikla aprillikuine proov oli uuritud järvikutest võetutest ainuke, milles nii vesikirbuliste arvukus kui biomass moodustasid üle 10% koguarvukusest ja -biomassist. Lisaks zooplanktonile hakkas aprillikuises proovis silma suhteliselt palju hüdrasid ja ripskõhtsete esindaja (Gastrotricha).

Tabel 4.5.5. Kirikla järvi metazooplanktoni rühmade arvukus (A) ja biomass (BM) ning peamiste rühmade osa koguarvukusest ja biomassist.

	Kuupäev	Kokku	Cladocera	Copepoda	Rotatoria	Clad %	Cop %	Rot %
A, ind m ⁻³	24.03.2025	10595	13	10 062	520	0,1	95,0	4,9
A, ind m ⁻³	19.04.2025	60 650	9150	50 000	1500	15,1	82,4	2,5
BM, mg m ⁻³	24.03.2025	54	0	53	1	0,2	97,9	1,9
BM, mg m ⁻³	19.04.2025	362	83	274	5	22,9	75,9	1,2

4.5.7. Fütobentos

Kirikla karstijärvi fütobentose seisund (fübe_m) oli väga hea (Tabel 4.5.5). Ränivetikate spetsiifiline reostustundlikkuse indeks näitas väga head, Watanabe indeks head, kuid troofsusindeks kesist seisundit. Üllatuslikult oli järvi seisund troofsusindeksi põhjal uuritud järvikutest Assamala järel kõige halvem. Kokku määrati 10 taksonit bentilisi ränivetikaid (uuritud järvikutest kõige vähem). Domineeris *Planothidium lanceolata* (26,9%). Arvukad olid liigid: *Achnanthes minutissimum* (19,8%), *Gomphonema parvulum* (19,2%), *Gomphonema subclavatum* (13,5%) ja *Meridion circulare* (13,2%). Kui *Planothidium lanceolata* ja *Gomphonema parvulum* on eutroofsete vete tunnusliigid, siis *Achnanthes minutissimum* ja *Meridion circulare* on omased vähetoitelistele vetele. *Gomphonema subclavatum* indikeerib mesotroofseid tingimusi. Tegemist oli ainsa järvikuga, kus ei leitud ühtegi eriti vähetoitelistele vetele iseloomuliku *Eunotia* perekonna esindajat.

Tabel 4.5.5. Kirikla karstijärviku fütobentose kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a. kevadel

Aeg	Substraat	Taksonite arv	fübe indeksid			fübe_m
			IPS	WAT	100-TDI	
22.04.2025	makrofüüdid	10	16,2	12,5	33,7	hea

4.5.8. Kokkuvõte

Kirikla järvik saavutas uuringuaastal maksimumilähedase ulatuse, kuna järvikust tekkis väljavool ning seetõttu ei saa järviku veetase ka veelgi veerohkematel aastatel olulisel määral kõrgemale kerkida. Järviku toiteala jääb sellest ida ja kagu poole. Alba järviku kõrval oli tegemist ühe vähetoiteliseima järvikuga uuritustest. Elustikurühmade näitajad olid järviku vähetoitelisusega üldjoontes kooskõlas. Taimestiku poolest levis järvikus Pandivere järvikutega võrreldes ulatuslikumal alal sinihelmikakooslus, mis võib esialgsel hinnangul olla toiteainevaesuse tunnuseks. Suurselgrootute osas oli tegemist ühega kahest järvikust, mis sai isegi alaliste kalgiveeliste järvede kriteeriumite põhjal hea seisundihinnangu, sh tundlikke taksoneid oli seal sama palju kui Saksi järvikus, mis oli uuritud järvikutest kõige rohkem. Head seisundit näitas ka fütoplankton, kuigi oli karstijärvikutele omaselt vähearvukas. Zooplanktoni taksonirikkus oli üks suurimaid uuritud järvikute hulgas ning keriloomade biomass ja arvukus olid väikesed. Fütobentose põhjal oli järviku seisund kõigi kolme indeksi koondina küll hea, kuid seletamatutel põhjustel oli eutroofsete vete tunnusliike arvukalt, mistõttu troofsusindeksi põhjal oli järviku seisund keskine.

Seega saab järeldada, et **inimmõju järviku veekvaliteedile ja seetõttu ka selle elukooslustele on väike ning see sobib**, koos Alba järvikuga, **vähese inimõjuga karstijärvikute etaloniks vähemalt Lääne-Eestis**. Kuna Pandiveres ühtegi vähese inimõjuga järvikut piisavalt põhjalikult uurida ei õnnestunud, ei ole aga kindel, kas Kiriklat saaks kasutada ka sealse piirkonna karstijärvikute hea seisundi etalonina.

4.6. Kuksema karstijärvik

Kuksema karstijärvik asub Järva valla Kagavere ja Kuksema külade piiril. Maa- ja Ruumiameti ortofotodest on järvikut kõige veerohkemana kujutatud 06.05.2022 fotol (Joonis 4.6.1). Järviku väljanägemist 25.03.2025 on kujutatud joonisel 4.6.2.



Joonis 4.6.1. Kuksema karstijärvik Maa-ja Ruumiameti 06.05.2022 ortofotol ning veetaseme anduri ja seirekaevu asukoht.



Joonis 4.6.2. Kuksema karstijärvik 25.03.2025. Pilt: Kaili Jaago.

4.6.1. Hüdroloogia

Järvikusse voolavad sisse Kagavere ja Kuksema kraavid. Esimene neist suubub järvi kirdeosas teise. Kõige veerohkematel aegadel voolab Kuksema kraav ka järvikust läbi ning neeldub Kodasema–Järva-Jaani teest lõuna pool kurisus. Muul ajal neeldub kraavi vesi järvi kesk- ja lõunaosas. Kuksema kraavi suubuvad Järva-Jaani reoveepuhasti ja piimatööstuse heitveed. 2019. aastal koostatud kontseptuaalse mudeli põhjal toidab järvikut lisaks kraavidele ka sellesse vahetult avanev põhjavesi (Vainu et al, 2019). Seetõttu otsustati selleks, et sissevoolavate kraavide vee mõju võimalikult väike oleks, paigutada veetaseme andur järvi lõunaossa, kus kahel pool kraavi telge asuvad kurisud. Vältimaks olukorda, kus andurite paigutamisel kõige lõunapoolsematesse kurisutesse võib see liiga ruttu kuivale jääda, pandi andur kurisute ahela keskele kraavisüvendi põhja (Joonis 4.6.1). Andur paigaldati 10.12.2024 ning nii kraavisüvend kui ka sellele lähimad kurisud olid sel ajal juba vett täis. Anduri kohal oli mõõtmiste alguses 64 cm vett ja vesi oli jäävaba. Väljavoolu mööda Kuksema kraavi järvikust lõunapoole ei toimunud. Selles, et anduri asukohas pole vesi alaliselt, võis veenduda 2024. aasta juuli lõpus taimestiku kaardistamise ajal, kui anduri asukoht oli kuiv.

1951. aasta ortofoto põhjal võib oletada, et enne Kuksema kraavi järvikust läbi kaevamist ning Kagavere kraavi järvikusse sisse kaevamist ei pruukinud üleujutusala anduri asukohta ulatuda (Joonis 4.6.3) ning algupärane järvik hõlmas praeguse järvi põhja- ja keskosa. Kraavide kaevamise tulemusena üleujutusala ulatus aga suurenes. Esiteks suurenes vee sissevool järvikusse ning teiseks muutus lihtsamaks vee väljavool järvikust ning valgumine lõunapoolsetele aladele. Seega on tegemist uuritustest kõige rohkem inimtegevuse poolt mõjutatud veerežiimiga järvikuga.



Joonis 4.6.3. Kuksema karstijärvi 1951. aasta ortofotol (täpne pildistuskupäev on teadmata). Punase punktiga on tähistatud veetaseme anduri asukoht. (Ortofoto: Maa- ja Ruumiamet).

Vainu et al (2019) töös esitatud kontseptuaalse mudeli põhjal peaks lisaks kraavidele voolama põhjavesi kirde-suunalt ka otse järvikusse. Seetõttu otsiti põhjaveetaseme anduri paigutamiseks sobivat kaevu Kuksema küla järvikust kirdesse jäävast osast. Paraku ei õnnestunud ei kohapealsete käikude ega ka külavanema abiga leida sobivat kaevu ega inimest, kes oleks valmis lubama oma kaevu uuringu jaoks kasutada. Seetõttu järviku toitealal põhjavee püsiseiret teha ei saanud. Küll leiti külast, Ladude kinnistult, järvikust 800 m kirde pool, kasutuseta seisva laohoone juurest 9 m sügavune toru, milles oli 4,4 m vett. 14. detsembril oli kaevus oleva vee elektrijuhtivus 978 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja pH 7,0. Kuna tegemist polnud sademeveega, eeldati, et torus on põhjavesi ning mõõdeti uuringu jooksul mingigi põhjaveetaseme võrdlusandmestiku saamiseks neljal korral veetaset torus. Kõigil kordadel oli see järviku veetasemest kõrgemal (Joonis 4.6.4), mis viitab, et kontseptuaalses mudelis olev põhjavee voolusuund järvikusse võib olla tõele vastav.

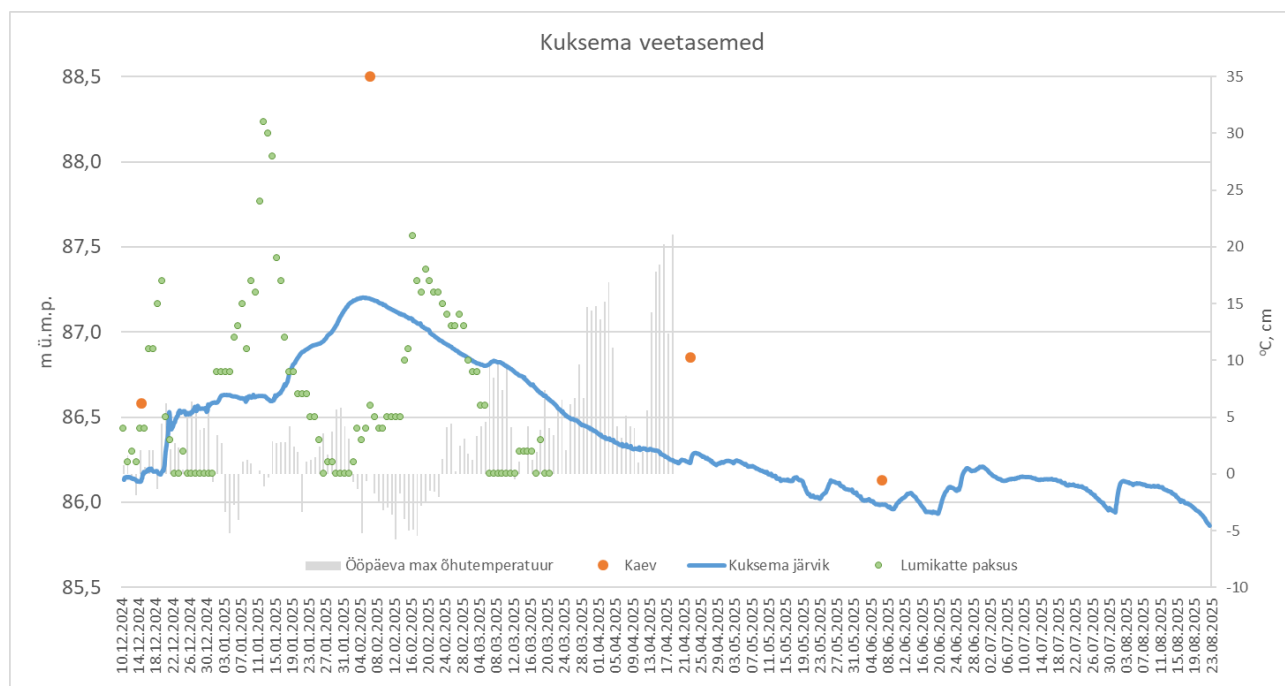
Järviku veetase püsis enam-vähem stabiilne 20. detsembrini (Joonis 4.6.4) ning hakkas seejärel kiiresti tõusma (20. detsembril jooksul 22 cm võrra). Esmane kiire veetaseme tõus vältaski vaid mõne päeva, kuni veetaseme kõrguseni ca 86,55 m ü.m.p. Sellel kõrgusel on vesi jõudnud üle kraavisüvendi ja selle kõrval olevate kurisute servade ning valgub laiemale alale laiali ning hakanud ka järvikust lõuna poole mööda kraavi välja voolama. Veetaseme tõusule eelnenud 19. detsembril oli õhutemperatuur plussis ning Väike-Maarja ilmajaamas mõõdeti 5 mm sademeid (Joonis 4.6.4). Päeva jooksul vähenes lumikatte paksus ilmajaamas 12 cm võrra. Seega käivitasi vihm ja rohke sulavesi põhjaveetaseme tõusu ja järviku täitumise väga lühikese viibeajaga.

Elektrijuhtivuse logeri paigaldamisel, 10. detsembril, mõõdeti multimeetriga logeri asukohas elektrijuhtivuseks 760 $\mu\text{S}/\text{cm}$, samal ajal registreeris loger elektrijuhtivuseks vaid 370 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Joonis 4.6.5). Logeri mõõdetud elektrijuhtivus jäi madalaks kuni mõned tunnid enne kiire veetaseme tõusu algust 20. detsembril. Siis suurenes see kolme tunniga ca 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -lt 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ni. 10. detsembril oli elektrijuhtivus Kuksema ja Kagavere kraavides järvikust ülesvoolu olnud vastavalt 860 ja 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ning 14. detsembril Ladude kinnistu kaevus 978 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nii Kagavere kui Kuksema kraavid on Pandiverele omaselt valdavalt põhjaveetoitelised. Kagavere kraavis oli KHT_{Mn} samal kuupäeval 6,4 mgO/l ja Kuksema kraavis 8,3 mgO/l (Tabel 4.6.2). Kuigi Kuksema kraavi suubub ka heitvesi, võib nende kolme punkti põhjal järeldada, et pindmise põhjaveekihi elektrijuhtivus piirkonnas on kindlasti lähemal 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -le kui 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -le. Kõike eelnevat arvesse võttes peab järeldama, et esimesed kümme päeva ei registreerinud loger õigeid näite. Sama logeriga hiljem sisetingimustes vannikatset tehes, kus loger pandi paljalt veega täidetud anuma põhja (vt ptk 2), kordus sama, et esimestel mõõtmistel registreeriti samas anumas multimeetriga mõõdetust peaaegu kaks korda väiksemad elektrijuhtivuse väärtused. Ühest hetkest alates suurenes logeri mõõtmistulemus aga mitmesaja $\mu\text{S}/\text{cm}$ võrra multimeetri näidule sarnaseks. Kuksema järvikus klappisid pärast detsembril keskel toimunud „stabiliseerumist“ logeri ning multimeetriga mõõdetud elektrijuhtivused aga hästi. Veebruaris oli erinevus 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (kõrge veetaseme tõttu sai siis vee parameetreid mõõta anduri asukohast 100 m kaugusel kultuurrohumaa peal) ning märtsis, aprillis ja juunis vaid kuni kolm $\mu\text{S}/\text{cm}$. Seega võib oletada, et enamiku ajast mõõtis loger elektrijuhtivust siiski adekvaatselt. Pärast jõuludele eelnenud kiiret logeri registreeritud ej tõusu, muutus see logeri andmetel vähe, kõikudes kuni maini 720 ja 640 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vahel ning oli ümbruskonnas pisteliselt mõõdetud elektrijuhtivustest sarnasem Kagavere kraavi elektrijuhtivusele.

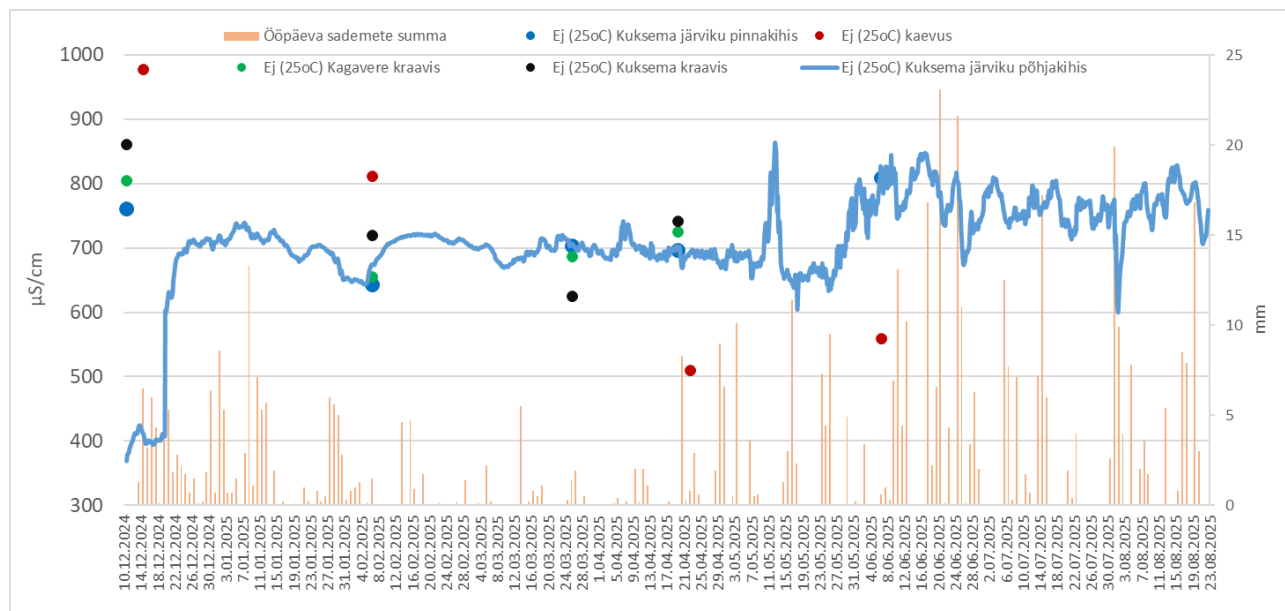
Kuni 2. jaanuarini jätkus aeglane veetaseme tõus, kümne päeva jooksul 10 cm. Edasi, kuni 14. jaanuarini püsis veetase üsna stabiilne, langedes mõne cm ning hakkas siis taas tõusma. Sellel perioodil oli järviku veetaseme käik sarnasem Assamalla järvikule, kus veetase veidi langes, kui lähemal asuvatele Jalgsema ja Tudre järvikutele. Viimastes veetaseme stabiliseerumise periood sisuliselt puudus. Jõuludele eelnenud ajal oli sademeid vähe ning detsembril keskpaiga sulavee mõju veetasemele hakkas nähtavasti vähenema. 31. detsembrist alates langes temperatuur miinusesse ning põhjavee toitumine vähenes veelgi. Veetaseme tõusu käivitaja jaanuari keskel oli 14. jaanuari sulailm, mille käigus hakkas vahepeal ilmajaamas 30 cm paksuseks kasvanud lumekiht kiirelt kahanema.

Veetaseme tipp, 87,20 m ü.m.p, saabus 3. veebruaril. Veetase oli vähemalt 87,10 m ü.m.p 30. jaanuarist 14. veebruarini. Veeproovi võtmise ajal, 6. veebruaril oli järvik anduri asukohas jääs, kuid servas oli jää 4 cm

paksune ja püdel ning inimest ei kandnud. Samal päeval tehti veetaseme kontrollmõõtmine RTK GPS-seadmega lisaks anduri asukohale ka järviku põhjapiiril Kagavere–Illevere tee ja Kagavere kraavi vahel, et kontrollida, kas üleujutusala on ühtlase veetasemega või on kraavi tõttu lõunaosa veetase põhjaosa veetasemest madalamal. Selgus, et veetasemed olid järviku äärmises põhja- ja lõunaosas mõõtmistäpsust $\pm 1,5$ cm arvestades samad, põhjaosas 87,17 ja lõunaosas 87,19 m ü.m.p.



Joonis 4.6.4. Veetaseme muutus Kuksema karstijärvikus; veetasemed Ladude kinnistu kaevus; ööpäeva maksimaalne õhutemperatuur ja lumikatte paksus Väike-Maarja ilmajaamas (andmed, v.a veetasemed: Keskkonnaagentuur).



Joonis 4.6.5. Elektrijuhtivus (25°C) Kuksema järvikus automaatanduri ning Ladude kinnistu kaevus, Kagavere kraavis ja Kuksema kraavis üksikmõõtmiste põhjal; ööpäeva sademete summa Väike-Maarja ilmajaamas (andmed, v.a elektrijuhtivus: Keskkonnaagentuur).

Ilmselt oli veetaseme languse alguseks lõppenud jaanuari keskpaiga lumesula mõju põhjaveetasemele. Lisaks läksid ilmad veebruari algusest ka külmemaks: Väike-Maarja ilmajaamas oli 2. veebruar esimene päev pärast 21. jaanuari, kui õhutemperatuur seal plusspoolele ei tõusnud. Temperatuurid jäid miinusesse kuni 23. veebruarini. Seega hakkas põhjaveetase sellel perioodil langema, kuna ei saanud külmunud maapinna tõttu toidet juurde ja seetõttu vähenes tõenäoliselt ka vee sissevool järvikusse nii otse kui ka mööda kraave.

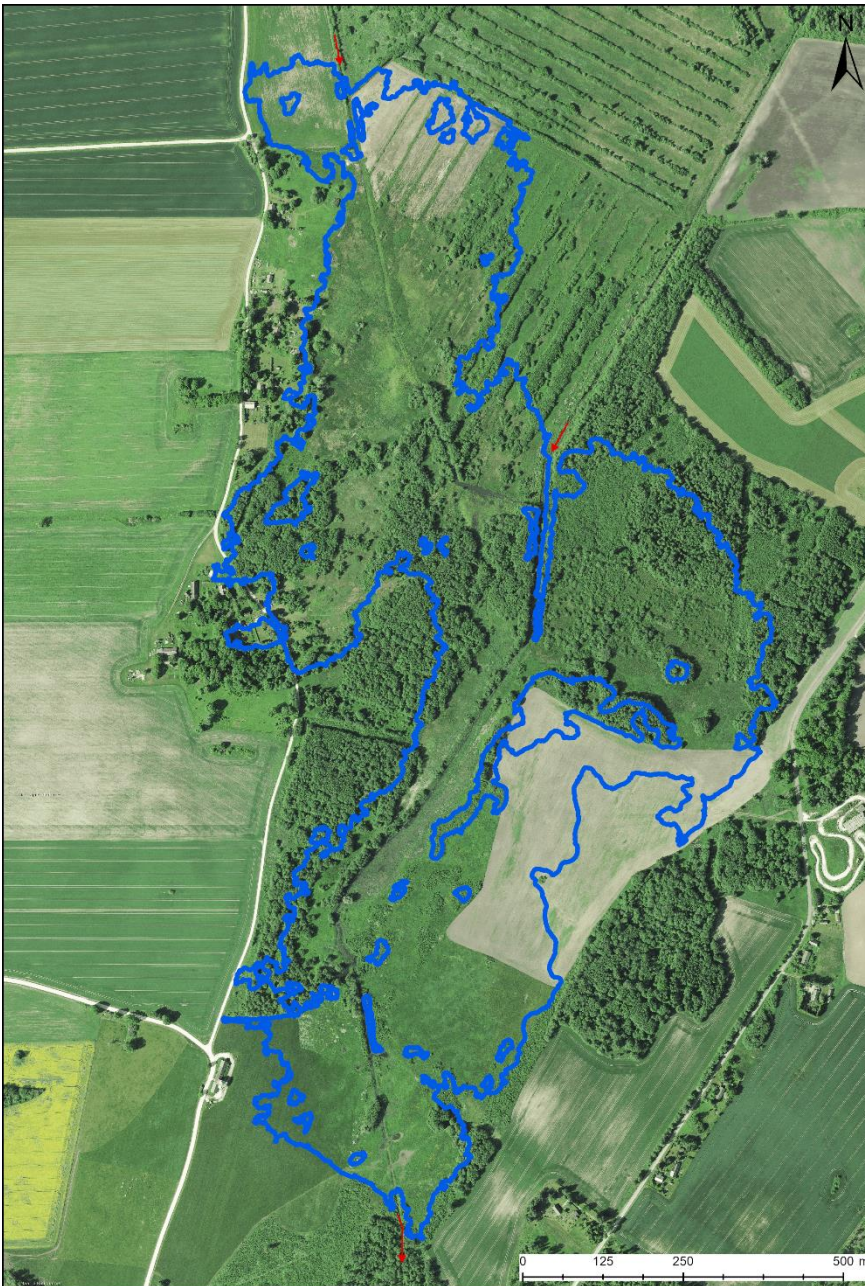
Veetaseme languse alguse aeg oli Kuksemas samuti sarnasem Assamalla kui Jalgsemale ja Tudrele, kus see algas nädala võrra hiljem.

Järviku veetase langes, mõnede lühiajaliste, kuni 10 cm piiresse jäänud tõusudega kuni 20. juunini, mil veetase oli 85,93 m ü.m.p. Sarnaselt enamikele teistele uuritud järvikutele (peale vähesel määral Assamalla) puudus ka Kuksema veetasemele veebruarikuise lumesulamise mõju. Kuuendast seitsmenda märtsini tõusis veetase üldise languse foonil vaid kaks cm ja jätkas seejärel langus. Mai alguses toimus kolme päeva jooksul elektrijuhtivuse tõus ca 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ võrra ja pooleteise päeva jooksul sama suur langus (Joonis 4.6.5). Mai lõpus tõusis elektrijuhtivus püsivamalt ca 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ juurde. Selliste muutuste põhjused jäid ebaselgeks. Küll kinnitas juuni alguses multimeetriga tehtud mõõtmine, et järviku pinnakihi ei oli sellel hetkel tõepoolest üle 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sarnaselt mitmetele teistele uuritud järvikutele hakkas elektrijuhtivus kevadest alates järvikus vähemalt logeri andmetel varasemast suurema amplituudiga kõikumama. Suuremad lühiajalised langused on seostatavad sademeterohkete päevadega.

Juuni lõpus alanud vihmaperiood tõstis veetaseme anduri asukohas juuli alguseks taas ca 25 cm võrra. Järgnes uus langus juuli lõpuni ning järjekordne kiire tõus 15 cm võrra 31. juulil ja 1. augustil. Augusti jooksul veetase langes ning andur eemaldati 22. augustil, kui anduri kohale oli jäänud vett 37 cm. Seda oli ainult kraavisüvendis ning anduri asukohast allavoolu järgmises kurisus, kuid kaugemal lõuna pool asuvad kurisud olid kuivanud.

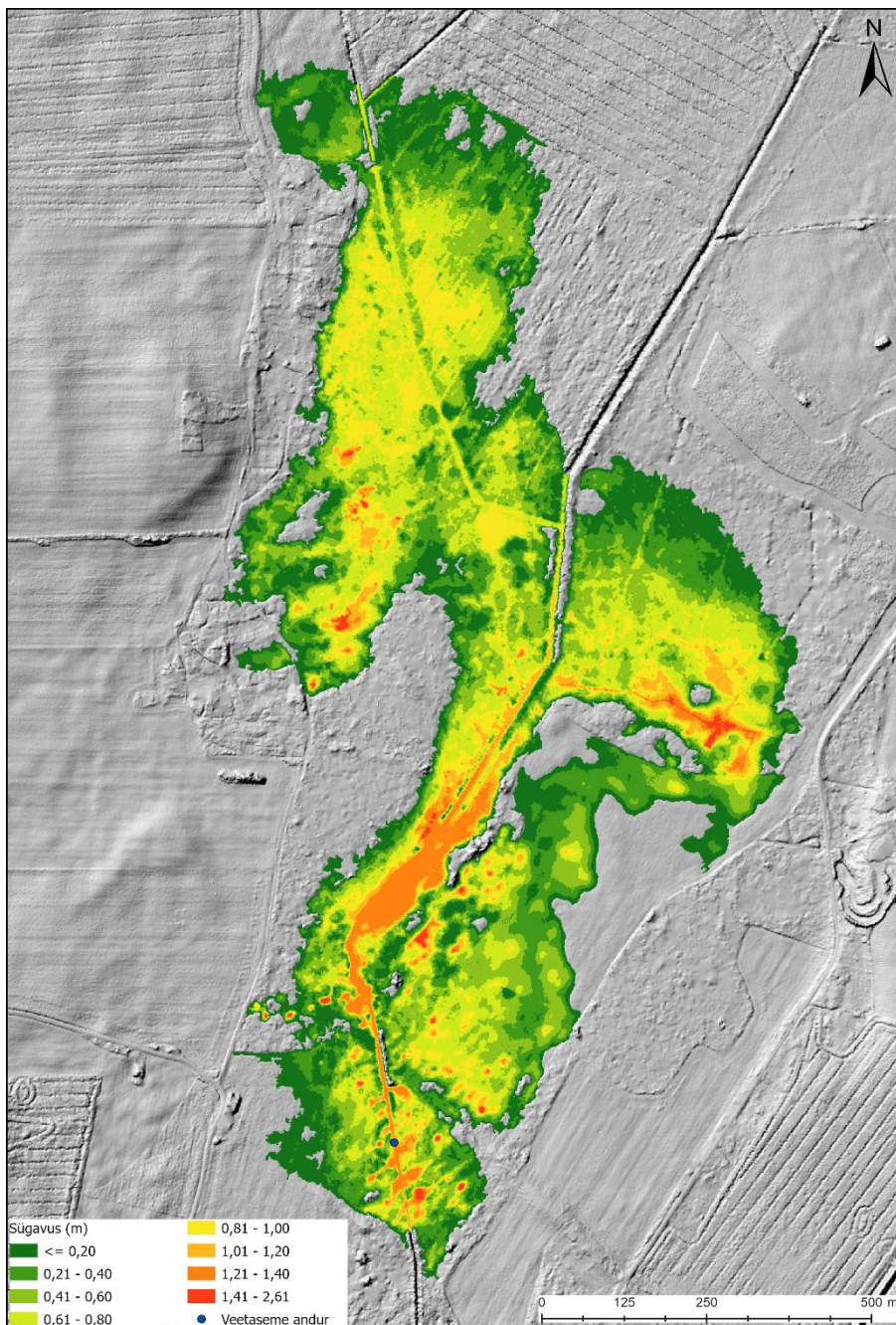
2024. aasta juuli lõpus toimunud taimestiku kaardistamise ajal oli anduri asukoht küll kuiv, kuid põhja pool oli ka siis, 2025. aastast oluliselt kuivemal suvel, mitmeid veesilmi. Seega tõenäoliselt ei kuiva vesi Kuksema järviku alal kunagi täielikult. Mitmeosalise kuju ja kraavide poolt mõjutatud veerežiimi tõttu on keeruline määratleda, millal järviku veeperiood algas ja millal lõppes. Pigem pole asjakohane lugeda järviku veeperioodi hulka aega, mil vesi on peamiselt järvikut läbivates kraavides ning neeldub järviku lõunapiiril kraavi ümbritsevates kurisutes ilma olulist üleujutust tekitamata. Seega, kui arvestada karstijärviku moodustumise lähtepunktiks kiire veetaseme tõusu algust 20. detsembril veetasemelt ca 86,2 m ü.m.p ja karstijärviku lõpuks veetaseme langust samale tasemele 9. mail, oli järviku veeperioodi pikkuseks 140 päeva.

Järviku ulatuse, sügavusjaotuse ja mahu väljaselgitamiseks kasutati Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku ülelennu LiDAR-andmeid (ülelennu kuupäev 13.06.2020). Ortofoto põhjal oli toona vesi järvikute alalisemates veesilmades, enamikes lõunaosa kurisutes ning mõlemas kraavis (Joonis 4.6.6). Samuti oli järviku põhi ülelennu ajaks taimestunud. Vett võis olla ka osadel kraavide lähedastel taimestunud aladel. Seetõttu on modelleeritud maapinna kõrgus tõenäoliselt enamikes kohtades tegelikkusest kõrgemal. Kuid tegemist on olemasolevatest kõige kuivemal ajal kogutud LiDAR-andmetega ehk parimaga, mida oli võimalik kasutada. **Järviku kaldajoon, sügavusjaotus ja maht modelleeriti lähtudes kõrgusjoonest 87,20 m ü.m.p. Sellele kõrgusjoonele vastava polügooni pindala ilma suuremate saarteta on koostatud kõrgusmudelil 69,7 ha.** Kevadel 2022 määrati järviku kõrgeimaks veetasemeks 86,90 m ü.m.p (Vainu et al, 2019). Seega on 2025. aasta veebruari veetaseme puhul tegemist järviku kõrgeima mõõdetud veetasemega ning selle põhjal loodud järviku pinda kujutav polügoon suurem kui 2022. aasta andmete põhjal loodud polügoon.



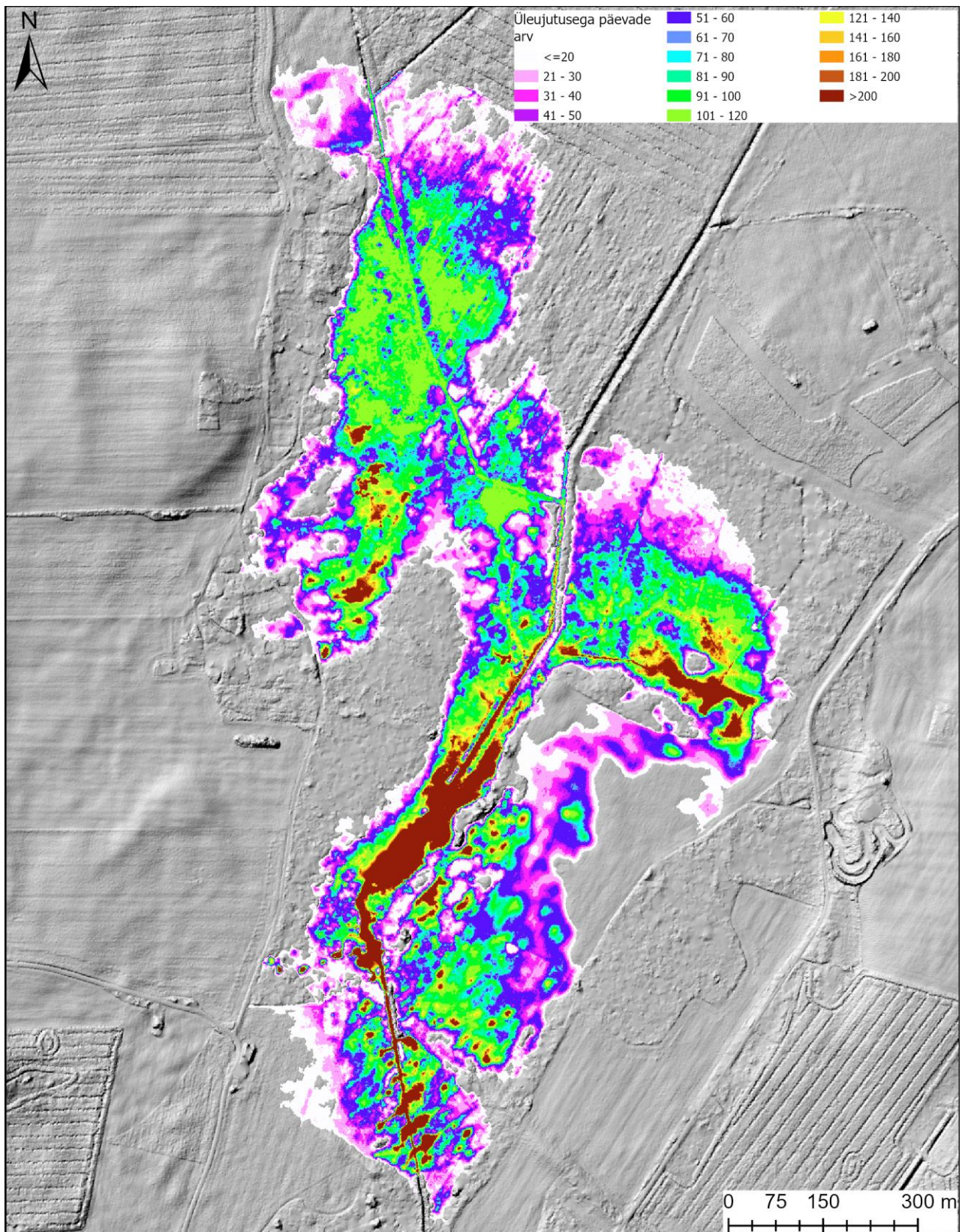
Joonis 4.6.6. Kuksema karstijärvi veepiir tasemel 87,20 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmodelile. Punaste nooltega on tähistatud vee voolusuunad mööda kraave järvikusse sisse ja järvikust välja.

Veetaseme 87,20 m ü.m.p põhjal modelleeritud 1x1 m resolutsiooniga sügavusjaotuste kaardil on järvi suurimaks sügavuseks ca 2,6 m (Joonis 4.6.7). Arvestades, et järvi sügavaimad kohad oli kõrgusmodeli algandmete kogumise ajal vee all, oli tegelik suurim sügavus maksimaalse veetaseme ajal tõenäoliselt suurem. Kindlasti oli joonisel kujutatust suurem ala, kus veesügavus oli üle 1,4 m. Järvi sügavaimad alad paiknevad järvi erinevates osades. **Veetaseme anduri asukohas oli mõõdetud suurim sügavus ca 1,8 m ü.m.p, aga andur ei asunud järvi sügavaimas paigas.** Kõige ulatuslikum ala, kus vee sügavus oli modelleeritud andmete põhjal üle 1,2 m, asub järvi keskosas. Sügavad on ka järvi lõunaosas asuvad kurisud ning kraavid. Üsikuid sügavamaid kurisuid leidub veel nii järvi lääne-, ida- kui ka kaguosas. Ülejäänud järvikust peaaegu eraldatud sügavam ala asub järvi idaosas. Järvi põhjaosas, kus 1951. aasta ortofotol on kõige suurem eristatav veesilm (Joonis 4.6.3), piirdus modelleeritud veesügavus valdavalt ühe meetriga. **Järvi modelleeritud maht maksimaalse veetaseme ajal oli 350 000 m³ ning keskmine sügavus 0,5 m, aga ka nende näitajate puhul tuleb arvestada, et kohad, mis kõrgusmodelil olid juba vee all, nende näitajate leidmisel arvesse ei läinud.**



Joonis 4.6.7. Kuksema karstijärviku sügavus veetaseme kõrgusel 87,20 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudelile.

Modelleeritud üleujutuse kestuse kaardilt on näha, et ühtne veeväli kogu 87,20 m ü.m.p kõrgusjoone sees püsis kuni pooltesit kuud ning järvikute erinevaid osasid ühendavaks teljeks olid järvikute läbivad kraavid (Joonis 4.6.8). Kagavere ja Kuksema kraavi ühinemiskohast ida poole jääv ala võis saavutada ühenduse ülejäänud järvikuga alles jaanuari teisel poolel ja kaotada selle juba märtsi esimesel poolel. Kuna järvikus oli ainult üks veetaseme andur, pole teada, kas sealne ala täitub veega iseseisvalt või toetub edela poolt pealevalguvale veele. Iseseisva toite puhul võis vesi selle ala sügavamates kohtades püsida aga üle 200 päeva. Lühiajaliselt oli ülejäänud järvikuga ühendatud ka Kuksema kraavist ida poole jääv ala järvikute kaguosas. Samas on ka seal sügavamaid kohti, kus vesi võis püsida kolm kuud ja kauemgi. Kuni kaks kuud jaanuari keskpaigast märtsi keskpaigani oli ülejäänud järvikuga ühendatud Kagavere kraavist edelasse jääv ala, mille sügavamates kohtades võis aga vesi iseseisvalt püsida üle 200 päeva. Järvikute põhjaosas, mida läbib Kagavere kraav, püsis üleujutus kuni kolm ja pool kuud aprilli alguseni. Arvestades järvikute keerulist konfiguratsiooni, tuleks, juhul kui on vaja selle erinevate osade täitumise ja kuivamise dünaamikast paremat ettekujutust saada, mõõta järvikute veetasemeid ühe veeperioodi jooksul mitme veetaseme anduriga.



Joonis 4.6.8. Päevade arv vahemikus 10.12.2024 kuni 22.08.2025, mil vastav ala Kuksema karstijärvikus oli vee all Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudeli ja veetaseme anduri mõõtmistulemuste põhjal.

4.6.2. Hüdrokeemia

Kuksema järvikust mõõdeti vee väliparameetreid viiel korral ja võeti veeproove neljal korral. Veeproovid võeti ja väliparameetrid mõõdeti veetaseme anduri asukoha lähedalt (Joonis 4.6.1), sõltuvalt konkreetse hetke veetasemest. Veebruaris oli järvik kaetud püdela jääga, mistõttu võeti veeproov ja mõõdeti parameetrid kaldalähedasest veest jääserva alt. Aprilli alguses, fütoplanktoni ja suurselgrootute proovivõtu ajal mõõdeti väliparameetrid Kuksema kraavi lõpus, Järva-Jaani–Kodasema teest lõuna pool olevast kurisust.

Järviku pH oli uuringu ajal kalgiveelistele järvedele tüüpilises vahemikus 7,7-st 8,1-ni (Tabel 4.6.1). **Uuritud järvikutes oli Kuksemas pH kõige kõrgem**, kui arvestada uuringuperioodi jooksul mõõdetud madalaimat pH väärtust. Kõigis teistes järvikutes oli pH vähemalt ühel mõõtmiskorral madalam kui 7,7. Lahustunud ainete sisaldus (mineraalsus) ja aluselisuus olid Simmi (1975) klassifikatsiooni järgi kõigil kordadel suured. **Kuksema järvik oli uuritutes kõige mineraalainerikkam**, kuid vesinikkarbonaadi sisalduse poolest võrreldav teiste vesinikkarbonaadirohkemate järvikutega (nt Alba, Kirikla, Tudre). See sai nii olla seetõttu, et HCO_3^- moodustas detsembris mineraalsusest 75% ning ülejäänud kordadel ca 80%. Teistel uuritud järvikutel suurenes HCO_3^- osatähtsus veega täitumise perioodi jooksul vähemalt 90%-ni mineraalsusest. Seda, millised ioonid Kuksemas, lisaks vesinikkarbonaadile, veega täitunud perioodi jooksul veel arvestatavat osatähtsust omasid, ei uuritud. Hapnikuolud olid veebruaris jää all halvad, ülejäänud kordadel pigem head.

Üldlämmastiku sisaldus oli kõigil kordadel väga halval tasemel (Tabel 4.6.2), kuid langes, sarnaselt enamikele teistele uuritud järvikutele uuringuperioodi jooksul. Samas oli langus teiste järvikutega võrreldes tagasihoidlikum. Nitraatlämmastik moodustas üldlämmastikus 75% kuni 90%. Kõige suurem oli nitraatlämmastiku osakaal märtsis. Erinevalt üldlämmastikust ei langenud nitraatlämmastiku sisaldus igaks järgmiseks proovivõtukorraks, vaid oli märtsis suurem kui veebruaris. Kõigil kordadel, peale veebruari, oli ka ammoniumlämmastiku sisaldus arvestatav ning nitritlämmastiku sisaldused olid kõigil kordadel üle määramispiiri. Reeglina oli uuritud järvikutes (v.a Võhmetu ja Lemmküla) nitritlämmastiku sisaldus alla määramispiiri või napilt üle selle.

Fosforisisaldus oli samuti kõigil kordadel väga halval tasemel. Suuremaid fosforisisaldusi mõõdeti vaid Assamalla järvikust. Veebruaris üldfosfori sisaldus detsembriga võrreldes vähenes, aga järgmistel proovivõtukordadel suurenes, sarnaselt enamikele teistele järvikutele. Fosfaatfosfor moodustas kõigil proovivõtukordadel üldfosforist 80–85%.

Vaatamata külluslikule toiteainete olemasolule, oli klorofüll a sisaldus enamikel uuringukordadel teiste toiteainerohkete järvikutega võrreldes pigem väike. Detsembris oli see heal tasemel, veebruaris halval ning märtsis väga heal. Vaid aprillis oli klorofüll a sisaldus väga halval tasemel. Kuid teiste järvikutega võrreldes oli Kuksema kevadine klorofüll a sisaldus pigem väike, vaid Lemmküla järvikus oli aprillis klorofüll a vähem. Samuti ei jõudnud Einjärve klorofüll a sisaldus Kuksemaga võrreldavale tasemele, aga Einjärv kuivas juba märtsi lõpuks. Isegi Alba ja Kirikla järvikutes, kus lämmastikusisaldus oli kogu uuringuperioodi jooksul Kuksemast kordades väiksem ning fosforit tekkis vette sisuliselt alles aprilliks ja kordades vähem kui Kuksemas, olid klorofüll a sisaldused aprillis suuremad. Sellist erinevust teistest järvikutes on raske selgitada. Kuksema peamiseks eripäraks teiste järvikutega võrreldes on oluliselt suurem pinnavee (kuigi põhjaveelise algupäraga) sissevool kraavide kaudu. Samuti on Kuksema ainus järvik, kuhu juhatakse heitvett. Lisaks oli Kuksema ainus Pandivere järvik, kus oli juba detsembris sedavõrd palju vett sees, et sellest oli mõtet võtta veeproov.

Veebruari algusest alanud fosforisisalduse suurenemine, kui järvik ujutas üle suurema ala kui detsembris, on sarnane teistele järvikutele ja ilmselt selgitatav fosfori vabanemisega üleujutatud pinnasest. Teistest järvikutes väiksemat lämmastikusisalduse vähenemist saab selgitada väiksema produktsiooniga, mida indikeerib väiksem klorofüll a sisaldus. Samuti täiendasid järviku lämmastikuvarusid sissevoolavad kraavid.

Orgaanilise aine sisaldus oli KHT_{Cr} järgi detsembris alla määramispiiri. Veebruaris ja märtsis oli orgaanilise aine sisaldus KHT_{Cr} järgi keskmine ning aprillis taas väike, aga üle määramispiiri. KHT_{Mn} järgi oli orgaanilise aine sisaldus kõigil määramiskordadel väike, aga kõikus siiski enam kui kaks korda, olles suurim veebruaris. Oksüdeeritavusprotsent oli kõigil kordadel alla 40% (detsembris ei saanud arvutada, kuna KHT_{Cr} oli alla

määramispiiri), mis viitab, et orgaaniline aine oli tekkinud valdavalt veefaasi ajal. Veebruaris oli oksüdeeritavusprotsent küll endm kui kaks korda suurem kui märtsis (34% vs 15%). Ka kollase aine sisaldus oli veebruaris kõige suurem, ületades teiste proovivõtukohtade tulemusi vähemalt kaks korda. See võib viidata, et veebruaris oli üleujutatud pinnasest vabanenud huumusainetel suurem osatähtsus kui märtsis. Kuna veebruaris oli järvik proovivõtukohtas üle ujutanud kõrreliste kultuurrohumaad, mida tõenäoliselt aegajalt üles haritakse ning proovi saigi võtta jää alt rohumaad peal olevast veest, siis pole veebruarikuised kõige suuremad KHT_{Mn} ja ka kollase aine väärtused seetõttu väga üllatavad. Hiljem, kui proovi sai võtta taas anduri asukohale lähemal, olid KHT_{Mn} ja kollase aine väärtused väiksemad, viidates väiksemale üleujutatud pinnase ja laguneva taimse biomassi mõjule. Huvitav on aga, et KHT_{Cr} väärtus märtsiks veebruariga võrreldes sisuliselt ei muutnud, mis tõi ka kaasa oksüdeeritavusprotsendi enam kui kahekordse vähenemise. See võiks viidata, et märtsiks oli järvikus suurenenud veesisene orgaanilise aine produktsioon, mis tagas vähenenud KHT_{Mn} juures KHT_{Cr} väärtuse püsimise. Teisalt klorofüll a sisaldus seda ei näidanud, sest see oli märtsis väiksem kui veebruaris. Aprilliks, kui klorofüll a sisaldus oli oluliselt suurenenud, oli KHT_{Cr} väärtus vastu ootusi hoopis vähenenud. Tegemist on taaskord protsessidega, millele selgitus puudub ning mis vajaksid täiendavat uurimist.

Järviku saab veekvaliteedi andmete põhjal hinnata tugevalt eutrofeerunuks.

Järvikusse sissevoolavatest Kagavere ja Kuksema kraavidest võeti veeproove ja mõõdeti vee väliparameetreid neljal korral. Kagavere kraavis oli proovivõtukoht järvik põhjapiirist mööda kraavi 1,1 km ülesvoolu Kagavere ringtee all oleva truubi juures. Kuksema kraavis oli proovivõtukoht järvik põhjapiirist mööda kraavi 2,5 km ülesvoolu Seidla–Järva-Jaani tee truubi juures. Kuksema kraavi juhitakse nii Järva-Jaani reoveepuhasti heitvesi kui ka E-Piim Tootmine AS tehnoloogiline ja sademevesi.

Kraavide pH-d olid sarnased, vaid detsembris oli Kuksema kraavi pH suurem (Tabel 4.6.1). Järviku vee pH oli kõigil mõõtmiskordadel, peale veebruari, kraavide vee pH-st suurem. Veebruaris olid pH-d kõigis kolmes kohas samad. Mineraalsus oli reeglina suurem Kuksema kraavis, v.a märtsis. Järviku vee mineraalsus oli reeglina kraavide vee mineraalsusest väiksem, v.a märtsis, kui see oli mõlema kraavi mineraalsusest suurem. Kõigil võrreldavatel mõõtmiskordadel oli see sarnasem Kagavere kraavi mineraalsusele. Aluselisus oli veebruaris, märtsis ja aprillis Kagavere kraavis veidi suurem kui Kuksema kraavis. Detsembris oli erinevus selgem (ca 50 mg/l). Järviku vee aluselisus oli detsembris sarnane Kuksema kraavile ja Kagavere kraavist väiksem. Veebruaris oli järvik vee aluselisus mõlemast kraavist väiksem, olles lähemal Kuksema kraavile, märtsis Kuksema kraaviga sama ja aprillis Kuksema kraavist veidi väiksem. Kagavere kraavi mineraalsusest moodustas HCO_3^- kõigil kordadel 80–85%. Kuksemas aga 65–90%, olles kõige väiksem detsembris ja kõige suurem märtsis. Kuksema kraavi mineraalsuse ning selle koostise suurema varieeruvuse põhjuseks on ilmselt sellesse juhitud heitvesi, mille koostis pidevalt muutub. Heitvee mõju näitab ilmselt ka asjaolu, et Kuksema kraavi veetemperatuur oli kõigil kordadel Kagavere kraavist kõrgem.

Vee mineraalsuse näitajate põhjal on näha, et Kuksema järvik proovivõtukohtas olnud vesi erines kraavide veest, sõltuvalt proovivõtukohtadest, vähem või rohkem. Pigem oli järvik vesi sarnasem Kuksema kraavile, mis hinnanguliselt on Kagavere kraavist ka veerohkem. Samas ei saa kogutud andmete põhjal järeldada, et järvikus olekski vaid Kuksema kraavist sisse voolanud vesi ega ka kahe kraavi vee segu, sest mitmel mõõtmiskorral olid järvikus oleva vee näitajad mõlemast kraavist kas suuremad või väiksemad, mis viitab kraavidele lisaks ka muule (tõenäoliselt otsesele põhjavee) toitele.

Üldlämmastiku sisaldus oli Kuksema kraavis kõigil kordadel alaliste kalgiveeliste järvede piirväärtusi arvestades väga halval tasemel. Nitraatlämmastiku sisaldus moodustas 75–95% üldlämmastikust, olles suurim märtsis, mil see oli suurim ka Kuksema järvikus. Kraavi üld- ja nitraatlämmastiku sisaldus oli kõigil kordadel järvik sisaldusest suurem. Kraavi vees oli kõigil kordadel, peale veebruari, ka arvestatav kogus ammoniumlämmastikku. Samuti oli seal, peale veebruari, nitritlämmastikku. Kõiki neid lämmastikuühendeid oli kraavis rohkem kui samal ajal järvikus, v.a nitrit veebruaris. Seda suurt lämmastikusisaldust ei saa kanda aga ainult heitvee arvele, sest kraavi suunatud veelaskmete keskkonnanaloa L.VV/325410 2024. aasta aastaaruande põhjal oli neljandas kvartalis võetud proovi põhjal heitvee

üldlämmastiku sisaldus Järva-Jaani veelaskmes 9,3 mg/l ja E-Piima veelaskmes 7,7 mg/l (KOTKAS, 2025). Järva-Jaani veelaskme vooluhulk samas kvartalis oli kaks ja pool korda suurem kui E-Piima veelaskme vooluhulk. Mõlemast veelaskmest kokku voolas 2024. aasta neljandas kvartalis keskmiselt 6 l/s vett ning heitvee segu lämmastikuisaldus oli seega 8,9 mg/l. 2024. aasta varasemates kvartalites E-Piima veelaskme vooluhulk oluliselt ei muutunud ning Järva-Jaani veelaskme vooluhulk muutus 1,4 korda. Uuringu käigus Kuksema kraavi vooluhulka küll ei mõõdetud, kuid silma järgi hinnates oli see kõigil kordadel, sh detsembris oluliselt suurem kui 6 l/s (Joonis 4.6.9). Seega moodustas heitvesi kraavi vooluhulgast vähemuse, kuid lämmastikuisaldus oli Kuksema kraavist detsembris mõõdetud lämmastikuisaldusega samas suurusjärgus. Veelaskmete ja kraavi lämmastikuisaldused pole küll üks-ühele võrreldavad, sest proovid võeti ilmselt erinevatel päevadel, kuid suurusjärgude põhjal saab järeldada, et **Kuksema kraavi suur üldlämmastiku sisaldus ei saa olla tingitud ainult heitveest, vaid olulisem osa sellest pärineb tõenäoliselt põhjaveest.**



Joonis 4.6.9. Kuksema kraav Seidla–Järva-Jaani tee truubi juures 10.12.2024 (Pilt: Marko Vainu)

Kagavere kraavis oli lämmastikuisaldus püsivalt väiksem kui Kuksema kraavis. Enamikel kordadel, peale veebruari, oli see ka väiksem kui järvikus. Kõige sarnasem oli Kagavere kraavi üld- ja nitraatlämmastiku sisaldus Kuksema kraavi samadele näitajatele veebruaris. See oli ka ainus kuu, mil Kagavere kraavi üldlämmastiku sisaldus oli alaliste kalgiveeliste järvede piirväärtusi arvestades väga halval tasemel. Ammooniumlämmastiku sisaldus jäi Kagavere kraavis kõigil kordadel, peale aprilli, allapoole määramispiiri. Aprillis oli napilt üle selle. Nitritlämmastiku sisaldus oli alla määramispiiri kõigil kordadel.

Üldfosfori sisaldus Kuksema kraavis oli samuti kõigil kordadel kalgiveeliste järve piirväärtuste põhjal väga halval tasemel. Erakordselt suur (3,6 mg/l) oli see veebruaris. Siis voolas kraavi vees silmaga nähtav pruunikas püdel ollus. Olluse olemust välja ei selgitatud, aga ilmselgele, tavapärasest heitveest erinevale orgaanilisele reostusele viitas ka samal ajal kraavi veest määratud KHT_{Cr} , mis oli 140 mgO/l. Kraavi vee üldfosfori sisaldus oli kõigil kordadel suurem kui järvikus. Erinevus oli detsembris ja aprillis pooleteise- kuni kahekordne ning märtsis väiksem. Veebruaris oli erinevus kolmekümnekordne, mis tähendab, et siis kraavis voolanud solk polnud veel järviku proovivõtukohta jõudnud. Pole teada, kas või mil määral see hiljem järviku fosforisisaldust mõjutas. Kraavi vee fosfori vähemalt osaliselt heitveelisele päritolule ka muul ajal kui veebruaris viitab

asjaolu, et ühelgi proovivõtukorral ei moodustanud fosfaatfosfor rohkem kui poole üldfosforist. Kagavere kraavis seevastu oli fosforisisaldus kolmel korral neljast alla määramispiiri või selle lähedal. Veidi suurem, aga siiski kalgiveeliste järvede kriteeriumite alusel heal tasemel, oli see detsembris. Samas, nagu ka lämmastiku puhul, ei saa kogu Kuksema kraavis voolanud fosforit kanda ainult heitvee arvele. Kraavi suunatud veelaskmete keskkonnanaloo L.VV/325410 2024. aasta aastaaruande põhjal oli neljandas kvartalis võetud proovi põhjal heitvee üldlämmastiku sisaldus Järva-Jaani veelaskmes 0,3 mg/l ja E-Piima veelaskmes 0,01 mg/l (KOTKAS, 2025). Detsembris kraavist võetud proovis oli üldfosfori sisaldus küll samuti 0,3 mg/l, aga heitveelaskme keskmine vooluhulk IV kvartalis oli aastaaruande põhjal vaid 4 l/s ehk kordades väiksem kui vooluhulk kraavis (Joonis 4.6.9). Kuksema kraavi toiteainekoormuse allikate väljaselgitamine polnud käesoleva töö ülesandeks, kuid kättesaadavate andmete põhjal ilmneb, et kraavi ja seetõttu ka Kuksema järvikusse jõudvat vett reostab toiteainetega peale heitvee ka miski muu, mis kraavide eeldatavat olulist põhjaveetoidet arvestades on just põhjavesi.

Orgaanilise aine sisaldus oli Kuksema kraavis mõlemal viisil määratuna reeglina suurem kui Kagavere kraavis, mis heitvee mõju tõttu on loogiline. Samas märtsis oli orgaanilise aine sisaldus mõlemal viisil määratuna suurem Kagavere kraavis. Järvikuga võrreldes oli kraavide orgaanilise aine sisaldus proovivõtukorral erinev. Detsembris oli järviku orgaanilise aine sisaldus mõlemast kraavist väiksem. Veebruaris oli see Kagavere kraavist suurem ja Kuksemast väiksem, kuid Kuksema puhul mõjutas tulemust selles voolanud solk. Märtsis oli KHT_{Cr} järgi järviku orgaanilise aine sisaldus Kagavere kraaviga peaaegu sama, kuid KHT_{Mn} järgi väiksem. Kuksema kraaviga võrreldes oli järviku KHT_{Cr} märtsis suurem, aga KHT_{Mn} järgi väiksem. Järviku märtsikuise KHT_{Cr} väärtuse seletamatut suurust KHT_{Mn} väärtusega võrreldes on välja toodud ka eespool. Aprillis oli järviku orgaanilise aine sisaldus mõlemal viisil määratuna Kagavere kraaviga peaaegu sama ja Kuksema kraavist väiksem. Seega üldjuhul oli järviku orgaanilise aine sisaldus kraavide omast väiksem, eriti kui võrrelda veerohkema Kuksema kraaviga. Veebruarikuist järviku ülejäänud kordadega võrreldes suuremat orgaanilise aine sisaldust on eespool seostatud proovivõtukohta mõjuga ja see ei pruukinud järviku üldisemat orgaanilise aine sisaldust sellel hetkel kõige paremini kajastada. **Kraavidest väiksem orgaanilise aine sisaldus järvikus on ilmselt mõõdetud parameetritest kõige selgem indikatsioon, et oluline osa järviku veest peab pärinema otse põhjaveest.** Arvestades, et mõlema kraavi KHT_{Mn} mediaanväärtused olid vahemikus 6–7 mgO/l, saab käesoleva töö kõite I ptk-s 4.5 tehtud vooluveekogumite põhjaveetoitelisuse analüüsi põhjal ka need vähese kahtlusega oluliselt põhjaveest sõltuvaks lugeda.

Kraavide veest määrati ka klorofüll a sisaldusi, kuid need olid sama raskesti tõlgendatavad, kui järviku omad. Kagavere kraavis oli juba detsembris klorofüll a kalgiveeliste järvede kriteeriumite järgi väga halval tasemel, kuigi kraavi fosforisisaldus märkimisväärne polnud. Veebruaris oli kraavis klorofüll a alla määramispiiri, mis läheb kokku fosfori puudumise ja talvise ajaga. Samas hakkas järgmistel kordadel klorofüll a sisaldus, vaatamata jätkuval fosfori puudumisele, suurenema. Kuksema kraavis oli klorofüll a sisalduse muutus paremini põhjendatav. Detsembris oli seda alla määramispiiri ning igal järgmisel korral eelmisest rohkem. Reeglina vooluveekogudes voolava vee tõttu olulist klorofüll a produktsiooni ei toimu, kuid ilmselt Kuksema kraavi mõõduka voolu kiiruse, rohke toiteainete sisalduse ja soojapoolse vee tõttu klorofüll a tootmine kevade edenedes siiski intensiivistus.

Neli korda mõõdeti vee väliparameetreid ja võeti kaks veeproovi ka Ladude kinnistul olevast kaevust. Proovid võeti batomeetriga *Uwitec Water Sample Bailer USB 50015*. Ptk-s 4.6.1 on kaevu leidmist ja sellega seotud ebamäärasust kirjeldatud. Kaevus ei olnud ühelgi mõõtmise- ega proovivõtukorral järvikuga sarnanev vesi (Tabelid 4.6.1 ja 4.6.2). Veed olid rohkelt orgaanilist ainet ning ilmselt seetõttu oli ka vee hapnikusisaldus väike või puuduv, millele viitavad redokspotentsiaali väärtused kõigil kordadel. Kui detsembris oli see alla 100 mV, siis veebruaris peaaegu null ning märtsis ja aprillis negatiivne. Redutseerivate tingimuste tõttu polnud kaevuvees ka nitraate ning üldlämmastiku sisaldus oli üldse väike. Fosforit oli kalgiveeliste järvede seisundikriteeriumitest lähtuvalt veebruaris halvale ja märtsis kesisele tasemele vastavalt, kuid selle sisaldus oli kordades väiksem kui järvikus. Nii, et kui veetaseme puhul võis kaev piirkonna põhjaveetaseme kõrgust esindada, siis selle veekvaliteedi näitajate võrdlemisest järviku näitajatega ning nende põhjal järviku võimaliku põhjaveetoite kohta järelduste tegemisest tuleks hoiduda. Paraku ei õnnestunud Kuksema külast

leida sobiva asukohaga kaevu, mille veekvaliteedi andmete põhjal saaks anda hinnangu, kui suur roll Kuksema järvi suures toiteainesisaldusel võib olla põhjaveel.

Kuigi uuringu tulemuste põhjal saab varasemast kindlamini väita, et Kuksema järvi veega täitumises mängib rolli lisaks kraavide kaudu sinna voolavale veele ka otse järvikusse avanev põhjavesi, on seniste andmete põhjal järvi vee toiteainerohkuse põhjuseks eelkõige Kuksema kraavi halv kvaliteediline vesi. Kraavi vee halb kvaliteet pole aga põhjustatud ainult sellesse suunatud heitveest, vaid on tõenäoliselt osaliselt tingitud kraavi toitvast põhjaveest. Järvi lõunaosa võivad toiteainetega rikastada ka põllumaad, millele järvi veerohkematel aastatel ulatub (Joonis 4.6.6).

Tabel 4.6.1. Kuksema järvikust, Ladude kaevust ning Kagavere (Ka kraav) ja Kuksema (Ku kraav) kraavist välitingimustes mõõdetud näitajad. *Näitajad mõõdeti Kuksema kraavi lõpus olevast kurisust Järva-Jaani–Kodasema teest lõuna pool

Objekt	Kuupäev	pH	ORP (mV)	SEC (µS/cm)	TDS (mg/l)	Temp (°C)	O ₂ (mg/l)	O ₂ %	Hägusus (NTU)
Järvik	10.12.2024	7,9	279	761	495	2,8			
Järvik	06.02.2025	7,7	164	642	417	0,6	4,8	29	
Järvik	25.03.2025	8,1	277	703	457	4,5	10,0	73	
Järvik	04.04.2025*	8,2	136	692	450	10,8			2,4
Järvik	19.04.2025	7,9	243	696	452	14,6	8,9	87	
Järvik	06.06.2025	8,1	180	808	525	16,1	8,6	84	
Kaev	14.12.2025	7,0	91,4	978	636	6,5			
Kaev	06.02.2025	7,0	7,3	812	528	6,0			
Kaev	22.04.2025	7,7	-76,8	509	331	5,0			
Kaev	06.06.2025	7,7	-85,0	559	363	6,0			
Ka kraav	10.12.2024	7,3	299	804	523	7,0			
Ka kraav	06.02.2025	7,7	169	655	426	3,2	9,2	63	
Ka kraav	25.03.2025	7,7	183	686	446	4,1	7,2	51	
Ka kraav	19.04.2025	7,6	217	725	471	7,1	5,6	50	
Ku kraav	10.12.2024	7,8	217	861	560	7,4			
Ku kraav	06.02.2024	7,7	160	719	467	6,3	2,9	75	
Ku kraav	25.03.2025	7,8	202	625	406	7,7	10,6	84	
Ku kraav	19.04.2025		208	741	482	13,4	7,1	69	

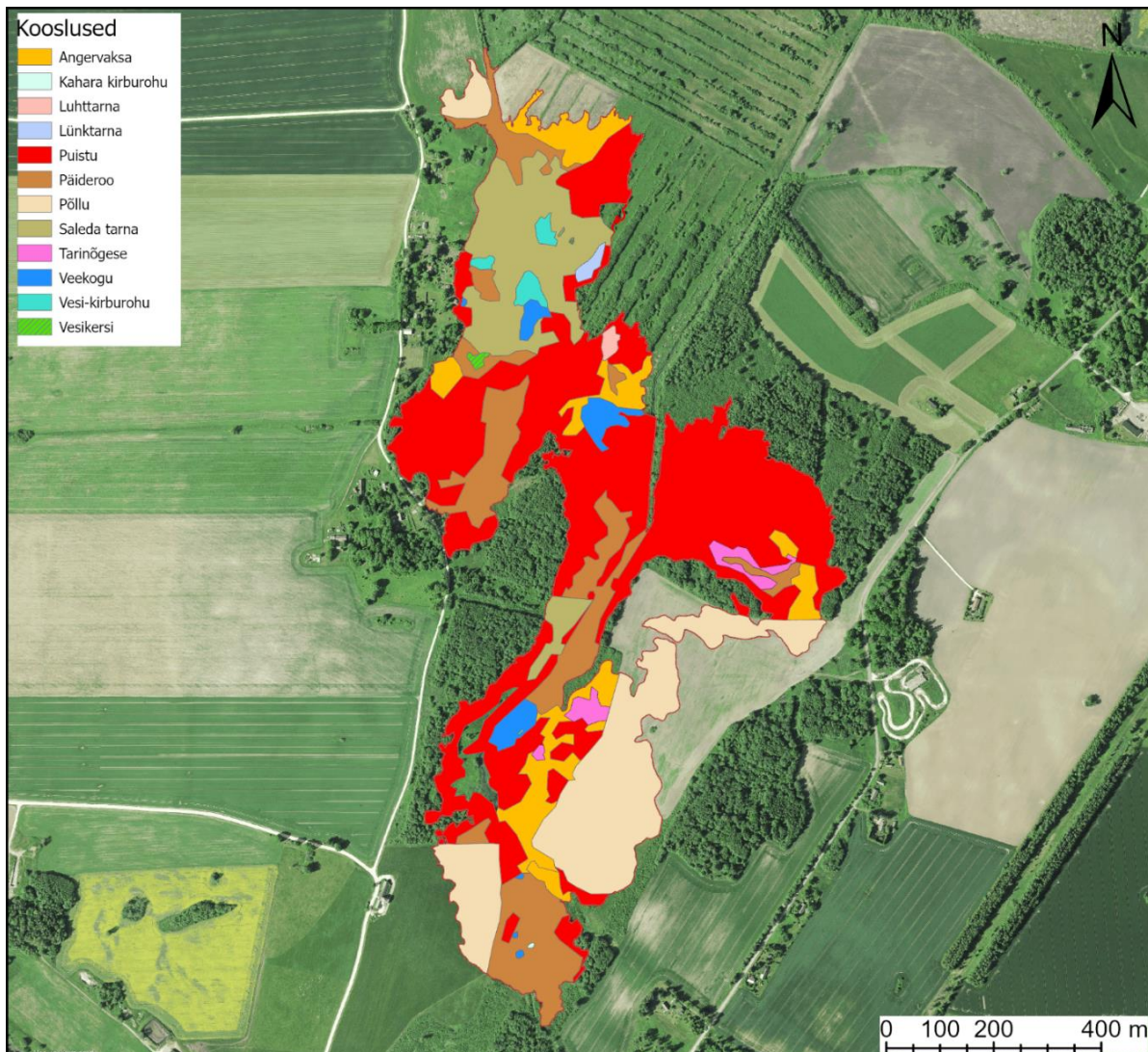
Tabel 4.6.2. Kuksema järvikust, Ladude kaevust ning Kagavere (Ka kraav) ja Kuksema (Ku kraav) kraavist võetud proovidest laboris määratud näitajad. *Proov võetud Kuksema kraavi lõpus olevast kurisust Järva-Jaani–Kodasema teest lõuna pool

Objekt	Kuupäev	Nüüd (mg/l)	NH ₄ ⁻ -N (mg/l)	NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	Püld (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)	TN:TP	KHT _{Cr} (mgO/l)	KHT _{Mn} (mgO/l)	Y (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Chl-a (µg/l)
Järvik	10.12.2024	8,4	0,120	6,2	0,033	0,170	0,140	49	<14	6,2	3,8	372	1,3
Järvik	06.02.2025	5,9	0,020	4,9	0,021	0,120	0,100	49	27	9,3	7,5	336	4,0
Järvik	25.03.2025	5,7	0,140	5,2	0,025	0,130	0,110	44	26	4,0	2,7	372	1,0
Järvik	04.04.2025*												0,2
Järvik	19.04.2025	5,0	0,330	4,1	0,064	0,190	0,160	26	17	4,7	2,4	366	9,4
Kaev	06.02.2025	1,3	0,053	<0,01	<0,005	0,046	<0,005		50	12		342	
Kaev	22.04.2025	1,1	0,260	0,1	0,007	0,028	0,013		32	7,9		244	
Ka kraav	10.12.2024	3,9	<0,008	3,3	<0,005	0,019	0,005		17	6,4	3,8	409	7,0
Ka kraav	06.02.2025	6,6	<0,008	5,6	<0,005	0,010	0,008		18	5,7	4,3	366	<1
Ka kraav	25.03.2025	3,5	<0,008	3,2	<0,005	<0,01	<0,005		27	6,9	4,3	378	2,8
Ka kraav	19.04.2025	2,4	0,009	1,9	<0,005	<0,01	<0,005		18	4,8	3,0	384	3,1

Objekt	Kuupäev	Nüld (mg/l)	NH ₄ ⁻ -N (mg/l)	NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	Püld (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)	TN:TP	KHT _{Cr} (mgO/l)	KHT _{Mn} (mgO/l)	Y (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Chl-a (µg/l)
Ku kraav	10.12.2024	10,0	0,460	7,6	0,027	0,31	0,16		29	8,3	4,5	366	<1
Ku kraav	06.02.2024	8,9	0,090	7,7	<0,005	3,6	0,067		140	33,0	5,0	360	1,5
Ku kraav	25.03.2025	6,8	0,200	6,4	0,022	0,16	0,08		18	4,8	2,7	372	3,0
Ku kraav	19.04.2025	5,8	0,530	4,6	0,048	0,34	0,13		25	7,2	2,7	372	5,5

4.6.3. Taimestik

Kuksema paigutub koos Lemmküla ja Võhmetuga märgade kõrgrohustute rikaste ning konkreetsemalt päideroo ja ängelheina koosluse domineerimisega järvikute hulka, kuigi selle koosluste struktuur erineb neist kahest arvestataval määral. Suure osa Kuksema üleujutatavast alast hõlmavad puistud ja põllud ning lagealad jäävad lahustükkidena nende vahele (Joonis 4.6.10). Järviku põhjaosas on kuivenduskraavidena alal levinud peamiselt saleda tarna kooslus ning selle kuivematel äärealadel päideroo ja angervaksa kooslused. Niiskemates lohkudes levivad vesi-kirburohu ja vesikersi kooslused. Järviku kesk- ja lõunaosa lagealadel levib aga peamiselt päiderookooslus. Lühema üleujutuse kestusega aladel on ka angervaksakooslust ning vähestel aladel tarinõgese kooslust. Saleda tarna kooslust on järvikute kesk- ja lõunaosas vähe. Lõuna- ja kaguosas ulatub üleujutusala laialt haritavale maale. Väiksem põlluosa jääb üleujutusalasse ka põhjaosas. Kuigi eraldi kooslusena pole neid kaardistatud, oli Kuksema ainuke, mille lõunaosas olid mõned kurisud lausaliselt kõrvenõgeseid täis. Nõgest oli ka järvikute lõuna- ja idaosa angervaksakooslustes. Nõgese olemasolu klapiib veekvaliteedi andmetes ilmnenud suure toiteainete sisaldusega.



Joonis 4.6.10. Kuksema taimekooslused.

4.6.4. Suurselgrootud

Proov võeti eksikombel Järva-Jaani–Kodasema teest lõunas, ca 800 m piki Kuksema kraavi enamike näitajate seirekohast allpool kraavi lõpus olevast kurisujärvikust, mis aga tõenäoliselt ei mõjutanud oluliselt hinnanguid. Proov oli taksonivaene (14). Arvukaim rühm oli jälle pistesääsklased. Tõenäoliselt kraavi, kui mõnevõrra “alalisema” veekogu, läheduse tõttu olid selles lombis suhteliselt arvukad ka sisevete tavalised rühmad: surusääsklased (*Chironomidae*) ja väheharjasussid (*Oligochaeta*). Ajutiste vete liike esindasid ehmeistiivalised: *Grammotaulius sp* ning lõpusvana (*Ironoquia dubia*). Järvevana *Limnephilus bipunctatus* on kraaviliik: korraga nii vooluveeline kui ka ajutine, mis sobib samuti hästi seda elupaika iseloomustama. Seisund alaliste karedaveeliste järvede kriteeriumite järgi oli halb (Tabel 4.6.3).

Tabel 4.6.3. Kuksema karstijärviku suurselgrootute kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a kevadel. T – üldine taksonirikkus, H' – Shannoni erisus, ASPT – taksoni keskmine tundlikkus, EPT – tundlike taksonite rikkus, MMQ – seisund, Chir% - surusääsklaste vastsete protsent taksonite üldarvust

Kuupäev	T	H'	ASPT	EPT	suse_m (MMQ)	MESH	Chir%
04.04.2025	14	1,08	4,13	4	6	1,33	21,8

4.6.5. Fütoplankton

Proov võeti eksikombel Järva-Jaani–Kodasema teest lõunas, ca 800 m piki Kuksema kraavi enamike näitajate seirekohast allpool kraavi lõpus olevast kurisujärvikust. Järvikus oli vett ja planktonvetikaid väga vähe, valdasid sulgränivetikad. Ilmselt ei saa seal plankton kuigivõrd areneda. Veidi leidis neelvetikaid perekonnast *Cryptomonas* ja bentilisi sinivetikaid perekonnast *Pseudanabaena*. Seisund alaliste järvede kriteeriumite järgi oli hea (Tabel 4.6.4).

Tabel 4.6.4. Kuksema järviku fütoplanktoni kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud. Chl a – klorofüll a sisaldus µg/l; J – ühtluse indeks; FKI – fütoplanktoni koondindeks; FLA – liikide arv loendusproovis ja võrkude proovis; FBM – biomass g/m³; CY, BAC, CHL, CONJ, CHR, CRY, DINO, EU – vastavalt sini-, räni-, rohe-, ikkes-, kold-, neel-, vaguvibur-, silmviburvetikate biomass g/m³

Kuupäev	Chl-a	J	FKI	FLA	FBM	CY	BAC	CHL	CONJ	CHR	CRY	DINO	EU	Dominandid	Kooslus
04.04.2025	0,2	0,7	5	7+5	0,43	0,003	0,1	0	0	0	0,33	0	0	<i>Cryptomonas sp</i>	Hea

4.6.6. Zooplankton

Kuksema järvikust oli võimalik zooplanktoni proovi võtta nii märtsis kui aprillis (Tabel 4.6.5). Zooplanktoni arvukus ja biomass olid järves mõlemal korral väga tagasihoidlikud, aprillis siiski mitmeid kordi suuremad kui märtsis. Aerjalgsetest leiti proovis *Acanthocyclops robustus* ja Harpacticoida, vesikirpudest *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Daphnia cristata* ja *D. curvirostris*, keriloomadest *Asplanchna priodonta*, *Keratella cochlearis*, *Monostyla bulla*, *Notholca caudata* ja *Polyarthra sp*. Suurima arvukuse ja biomassiga esinesid *A. robustus* vähikvastset ja naupliused. Keriloomade arvukus moodustas koguarvukusest mõlemal proovivõtul üle 20%. Tegemist oli Assamalla ja Einjärve kõrval ainsa järvikuga, kus keriloomade arvukus sedavõrd suur oli.

Tabel 4.6.5. Kuksema järviku metazooplanktoni rühmade arvukus (A) ja biomass (BM) ning peamiste rühmade osa koguarvukusest ja biomassist

	Kuupäev	Kokku	Cladocera	Copepoda	Rotatoria	Clad %	Cop %	Rot %
A, ind m ⁻³	25.03.2025	7779	29	5749	2002	0,4	73,9	25,7
A, ind m ⁻³	19.04.2025	24 900	250	19 525	5125	1,0	78,4	20,6
BM, mg m ⁻³	25.03.2025	29	0	27	2	0,8	92,9	6,3
BM, mg m ⁻³	19.04.2025	183	3	171	9	1,8	93,5	4,8

4.6.7. Fütobentos

Kuksema karstijärviku fütobentose seisund (fübe_m) oli hea (Tabel 4.6.6). Ränivetikate spetsiifiline reostustundlikkuse ja Watanabe indeks näitasid head seisundit ning troofsusindeks väga head seisundit. Kokku määrati 19 taksonit bentilisi ränivetikaid. Selles karstijärvikus ei olnud ükski ränivetika liik domineeriv. Arvukalt oli kahte liiki *Gomphonema parvulum* (18,9%) ja *Hantzschia calcifuga* (13,3%). Mõlemad on küll eutroofsete vete tunnusi liigid, kuid teisalt leidus järvikus 31,3% erinevaid *Eunotia* perekonna liike, kes kõik on oligotroofsete vete tunnuseks. Lisaks leidus järvikus 32,7% teisi *Gomphonema* perekonna liike, kes erinevalt *G. parvulum*'ist on tüüpilised mesotroofsetele vetele. Sellise, kahte toitelisuse äärmust esindavate liikide koosluse põhjal tuli troofsusindeksi väärtuseks väga hea. Küll oli Kuksema spetsiifilise reostustundlikkuse indeksi väärtus uuritud järvikutest madalaim, kuid jäi alaliste järvede kriteeriumite põhjal hinnates siiski heale tasemele.

Tabel 4.6.6. Kuksema karstijärviku fütobentose kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a. kevadel

Aeg	Substraat	Taksonite arv	fübe indeksid			fübe_m
			IPS	WAT	100-TDI	
22.04.2025	makrofüüdid	19	12,8	12,7	56,0	hea

4.6.8. Kokkuvõte

Kuksema järvik saavutas uuringuaastal varasemate teadaolevate vähete andmetega võrreldes maksimumilähedase ulatuse ning selle veefaas oli uuritud järvikute võrdluses pikk. Järvik oli koos Assamalla järvikuga uuritustest kõige eutrofeerunum. Selles oli väga palju lämmastikku ja fosforit juba detsembris ning sisaldused püsisid suured kogu uuringuperioodi jooksul. Samas jäid järviku klorofüll a sisaldused teiste järvikutega võrreldes kuni aprillini pigem tagasihoidlikuks. Nimetatud eripära põhjused uuringust välja ei tulnud. Kuna järvikusse voolab sisse kaks kraavi, Kagavere ja Kuksema, millest viimasesse juhitakse omakorda Järva-Jaani heitvesi, siis on keeruline eristada, milline osa järvikus olevatest toiteainetest pärineb otse sellesse avanevast põhjaveest ja milline kraavidest. Täiendavalt võivad järviku lõunaosa toiteainetega rikastada põllud, millele järvik veerohkematel aastatel ulatub. Ilmnes, et järvikut toitva Kuksema kraavi vesi oli nii lämmastiku- kui fosforirohke ning oluline roll järviku vee halvas kvaliteedis on tõenäoliselt just selle kraavi kaudu sissevoolaval veel. Samas võib teatud hulk lämmastikku ja fosforit lisanduda järvikusse ka otse põhjaveest. Lisaks ei selgita esialgsel andmetel kogu Kuksema kraavi suurt lämmastiku- ja fosforisisaldust ainult sellesse suunatud heitvesi ning need võivad pärineda omakorda kraavi toitvast põhjaveest. Kuksema kraavi halva veekvaliteedi põhjused vajavad täiendavat uurimist.

Elustikurühmadest indikeerisid järviku pigem ebasoodsat seisundit nii suurselgrootud, zooplankton kui ka taimestik. Suurselgrootute seisundihinnang oli järvikus Assamalla sarnaselt halb, kuid parem kui Jalgsemas, Võhmetus ja Lemmkülas. Zooplanktoni osas oli tegemist Assamalla kõrval teise järvikuga, kus olid aerjalgsede kõrval arvukad ka keriloomad. Taimestikus valdas päideroog ning ainsa uuritud järvikuna oli Kuksemas alapid, kus arvestataval hulgal esines toiteainerikast pinnast eelistav nõges. Fütoplanktoni ja -bentose seisundihinnangud olid aga head. Fütoplankton pole karstijärvikutes aga tulemuslik seisundi indikaator ning algselt jõgedele väljatöötatud fütobentose indekseid kirjeldusvõime karstijärvikutes vajab veel täiendavat kontrollimist. Nii et pigem saab üldistada, et järviku elustik kajastab vee suurest toiteainesisaldusest tingitud eutrofeerumist. **Seega saab järeldada, et järviku seisund on suure toiteainekoormuse tõttu ebasoodne ning tõenäoliselt on suure toiteainekoormuse allikaks vähemalt osaliselt põhjavesi.**

4.7. Lemmküla karstijärvik

Lemmküla karstijärvik asub Tapa vallas Piisupi külas. Maa- ja Ruumiameti ortofotodest on järvikut kõige veerohkema kujutatud 06.05.2022 fotol (Joonis 4.7.1). Järviku väljanägemist 25.03.2025 on kujutatud joonisel 4.7.2.



Joonis 4.7.1. Lemmküla karstijärvik Maa- ja Ruumiameti 06.05.2022 ortofotol ning veetaseme anduri asukoht.



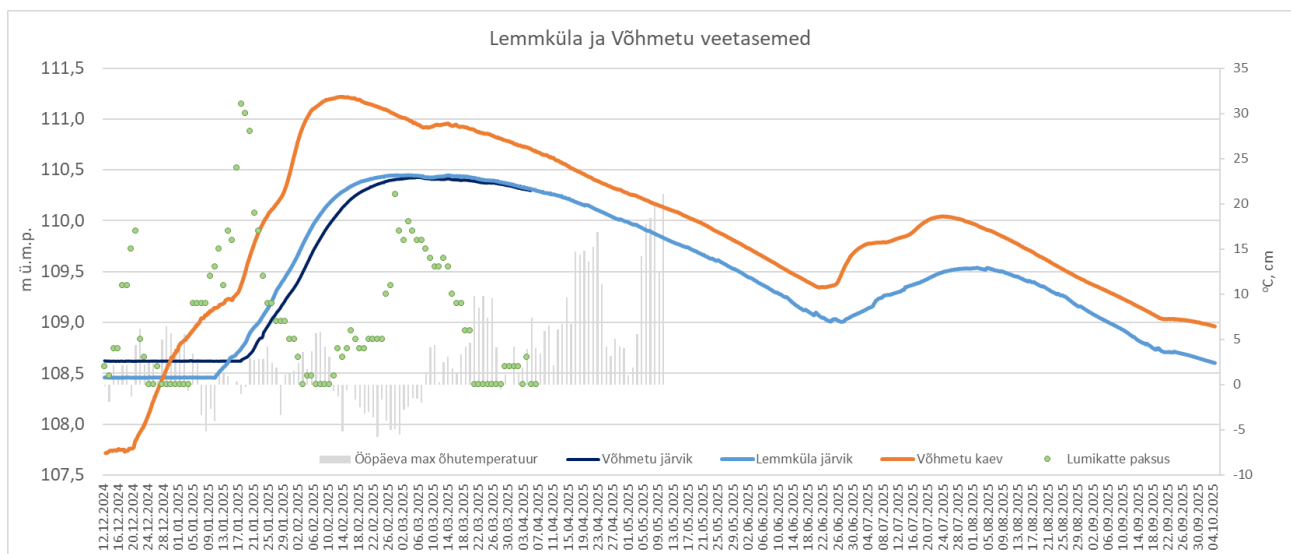
Joonis 4.7.2. Lemmküla karstijärvik 19.04.2025. Pilt: Marko Vainu.

4.7.1. Hüdroloogia

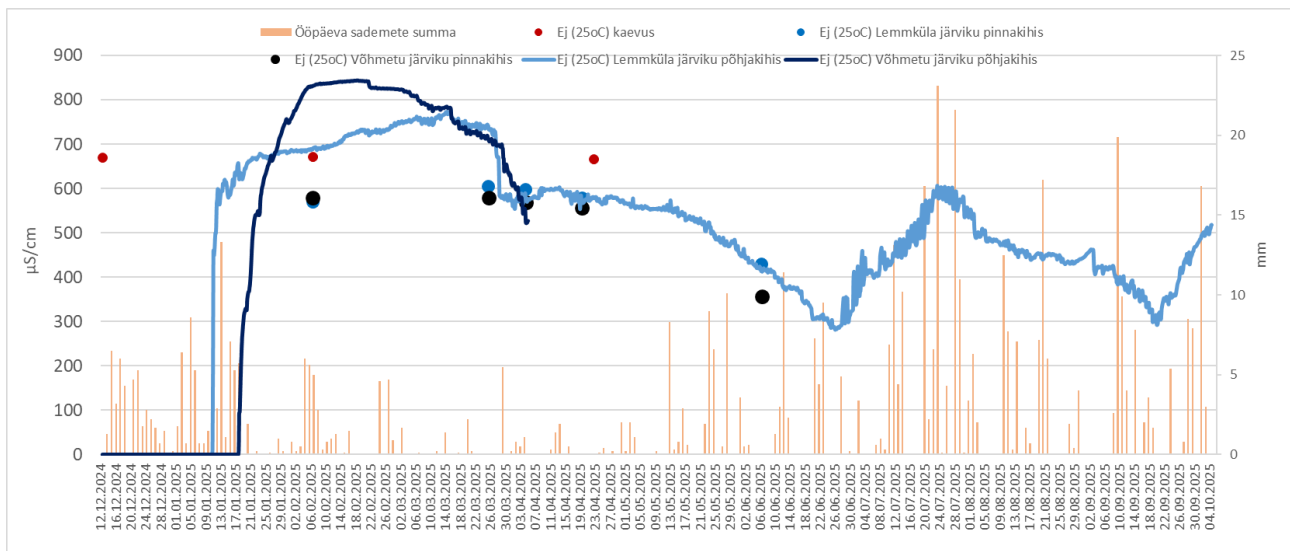
Veetaseme loger paigaldati järviku põhjaosas olevasse laia lohku (Joonis 4.7.1) 10.12.2024. Lohk oli sellel ajal kuiv. Samal päeval paigaldati põhjaveetaseme loger järvikust ca 1,7 km kagu poole Roosa-Mihkli talu 8,4 m sügavusse salvkaevu (Joonis 4.10.1). Logeri paigaldamise ajal oli kaevus ca 1,7 m vett. Veetase oli kaevus 80 cm madalamal kui lohu põhi järvikus oleva anduri asukohas. Vainu et al (2019) töös esitatud kontseptuaalse mudeli põhjal asub järviku toiteala sellest ida ja kagu pool. Sellel suunal on järvikule lähim asustus Võhmetu külas, mistõttu otsiti sobivat kaevu just sealt. Roosa-Mihkli talu salvkaevu kasutati lisaks Lemmküla järvikule ka Võhmetu järviku seirekaevuna, kuna järvikud asuvad lähestikku ning nende toitealad asuvad Vainu et al (2019) töö põhjal kõrvuti.

Kuni 20. detsembri ööni püsis veetase kaevus enam-vähem stabiilne ning hakkas siis kiiresti tõusma (Joonis 4.7.3), 24 h jooksul tõusis veetase kaevus 10 cm võrra. Samal ööl algas kiire veetaseme tõus ka kõigis teistes Pandivere uuringukaevudes, milles selleks ajaks veetaseme andur sees oli (Assamalla, Jalgsema, Tudre, Rähni talu). 19. detsembri jooksul vähenes lumikatte paksus Väike-Maarja ilmajaamas 12 cm võrra. Ilmselt oli see teguriks, mis põhjaveetaseme kogu Pandiveres sisuliselt sünkroonis tõusma pani. Kaevu veetase tõusis üle järvikus oleva logeri kõrguse 28. detsembril. Loger püsis aga kuiv kuni 11. jaanuarini. Kuna loger asus ca 8 cm maapinnast kõrgemal ning esimestel päevadel tõusis veetase järvikus tempoga ca 4 cm päevas, võis esimene vesi järvikusse tõusta paar päeva enne 11. jaanuari. Hetkeks, mil järvikus olev loger vee alla jäi, oli veetase kaevus tõusnud 65 cm üle logeri kõrguse. Seega hakkas Lemmküla järvik veega täituma oluliselt hiljem kui teised uuritud järvikud (v.a Võhmetu) nii Pandiveres kui lääne pool. Näiteks algas järviku täitumine seal 21 päeva hiljem kui Assamallas.

Seirekaevu veetaseme tõusu kiirus aeglustus jaanuari esimese dekaadi keskpaigast teise dekaadi keskpaigani ca kümneks päevaks. Seejärel kiire veetaseme tõus taastus. Samal perioodil esines veetaseme tõusu pidurdumist suuremal osal uuringukaevudest. Nt Assamalla ja Saksi kaevudes oli veetase sellel perioodil ka lühiajalises languses. Veetaseme tõusu aeglustumise põhjuseks oli tõenäoliselt jõuludele eelnenud perioodi vähene sademete hulk, mistõttu hakkas sulavee mõju põhjaveetasemele vähenema. Lisaks langes temperatuur alates 31. detsembrist miinusesse ning põhjavee toitumine vähenes veelgi. Põhjaveetaseme tõusu kiiruse taastumist 15. jaanuaril saab seostada 14. jaanuari sulailmaga, mille käigus hakkas vahepeal ilmajaamas 30 cm paksuseks kasvanud lumekiht kiirelt kahanema. Assamalla ja Saksi kaevudes oli veetaseme tõusu pidurdumise ja lühiajalise languse periood ka jaanuari lõpus, kuid Roosa-Mihkli kaevu avaldus sel perioodil vaid lühiajaline ning väike veetaseme tõusu aeglustumine. Kaevu veetase saavutas tipu (111,22 m ü.m.p) 12. veebruaril, see oli ligi kaks nädalat hiljem kui Assamallas ja Saksis.



Joonis 4.7.3. Veetaseme muutus Lemmküla ja Võhmetu karstijärvikutes ning Roosa-Mihkli talu kaevus; ööpäeva maksimaalne õhutemperatuur ja lumikatte paksus Väike-Maarja ilmajaamas (andmed: Keskkonnaagentuur).



Joonis 4.7.4. Elektrijuhtivus (25°C) Lemmküla ja Võhmetu järvi põhjakihis logeri ning pinnakihi ja Roosa-Mihkli talu kaevus üksikmõõtmiste põhjal; ööpäeva sademete summa Väike-Maarja ilmajaamas (andmed: Keskkonnaagentuur).

Järvi veetase tõusis ühtlase kiirusega 4–5 cm ööpäevas kuni 17. veebruarini ning seejärel jätkus tõus aeglasemalt kuni 26. veebruarini ehk kaks nädalat kauem, kui kaevus. Seega lisaks teiste järvikutega (v.a Võhmetu) võrreldes hilisemale täitumise algusele, saavutas järvi ka maksimaalse veetaseme (110,45 m ü.m.p) ca kolm nädalat enamikest teistest järvikutest hiljem. Järvi veetase püsis maksimumi lähedal üsna kaua. Veetase oli vähemalt 110,40 m ü.m.p 20. veebruarist 26. märtsini. Kui järvi veetase oli 26. märtsiks langenud tipuga võrreldes ca viis cm, siis kaevu veetase ca 40 cm.

Kaevu veetasemes toimus märtsi esimeses pooles ka Assamalla ja Saksis olnud lühiajaline ja ilmselt lume sulamisest tingitud veetaseme tõus, kuid erinevalt nimetatud kaevudest oli selle ulatus Roosa-Mihkli kaevus vaid 4 cm. Järvi veetaseme muutumises ei avaldunud see aga üldse. Seega oli sarnaselt kõigile teistele uuritud järvikutele (peale Assamalla) ka Lemmkülal kevadise lume sulamise peegeldus järvi- ja põhjaveetasemes sisuliselt eristamatu.

Esimestel päevadel pärast veega täitumise algust oli järvi vee elektrijuhtivus logeri andmetel ca 600 µS/cm ning hakkas seejärel ühtlaselt tõusma kuni märtsi keskpaigani, mil see küündis 750 µS/cm-ni (Joonis 4.7.4). Võib kahtlustada, et tõus oli tingitud pigem kergkruusaploki lahustumisest kui järvi vee üldisest elektrijuhtivuse muutumisest. Roosa-Mihkli kaevus oli elektrijuhtivus kõigil kolmel mõõtmiskorral sisuliselt muutumatult ca 670 µS/cm (Tabel 4.7.1). Multimeetriga jääaugust järvi pinnakihi mõõtes oli elektrijuhtivus 6. veebruaril ca 570 µS/cm. Need andmed viitavad, et logeri esimestel päevadel mõõdetud ca 600 µS/cm olid tõenäoliselt adekvaatsed tulemused, kuid hiljem mitte. Logeri andmetel langes järvi elektrijuhtivus märtsi lõpus järsult, 27 h-ga ca 140 µS/cm ning saavutas taseme ca 580 µS/cm. Samal ajal langes logeri mõõdetud veetemperatuur pooleteise kraadi võrra (6,5°C juurest 5,0°C juurde). Veel 25. märtsil oli enamik järvikust olnud lausjääs, välja arvatud ca viiemeetrine riba kalda ääres, kuid 4. aprilliks oli järvi jäävaba. Arvestades, et registreeritud kiire elektrijuhtivuse langus jääb täpselt jääkatte sulamise aega, siis on see ilmselt seotud suure koguse jaheda ja lahja vee lisandumisega järvikusse. Kuna 2 kuni 6,5°C kraadine vesi on 6,5°C-sest veest tihedam, siis ilmselt segunes vesi järvikus pärast jää sulamist läbi ja seetõttu langes logeri juures lisaks elektrijuhtivusele ka veetemperatuur. Tänu segunemisele asendus kergkruusaploki lahustumise tõttu mineraalainetest rikastunud vesi logeri juures järvi tegelikku mineraalainetesisaldust kajastava veega. Lõplikult ei saa aga välistada võimalust, et järvi stratifitseerimine ja põhjakihti isegi Roosa-Mihkli talu kaevuveest suurema mineraalainetesisaldusega vee kogunemine oli järvikus laialdasem, mitte kergkruusaploki tingitud lokaalne mõju. Igal juhul muutus pärast seda sündmust logeri mõõdetud elektrijuhtivus pinnakihi multimeetriga mõõdetud elektrijuhtivuse sarnaseks, erinedes kolmel hilisemal mõõtmiskorral vaid kuni 20 µS/cm võrra. Sealhulgas oli erinevus sama väike juuni alguses, kui mõlemad

elektrijuhtivused olid vähenenud 420 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ni. Seega võib teha ettevaatliku järelduse, et vähemalt alates 28. märtsist kajastas logeri mõõdetud elektrijuhtivus järviku elektrijuhtivust adekvaatselt.

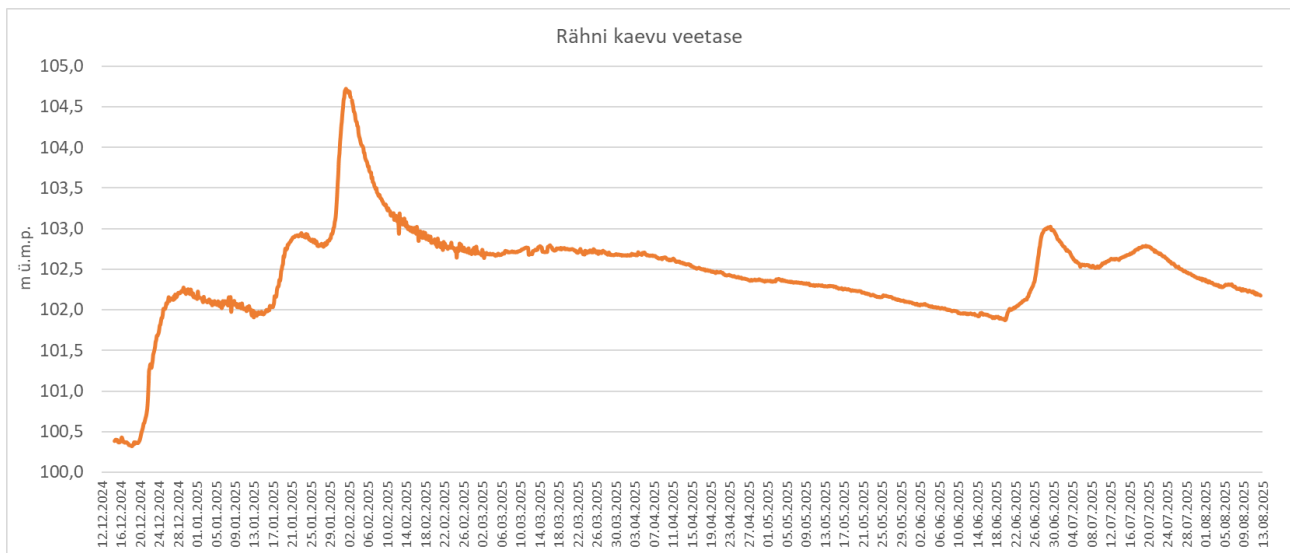
Kaevu veetase langes ühtlase kiirusega kuni 23. juunini ning siis pöördus see suviste vihmade toel, sarnaselt teistele kaevudele mida siis veel seirati, tõusule. Järviku veetase langes 26. juunini ning hakkas järgmisel päeval tõusma. Seega jõudis veetaseme trendi suuna muutumine järvikusse mõlemal korral viibega. Kui kogu langusperioodi jooksul püsis kaevu veetase 25–30 cm järviku veetasemest kõrgemal, siis veetaseme tõusu alguses oli kaevu veetaseme erinevus järviku veetasemega suurenenud 50 cm-ni. Languse tõusuks pöördumise hetkel oli järvikus logeri kohal veel üle poole meetri vett. Talvisel täitumisperioodil oli olnud järvikus sama palju vett 22. jaanuaril. Samal ajal veetaseme suvise tõusu algusega hakkas suurenema ka logeri mõõdetud elektrijuhtivus. See on loogiline, kuna varem lahjenes põhjaveetoite kaotanud järvikus olev vesi aina enama sademeveega, kuid põhjavee sissevoolu taastumisel hakkas järviku vee mineraalsus uuesti suurenema. Juuli lõpuks jõudis see ca 580 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ni, kus see oli multimeetriga mõõdetud andmete põhjal olnud alates veebruarist kuni aprilli teise pooleni.

Veetaseme tõus kestis kaevus 22. juulini ning hakkas alates 26. juulist langema ning langes kuni logeri väljavõtmiseni 4. oktoobril. Siis oli kaevu veetase veel endiselt 1,2 m kõrgemal kui 2024. aasta detsembris logeri sissepaneku ajal. Järvikus tõusis veetase taas kauem kui kaevus, saavutades suvise maksimumi (109,54 m ü.m.p) 2. augustil. Veetase püsis mõned päevad stabiilne ja hakkas langema alates 6. augustist ning langes sarnaselt põhjaveetasemele kuni logeri väljavõtmiseni. Koos veetaseme langusega hakkas vähenema ka elektrijuhtivus, kuna põhjavee päritoluga vesi hakkas uuesti asenduma sademeveega. Alates 21. septembrist, pöördus logeri mõõdetud elektrijuhtivus jälle tõusule, kuigi järviku veetaseme languses mingeid muutuseid ei toimunud. Selleks hetkeks oli logeri kohale jäänud veel 25 cm vett. Seega võis kuivavas lombis taas mõjule pääseda kergkruusaploki lahustumine või hakkas lombi põhjas olevast mudast mingil põhjusel intensiivselt mineraalaineid lahustuma.

Loger võeti järvikust välja 4. oktoobril ning selleks hetkeks oli selle kohale jäänud 15 cm vett. Logerid tuli nii järvikust kui kaevust eemaldada enne järviku kuivamist, kuna uuringuaruande lähenev tähtaeg ei võimaldanud veetaset veeperioodi lõpuni seirata. Alates veega täitumise algusest 11. jaanuaril kuni logeri väljavõtmiseni kestis veeperiood anduri asukohas vähemalt 267 päeva.

Kuna Lemmküla ja Võhmetu järvikutel oli ühine ülesvoolu asuv seirekaev, paigaldati üks põhjaveetaseme andur ka järvikutest ida poole, kus Vainu et al (2019) töö põhjal võis eeldada järvikutest madalamat põhjaveetaset. Andur paigaldati 14.12.2024 Lemmküla järvikust 1,7 km edela poole Piisupi küla Rähni talu puurkaevu. Omaniku sõnul on kaev 32 m sügavune. Sellest lähtudes oli anduri paigaldamise ajal kaevus ca 10 m vett. Kaevu sügavust polnud võimalik üle mõõta, sest selles oli pump sees. Puurkaevu täpsema ehituse kohta andmed puuduvad.

Mõõtmiste alguses oli kaevu veetase 8 m Lemmküla ja Võhmetu järvikute põhjast madalamal. Väikseim vahe kaevu veetaseme ja järvikute põhja vahel kogu uuringuperioodi jooksul oli neli meetrit (Joonis 4.7.5). Kaevu veetaseme käik oli sarnane Assamalla ja Saksi seirekaevudele (Joonis 4.2.3 ja 4.8.4). Pärast sissepanekut langes veetase mõned cm kuni 18. detsembrini ning 19. detsembri õhtust algas kiire veetaseme tõus. Veetase tõusis kuni 29. detsembrini ligi kaks meetrit. Seejärel langes kuni 13. jaanuarini ca 40 cm, tõusis kuni 23. jaanuarini ca ühe meetri, langes kuni 27. jaanuarini ca 20 cm ning tõusis 1. veebruarini ca kaks meetrit. Järgnenud veetaseme langus oli esialgu peaaegu sama kiire kui tõus, kuid alates veebruari lõpust peatus ning terve märtsi püsis veetase samal kõrgusel. Aprilli algusest veetaseme langus jätkus kuni juuni teise pooleni, mil algas teisteski kaevudes täheldatav suvine veetaseme tõus.



Joonis 4.7.5. Veetaseme muutus Piisupi küla Rähni talu kaevus.

Uuringu tulemuste põhjal saadi toetust Vainu et al (2019) töös esitatud Lemmküla karstijärviku kontseptuaalses mudelis esitatule, et järviku toiteala jääb sellest ida ja kagu poole. Samuti sai Rähni talu kaevu veetaseme andmete põhjal kinnitatud, et Võhmetu-Lemmküla järvikutest lääne pool on põhjaveetaseme järvikutest pidevalt madalamal. Seega saaks ainult uuringu andmete põhjal järeldada, et Võhmetu-Lemmküla järvikute vesi voolab läände Valgejõe oru poole. Vainu et al (2019) töös esitati aga hüpotees, et läänesuunaline voolamine toimub järvestikus vaid kõrgema põhjaveetaseme korral, kuid madala põhjaveetaseme korral moodustub järvestikku põhja-lõunasuunaliselt läbiv põhjaveelahe, mis on Lääne- ja Ida-Eesti vesikondade piiriks. Sellises olukorras voolaks Lemmküla ja Võhmetu järvikute piirkonnas põhjavesi loode- ja põhja suunas Udriku ja Jõepere allikatesse. Kui põhjaveetaseme järvestikust põhja pool peaks olema teatud perioodi jooksul madalam kui Rähni kaevus, on selline voolusuund võimalik, vaatamata asjaolule, et ka järvikutest ida pool on veetaseme (mida esindab Rähni kaev) järvikute veetasemest madalamal. Uuringu käigus selgus, et Võhmetu järviku, mis asub Lemmkülalt lõuna pool, veetaseme oli veega täitumise perioodil Lemmküla järviku veetasemest madalam (Joonis 4.7.3). See toetab hüpoteesi, et kõrge veetaseme korral ei saa põhjavee voolusuund järvestikus olla kagust või lõunast põhja suunas, vaid peab olema läbi oosiaheliku läände. Selleks, **et selgitada välja, kas see voolusuund muutub madalama veetaseme ajal, kui järvikud on kuivanud, ning järvestiku keskossa moodustub Ida- ja Lääne-Eesti vesikonda eraldav veelahe, tuleks läbi viia põhjalikum uuring rohkemate põhjaveetaseme mõõtmispunktidega kaevudes**, mis õnnestub järvestiku 2 km raadiuses leida. Rohkemate veetaseme mõõtmiskohtadega põhjalikum uuring oleks vaja läbi viia ka põhjavee voolusuuna täpsustamiseks järvestiku piires kõrge põhjaveetaseme korral. Selle raames tuleks täitumisperioodi jooksul jälgida järvestiku kõigi järvikute veetaseme.

Uuringu tulemuste põhjal saab aga ümber lükata rahvapärimuse, et Võhmetu-Lemmküla järvedesse hakkab vesi tulema alles siis, kui Assamalla luht kuivaks tõmbab (Mäemets, 1969). Lemmküla järviku täitumine algas küll kolm nädalat hiljem kui Assamalla luhal, kuid ka luha veetaseme tõusis pärast seda veel mitu nädalat. Luha veetaseme saavutas tipu 5.–7. veebruaril, Lemmkülas 26. veebruaril. Seega oli veetaseme maksimumide vahe samuti ca kolm nädalat.

Järviku ulatuse, sügavusjaotuse ja mahu väljaselgitamiseks kasutati Maa- ja Ruumiameti 2013. aasta kevadise ülelennu LiDAR-andmeid (ülelennu kuupäev 03.05.2013). Ortofoto põhjal oli järvikus ülelennu ajal enamjaolt vesi sees (Joonis 4.7.6), kuid tegemist oli kõige kuivema kõrgusandmetega ülelennuga, mistõttu polnud võimalik paremaid andmeid kasutada. Seetõttu on selle põhjal modelleeritud sügavuse, mahu ja üleujutuse kestuse andmed tugevalt alahinnatud. **Järviku kaldajoon, sügavusjaotus ja maht modelleeriti lähtudes kõrgusjoonest 110,40 m ü.m.p. Sellele kõrgusjoonele vastava polügooni pindala on koostatud kõrgusmudelil 7,7 ha.** Varem on järviku veepiir ortofotodelt eristatava orienteeruva maksimaalse veetaseme põhjal modelleeritud Consultare OÜ (2014) töös, kuid pole teada, millist kõrgusjoont toona kasutati. Selle

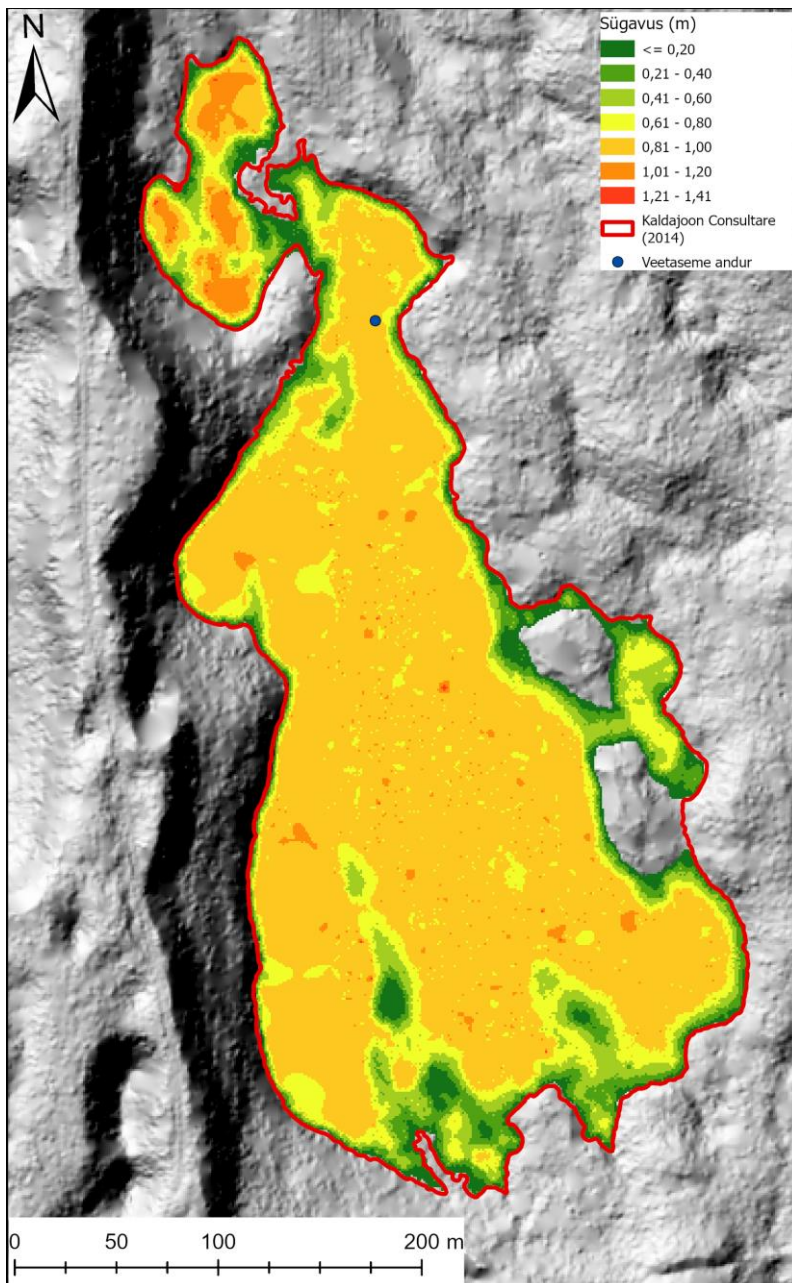
polügooni pindala on 8,1 ha (Joonis 4.7.7). Kuna teiste Tamsalu ümbruse karstijärvikute veetasemed jäid 2025. aastal vähemal või rohkemal määral alla 2022. aastale, mil samuti nende maksimaalset veetaset määrati (Vainu et al, 2022), siis võib eeldada, et sama olukord oli Lemmküla järviku puhul. Järelikult markeerib varasem Lemmküla järviku piirjoon selle võimalikku maksimaalset veetaset paremini kui 2025. aasta piirjoon.



Joonis 4.7.6 Lemmküla karstijärviku veepiir tasemel 110,40 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2013. aasta kevadise lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmodelile.

Veetaseme 110,40 m ü.m.p põhjal modelleeritud 1x1 m resolutsiooniga sügavusjaotuste kaardil on järviku suurimaks sügavuseks ca 1,4 m ning suurim kompaktne sügavam ala on kõrgusmodeli põhjal järviku loodeosas asuv nn Antsu järvik (Joonis 4.7.7). Kuna aga kõrgusmodelil on tegelikes sügavamates kohtades vesi sees, ei kajasta sügavuskaart suurimaid sügavusi adekvaatselt. Tõenäoliselt on järviku sügavaim osa piirkonnas, kus uuringu jooksul asus veetaseme loger. **Veetaseme logeri asukohas oli modelleeritud veesügavus maksimaalse täitumise ajal ca 0,8 m, logeri andmetel oli veesügavus seal aga 2,0 m.** Seega on sügavuskaardil sügavused enam kui meetri võrra alahinnatud.

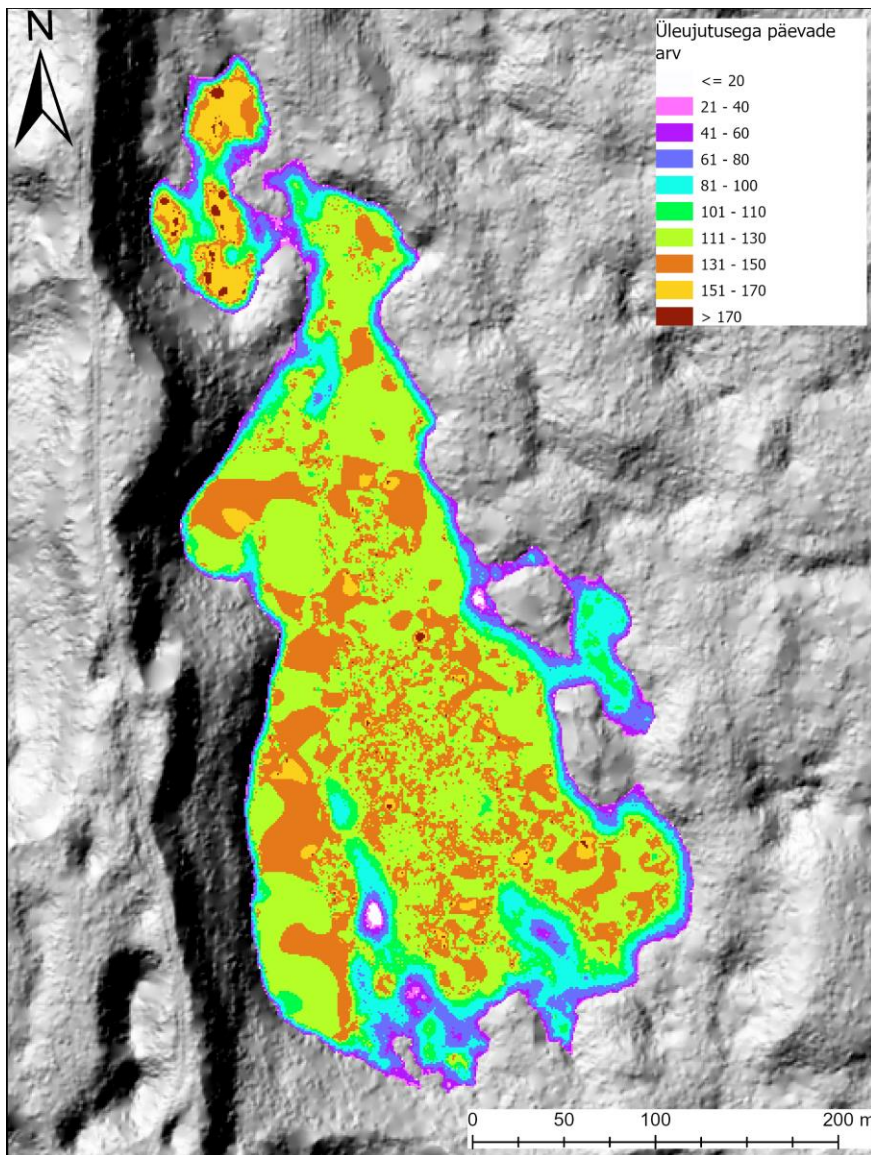
Kui sügavamad alad on sügavuskaardil kujutatud ebatäpselt, siis madalamate alade asukohad on adekvaatsed, sest need oli kõrgusmodeli koostamiseks kasutatud LiDAR-andmete kogumise ajal kuivad. Õhukese, alla 20 cm veekihiga oli ülejäänud järvikuga maksimaalse veetaseme ajal ühendatud järviku loodeosas olev sopistus, nn Antsu järvik. Ülejäänud järvikust kõrgema künnisega eraldatud sopp asub ka järviku idaosas. Kuigi sügavuskaardil on selles sopis veesügavus oluliselt väiksem kui ülejäänud järvikus, oli 2013. aasta LiDAR-ülelennu ajal ka selles veel vesi sees (Joonis 4.7.6). Kusjuures veetase oli selles toona LiDAR-andmetel ca 109,8 m ü.m.p, samal ajal kui järviku põhiosas oli see ca 109,5–109,6 m ü.m.p. Väljatoodud veetasemete erinevus on kooskõlas sellega, et sopp asub põhjaveetaseme suhtes järvikust ülesvoolu. Järelikult võib järviku täitumise ajal sellest vesi ülejäänud järvikusse voolata. Esitatud hüpoteesi kontrollimiseks oleks vajalik jälgida veetaset nii sopis kui ka ülejäänud järvikus. Järviku lõunaosas on kaks kaguloodesuunalist seljandikku, millest madalama veetaseme ajal kujunevad järvikusse ulatvad poolsaared ning kõrgema veetaseme ajal väikeste saarekete ahelikud. **Järviku kõrgusmodeli põhjal modelleeritud maht maksimaalse veetaseme ajal oli 57 000 m³ ja keskmine sügavus 0,7 m, kuid taaskord tuleb rõhutada, et need on tegelikkusega võrreldes tugevalt alahinnatud.**



Joonis 4.7.7. Lemmküla karstijärviku sügavus veetaseme kõrgusel 111,40 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2013. aasta kevadise lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudelile.

Modelleeritud üleujutuse kestusega päevade arv on kõrgusmudeli veega täitunud oleku tõttu adekvaatne alade osas, kus vesi püsis kuni sada kümme päeva (Joonis 4.7.8). Sellest kauem püsis üleujutus aladel, mis kõrgusmudelil on vee all (madalamal kõrgusväärtusest 109,63 m ümp) ning nende puhul on joonisel kujutatud päevade arv tegelikkusega võrreldes alahinnatud. Erandiks on loodeosas asuv nn Antsu järvik, kus veetase oli LiDAR-möödistamise hetkel paarkümmend cm madalam kui ülejäänud järvikus.

Kõrgemal asuvate alade üleujutusperioodide pikkuste põhjal saab aga järeldada, et kuigi Antsu järvik oli ülejäänud Lemmküla järvikuga ühendatud vaid kuni 20 cm sügavuse veekihi, püsis see ühendus ca kaks kuud. Alasid, mis oleksid olnud üleujutatud vähem kui 20 päeva, sisuliselt polnud. See oli tingitud asjaolust, et erinevalt mitmetest teistest uuritud järvikutest, kus veetase hakkas pärast maksimumi saavutamist kohe langema, püsis Lemmkülas maksimaalne veetase sentimeetritki muutumata üheksa päeva ning päevi, kus veetase oli maksimaalne või sellest sentimeetri madalam, oli tervelt 17. Ülejäänud järvikust vähem, kuni kolm kuud oli üleujutatud järviku idaosas asuvat sopistust ülejäänud järvikuga ühendav kitsus. Samuti olid ülejäänud järvikust vähem, kuni kolm kuud, üleujutatud järviku lõunaosas olevad kagu-loodesuunalised seljandikud.



Joonis 47.8. Päevade arv vahemikus 11.01.2025 kuni 04.10.2025, mil vastav ala Lemmküla karstijärvikus oli vee all Maa- ja Ruumiameti 2013. aasta kevadise lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudeli ja veetaseme anduri mõõtmistulemuste põhjal.

4.7.2. Hüdrokeemia

Lemmküla järvikust mõõdeti vee väliparameetrid viiel korral ning võeti veeproove neljal korral. Detsembris ja märtsis mõõdeti väliparameetrid ja võeti veeproovid järviku läänesopist, veetaseme anduri asukohast 160 m edela pool, jääaugust. Aprillis mõõdeti väliparameetrid ja võeti veeproovid järviku lõunaosast ning juunis veetaseme anduri lähistelt.

Järviku pH oli uuringu ajal kalgiveelistele järvedele tüüpilises vahemikus 7,5-st 8,1-ni (Tabel 4.7.1). 1967. aastal oli järviku pH 8,1–8,2 (Mäemets, 1977). Lahustunud ainete sisaldus (mineraalsus) oli Simmi (1975) klassifikatsiooni järgi kõigil kordadel, peale juuni, suur ja varieerus vähe. Juuni alguseks oli mineraalainete sisaldus vähenenud keskmisele tasemele, mis viitab, et osa põhjaveelise päritoluga veest oli asendunud sademeveega. Vesinikkarbonaadi sisaldus oli kõigil kordadel suur (260–323 mg/l), kuigi langes juuniks aprilliga võrreldes 60 mg/l võrra. HCO_3^- moodustas veebruari alguses ja märtsis mineraalsusest 80%, hiljem 85%–95%. Kuigi Lemmküla järvik asub Võhmetu järviku vahetus läheduses, olid nende mineraalsuse näitajad mõnevõrra erinevad. Kui üldine mineraalainete sisaldus oli mõlemas järvikus veebruari alguses maksimaalse veetaseme ajal sarnane, siis HCO_3^- sisaldus oli Lemmkülas 14% suurem (Tabel 3.10.2). Järgmistel kordadel oli mineraalainete sisaldus Lemmkülas püsivalt ca 5% suurem kui Võhmetus ning juunis oli see 20% suurem.

HCO₃⁻ sisaldus oli aga aprillis, vastupidi, suurem Vöhmetus. 1967. aastal oli järvi HCO₃⁻ sisaldus 220–274 mg/l (Mäemets, 1977), seega väiksem kui käesoleva uuringu ajal.

Hapnikuolud Lemmküla järvis olid veebruaris ja märtsis jää all ning ka aprillis avatud vee korral keskpärased. Juunis olid hapnikuolud paremad.

Üldlämmastiku sisaldus oli veebruaris, märtsis ja aprillis väga halval ning juunis väga heal tasemel (Tabel 4.7.1). Erinevalt enamikest järvikutest oli Lemmkülas märtsis Nüld sisaldus veidi suuremgi kui veebruaris. Erinevalt teistest järvikutest (peale Vöhmetu) oli ka märtsikuine proovivõtukord järvi maksimaalsele veetasemele lähemal kui veebruarikuine. Seega ei seostu suur Nüld ja nitraatlämmastiku sisaldus järvikutes mitte konkreetselt veebruariga, vaid maksimaalse veetasemega. Ilmselt seetõttu, et siis oli n.ö värskelt järvikusse jõudnud põhjavee osakaal järvikute veemahust kõige suurem. Aprilliks Nüld sisaldus Lemmkülas, sarnaselt teistele järvikutele, küll vähenes, kuid enamike teistega võrreldes vähe. Maksimaalse veetaseme ajal oli Lemmküla vees 1,4 mg/l rohkem üldlämmastikku kui Vöhmetus, mis demonstreerib taas järvikute vete teatavat erinevust. Nitraatlämmastik moodustas veebruaris 87%, märtsis 95%, aprillis 90% ja juunis 34% üldlämmastikust. Sarnaselt Nüld sisaldusele suurenes ka nitraatlämmastiku sisaldus järvis veebruarist märtsini.

Üldfosforisisaldus oli veebruaris määramispiiri lähedal ning märtsis alla selle. Aprilliks suurenes fosforisisaldus kesise tasemeni ning oli sisuliselt samasugune ka juunis. Olematu talvise fosforisisalduse tõttu erines Lemmküla järvi oluliselt Vöhmetu järvikust (Tabel 4.10.2), kus oli veebruari alguses fosforisisaldus kuus korda suurem. Aprillis ja juunis olid mõlema järvi fosforisisaldused sarnased. Fosfaatfosfori sisaldus oli veebruaris määramispiiri lähedal ning ülejäänud kordadel alla selle. Seega sarnanes Lemmküla fosforisisalduse trend, erinevalt Vöhmetust, enamike teiste uuritud järvikutega, kus see veega täitumise perioodi jooksul suurenes. Põhjuseks võis olla kas vabanemine üleujutatud pinnasest või biomassist. Samas tuleb rõhutada, et järvi vee fosforisisaldus jäi siiski enamike järvikutega võrreldes väikeseks. Koos Vöhmetu järvikuga oli nende fosforisisaldus aprillis uuritud järvikutest väikseim. Samas oli Vöhmetu fosforisisaldus olnud veebruaris väga halval tasemel (Tabel 4.10.2). See tähendab, et fosforisisalduse ja selle muutuste poolest sarnanes Lemmküla pigem Kirikla ja Alba järvikutele, kus samuti oli seda veebruaris ja märtsis väga vähe, kui teistele Pandivere järvikutele.

Väike fosforisisaldus tõi ilmselt kaasa enamike järvikutega võrreldes väikesed klorofüll a sisaldused. Veebruaris oli see alla määramispiiri. Märtsis oli klorofüll a sisaldus küll halval tasemel, aga aprilli teiseks pooleks oli langenud kesisele tasemele. Aprilli teiseks pooleks Lemmküla järvikust mõõdetud klorofüll a sisaldus (3,0 µg/l) oli uuritud järvikutest sellel ajal konkurentsituult väikseim tulemus. Järgmiseks väikseim klorofüll a tulemus samal ajal oli Kuksema järvis (9,4 µg/l). Tagasihoidlik tootmine võib olla ka põhjuseks, miks järvi vee lämmastikusisaldus enamike järvikutega võrreldes aeglasemalt langes. Mis Lemmküla järvi ülejäänutest sedavõrd erinevaks muutis, vajab täiendavat uurimist.

Orgaanilise aine sisaldus oli veebruaris mõlemal viisil määratuna väike ning KHT_{Cr} oli ka alla määramispiiri. Märtsis oli olukord sarnane, kuid KHT_{Cr} oli suurenenud napilt üle määramispiiri. Aprilli teiseks pooleks oli orgaanilise aine sisaldus KHT_{Cr} järgi suurenenud keskmise tasemeni, kuid KHT_{Mn} järgi oli endiselt väike. Juunis oli orgaanilise aine sisaldus KHT_{Cr} järgi märtsiga sarnane, kuid KHT_{Mn} suurem. Seega suurenes orgaanilise aine sisaldus KHT_{Mn} järgi järjepidevalt, kuid jäi ikkagi väikeseks. Oksüdeeritavusprotsent oli kõigil kordadel 20% lähedal, kuid kevade poole mõnevõrra suurenes, mis viitab, et järvis olnud orgaaniline aine oli tekkinud peamiselt veefaasi ajal, kuid kevade edenedes lisandus vähesel määral üleujutatud pinnasest ja taimestikust vabanenud orgaanilist ainet. 1967. aastal oli KHT_{Cr} vahemikus 14–22 mgO/l (Mäemets, 1977), seega samasugune, nagu käesolevas uuringus.

Järvi saab veekvaliteedi ja klorofüll a andmete põhjal lugeda vähesel määral eutrofeerunuks.

Nii Lemmküla kui ka Vöhmetu järvikute seirekaevuks loeti Roosa-Mihkli kaev Vöhmetu külas Vöhmetu järvikust ca ühe kilomeetri ja Lemmküla järvikust ca 1,7 km kaugusel kagus. Kummalegi järvikule lähemal sobivas suunas (ida pool) kaev polnud. Järvikutest eeldatava põhjavee voolu suuna suhtes allavoolu ehk

lääne pool oli seirekaevuks Rähni talu kaev, mis asub mõlemast järvikust ca 1,7 km lääne pool. Mõlemast kaevust mõõdeti vee väliparameetreid kolmel korral ning võeti veeproove kahel korral. Roosa-Mihkli kaevust võeti veeproovid batomeetriga *Uwitec Water Sample Bailer USB 50015* ja Rähni kaevust seal oleva pumba külge ühendatud voolikust, lastes enne värskel veel voolikust läbi voolata. Kuna veetaseme andmed näitasid, et Rähni kaevu veetase on mõlema järviku veetasemest madalamal (Joonis 4.7.3) ja seega seal olev vesi järvikute veekvaliteeti ei mõjuta, siis on selle kaevu veekvaliteedi andmed küll tabelites 4.7.1 ja 4.7.2 esitatud, kuid neid siin põhjalikumalt ei analüüsita.

Roosa-Mihkli kaevu vee pH oli nii veebruaris kui aprillis järviku vee pH-st väiksem (Tabel 4.7.1). Kaevuvee mineraalsus ja ka konkreetselt HCO_3^- sisaldus oli nii veebruaris kui aprillis järviku omast suurem. Sealjuures oli veebruaris HCO_3^- sisalduse erinevus 1,4-kordne. Kaevuvees moodustas HCO_3^- sisaldus mineraalsusest veebruaris 95% ja aprillis 90%. Kaevuvesi erines järviku veest piisavalt palju, et lõplikku kindlust, et sama põhjavesi, mis jõuab kaevu, jõuab ka järvikusse, ei õnnestunud saada.

Üldlämmastiku sisaldus oli kaevus kalgiveeliste järvede kriteeriumite alusel hinnates mõlemal korral väga halval tasemel ning mõõtmiskordadevaheline erinevus oli väike (Tabel 4.7.1). Samuti oli mõlemal korral sarnane nitraatlämmastiku sisaldus ning see moodustas üldlämmastikust üle 90%. Fosforisisaldus oli mõlemal korral alla määramispiiri. Samuti oli alla määramispiiri orgaanilise aine sisaldus mõlemal viisil määratuna. Järvikus maksimaalse täitumise ajal olnud toiteainete sisaldusi võrreldes oli kaevuvesi Lemmküla järviku veele väga sarnane nii lämmastiku kui fosfori osas ning oluliselt sarnasem kui kaevule lähemal asuva Võhmetu järviku veele (Tabel 4.10.1). **Seega saaks teha ettevaatliku järelduse, et Roosa-Mihkli kaev sobib Lemmküla järvikule põhjavee kaudu avalduva mõju seireks.**

Tabel 4.7.1. Lemmküla järvikust, Roosa-Mihkli (R-M kaev) ja Rähni talu (R kaev) kaevust välitingimustes mõõdetud näitajad

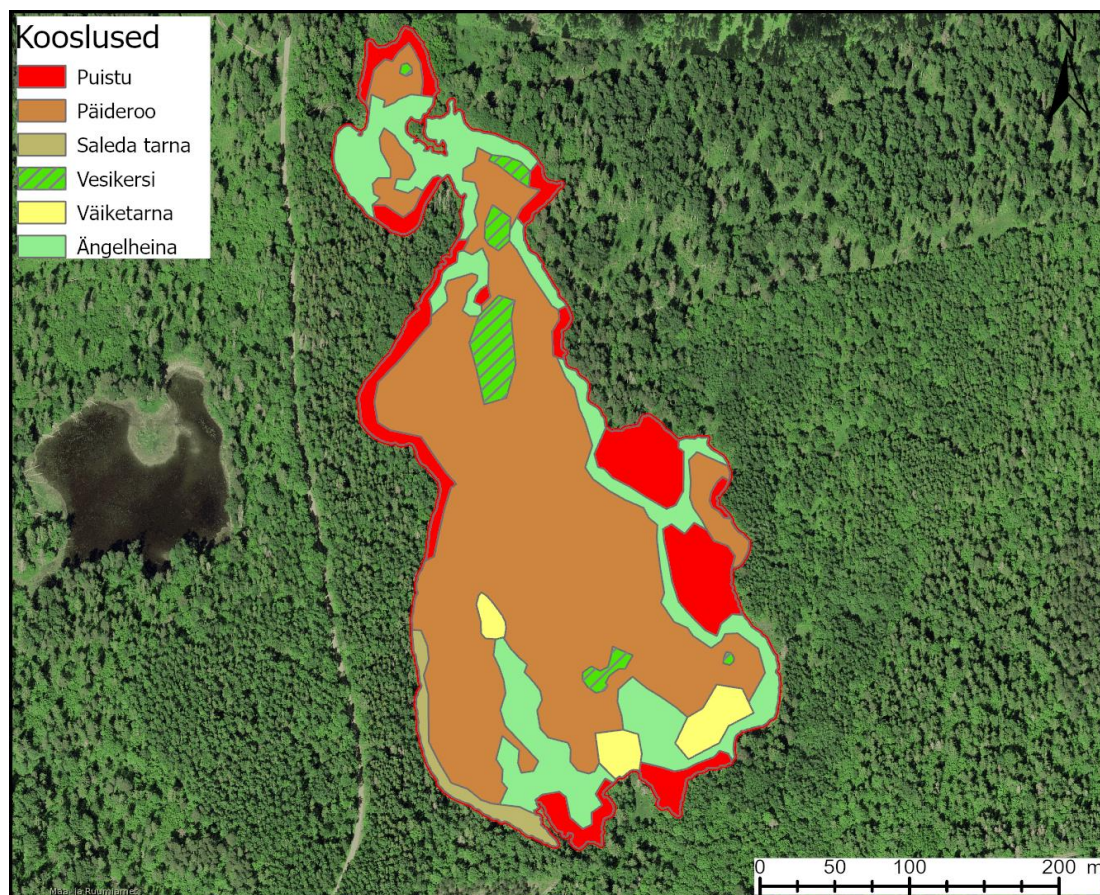
Objekt	Kuupäev	pH	ORP (mV)	SEC ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mg/l)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	O ₂ (mg/l)	O ₂ %	Hägusus (NTU)
Järvik	06.02.2025	7,7	249	569	370	2,5	8,2	53	
Järvik	25.03.2025	7,5	206	605	393	4,5	7,7	56	
Järvik	04.04.2025	7,8	141	597	388	9,4			0,8
Järvik	19.04.2025	7,8	185	578	376	14,9	6,3	64	
Järvik	06.06.2025	8,1	240	429	279	18,6	8,0	82	
R-M kaev	12.12.2024	7,4	252	670	436	7,6			
R-M kaev	06.02.2025	7,4	257	672	437	7,2			
R-M kaev	22.04.2025	7,5	328	666	433	6,5			
R kaev	12.12.2024	7,4	271	565	367	6,2			
R kaev	06.02.2025	7,6	245	462	300	9,3			
R kaev	22.04.2025	7,8	309	566	368	6,9			

Tabel 4.7.2. Lemmküla järvikust, Roosa-Mihkli (R-M kaev) ja Rähni talu (R kaev) kaevust võetud proovidest laboris määratud näitajad

Objekt	Kuupäev	Nüld (mg/l)	NH ₄ ⁻ -N (mg/l)	NO ₃ ⁻ - N (mg/l)	NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	Püld (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)	TN:TP	KHT _{Cr} (mgO/l)	KHT _{Mn} (mgO/l)	Y (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Chl-a (µg/l)
Järvik	06.02.2025	7,1	<0,008	6,2	0,009	0,011	0,006	645	<14	1,9	1,9	299	<1
Järvik	25.03.2025	7,3	<0,008	6,9	0,021	<0,01	<0,005	1460	15	2,8	1,5	311	3,6
Järvik	04.04.2025												0,1
Järvik	19.04.2025	5,0	0,095	4,5	0,053	0,026	<0,005	192	29	5,8	2,7	323	3,0
Järvik	06.06.2025	1,0	0,040	0,3	0,008	0,023	<0,005	43	28	7,2		260	
R-M kaev	06.02.2025	7,5	<0,008	6,8	<0,005	<0,02	<0,005		<14	<1		415	
R-M kaev	22.04.2025	7,0	<0,008	6,9	<0,005	<0,02	<0,005		<14	<1		390	
R kaev	06.02.2025	1,8	0,047	1,3	<0,005	0,240	<0,005		<14	1,4		299	
R kaev	22.04.2025	4,7	<0,008	4,7	<0,005	<0,02	<0,005		<14	<1		329	

4.7.3. Taimestik

Lemmküla järvik paigutub koos Vöhmetu ja Kuksemaga märgade kõrgrohustute rikaste ning konkreetsemalt päideroo ja ängelheina koosluse domineerimisega järvikute hulka. Suurema osa järvikust hõlmab päiderookooslus ning kõrgematel ja seega ka lühemaajalisemalt üleujutatud aladel on levinud ängelheinakooslus (Joonis 4.7.9). Erinevalt aga näiteks Kuksemast või ka Assamallast, kus päiderookoosluse katvusest moodustab päideroog reeglina üle poole, on Lemmküla päiderookooslus mitmekesisem ning selles on rohkelt ka vinavat tarinõgest ja varsakapja ning kohati ka soo-alsi. Väikeste laikudena leidub järvikus väiketarnade kooslust ning kauem üleujutatavates lohkudes vesikersikooslust. Saleda tarna kooslus, mis Jalgsemas, Saksis ja Tudres on dominant, esineb Lemmkülas vaid kitsa ribana järviku edelaosas.



Joonis 4.7.9. Lemmküla taimekooslused.

4.7.4. Suurselgrootud

Proovikoht oli järvi lüunakaldal. Järvi oli taksonivaene (16). Dominantide poolest (väikesed karbid) sarnanes Alba järvikule, kuid nii suurest ja selgeveelisest veekogust võiks oodata rohkem liike. Ajutiste vete taksonitest olid esindatud triip-ahaskaan (*Erpobdella lineata*) ja ehmeistiivane *Grammotaulius* sp. Seisund alaliste kalgiveeliste järvede kriteeriumite järgi oli väga halb (Tabel 4.7.3).

Tabel 4.7.3. Lemmküla karstijärvi suurselgrootute kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a kevadel. T – üldine taksonirikkus, H' – Shannoni erisus, ASPT – taksoni keskmine tundlikkus, EPT – tundlike taksonite rikkus, MMQ – seisund, Chir% - surusääsklaste vastsete protsent taksonite üldarvust

Kuupäev	T	H'	ASPT	EPT	suse_m (MMQ)	MESH	Chir%
04.04.2025	16	1,67	4,45	3	4	0,90	0,1

4.7.5. Fütoplankton

Proov võeti järvi lüunaosas kaldaveest. Kevadises aspektis on liigiline koosseis iseloomulik suurtaimerikastele järvedele. Järvis valdasid neelvetikad. Leidus ka kevadele iseloomulikke koldvetikaid (*Synura* sp, *Dinobryon sertularia*), kuid kogused olid väga väikesed. Seisund alaliste kalgiveeliste järvede kriteeriumite järgi oli hea (Tabel 4.7.4).

Tabel 4.7.4. Lemmküla järvi fütoplanktoni kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud. Chl a – klorofüll a sisaldus µg/l; J – ühtluse indeks; FKI – fütoplanktoni koondindeks; FLA – liikide arv loendusproovis ja võrkude proovis; FBM – biomass g/m³; CY, BAC, CHL, CONJ, CHR, CRY, DINO, EU – vastavalt sini-, räni-, rohe-, ikkes-, kold-, neel-, vaguvibur-, silmviburvetikate biomass g/m³

Kuupäev	Chl-a	J	FKI	FLA	FBM	CY	BAC	CHL	CONJ	CHR	CRY	DINO	EU	Dominandid	Kooslus
04.04.25	0,1	0,39	1,75	10+3	0,46	0,0001	0	0	0	0,02	0,44	0	0	<i>Cryptomonas</i> sp	Hea

4.7.6. Zooplankton

Järvis sai proovi võtta ainult aprillis, sest märtsi proovivõtukorra ajal oli järvi alles paksu jääkihiga kaetud. Järvis oli zooplanktoni arvukus väike. Zooplanktoni biomass oli väikese arvukuse juures suhteliselt suur (Tabel 4.7.5), sest koosluse moodustasid peamiselt aerjalgsed. Domineeris sõudikuline *Acanthocyclops robustus*, kuid esinesid ka hormikulised hiidaerik (*Hemidiaptomus amblyodon*) ja karstijärvikutele iseloomulik ning Eestis haruldane sega-aerik (*Mixodiaptomus theeli*). Lisaks aerjalgsetele oli proovis veel vesikirp *Daphnia longispina* ja keriloom *Polyarthra* sp.

Lemmküla järvi zooplanktonit uuriti ka 1967. aastal, siis leiti sealt viis liiki hormikulisi, nende hulgas sega aerik (*Mixodiaptomus theeli*) ja raba-jämekoodik (*Heterocope saliens*) (Mäemets, 1977). Neist teist ei leitud käesolevas uuringus ühestki järvis. Ülejäänud kolme liiki Mäemets (1977) ei täpsusta, kuid lähedal olevast Võhmetu järvest leiti toona neile kahele liigile lisaks sale pärisaerik (*Eudiaptomus graciloides*), liht-pärisaerik (*Eudiaptomus vulgaris*) ja hiidaerik (*Hemidiaptomus amblyodon*). Viimane oli järvis olemas ka 2025. aasta aprillis, kuid ülejäänud kahte käesolevas uuringus ühestki järvis ei leitud.

Tabel 4.7.5. Lemmküla järvi metazooplanktoni rühmade arvukus (A) ja biomass (BM) ning peamiste rühmade osa koguarvukusest ja biomassist

	Kuupäev	Kokku	Cladocera	Copepoda	Rotatoria	Clad %	Cop %	Rot %
A, ind m ⁻³	19.04.2025	74250	25	71725	2500	0,0	96,6	3,4
BM, mg m ⁻³	19.04.2025	619	0	617	3	0,1	99,5	0,4

4.7.7. Fütobentos

Lemmküla karstijärviku fütobentose seisund (fübe_m) oli väga hea (Tabel 4.7.6). Ränivetikate spetsiifiline reostustundlikkuse ja troofsuse indeks näitasid väga head ning Watanabe indeks head seisundit. Kokku määrati 19 taksonit bentilisi ränivetikaid. Selles karstijärvikus oli kaks domineerivat liiki: *Achnanthydium minutissimum* (28,7%) ja *Gomphonema parvulum* (28,4%). Ülejäänud taksonite suhteline arvukus jäi alla 10%. *Achnanthydium minutissimum* on iseloomulik vähetoitelisele veekogudele, kuid *Gomphonema parvulum* eutroofsetele veekogudele. Kokku 20,9% oli järvis ka erinevaid *Eunotia* perekonna liike, kes on iseloomulikud eriti toiteainevaestele veekogudele.

Tabel 4.7.6. Lemmküla karstijärviku fütobentose kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a. kevadel

Aeg	Substraat	Taksonite arv	fübe indeksid			fübe_m
			IPS	WAT	100-TDI	
22.04.2025	makrofüüdid	19	16,7	13,2	57,1	väga hea

4.7.8. Kokkuvõte

Väheste olemasolevate andmetega võrreldes oli järvis maksimaalne ulatus uuringuaastal pigem keskmisest väiksem, kuid vesi püsis järvis kaua. Järvis toiteala jääb sellest ida ja kagu poole. Sarnaselt Võhmetu järvis hakkas Lemmküla järvis veega täituma mitu nädalat hiljem kui teised uuritud Pandivere järvis. Samas sai ümber lükatud rahvapärinus, et Võhmetu-Lemmküla järvisesse hakkab vesi tulema alles siis, kui Assamalla luht kuivaks tõmbab, sest hetkeks, mil Lemmküla järvis veega täituma hakkas, oli ka Assamalla järvis veel veetaseme tõesuface. Suure maksimaalse täitumise aegse lämmastikuisalduse poolest sarnanes järvis vesi enamike teiste Pandivere järvisutega, kuid erinevalt enamikest järvisutest ei vähenenud Lemmkülas lämmastikuisaldus kevade edenedes tempokalt. Samuti erines järvis fosforisisalduse dünaamika teistest Pandivere järvisutest märkimisväärselt ning oli pigem sarnane läänepoolsete Alba ja Kirikla järvisutega, kus see oli enamiku veefaasist väike ja suurenes mõnevõrra alles kevade edenedes. Ka klorofüll a sisaldus oli järvis teistega võrreldes pigem väike. Seega teiste Pandivere järvisutega võrreldes saaks Lemmküla lugeda veekvaliteedi andmete põhjal, vaatamata suurele lämmastikuisaldusele, pigem vähe eutrofeerunuks.

Elustikurühmadest näitasid suurselgrootud, sarnaselt Võhmetule, aga üllatuslikult väga halba seisundit. Järvisute taksonivaesuse võis tingida asjaolu, et mõlemad olid uuritud järvisutest kõige kauem jääs ning vaid kümme päeva enne suurselgrootute proovivõttu oli järvis kaetud veel sedavõrd paksu jääkihiga, et veeproovi võtmiseks tuli jäässe auk lõhkuda. Seetõttu ei pruukinud järvisu põhjaelustik olla jõudnud proovivõtu ajaks veel piisavalt välja kujuneda. Järvisu suurselgrootute kooslusest parema ülevaate saamiseks oleks vajalik edaspidi võtta järvisutest proov tavapärasema veerežiimiga aastal, mil maksimaalne veetaseme aeg jääb kevadesse. Zooplanktoni kooslus sarnanes teistele sügavamatele ja kauem püsinud Pandivere järvisutele, kus keriloomi oli vähe ning valitsesid aerjalgsed, sh haruldane ja seni vaid karstijärvisutest leitud sega-aerik. Taimestiku poolest oli järvis monotoonseid, ühe liigi poolt domineeritud, alasid vähe. Fütoplankton näitas head seisundit ja fütobentos väga head seisundit. Nii, et pigem võib järeldada, et järvisu elustikus ei kajastunud olulisel määral eutrofeerumise ilmingud. **Järvisu seisund on pigem soodne kui ebasoodne ja järvisut toitva põhjavee suur lämmastikuisaldus väga olulist negatiivset mõju järvisu elustikule, tänu järvisusesele vähestele fosfori sisekoormusele, avaldanud ei ole.**

4.8. Saksi karstijärvik

Saksi karstijärvik asub Tapa valla Saksi külas. Maa- ja Ruumiameti ortofotodest on järvikut kõige veerohkemana kujutatud 06.05.2022 fotol (Joonis 4.8.1). Järviku väljanägemist 19.04.2025 on kujutatud joonisel 4.8.2.



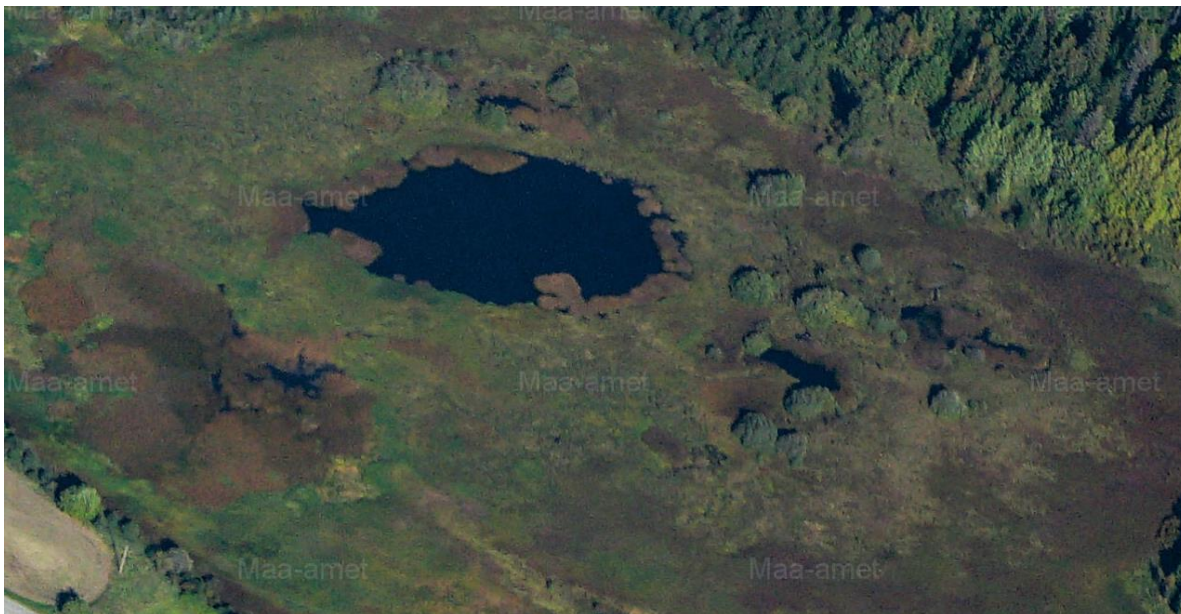
Joonis 4.8.1. Saksi karstijärvik Maa-ja Ruumiameti 06.05.2022 ortofotol ning veetaseme anduri asukoht.



Joonis 4.8.2. Saksi karstijärvik 19.04.2025. Pilt: Kaili Jaago.

4.8.1. Hüdroloogia

Enne uuringut oli teada, et järviku täitumisel töötavad selle kagukaldal olevad karstiallikad (Joonis 4.8.6). Allikate kevadist töötamist on kirjeldanud nt Vainu et al (2019; 2022). Käesoleva uuringu raames tuvastati, et 2024. aasta juuli lõpus olid allikalehtrite põhjas vaid seisva veega lombid. Allikad, mis töötavad ka suvisel ajal, tuvastati järviku idaosas (Joonis 4.8.6). Tõenäoliselt on nende puhul tegemist alaliste allikatega, mis järviku veefaasi ajal on vee all. Ajal, mil suurem osa järvikust oli kuiv, voolas allikate vesi järvikut kagu-loodesuunaliselt läbivasse, tõenäoliselt kaevatud, kraavi ning suubus sellesse samasse alalisse veesilma, kuhu oli paigutatud uuringu veetasemeandur. Lisaks sellele, ilmselt kurisuna toimivale veesilmale, püsib vesi järviku piires tõenäoliselt alaliselt ka kaguosa keskel olevas ümaras veesilmas, sellest ida poole jäävates sopilistes veesilmades ning ümarast veesilmast edela poole jäävas kaislatega kaetud veesilmas (Joonis 4.8.3).



Joonis 4.8.3. Tõenäoliselt alalised veesilmad Saksi karstijärviku kaguosas Maa- ja Ruumiameti kaldaerofotol 24.09.2020.

Veetaseme loger paigaldati järviku loodeosas olevasse, tõenäoliselt alalise veetäitega, süvendatud veesilma (Joonis 4.8.1) 12.12.2025. Veesilm oli sellel ajal kaetud inimest kandva jääga. Logeri peal oli sissepanekul 26 cm vett ning veetase oli kõrgusel 95,16 m ü.m.p. Järgmise üheksa päeva jooksul püsis veetase järvikus suhteliselt stabiilne, tõustes vaid 8 cm võrra (Joonis 4.8.4). Kiire veetaseme tõus algas lumetule ja vihmajärgel (Joonised 4.8.4 ja 4.8.5) 22. detsembril, mil veetase tõusis 24 h jooksul 25 cm. Seega hakkas Saksis veetase tõusma päev hiljem kui Assamalla karstiluhul ja kaks päeva varem kui Einjärves.

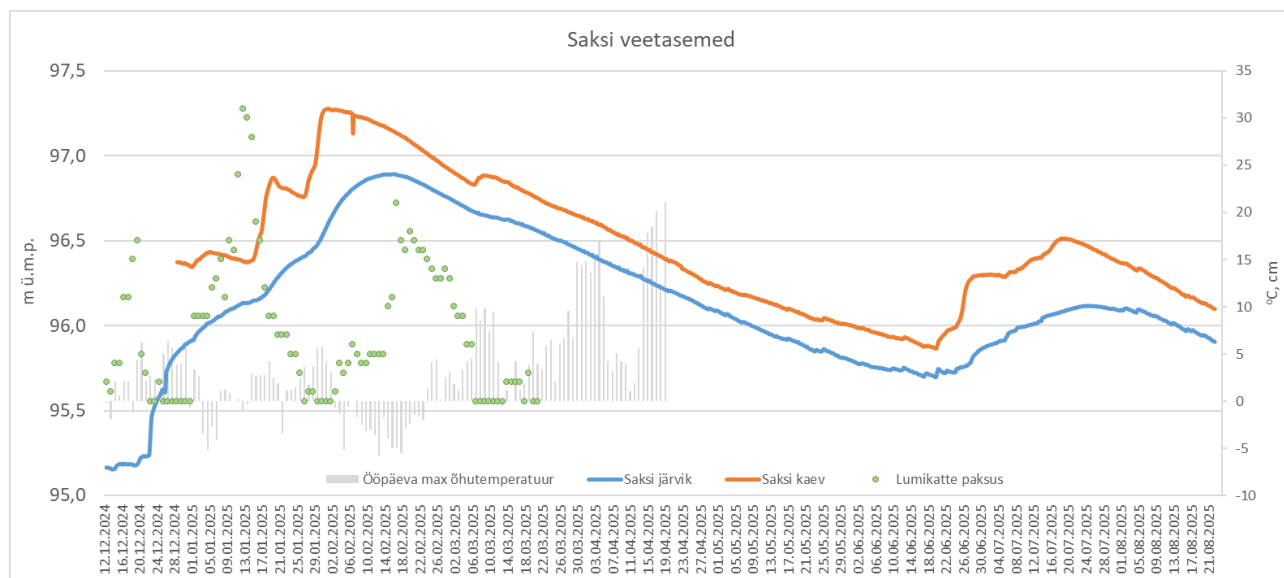
Kuna põhjaveetaseme logeri jaoks sobiva kaevu leidmine võttis aega, paigaldati see järvikust 200 m kagu pool olevasse Saksi küla Reinu talu 28 m sügavusse puurkaevu (PRK0058030) alles 28. detsembril. EELISe andmetel on kaevu asukohas 3,5 m moreeni ja selle all lubjakivi. Manteltoru ulatub kaevus 12 m sügavusele. Sobivat kaevu otsiti Saksi külast järvikust kagu poolt, kuna Vainu et al (2019) töös koostatud kontseptuaalse mudeli põhjal asub järviku toiteala sellest ida ja kagu pool.

Põhjaveetaseme mõõtmise alguses oli veetase kaevus ca 50 cm järviku veetasemest kõrgemal ning järviku veetase oli juba kuus päeva tõusnud ning jätkas tõusmist. Põhjaveetaseme püsis aga 14. jaanuarini enam-vähem stabiilselt samal kõrgusel, mis see oli olnud mõõtmise alguses, tõustes esialgu mõned cm ja langedes seejärel sama palju. Selleks ajaks oli veetasemete erinevus kaevus ja järvikus vähenenud 23 cm-le ning järviku veetaseme tõus sisuliselt peatunud. Tõenäoliselt oli enne mõõtmise algust toimunud sarnaselt Assamallale kiire põhjaveetaseme tõus ning järviku veetase reageeris jätkuvalt sellele tõusule. Arvestades järviku nõo suurt pindala ja lauget kuju, võtab järviku veetaseme tõusmine aega. Seda eriti juhul, kui põhjavee sissevool järvikusse peaks toimuma ainult teadaolevate allika-alade kaudu (Joonis 4.8.6). Põhjaveetaseme kergelt langust jaanuari alguses võis täheldada ka teistes Tamsalu ümbruse karstijärvikute (Assamalla, Einjärv) seirekaevudes. Põhjasteks olid eeldatavasti jõuludele eelnenud perioodi vähene sademete hulk, detsembri

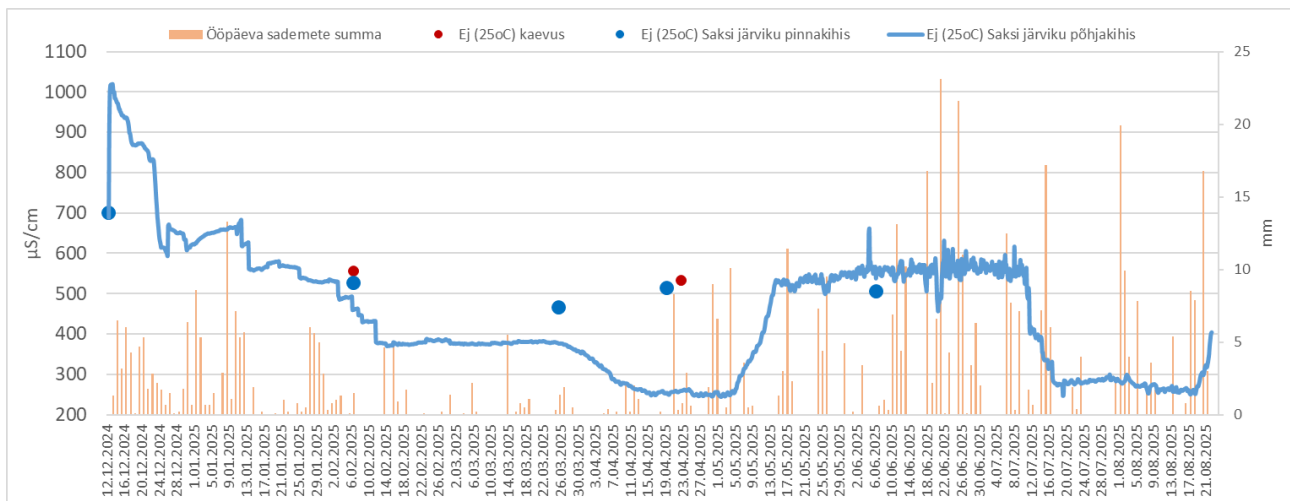
keskpaiga sulavee mõju vähenemine põhjaveetasemele ning õhutemperatuuri langemine miinusesse alates 31. detsembrist.

Järviku vee elektrijuhtivuse muutused täitumisperiodil olid piisavalt ebaloogilised ning sarnased Einjärvele, et seostada neid nii kergkruusaploki lahustumise kui ka logeri streikimisega. Kergkruusaploki lahustumisega saab seletada logeri tulemusi esimestel päevadel, mil elektrijuhtivus esmalt kolme tunniga 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ võrra suurenes (Joonis 4.8.5) ning seejärel langema hakkas. Kiire elektrijuhtivuse langus algas pool päeva pärast kiire veetaseme tõusu algust, ning jõudis mõne päevaga ca 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ni. Seirekaevu elektrijuhtivust ei õnnestunud kaevus olnud torustiku tõttu anduri sissepanekul mõõta, kuid hiljem veebruari alguses oli see 560 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja aprilli teises pooles 530 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Seega saavutas elektrijuhtivus logeri asukohas aasta lõpuks seirekaevule lähedase elektrijuhtivuse. Jaanuari keskpaigast alates jätkas järviku elektrijuhtivus logeri andmetel aga langust ja kui 6. veebruaril oli see veel vaid ca 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ seirekaevu väärtusest madalam, siis veebruari keskpaigast märtsi lõpuni püsis see stabiilselt ca 380 $\mu\text{S}/\text{cm}$ juures. Aprilli keskpaigaks langes see veelgi, ca 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ni. Selleks ajaks oli erinevus seirekaevuga suurenenud 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ni. Seirekaevule sarnase elektrijuhtivuse juurde tõusis see logeri asukohas alles mai keskel ja püsis seal juuli esimese dekaadi lõpuni.

Pärast logeri sissepanekuhetke detsembris mõõdeti järviku pinnakihi elektrijuhtivust multimeetriga veel neljal korral. Mõõtmised tehti loodeosa asemel kaguosas. Neil kordadel jäid tulemused vahemikku 470 kuni 530 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kusjuures nii veebruari alguses kui aprilli teises pooles erinesid sealdsed tulemused seirekaevu tulemustest vaid 20–30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ võrra, olles järvikus küll kaevu näitajatest madalamad. Logeri mõõdetud elektrijuhtivustest olid multimeetriga mõõdetud tulemused veebruaris ca 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, märtsis ca 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja aprillis ca 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ väiksemad. Sedavõrd lahjema vee olemasolu väitmine järviku põhjas viitab pigem logeri streikimisele kui tegelikele tulemustele.



Joonis 4.8.4. Veetaseme muutus Saksi karstijärvikus ja Reinu talu kaevus; ööpäeva maksimaalne õhutemperatuur ja lumikatte paksus Väike-Maarja ilmajaamas (andmed, v.a veetasemed: Keskkonnaagentuur).



Joonis 4.8.5. Elektrijuhtivus (25°C) Saksi järvis automaatanduri ja Reinu talu kaevus üksikmõõtmiste põhjal; ööpäeva sademete summa Väike-Maarja ilmajaamas (andmed, v.a elektrijuhtivus: Keskkonnaagentuur).

Kui Assamalla kaevus hakkas põhjaveetaseme kiiresti tõusma 14. jaanuari õhtul, siis Saksis Einjärvega samal ajal, s.t 15. jaanuari öösel. Saksi kaevus kerkis veetaseme 19. jaanuariks ligi pool meetrit. Järvi veetaseme tõus sellel perioodil varasemaga võrreldes veidi kiirenes. Põhjaveetaseme kiirele tõusule järgnes sarnaselt teistele uuringus olnud Tamsalu ümbruse seirekaevudele kümnesentimeetrine langus 25. jaanuarini. Selle perioodi teises pooles järvi veetaseme tõus taaskord veidi aeglustus, kuid ei katkenud. Põhjaveetaseme kiire tõusu ja aeglase languse põhjuseks oli tõenäoliselt 14. jaanuari sulailm, mille käigus hakkas vahepeal ilmajaamas 30 cm paksuseks kasvanud lumekiht kiirelt kahanema. Jaanuari kolmanda dekaadi alguses oli lühiajaline külmem perioodi: 21. jaanuaril oli õhutemperatuur ainult miinuses ning ka järgmiste päevade maksimum oli vaid kraadi võrra plussis. Seejärel läks ilm alates 25. jaanuarist aga taas soojemaks ning ära sulas ka viimane alles jäänud lumi. Lisaks sadas 27. jaanuarist 30. jaanuarini 19 mm vihma. See viis põhjaveetaseme taas kiirele tõusule ning 26. jaanuarist 31. jaanuarini tõusis see ca pool meetrit ja saavutas mõõtmisperioodi kõrgeima taseme. Selleks ajaks oli järvi ja põhjaveetasemete erinevus kasvanud 71 cm-le.

Järvis kestis pidev veetaseme tõus kuni maksimaalse veetaseme saavutamiseni 13. veebruaril. Kõrgeimaks tasemeks oli 96,89 m ü.m.p ning see püsis kuni 17. veebruarini. Veeproovi võtmise ajal, 6. veebruaril, oli järvis inimest kandev jää peal. Veeproov võeti järve kagukaldalt, mitte anduri asukohast. Seega ilmselt saavutas järvi kõrgeima veetaseme jääga kaetuna.

Põhjaveetaseme püsis stabiilne kuni 6. veebruarini ning hakkas seejärel langema. Kui põhjaveetaseme tipu saavutas Saksi seirekaevu veetaseme samal ajal Einjärve ja Assamalla seirekaevudega, siis kiirem veetaseme langus algas mõned päevad hiljem. Eelnimetatud kohtades hakkas veetaseme kiiresti langema kohe pärast tipu saavutamist, kuid Saksis püsis see mõne päeva platool. See võib olla seotud Saksi paiknemisega maastikus madalamal, mistõttu võtab veetaseme muutuste suuna pöördumine suurema toiteala tõttu kauem aega. Samas oleks sellisel juhul võinud eeldada ka põhjaveetaseme tipu hilisemat saabumist. Üldjoontes said põhjaveetaseme languse põhjused Saksi kaevus olla aga samad, mis mujal piirkonnas ehk jaanuari keskpaiga lumesula mõju lõppemine ning ilmade külmenemine veebruari alguses.

Järvi veetaseme tõusis veel nädala pärast põhjaveetaseme languse algust. Kaevu ja järvi veetaseme erinevus oli järvi maksimaalse veetaseme saavutamise ajaks vähenenud 29 cm-ni ning 17. veebruariks, kui järvi veetaseme aeglaselt langema hakkas, oli see vähenenud veelgi, 23 cm-ni. Järelikult säilis kuni 30 cm-se veetaseme erinevuseni piisavalt intensiivne põhjavee vool järvisse, et veetaseme tõus sai jätkuda. Kui veetaseme erinevus langes alla 23 cm, ei suutnud sissevoolava põhjavee hulk enam eeldatavasti järvi loodeservast põhjavette väljavoolava vee hulka kompenseerida ja järvi veetaseme hakkas langema. Sama suure erinevuse juures oli järvi veetaseme tõus sisuliselt peatunud ka jaanuari keskel.

Veebruari teisest poolest alanud ühtlane, tõusust aeglasem, järvi veetaseme langus kestis juuni keskpaigani. Vahepeal, veeproovi võtmise ajal, 25. märtsil, oli suurem osa järvis endiselt jääs. Servas oli

mõne meetri laiune vaba veega riba. Ka selle järvi veetasemes ei kajastunud mingil määral veebruari teise poole lumesula mõju. Kaevu veetase tegi küll 6.–8. märtsini ehk enam-vähem samal ajal kui Assamalla ja Einjärve kaevude veetase alla 10 cm suuruse veetaseme tõusu, mis aga kohe uuesti langusesse pöördus.

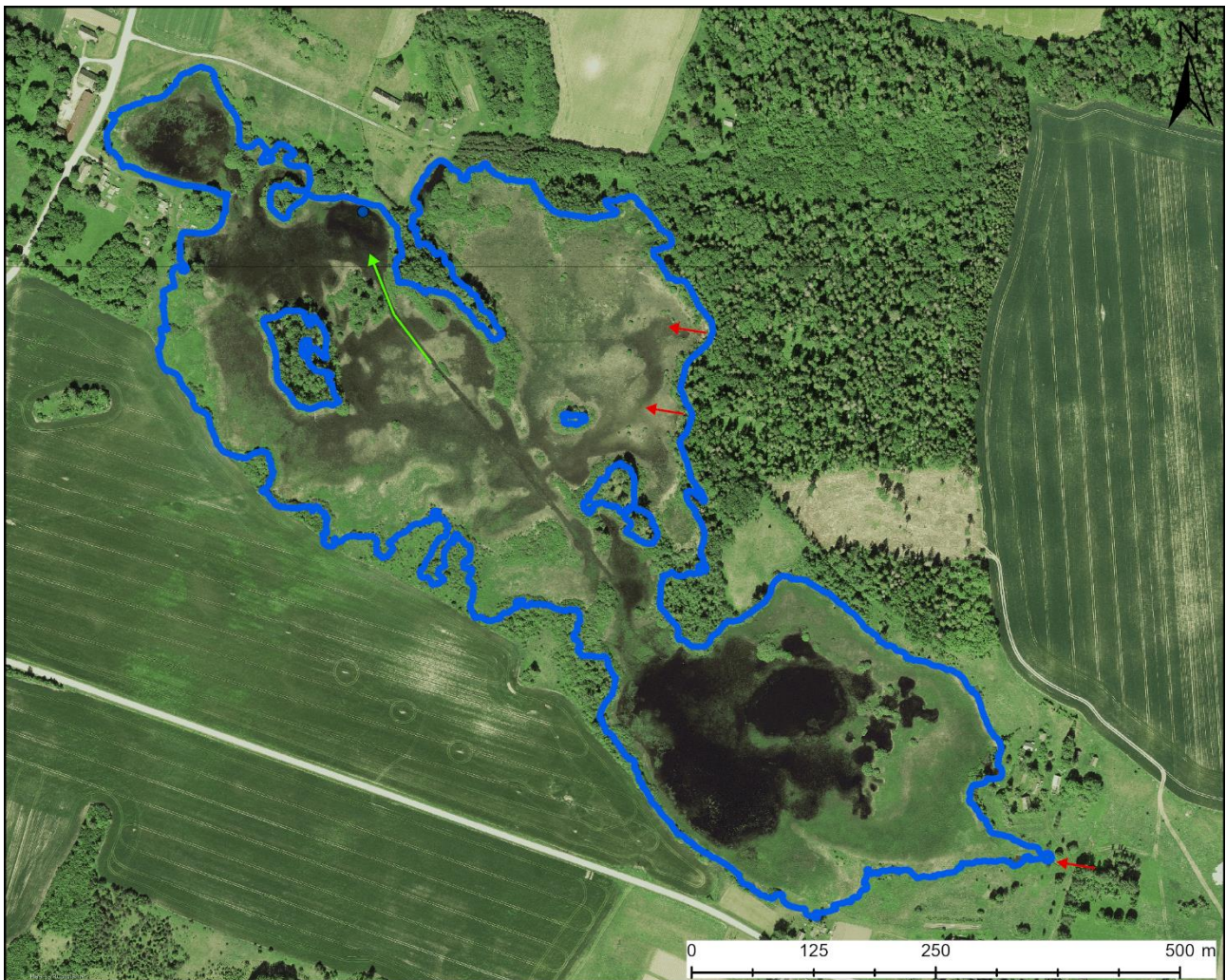
Järvi veetaseme langus peatus 17. juunil tasemel 95,70 m ü.m.p. Samal ajal peatus ka põhjaveetaseme langus. Veetasemete erinevus oli selleks ajaks 16 cm. Põhjaveetaseme hakkas rohkete sademete toel uuesti tõusma 19. juunil. Järvi veetase püsis aga nädalajagu päevi enam-vähem stabiilne ning hakkas taas tõusma alates 24. juunist. Veetasemete erinevus oli selleks ajaks jõudnud 25 cm-ni ja edaspidi suurenes veelgi. Põhjaveetaseme kerkis varieeruva kiirusega kuni 17. juulini ja pöördus siis eelmisest päevast alanud sademetevaesema perioodi toel langusesse. Järvi veetase kerkis aga 24. juulini ühtlase kiirusega 40 cm võrra tasemeni 96,12 m ü.m.p. Samal tasemel oli järvi veetase olnud talvises tõusufaasis 11. jaanuaril ja kevadises langusfaasis 26. aprillil. Seega reageeris järvi veetase põhjaveetaseme suuna muutustele jätkuvalt viibega. Vee elektrijuhtivus logeri asukohas tegi juuli keskel kaheksa päevaga läbi ca 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ suuruse languse ning jäi kuni 18. augustini püsima ca tasemele 260–290 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mil see taas kiiresti kerkima hakkas. Kuna samal ajal multimeetriga järvi elektrijuhtivust ei mõõdetud ning varasemad logeri elektrijuhtivuse andmed on kahtlased, ei saa olla kindel, kas kirjeldatud muutused järvis ka tegelikult toimusid.

Järvi veetase püsis kuni 5. augustini stabiilne ning hakkas seejärel uuesti langema, enam-vähem sama tempoga, nagu oli juunist juulini tõusnud. Oodatult hakkas see toimuma siis, kui langeva põhjaveetaseme tõttu vähenes kaevu ja järvi veetaseme erinevus 23 cm-ni ning edaspidi alla selle. Seega näib ca 25 cm veetaseme erinevus Reinu talu kaevu ja järvi veetaseme vahel olevat lüvendiks, mil järvi veebilanss muutub positiivsest või negatiivsest neutraalseks või vastupidi.

22. augustiks oli järvi veetase langenud tasemeni 95,91 m ü.m.p. Siis otsustati andur järvikust eemaldada, kuna oli vaja hakata uuringu aruannet kirjutama. Kogu järvi tühjenemise perioodi jooksul ei jõudnud selle veetase anduri sissepanekuaegsele tasemele. Suvine veetaseme tõus algas kõrguselt, kus järvi veetase oli täitumisfaasis olnud 26. detsembril. Järvi veefaasi alguseks saab lugeda kiire veetaseme tõusu algust 22. detsembril. Seega oli anduri väljavõtmise hetkeks kestnud järvi veeperiood üle 240 päeva.

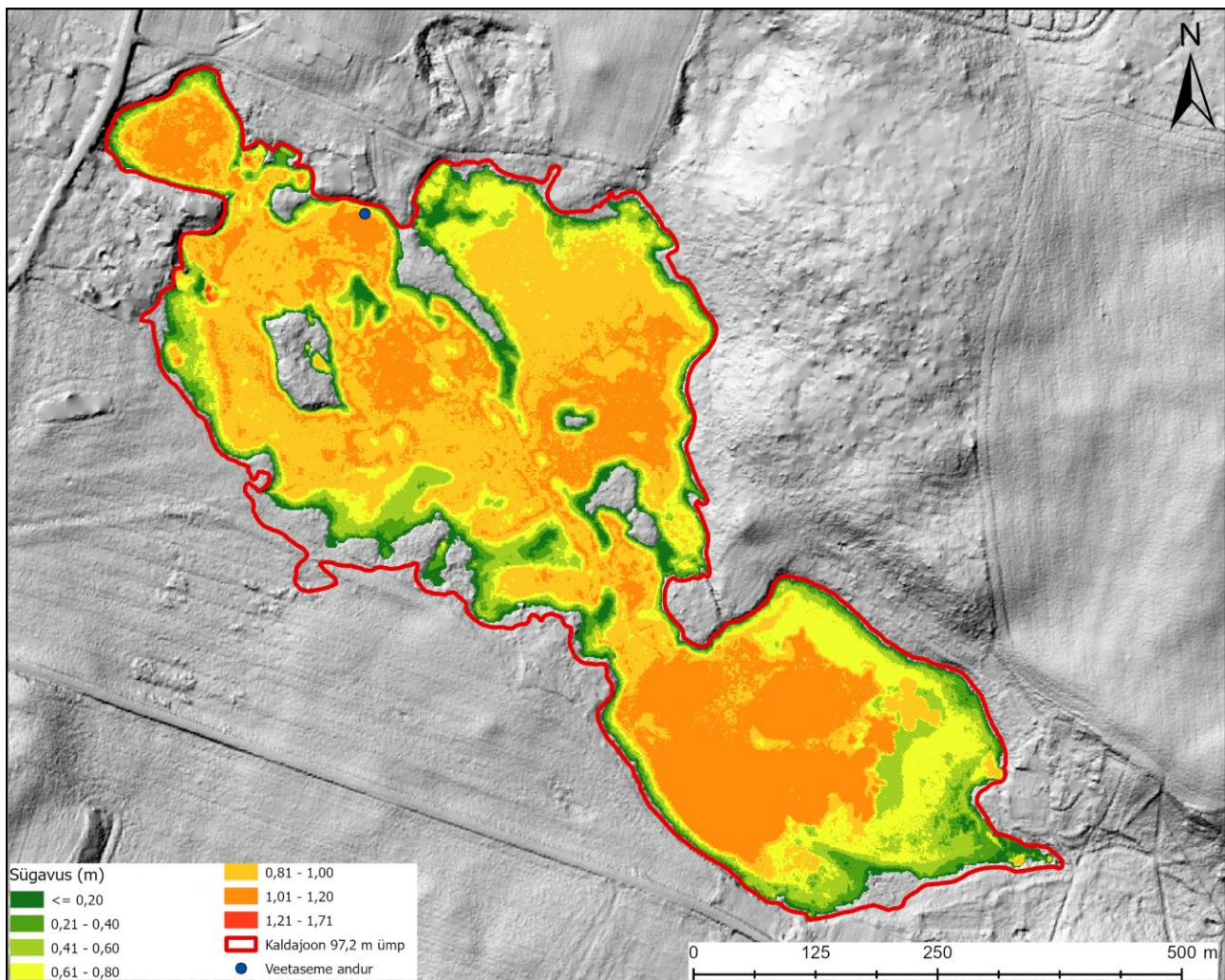
Uuringu tulemuste põhjal leiti kinnitust Vainu et al (2019) töös esitatud Saksi karstijärvi kontseptuaalses mudelis esitatule, et järvi toiteala jääb sellest ida ja kagu poole. Selgus, et järvikust kagus on põhjaveetaseme nii järvi täitumise kui ka tühjenemise ajal järvi veetasemest kõrgem, mis viitab, et vesi voolab sealt pidevalt järvi poole. Andmete põhjal ei esine Saksis ka Assamalla, Tudres ja Jalgsemas võimalikku järvi veetaseme põhjaveetasemest aeglasema languse tekitatud ajutist tagasivoolu.

Järvi ulatuse, sügavusjaotuse ja mahu väljaselgitamiseks kasutati Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku ülelennu LiDAR-andmeid (ülelennu kuupäev 13.06.2020). Ortofoto põhjal oli järvis ülelennu ajal enamjaolt veel vesi sees (Joonis 4.8.6) ning kuivemates kohtades kasvas juba rohttaimestik ning kallastel olevad lehtpuud ja põõsad olid juba lehtes, kuid tegemist on kõige kuivema kõrgusandmetega ülelennuga, mistõttu paremaid andmeid polnud võimalik kasutada. **Järvi kaldajoon, sügavusjaotus ja maht modelleeriti lähtudes kõrgusjoonest 96,90 m ü.m.p. Sellele kõrgusjoonele vastava polügooni pindala ilma suuremate saarteta on koostatud kõrgusmudelil 28,6 ha.** Varem on järvi veepiiri asukohta eeldatava kõrgeima veetaseme korral tuvastatud 2022. aasta kevadel (Vainu et al, 2022). Toona oli järvi ulatus mõnevõrra suurem kui 2025. aasta suurima ulatuse ajal ning kõrgeimaks veetasemeks määrati toona kohapeal fikseeritud veepiiri asukoha põhjal 97,20 m ü.m.p. Sellise veetaseme korral saadi järvi pindalaks 32,2 ha (Joonis 4.8.7).



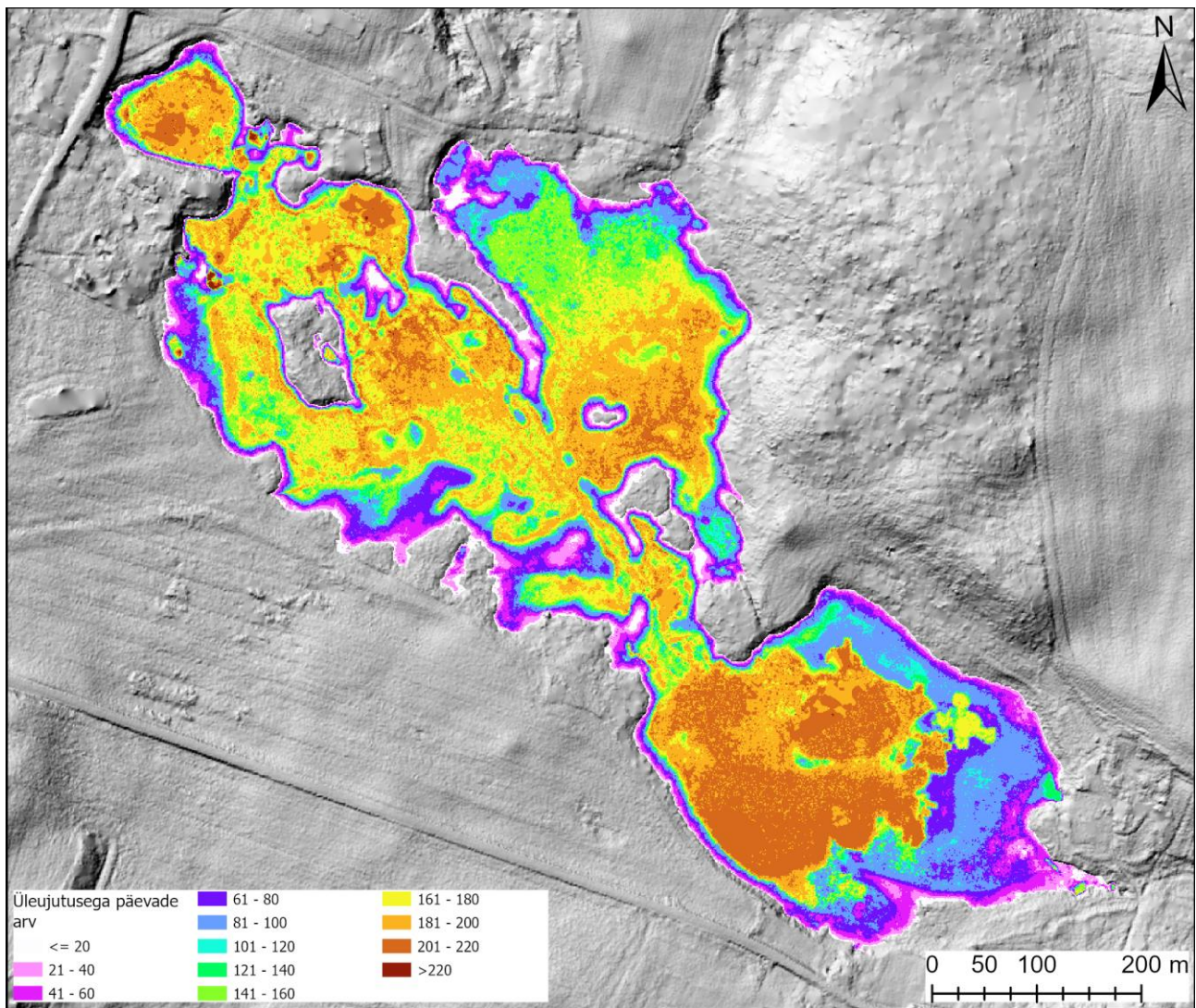
Joonis 4.8.6 Saksi karstijärviku veepiir tasemel 96,90 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmodelile. Punaste nooltega on tähistatud teadaolevad allikate asukohad järviku piiril. Rohelise noolega on tähistatud järviku sees olev veejuhe, mida mööda voolab järviku idakaldal olevate allikate vesi järviku kirdeosas olevasse kurisusse.

Veetaseme 96,90 m ü.m.p põhjal modelleeritud 1x1 m resolutsiooniga sügavusjaotuste kaardil on järviku suurimaks sügavuseks ca 1,7 m (Joonis 4.8.7). Tuleb aga arvestada, et kuna kõrgusmodelil olid ulatuslikud alad veega kaetud, siis on nii Saksi järviku sügavuse kui ka ülejutuse kestuse kaardid enamikust uuritud järvikutest ebatäpsemad. **Veetaseme anduri andmetel oli veesügavus anduri asukohas maksimaalse täitumise ajal ca 2 m**, samal ajal kui kõrgusmodeli põhjal oli seal vett ca 1,1 m. Järviku kaguosas olevas alalises ümmarguses veesilmas oli tegelik veesügavus sellel ajal ilmselt üle 2 m. Üldjoontes eristub järvikus aga mitu sügavamalt ala. Kõige ulatuslikum sügavam ala on kaguosas. Suuremad sügavamad alad on ka järviku idaosas, keskosas ja loodesopis. Madalat, uuringuaegse maksimaalse veetaseme korral kuni 0,6 meetrise veesügavusega ala on järvikus üsna vähe. Ulatuslikumalt on sellist ala kaguosa idapoolses servas. Järviku loodepoolses osas on mitu saart. **Järviku kõrgusmodeli põhjal modelleeritud maht maksimaalse veetaseme ajal oli 230 000 m³ ning keskmine sügavus 0,8 m.** Tuleb aga rõhutada, et need on tegelikkusega võrreldes alahinnatud, kuna kõrgusmodel kajastas järviku osaliselt veega täitunud olekut.



Joonis 4.8.7. Saksi karstijärviku sügavus veetaseme kõrgusel 96,90 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudelile.

Madalate alade vähesuse tõttu oli järvikus ka vähe alasid, kus üleujutus oleks kestnud lühikest aega. Ala, kus vesi oleks peal olnud kuni 20 päeva, sisuliselt polnud ning ka kuni 40 päeva vee all olnud ala oli vaid kitsa ribana järviku kaldal (Joonis 4.8.8). Ühtne veeväli püsis kindlasti vähemalt neli kuud. Kevade jooksul jagunes järvik aga osadeks ning seejärel ei pruukinud veetaseme järviku erinevate osade vahel enam ühtne olla. Kuna vesi neeldub eeldatavalt järviku loodeosas, kujuneb järviku sees tõenäoliselt veetaseme gradient ning pärast kaguosa ülejäänud osast eraldumist jääb selle vesi mööda järvikut läbivat kraavi loodeosa kurisutesse voolama. Keeruka konfiguratsiooni tõttu tuleks, juhul kui oleks vaja selle erinevate osade täitumise ja kuivamise dünaamikast paremat ettekujutus saada, mõõta järviku veetaseme ühe veeperioodi jooksul mitme veetaseme logeriga.



Joonis 4.8.8. Päevade arv vahemikus 12.12.2024 kuni 22.08.2025, mil vastav ala Saksi karstijärvikus oli vee all Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudeli ja veetaseme anduri mõõtmistulemuste põhjal.

4.8.2. Hüdrokeemia

Saksi järvikust mõõdeti vee väliparameetreid kuuel korral ning võeti veeproove neljal korral. Detsembris mõõdeti väliparameetrid veetaseme logeri asukohas (Joonis. 4.8.1), ülejäänud kordadel mõõdeti parameetrid ja võeti veeproovid järviku kaguosast, Luige talust lääne pool. Detsembris ja veebruaris võeti veeproovid jääaugust. Märtsis oli enamik järvikust endiselt jääs, kuid serv oli lahti ja proov võeti sealt.

Järviku pH oli uuringu ajal kalgiveelistele järvedele tüüpilises vahemikus 7,5-st 8,0-ni (Tabel 4.8.1). Lahustunud ainete sisaldus (mineraalsus) oli Simmi (1975) klassifikatsiooni järgi kõigil kordadel suurenenud. Detsembris oli mineraalsus suur, kuid siis mõõdeti näitaja väikesest, alalisest, jääga kaetud veesilmast, mida karstijärvikuks nimetada ei saa. Aluselisis oli kõigil analüüsikordadel suur. HCO_3^- moodustas kõigil kordadel, peale veebruari, mineraalsusest ligi 100%. Veebruaris oli vesinikkarbonaadi osakaal 85%. Hapnikuolud olid veebruaris jää all halvapoolsed, ülejäänud kordadel keskpärased. Tõenäoliselt tingis pigem ebasoodsad hapnikuolud järvikus vee all lagunev ohter taimne mass.

Üldlämmastiku sisaldus oli veebruaris väga halval, märtsis heal ning aprillis ja juunis väga heal tasemel. Seega vähenes ka Saksis veega täitumise perioodi jooksul vee lämmastikusisaldus oluliselt. Nitraatlämmastik moodustas veebruaris 83% ja märtsis 67% üldlämmastikust. Aprillis ja juunis oli nitraati alla määramispiiri. Aprillis oli seevastu vees arvestatav kogus ammooniumlämmastikku, mis võis pärineda nii nitraadi redutseerumisest kui ka taimse materjali lagunemisest.

Üldfosfori sisaldus oli veebruaris kesisel, ülejäänud kordadel väga halval tasemel. Kõige suurem oli fosforisisaldus aprillis. Juuniks see taas vähenes. Fosforisisalduse suurenemise trend on omane teistelegi uuritud järvikutele. Juunis enamikest järvikutest proove võtta ei saanud, kuna need olid kuivanud, kuid ka Võhmetu ja Lemmküla järvikutes ei suurenenud fosforisisaldus aprillist juunini. Sarnaselt mitmele teisele uuritud järvikule, aga erinevalt Assamallast ja Kuksemast, oli Saksis fosfaatfosfori osakaal üldfosforist väike. Veebruaris oli see 57%, kuid märtsis ja juunis alla 10% ning aprillis 27%. Suur orgaanilise fosfori osakaal võiks pigem viidata fosfori allikana taimse massi lagunemisele kui pinnasest eraldumisele, samas pidanuks sellisel juhul suurenema ka järviku lämmastiku sisaldus. Nii, et rohke orgaanilise fosfori päritolu jäi ka selle järviku puhul saladuseks.

Klorofüll a sisaldus oli järvikus jubas veebruaris kesisel tasemel, kuid siiski oluliselt madalam kui näiteks Assamallas ja Kuksemas. Märtsiks oli see mitmekordistunud ja näitas halba seisundiklassi. Aprilli alguses fütoplanktoni proovi võtmise ajal määratud klorofüll a sisaldus oli taaskord madalam kui enne ja pärast seda võetud proovides, kuid erinevalt mitmest teisest järvikust, kus aprilli alguse klorofüll a sisaldus näitas väga head seisundit, oli see Saksis ka siis halval tasemel. Saksi klorofüll a sisaldus aprilli alguses oli kõigest uuritud järvikutest suurim ning suurim oli ka fütoplanktoni biomass (ptk 4.8.5). Aprilli teiseks pooleks oli klorofüll a sisaldus muutunud ligi kaks korda suuremaks, kui see oli olnud märtsis. Suuremaid klorofüll a tulemusi saadi vaid Assamallas ja Tudres. Seega võiks ka selle järviku puhul kehtida hüpotees, et lämmastikusisaldus vähenes, kuna vähenes selle sissevool põhjavee kaudu ning lämmastik seoti tänu ohtra fosfori olemasolule biomassi. Fosfori peamised allikad olid aga järvikus endas ning seetõttu fosforisisaldus suurenes, vaatamata aktiivsele produktsioonile. Aprilli teiseks pooleks oli N:P suhe vähenenud alla 16:1, mistõttu muutus produktsiooni limiteerivaks elemendiks fosfor ning tõenäoliselt vähenes seetõttu ka produktsioon.

Orgaanilise aine sisaldus oli veebruaris mõlemal viisil määratuna väike. Märtsis oli see KHT_{Cr} järgi keskmine, kuigi suure piiril, aga KHT_{Mn} järgi endiselt väike, aprillis KHT_{Cr} järgi suur ning KHT_{Mn} järgi keskmine ning juunis mõlemal viisil määratuna suur. Seega suurenes järviku orgaanilise aine sisaldus järjepidevalt. Oksüdeeritavusprotsent oli 28% ja 35% vahel, mis viitab, et valdav osa orgaanilisest ainest oli moodustunud veefaasis, kuid rolli mängis ka kuiva faasi ajal moodustunud orgaanilise aine lagunemine vette või valgalalt sissekantud aine. Kollast ainet oli enim aprillis (juunis seda ei määratud) ning kuna seda oli üle 7 mg/l, sai järviku lugeda siis tumedaveeliseks (Ott et al, 2021). Ilmselt pärines kollane aine järviku kuiva faasi ajal moodustunud taimestiku lagunemisest ja/või üleujutatud pinnasest.

Järviku saab veekvaliteedi ja klorofüll a andmete põhjal lugeda mõõdukalt eutrofeerunuks.

Reinu talu kaevust määrati vee väliparameetreid ja võeti veeproove kahel korral. Väliparameetrite mõõtmine ja proovide võtmine osutus keeruliseks, kuna kaevus oli sees veetorustik, millest multimeeter ega batomeeter mööda ei mahtunud, kuid hoones, kuhu torustik viis ning kus oli ka kraan, elutegevust ei toimunud. Seetõttu imeti veebruaris veeproov kaevust välja peenikese voolikuga ning aprillis võeti proov kitsa metallbatomeetriga *Solinst Point Source Bailer*.

Kaevuvee pH oli mõlemal korral sarnane ning ei erinenud oluliselt järviku veest (Tabel 4.8.1). Kaevuvee mineraalsus oli mõlemal korral järviku veest kuni 5% suurem. Veebruaris oli HCO_3^- sisaldus järviku veest 15% suurem, aprillis enam-vähem sama suur. HCO_3^- sisaldus moodustas mineraalsusest mõlemal korral ca 93%. Seega oli kaevuvesi järviku veega küllalt sarnane, et viidata kaevuvee jõudmisele järvikusse. Põhjavee mõnevõrra suurem mineraalsus karstijärvikute veega võrreldes on eeldatav, kuna järvikus on põhjaveele lisaks ka otseste sademete või pindmise äravooluga sinna jõudnud vett.

Üldlämmastiku sisaldus kaevuvees oli veebruaris järvikust väiksem, aprillis suurem (Tabel 4.8.2). Sama oli nitraadisisaldusega. See enam sedavõrd hästi kaevuvee jõudmist järvikusse, vähemalt aprillis, ei kinnitanud. Veetaseme andmete põhjal oli ka veel aprillis kaevu veetase järviku veetasemest kõrgemal (Joonis 4.8.4). Fosforisisaldus oli kaevus veebruaris järvikust suurem, aprillis aga alla määramispiiri. Kogu veebruaris kaevus olnud fosfor oli orgaanilisel kujul. Orgaanilise aine sisaldus KHT_{Cr} järgi oli veebruaris kaevus põhjavee kohta suurevõitu. Uuringukaevudest oli KHT_{Cr} suurem vaid Kuksema seirekaevus, kuid sealse kaevu puhul puudus

kindlus, mis vesi selles üldse oli. KHT_{Mn} järgi Reinu talu kaev aga orgaanikarohkeimana esile ei tulnud. Aprillis oli orgaanilise aine sisaldus mõlema näitaja järgi väiksem.

Seega jäi Reinu talu kaevu sobivus Saksi järvikule põhjavee kaudu avalduva mõju seireks ebaselgeks. Näib, et kaevus olev vesi on küll teatud omaduste poolest järviku veega sarnane, kuid toiteainete ja orgaanilise aine sisaldus võib olla üldise põhjaveekihi suhtes mitte-esinduslik, kuna kaevu vett ei kasutata ning selle veevahetus on seetõttu aeglane. **Kuna aga kaevuvees oli veebruaris fosforit rohkem kui järvikus** ning see oli sarnaselt järvikule peamiselt orgaanilisel kujul, **võib teha ettevaatliku järelduse, et järviku täitumisaegne fosforisisaldus võib pärineda põhjaveest.**

Tabel 4.8.1. Saksi järvikust ja Reinu talu kaevust välitingimustes mõõdetud näitajad. *Näitajad mõõdeti veetaseme anduri asukohas. Ülejäänud kordadel mõõdeti näitajad järviku kaguosas

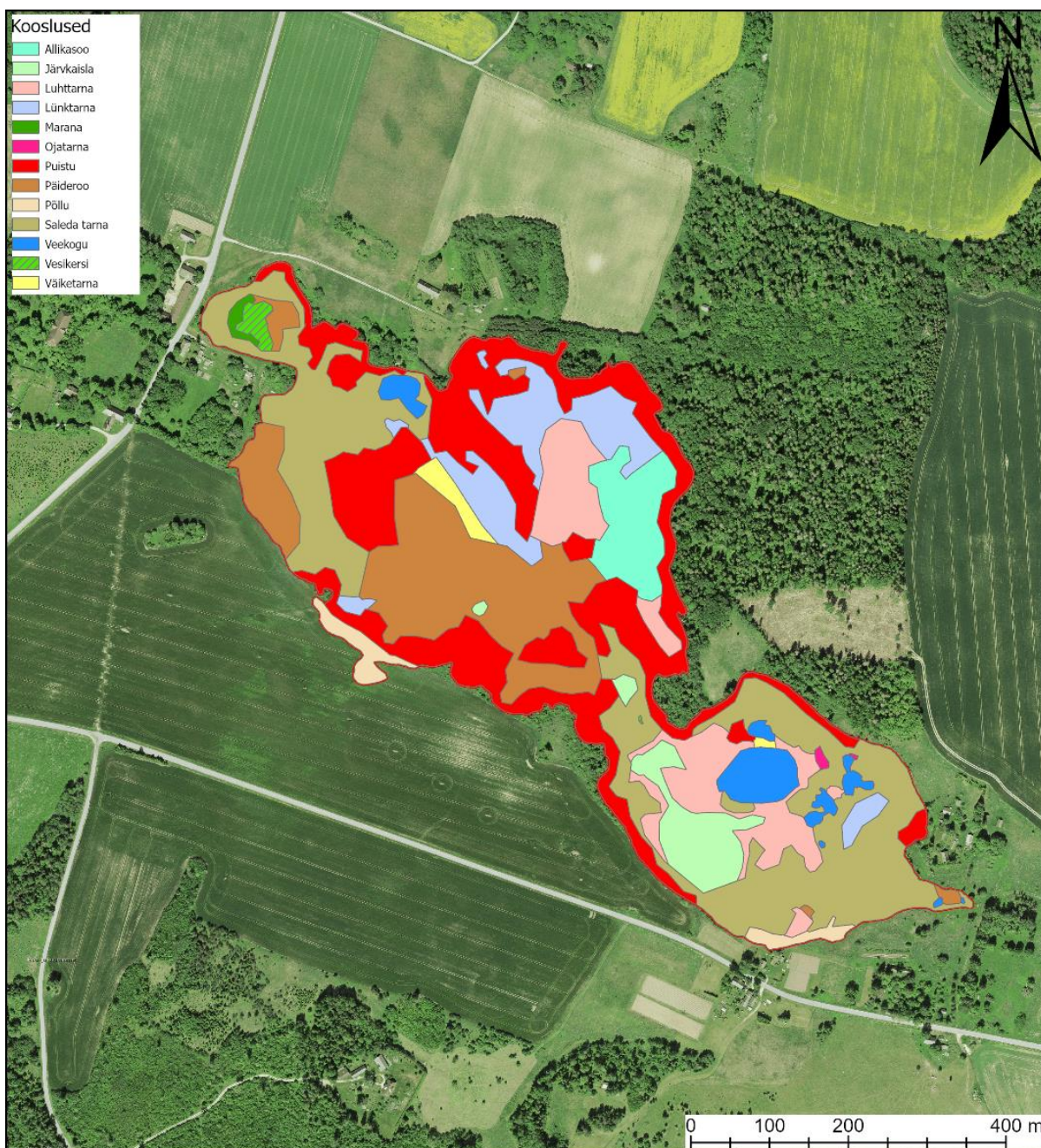
Objekt	Kuupäev	pH	ORP (mV)	SEC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	O ₂ (mg/l)	O ₂ %	Hägusus (NTU)
Järvik	12.12.2024*	7,5	181	701	456	0,9			
Järvik	06.02.2025	7,7	252	527	343	3,1	4,5	27	
Järvik	25.03.2025	7,6	221	467	304	5,3	6,2	44	
Järvik	04.04.2025	8,0	132	514	334	10,8			3,1
Järvik	19.04.2025	7,9	199	515	335	14,2	5	49	
Järvik	06.06.2025	7,6	49	505	328	18,7	4,9	50	
Kaev	06.02.2025	7,7	270	556	361	4,6			
Kaev	22.04.2025	7,6	310	532	346	7,6			

Tabel 4.8.2. Saksi järvikust ja Reinu talu kaevust võetud proovidest laboris määratud näitajad

Objekt	Kuupäev	Nüld (mg/l)	NH ₄ ⁻ -N (mg/l)	NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	Püld (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)	TN:TP	KHT _{Cr} (mgO/l)	KHT _{Mn} (mgO/l)	Y (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Chl-a ($\mu\text{g}/\text{l}$)
Järvik	06.02.2025	5,3	<0,008	4,4	0,010	0,028	0,016	189	<14	3,7	2,8	293	2,5
Järvik	25.03.2025	1,5	<0,008	1,0	0,010	0,054	0,005	28	34	9,4	2,7	299	14
Järvik	04.04.2025												4,0
Järvik	19.04.2025	1,2	0,160	<0,01	<0,005	0,086	0,023	14	37	13	7,8	329	30
Järvik	06.06.2025	1,2	0,026	<0,02	<0,005	0,056	0,005	21	56	18		340	
Kaev	06.02.2025	3,7	0,009	2,9	<0,005	0,047	<0,005		22	3,5		336	
Kaev	22.04.2025	3,3	0,016	3,0	0,083	<0,02	0,008		15	2,1		323	

4.8.3. Taimestik

Saksi paigutub koos Tudre, Assamalla ja Jalgsemaga märgade kõrgrohustute rikaste ning konkreetsemalt saleda tarna ja angervaksa koosluste domineerimisega järvikute hulka. Järvikus on pindalaliselt kõige suuremal alal levinud monotoonne saleda tarna kooslus (Joonis 4.8.9). See valdab nii järviku kagu- kui ka loodeosas. Keskosas on saleda tarna koosluse asemel päiderookooslus. Ainsana uuritud järvikutest on Saksis esindatud kaislakooslus. See levib alaliselt vähemalt mõnekümne cm sügavuselt üleujutatud alal järviku kaguosas. Kaislaväljast kirde pool on alalisi veesilmasid veelgi, kuid need on sügavamad, mistõttu pole kaldaveetaimestik neid vallutanud. Lisaks saleda tarna ja kaislakooslusele on järviku kaguosas ulatuslikumalt levinud ka luhttarnakooslus. Omapärasena on järviku keskosa idaküljel allikasoo. Seda toidavad järviku idakaldal olevad alalised allikad, mis järviku veega täitumise perioodil on vee all, kuid erinevalt järviku kagutipus olevatest allikatest jätkavad tööd ka järviku kuivamisel ning tagavad allikasookoosluse levikuks piisava niiskuse. Allikasoo põhja- ja ida pool on lünk- ja luhttarnakoosluste levikualad. Uuritud järvikutest ainsana valitses Saksi loodesopi keskosas vesikersi puhaskooslus. Puistut on järviku servades ning saartel ja poolsaartel, mis igal aastal (sh uuringuaastal) vee alla ei jäägi.



Joonis 4.8.9. Saksi taimekooslused.

4.8.4. Suurselgrootud

Proovikoht oli järvi kagukaldal. Järvik oli taksonivaene (14). Arvukamad rühmad olid tüüpilised vesikakand (*Asellus aquaticus*) ja pistesääsklased. Ajutiste vete taksonid esindasid ehmeistiivalised *Grammotaulius sp*, sooehmeslane *Holocentropus stagnalis* ja lombipurukas (*Trichostegia minor*). Siin leidis vähemalt kahte liiki kiilivastseid, keda enamikus teistes järvikutes ei märgatud. Seisund alaliste karedaveeliste järvede kriteeriumite järgi oli kesine (Tabel 4.8.3).

Tabel 4.8.3. Saksi karstijärvi suurselgrootute kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a kevadel. T – üldine taksonirikkus, H' – Shannoni erisus, ASPT – taksoni keskmine tundlikkus, EPT – tundlike taksonite rikkus, MMQ – seisund, Chir% - surusääsklaste vastsete protsent taksonite üldarvust

Kuupäev	T	H'	ASPT	EPT	suse_m (MMQ)	MESH	Chir%
04.04.2025	14	1,85	5,67	5	12	0,67	0,1

4.8.5. Fütoplankton

Proov võeti järvi kaguosas kaldaveest. Järvi fütoplankton oli ainsana suure biomassiga, mille moodustasid peamiselt neelvetikaperekonna *Cryptomonas* liigid. Ohtralt oli ka rohevetikat *Koliella sp*, mis on iseloomulik külmale veele. Kevadisele aspektile on iseloomulik ka koldvetikate *Dinobryon sertularia* ja *Synura sp* esinemine. Seisund alaliste järvede kriteeriumite alusel oli kesine (Tabel 4.8.4).

Tabel 4.8.4. Saksi järvi fütoplanktoni kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud. Chl a – klorofüll a sisaldus µg/l; J – ühtluse indeks; FKI – fütoplanktoni koondindeks; FLA – liikide arv loendusproovis ja võrkude proovis; FBM – biomass g/m³; CY, BAC, CHL, CONJ, CHR, CRY, DINO, EU – vastavalt sini-, räni-, rohe-, ikkes-, kold-, neel-, vaguvibur-, silmviburvetikate biomass g/m³

Kuupäev	Chl-a	J	FKI	FLA	FBM	CY	BAC	CHL	CONJ	CHR	CRY	DINO	EU	Dominandid	Kooslus
04.04.2025	4	0,51	1,67	7+3	10,6	0	0	0,03	0	0,19	10,4	0,05	0	<i>Cryptomonas sp</i> , <i>Koliella sp</i>	Kesine

4.8.6. Zooplankton

Saksi järvikust oli võimalik zooplanktoni proovi võtta nii märtsis kui aprillis. Zooplanktoni arvukus ja biomass olid aprillis peaaegu kümme korda suuremad kui märtsis (Tabel 4.8.5) Suurima osa zooplanktoni arvukusest ja biomassist moodustasid mõlemas proovis erinevates arengujärgkudes sõudikud *Acanthocyclops robustus*. Aerialgsetest leiti proovides veel hiidaerik (*Hemidiaptomus amblyodon*). Vesikirbulistest oli proovides esindatud *Daphnia cristata*, *D. curvirostris* ja *D. longispina*. Keriloomadest leiti perekonna *Polyarthra* ja *Synchaeta* esindajaid ning *Keratella quadrata* ja *Notholca caudata* ning aprillis moodustas keriloomade arvukus koguarvukusest üle 10%. Märtsis kogutud zooplanktoni proovis esines ka üksikuid loimureid (Tardigrada).

Tabel 4.8.5. Saksi järvi metazooplanktoni rühmade arvukus (A) ja biomass (BM) ning peamiste rühmade osa koguarvukusest ja biomassist

	Kuupäev	Kokku	Cladocera	Copepoda	Rotatoria	Clad %	Cop %	Rot %
A, ind m ⁻³	25.03.2025	70 263	13	66 000	4250	0,0	93,9	6,0
A, ind m ⁻³	19.04.2025	760 925	2750	656 175	102 000	0,4	86,2	13,4
BM, mg m ⁻³	25.03.2025	215	0	210	5	0,1	97,6	2,3
BM, mg m ⁻³	19.04.2025	2549	41	2388	119	1,6	93,7	4,7

4.8.7. Fütobentos

Saksi karstijärviku fütobentose määrang (fübe_m) oli väga hea (Tabel 4.8.6). Ränivetikate spetsiifiline reostustundlikkuse ja troofsuse indeks näitasid väga head ning Watanabe indeks head seisundit. Kokku määrati 13 taksonit bentilisi ränivetikaid. Selles karstijärvikus oli kaks domineerivat liiki: *Achnanthydium minutissimum* (32,3%) ja *Gomphonema subclavatum* (32,3%). Arvukalt esines *Eunotia bilunaris* (17,9%). Nimetatud kolm liiki moodustasid tervelt 82,4% määratud isenditest ning liigiline mitmekesisus oli järvis Assamalla järel teiseks kõige väiksem. *Achnanthydium minutissimum* on iseloomulik vähetoitelistele, *Gomphonema subclavatum* kesктоitelistele ning *Eunotia bilunaris* eriti vähetoitelistele veekogudele. Saksi oli Jalgsema kõrval uuritud järvikutes teine, kus eutroofsete vete tunnusliiki *Gomphonema parvulum* peaaegu polnud, seda leiti vaid 1,1% arvukusega.

Tabel 4.8.6. Saksi karstijärviku fütobentose kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a. kevadel

Aeg	Substraat	Taksonite arv	fübe indeksid			fübe_m
			IPS	WAT	100-TDI	
22.04.2025	makrofüüdid	13	17,3	12,7	71,6	väga hea

4.8.8. Kokkuvõte

Väheste olemasolevate andmetega võrreldes oli järvis maksimaalne ulatus uuringuaastal pigem keskmisest väiksem. Järvis toiteala jääb sellest ida kagu poole. Suure maksimaalse täitumise aegse lämmastikuisalduse poolest sarnanes järvis enamike uuritud Pandivere järviskutes. Fosforisisaldus oli järvis maksimaalse veetaseme ajal mõõdukas ning hiljem suurenes, nagu enamikes uuritud järviskutes. Järvis põhjaveeseire kaevu andmete põhjal saab järeldada, et järvis maksimaalse täitumise ajal olnud fosfor võis pärineda põhjaveest. Klorofüll a sisaldus järvis suurenes kevadeks märkimisväärselt. Seega saab järvis lugeda veekvaliteedi andmete põhjal mõõdukalt eutrofeerunuks.

Elustikurühmad näitasid vastandlike seisundihinnanguid. Suurselgrootute ja fütoplankton põhjal oli seisund kesine, samas fütobentose põhjal väga hea. Suurselgrootute osas viis seisundihinnangu alla üldine taksonivaesus, samas tundlike taksonide oli sama palju kui Kiriklas ning üheski teises järvis neid niipalju ei leitud. Üldine taksonivaesus võib olla karstijärviskutele loomumane ning suurselgrootute kesine seisund tuleneda seetõttu hindamissüsteemi sobimatusest. Fütoplanktoni osas oli Saksi aga ainus, kus selle biomassi sai hinnata suureks, mistõttu viitab see pigem eutrofeerumisele. Zooplanktoni poolest domineerisid aerjalgsed, nagu enamikes järviskutes. Samas oli järvis aprillis arvukuse poolest mõnevõrra rohkem keriloomi kui uuritud järviskutes keskmiselt. Taimestik valitsesid üsna monotoonsed saleda tarna ja päideroo kooslused. Nii, et võib järeldada, et järvis elustikus kajastuvad teatud määral eutrofeerumise ilmingud. **Järvis seisund on pigem ebasoodne kui soodne ning sellele avaldab ilmselt negatiivset mõju põhjavee mõõdukas lämmastikuisaldus, aga võimalik, et ka fosforisisaldus.**

4.9. Tudre karstijärvik

Tudre karstijärvik asub Järva vallas Tudre külas. Maa- ja Ruumiameti ortofotodest on järvikut kõige veerohkemana kujutatud 26.05.2010 fotol (Joonis 4.9.1). Järviku väljanägemist 25.03.2025 on kujutatud joonisel 4.9.2.



Joonis 4.9.1. Tudre karstijärvik Maa-ja Ruumiameti 26.05.2010 ortofotol ning veetaseme anduri ja seirekaevu asukoht.

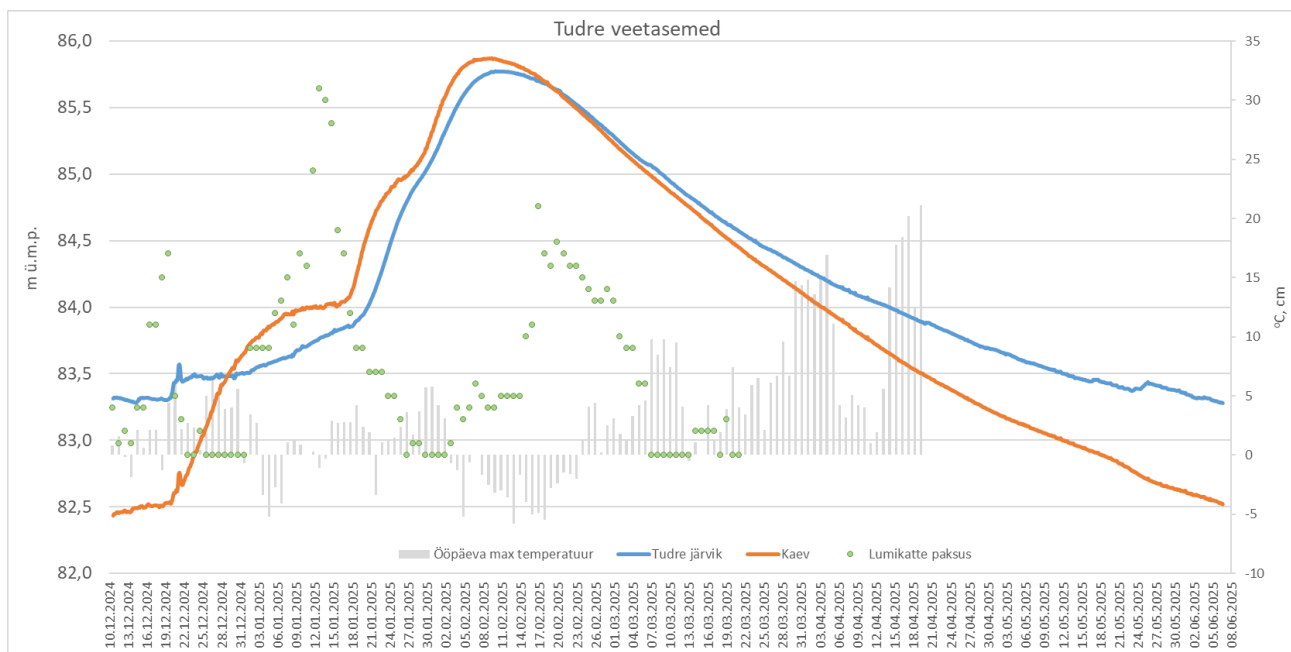


Joonis 4.9.2. Tudre karstijärvik 25.03.2025. Pilt: Marko Vainu.

4.9.1. Hüdroloogia

Veetaseme andur paigaldati järvi länepoolse osa kitsa idasopi alguses olevasse veesilma (Joonis 4.9.1) 10.12.2024. Veesilm oli sellel ajal kaetud inimest kandva jääga. Veesilm on tõenäoliselt teatud mahus alaline, sest see oli, küll väiksemana, olemas ka 2024. aasta juuli keskel. Anduri peal oli sissepanekul 21 cm vett. Samal päeval paigaldati põhjaveetaseme andur järvikust 500 m põhja poole, Tudre küla Kõrtsi talu salvkaevu. Elanike sõnul peaks kaev olema 17 m sügavune, kuid anduri paigutamisel ei läinud sügavusmõõtja sügavamale kui 13,5 m. Anduri paigaldamise ajal oli kaevus ca 2,7 m vett. Veetase oli kaevus ca 90 cm sügavamal kui järvikus. See viitab, et järvikus olnud veesilm rippus sellel hetkel põhjaveetaseme kohal ja oli tõenäoliselt sinna moodustunud nõkku valgunud pinnavee tõttu. Veesilma multimeetriga mõõdetud elektrijuhtivus oli küll ca 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ehk sademe- või lumesulamisveest kümneid kordi suurem. See võis tuleneda veesilma all olevast pinnasest välja leostunud ühenditest, arvestades, et ala kasutatakse karjamaana. Sobiv kaev otsiti Tudre külla järvikust põhja poole, kuna Vainu et al (2019) töös esitatud kontseptuaalse mudeli põhjal asub järvi toiteala sellest põhja pool.

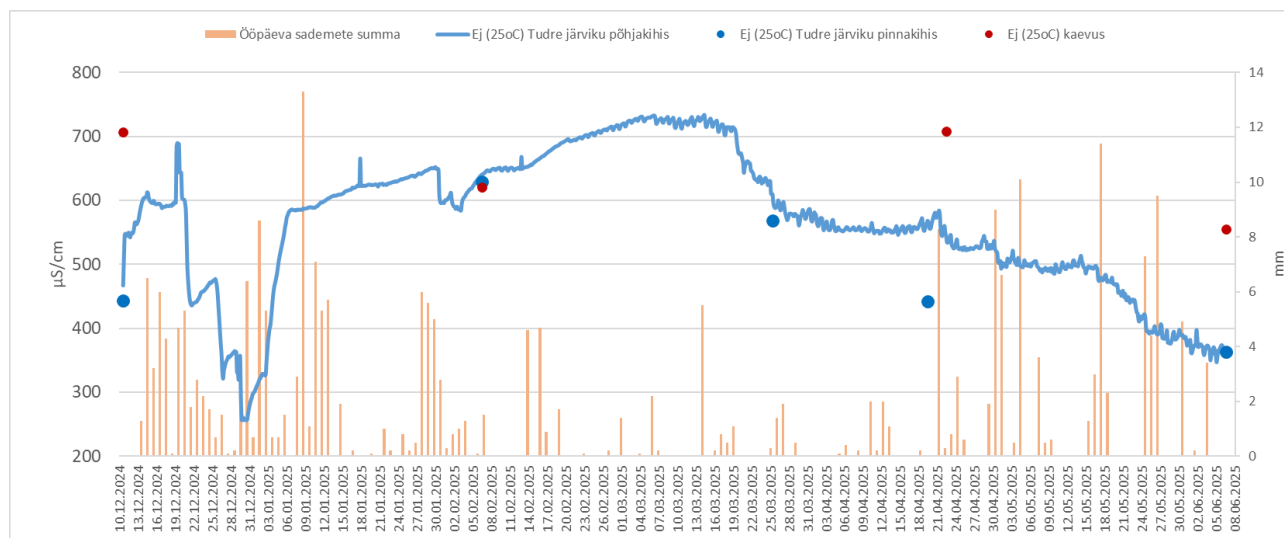
Kuni 20. detsembrini püsis järvi veetase enam-vähem stabiilne ning hakkas siis tõusma (Joonis 4.9.3). Sel päeval tõusis vesi 24 h jooksul 13 cm. Ilmselt põhjustas kiire veetaseme tõusu järvikut katnud jää sulamine, sest koos veetaseme tõusuga langes vahepeal, ilmselt kergkruusaploki lahustumise tõttu, kiiresti suurenenud elektrijuhtivus järvikus ühe ööpäeva jooksul üle 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ning kuni 30. detsembrini veel 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ võrra. Pärast 20. detsembri kiiret ühepäevast tõusu muutus veetase kuni 1. jaanuarini mõne cm piires. Põhjaveetaseme oli aeglaselt tõusnud alates anduri sissepanekust, kuid kiirem tõus algas 20. detsembri öösel. Samal ajal oli kiire põhjaveetaseme tõus alanud ka Kuksema ja Jalgsema järvikutes ja Jalgsema kaevus, aga ka põhja pool Assamalla ja Võhmetu ning Rähni talu kaevus. Võimalik, et ka Saksi ja Einjärve kaevudes, aga nendes polnud siis veel andureid sees. Veetaseme tõusule eelnenud 19. detsembril oli õhutemperatuur plussis ning Väike-Maarja ilmajaamas mõõdeti 5 mm sademeid (Joonis 4.9.3). Päeva jooksul vähenes lumikatte paksus ilmajaamas 12 cm võrra. Seega käivitasid vihm ja rohke sulavesi põhjaveetaseme tõusu väga lühikese viibeajaga. Tudre järvi veetase põhjaveetaseme tõusmisele kohe reageerima ei hakanud, sest põhjaveetaseme oli järvi nõo põhjast madalamal.



Joonis 4.9.3. Veetaseme muutus Tudre karstijärvikus ja Kõrtsi talu kaevus 10.12.2024 kuni 06.06.2025; ööpäeva maksimaalne õhutemperatuur ja lumikatte paksus Väike-Maarja meteoroloogiajaamas (andmed, v.a veetasemed: Keskkonnaagentuur).

Põhjaveetaseme kaevus tõusis järvikus oleva, ilmselt pinnaveelise, lombi veetasemest kõrgemale 29. detsembril. Järvi vee elektrijuhtivus hakkas kiiresti tõusma 30. detsembril (Joonis 4.9.4) ning veetase paari cm haaval

ööpäevas alates 1. jaanuarist. Seega algas nendel päevadel põhjavee sissevool järvikusse. 1. jaanuariks oli veetaseme erinevus kaevu ja järviku vahel kasvanud ligi 20 cm-ni ning see jätkas suurenemist. Põhjaveetaseme tõus pidurdus 9. jaanuaril ning hakkas uuesti kiiremini tõusma 16. jaanuarist. Sarnasel ajal toimus põhjaveetaseme tõusu pidurdumine ka Jalgsema seirekaevus. Võimalikke põhjuseid, miks see toimus hiljem ja nõrgemalt kui Assamalla ja Einjärve kaevudes, on lahatud Jalgsema järviku peatükis (ptk 4.4.1). Uus kiirem tõus algas Tudre seirekaevus samal ajal, nagu Jalgsema seirekaevus, ning vaid päeva hiljem kui Assamalla, Einjärvel ja Saksis. Veetaseme tõusu käivitavaks põhjuseks oli tõenäoliselt 14. jaanuari sulailm, mille käigus hakkas vahepeal ilmajaamas 30 cm paksuseks kasvanud lumekiht kiirelt kahanema.



Joonis 4.9.4. Elektrijuhtivus (25°C) Tudre järviku põhjakihis automaatanduri ning pinnakihis ja Kõrtsi talu kaevus üksikmõõtmiste põhjal; ööpäeva sademete summa Väike-Maarja meteoroloogiajaamas (andmed, v.a elektrijuhtivus: Keskkonnaagentuur).

Järviku veetase tõusis aga, vaatamata põhjaveetaseme tõusu pidurdumisele, endise kiirusega, mistõttu vahepeal üle 30 cm kasvanud veetasemete erinevus vähenes uuesti 20 cm juurde. Järviku veetaseme tõus kiirenes alates 18. jaanuarist ehk paar päeva pärast põhjaveetaseme kiire tõusu algust, nagu oli juhtunud ka aasta lõpus. Maksimaalse veetaseme (85,77 m ü.m.p) saavutas järvik 9. veebruaril. Veeproovi võtmise ajal, 6. veebruaril järvikul jääd peal polnud. Põhjaveetaseme maksimum oli saanud poolteist päeva varem ehk 7. ja 8. veebruari vahetusel. Järviku ja põhjaveetaseme erinevus oli järviku maksimaalse veetaseme ajaks vähenenud kümne cm-ni. Seega toimus järviku täitumine tüüpilisel viisil, olles pidevalt mõned päevad ülesvoolu olevast põhjaveetasemest maas. Veeproovi võtmise ajal, 6. veebruaril olid nii kaevuvee, järvikust logeri mõõdetud kui ka pinnakihist multimeetriga mõõdetud elektrijuhtivused sarnased, vastavalt 620, 640 ja 630 µS/cm.

Põhjaveetaseme hakkas langema 10. veebruaril ehk vaid päev hiljem kui Jalgsemas, kuid kümmekond päeva hiljem kui Assamalla ja Einjärvel. Viibe põhjused on ilmselt samad, mis jaanuari esimese poole veetaseme tõusu viibega pidurdumise puhul. Järviku maksimaalne veetase püsis kuni 12. veebruarini ning hakkas siis langema. Selleks ajaks oli veetasemete erinevus vähenenud kuue sentimeetrini. Vähemalt 85,70 m ü.m.p oli järviku veetase 6. veebruarist 17. veebruarini. Kuna põhjaveetaseme langes järviku veetasemest kiiremini, langes kaevu veetase järviku veetasemest madalamale 19. veebruaril. Ka see, et langusfaasis on järviku veetase põhjaveetasemest maas, on karstijärvikutele tüüpiline, kuna järviku põhjas olevate neelukohtade vee läbilaskevõime on vähemal või rohkemal määral piiratud.

Järviku elektrijuhtivus hakkas kiiresti vähenema 19. märtsil. Selleks ajaks oli kaevu ja järviku veetasemete erinevus logerite andmete põhjal järviku kasuks üle kümne cm. Võimalikku mõõtmiste ebatäpsust arvestades võis põhjaveetaseme järvikust põhja pool tegelikult alles siis järviku veetasemest madalamale langeda ning põhjaveevool järvikusse lakata. Kuigi võiks eeldada, et elektrijuhtivuse languse taga oli põhjavee päritoluga vee asendumine sulavee päritoluga veega, siis languse alguseks, 19. märtsiks, oli suurema sulamise lõpust

juba kaks nädalat möödas (Joonis 4.9.4) ning ei järvi ega seirekaevu veetasemes sulavee mõju ei väljendunud. Kui põhjapoolsete järvikute või vähemalt nende seirekaevude puhul algas lühiajaline, ilmselt sulaveest tingitud veetaseme tõus 5. või 6. märtsil, siis sarnaselt Jalgsema seirekaevule ei toimunud Tudre seirekaevus, rääkimata järvikust, isegi lühiajalist veetaseme tõusu.

Kui 6. veebruaril olid nii kaevu, järvi pinnakihi kui ka logeriga mõõdetud elektrijuhtivused kooskõlas (erinevus ca 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ning ka 25. märtsil ja 4. aprillil erinesid pinnakihi ja logeri tulemused alla 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siis 19./22. aprillil oli kaevu ja pinnakihi erinevus 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ning loger mõõtis järvi põhjas nende väärtuste vahel oleva elektrijuhtivuse (Joonis 4.9.3). Tõenäoliselt oli 19. aprilli pinnakihi elektrijuhtivuse puhul tegemist vigase mõõtmistulemusega, kuna selle põhjal arvutatud mineraalainete sisaldus oleks ca 50 mg/l väiksem, kui samal ajal võetud proovist määratud HCO_3^- sisaldus (290 mg/l vs 340 mg/l) (Tabel 4.9.2). Kuna HCO_3^- sisaldus oli aprilli teises pooles sarnane märtsi teisele poolele, võis tegelik pinnakihi elektrijuhtivus olla ca 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mis on sisuliselt sama logeri tulemusega. Seda arvestades ühtisid kõik kuus pinnakihi elektrijuhtivuse üksikmõõtmist logeri andmetega hästi ning võib loota, et pärast detsembri keskel kergkruusaploki lahustumisest tekkinud anomaalset piiki, mõõtis loger elektrijuhtivusi adekvaatselt. Kuna järvi elektrijuhtivused olid kõigil kordadel, peale 6. veebruari, kaevu elektrijuhtivusest vähemalt 170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ väiksemad, aga 6. veebruaril sisuliselt samad, võib järeldada, et maksimaalse veetaseme perioodil täitis järvikut peaaegu täielikult põhjavesi, kuid hiljem, järvi tühjenemisel, lisandus järjest enam pinnaveelist komponenti. Millist päritolu oli see märtsi keskpaigast aprilli keskpaigani, kui sademeid oli vähe, jäi saladuseks. Elektrijuhtivus vähenes kuni juuni alguseni, mil loger järvikust eemaldati. Kuna alates aprilli teisest poolest sagesid sademehõhked päevad, saaks elektrijuhtivuse vähenemise kanda põhjavee päritoluga vee sademeveega asendumise arvele.

Veetaseme langus nii põhjavees kui järvikus oli tõusust aeglasem ning 6. juuniks oli anduri peale jäänud 18 cm vett. Järvik loeti piisavalt kuivanuks ning andur eemaldati järvikust. Selleks ajaks oli põhjaveetaseme seirekaevus langenud 76 cm järvi veetasemest madalamaks. Kui lugeda järvi veeperioodi alguseks 20. detsembrit ja lõpuks 1. juunit, kui järvi veetaseme oli uuesti sama madal, nagu 20. detsembril kiire tõusu alguses, kestis veeperiood 165 päeva.

Uuringu tulemuste põhjal **saadi toetust** Vainu et al (2019) töös esitatud **Tudre karstijärvi kontseptuaalses mudelis esitatule, et järvi toiteala jääb sellest põhja poole**. Selgus, et seal suunas on põhjaveetaseme järvi täitumise ajal järvikust kõrgem, mis viitab, et vesi voolab järvi poole. Tühjenemisfaasis võib aga esineda n.ö tagasivoolu, kus järvikust tagasi põhjaveekihti valguv vesi liigub lisaks kontseptuaalses mudelis esitatud lõuna- ja edelasuunale ka põhjasuunas.

Järvi ulatuse, sügavusjaotuse ja mahu väljaselgitamiseks kasutati Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku ülelennu LiDAR-andmeid (ülelennu kuupäev 13.06.2020). Ortofoto põhjal oli järvi ülelennu ajal kuivanud, välja arvatud veesilm, milles uuringu ajal oli veetaseme loger (Joonis 4.9.5). Küll aga oli järvi põhja ülelennu ajaks taimestunud. **Järvi kaldajoon, sügavusjaotus ja maht modelleeriti lähtudes kõrgusjoonest 85,70 m ü.m.p.** Kõrgusmudeli põhjal on järvi ida- ja lääneosa vahele ühenduse tekkimiseks vajalik veetaseme 85,65 m ü.m.p ning 09.02 tehtud vaatluse põhjal olid osad maksimaalse veetaseme ajal ühendatud (Joonis 4.9.6). Kevadel 2022 määrati järvi kõrgeimaks veetasemeks samuti 85,70 m ü.m.p (Vainu et al, 2019). **Sellele kõrgusjoonele vastava polügooni pindala ilma suuremate saarteta on koostatud kõrgusmudelil 12,6 ha** (Joonis 4.9.7).

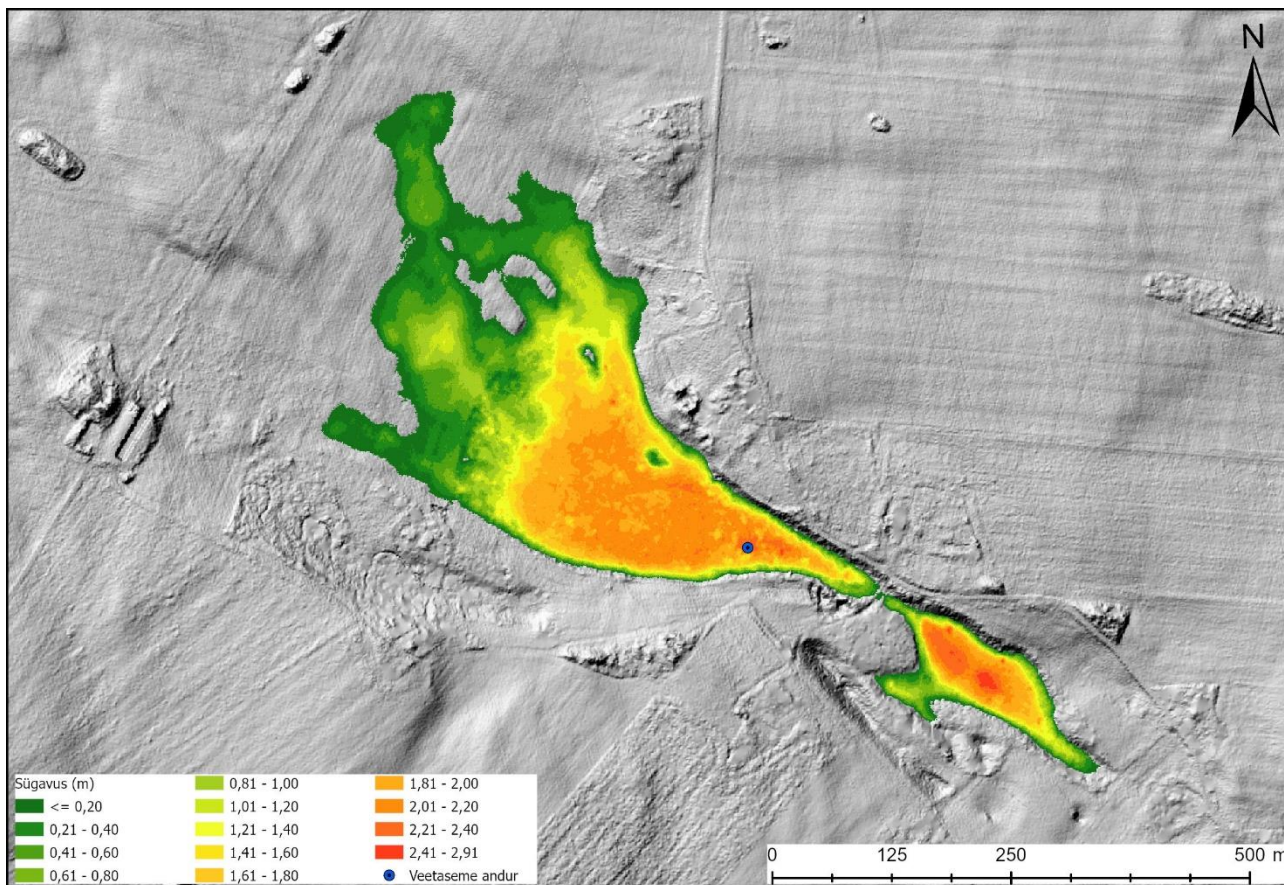


Joonis 4.9.5. Tudre karstijärviku veepiir tasemel 85,75 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudelile.



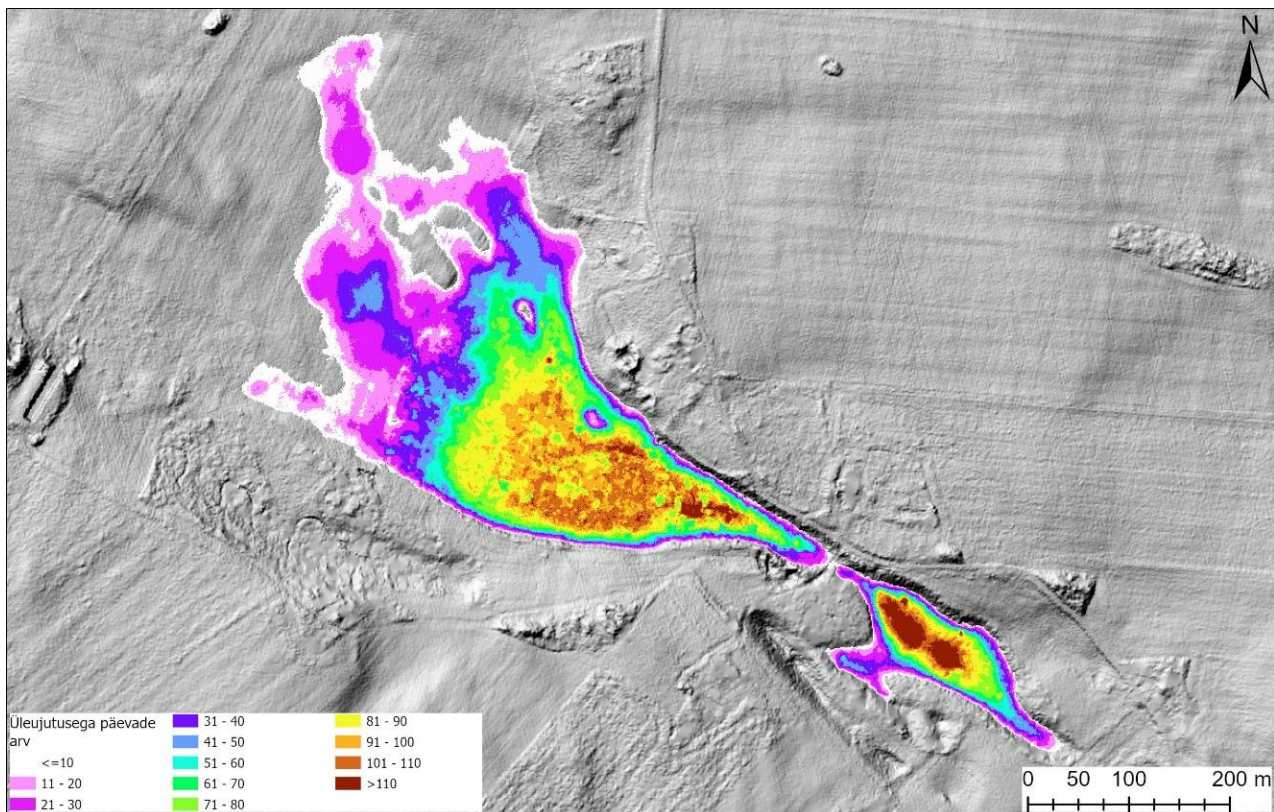
Joonis 4.9.6. Vesi Tudre järviku ida- ja läänepoolset osa ühendaval teel 09.02.2025 (Pilt: Marko Vainu).

Veetaseme 85,75 m ü.m.p põhjal modelleeritud 1x1 m resolutsiooniga sügavusjaotuste kaardil on järvi suurimaks sügavuseks ca 2,9 m. Sügavaim ala asub järvi idapoolse osa keskel (Joonis 4.9.7). **Veetaseme anduri asukohas mõõdetud suurim veesügavus maksimaalse täitumise ajal oli ca 2,7 m ü.m.p.** Samal ajal oli modelleeritud veesügavus samas kohas ca 2,4 m ü.m.p. Erinevus tuleneb ilmselt asjaolust, et kõrgusmudeli aluseks oleva LiDAR-ülelennu ajal oli veesilmas vesi sees. Sügavusandmetest on näha, et suuremas osas järvis oli maksimaalse veetaseme ajal sügavus üle pooleteise meetri ning järvi mõlema osa nõgu on lauge. Madalam, alla meetri, oli sügavus ulatuslikul alal järvi lääneosas, kus vesi ulatus haritavale põllule. Järvi põhjaosas on väike saar ning kaks suuremat saart moodustuvad kõrgema veetaseme ajal järvi loodeosas põllule. **Järvi modelleeritud maht maksimaalse veetaseme ajal oli ca 170 000 m³ ning keskmine sügavus uuritud järvikutest kõige suurem, 1,0 m.**



Joonis 4.9.7. Tudre karstijärvi sügavus veetaseme kõrgusel 85,75 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudelile.

Modelleeritud üleujutuse kestuse andmete põhjal püsis järvi loodusliku maakattega osas vesi valdavalt kuni kolm kuud (Joonis 4.9.8). Järvi ida- ja läänepoolne osa olid modelleeritud andmete põhjal ühendatud aga alla kümne päeva. Järvi lääneosas põllul püsis vesi veebruari jooksul kuni kuu, kuid sügavamates kohtades üle pooleteise kuu. Järvi idaosas püsis suurem veesilm nende andmete põhjal kauem kui lääneosas.



Joonis 4.9.8. Päevade arv vahemikus 10.12.2024 kuni 06.06.2025, mil vastav ala Jalgsema karstijärvikus oli vee all Maa- ja Ruumiameti 2020. aasta metsandusliku lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudeli ja veetaseme anduri mõõtmistulemuste põhjal.

4.9.2. Hüdrokeemia

Tudre järvikust mõõdeti vee väliparameetrid kuuel korral ning võeti veeproove kolmel korral. Detsembris ja juunis mõõdeti väliparameetrid veetaseme logeri asukohas, aprilli alguses fütoplanktoni ja suurselgrootute proovivõtu ajal järvi idapoolse osa läänekaldal. Ülejäänud kordadel mõõdeti väliparameetrid ja võeti veeproovid järvi läänepoolse osa põhjakaldal. Detsembris mõõdeti väliparameetrid jääaugust, ülejäänud kordadel lahtisest veest.

Järvi pH oli uuringu ajal kalgiveelistele järvedele tüüpilises vahemikus 7,4-st 8,1-ni (Tabel 4.9.1). Lahustunud ainete sisaldus (mineraalsus) oli Simmi (1975) klassifikatsiooni järgi detsembris, aprillis ja juunis suurenenud ning veebruaris ja märtsis suur. Aluselisis oli kõigil analüüsikordadel suur. HCO_3^- moodustas veebruari alguses mineraalsusest 80% ning märtsis 95%. Aprillis moodustas see justkui 120%, kuid see viitab, et aprilli teise poole mineraalsuse ja elektrijuhtivuse mõõtmistulemus oli vigane. Hapnikuolud järvis olid pigem head. Erinevalt enamikest teistest järvikutest ei olnud Tudre veebruari alguses jääga kaetud (teine selline oli Assamalla). See aitas kaasa järvi talvistele headele hapnikuoludele. Juunis oli vesi hapnikuga üleküllastunud, kuid selleks ajaks oli järvikust alles jäänud vaid väike lomp.

Üldlämmastiku sisaldus oli veebruaris väga halval, märtsis kesisel ning aprillis väga heal tasemel (Tabel 4.9.2). Seega vähenes ka Tudres veega täitumise perioodi jooksul vee lämmastikusisaldus oluliselt. Nitraatlämmastik moodustas veebruaris 87% ja märtsis 81% üldlämmastikust. Aprillis oli nitraatlämmastiku sisaldus napilt üle määramispiiri.

Üldfosfori sisaldus oli veebruaris kesisel, ülejäänud kordadel väga halval tasemel. Kõige suurem oli fosforisisaldus aprillis. Sellest suuremaid üldfosfori sisaldusi mõõdeti vaid Assamalla ja Kuksema järvikutest. Seega oli fosforisisalduse trend sarnane enamikele teistele järvikutele. Fosfaatfosfor moodustas veebruaris 57% üldfosforist, kuid märtsis ja aprillis vaid 20%. Suur orgaanilise fosfori osakaal võiks pigem viidata fosfori allikana taimse massi lagunemisele, kui pinnasest eraldumisele, samas pidanuks sellisel juhul suurenema ka järvi lämmastiku sisaldus. Nii, et rohke orgaanilise fosfori päritolu jäi ka selle järvi puhul saladuseks.

Nagu toiteainete sisalduse muutus, oli ka klorofüll a sisalduse muutus Tudres sarnane Saksi järvikule. See oli järvikus juba veebruaris kesisel tasemel, kuid siiski oluliselt madalam kui näiteks Assamalla ja Kuksemas ning ka veidi madalam kui Saksis. Märtsiks oli see kümnekordistunud ja näitas halba seisundiklassi. Aprilli alguses fütoplanktoni proovi võtmise ajal määratud klorofüll a sisaldus oli ka selles järvikus oluliselt madalam kui enne ja pärast seda võetud proovides. Aprilli teiseks pooleks oli klorofüll a sisaldus muutunud enam kui kolm korda suuremaks, kui see oli olnud märtsis. Saadud näit 73 µg/l oli uuringu suurim. Seega võiks ka selle järviku puhul kehtida hüpotees, et lämmastikusisaldus väheneb, kuna väheneb selle sissevool põhjavee kaudu ning lämmastik seoti tänu ohtra fosfori olemasolule biomassi. Fosfori peamised allikad olid aga järvikus endas ning seetõttu fosforisisaldus suurenes, vaatamata aktiivsele produktsioonile. Aprilli teiseks pooleks oli N:P suhe vähenenud alla 16:1, mistõttu muutus produktsiooni limiteerivaks elemendiks fosfor ning tõenäoliselt väheneb seetõttu ka produktsioon.

Orgaanilise aine sisaldus oli veebruaris mõlemal viisil määratuna väike. Märtsis oli see KHT_{Cr} järgi keskmine, aga KHT_{Mn} järgi endiselt väike, aprillis KHT_{Cr} järgi suur ning KHT_{Mn} järgi keskmine, kuigi suure piiril. Seega suurenes järviku orgaanilise aine sisaldus järjepidevalt. Oksüdeeritavusprotsenti ei saanud veebruaris määrata, kuna KHT_{Cr} oli alla määramispiiri. Märtsis oli see 34% ja aprillis 29%, mis viitab, et valdav osa orgaanilisest ainest oli moodustunud veefaasis, kuid rolli mängis ka kuiva faasi ajal moodustunud orgaanilise aine lagunemine vette või valgalalt sissekantud aine. Kollast ainet oli enim aprillis, kuigi napilt alla 7 mg/l, mistõttu sai järvikut endiselt lugeda heledaveeliseks (Ott et al, 2021). Ilmselt pärines kollane aine järviku kuiva faasi ajal moodustunud taimestikuga lagunemisest ja/või üleujutatud pinnasest.

Järviku saab veekvaliteedi ja klorofüll a andmete põhjal lugeda eutrofeerunuks.

Kõrtsi talu kaevust määrati vee väliparameetreid neljal korral ja võeti veeproove kahel korral. Proovid võeti batomeetriga *Uwitec Water Sample Bailer USB 50015*. Kuna multimeetri juhe kaevu rakke servast veepinnani ei ulatunud, võeti ka väliparameetrite määramiseks vesi kaevust batomeetriga. Juunis kasutati väliparameetrite võtmiseks kaevus oleva pumbaga ühendatud voolikut, lastes enne värskel veel voolikust läbi voolata.

Kaevuvee pH oli detsembris ja veebruaris järviku vee pHs-t suurem (Tabel 4.9.1). Aprillis ja mais, kui kaevu veetaseme oli järviku veetasemest madalamale langenud (Joonis 4.9.3), oli kaevuvee pH järviku omast väiksem. Kaevuvee mineraalsus oli detsembris, mil põhjaveetaseme oli veel järvikus olevast lombist madalam, järviku mineraalsusest oluliselt suurem. Veebruaris, maksimaalse veetaseme ajal oli see järvikuga sarnane ning aprillis ja juunis taas oluliselt suurem. Mõlemal korral oli HCO_3^- sisaldus kaevuvees järviku veest suurem. HCO_3^- sisaldus moodustas mineraalsusest veebruaris 90% ja aprillis 95%. Seega oli kaevuvesi järviku veega küllalt sarnane just veebruaris, mis oli proovivõtukordadest ainus, kui veetaseme andmete põhjal põhjaveetaseme järviku veetasemest kõrgemal oli. See viitab kaevuvee jõudmisele järvikusse.

Üldlämmastiku sisaldus kaevuvees oli veebruaris järvikust 35% väiksem, aprillis kaheksa korda suurem (Tabel 4.9.2). Sarnased proportsioonid olid nitraatlämmastiku sisaldusel. Nitraatlämmastik moodustas veebruaris kaevu üldlämmastiku sisaldusest 88%, aprillis peaaegu 100%. Üldfosfori sisaldus oli mõlemal korral alla määramispiiri. Alla määramispiiri oli mõlemal korral ka orgaanilise aine sisaldus KHT_{Cr} järgi ning KHT_{Mn} järgi oli see määramispiiri lähedal. Seega oli kaevuvees paljuvõitu vaid lämmastikku. Samas oli seda veebruaris, kui kaevuvesi pidi kõigi eelduste kohaselt järvikusse jõudma, kaevus vähem kui järvikus. Sarnane olukord oli ka Saksi järviku seirekaevus. Seega saaks järeldada, et järvikusse jõudis lämmastik küll põhjavee kaudu, kuid seda pidi lisanduma veel kusagilt. Kui Saksi puhul oli fosforit ka seirekaevus ning sai järeldada, et järviku täitumisaegne fosforisisaldus võis pärineda põhjaveest, siis Tudre puhul kaevus fosforit polnud, mistõttu täitumisaegse fosfori allikas jäi välja selgitamata. Kuna Tudre järviku lääneosas jäi üleujutatud ala sisse põld, siis on võimalik, et osa toiteaineid pärines põllule laotatud väetistest. Kuna kaevuvee mineraalsus järviku vee mineraalsusega sobis ning kaevuvees polnud ka märke lokaalsest reostusest (orgaanilise aine sisaldus oli väike), siis võib pigem järeldada, et **Kõrtsi talu kaev sobib Tudre järvikule põhjavee kaudu avalduva mõju seireks.**

Tabel 4.9.1. Tudre järvikust ja Kõrtsi talu kaevust välitingimustes mõõdetud näitajad. *Näitajad mõõdeti järviku idapoolse osa läänekaldal

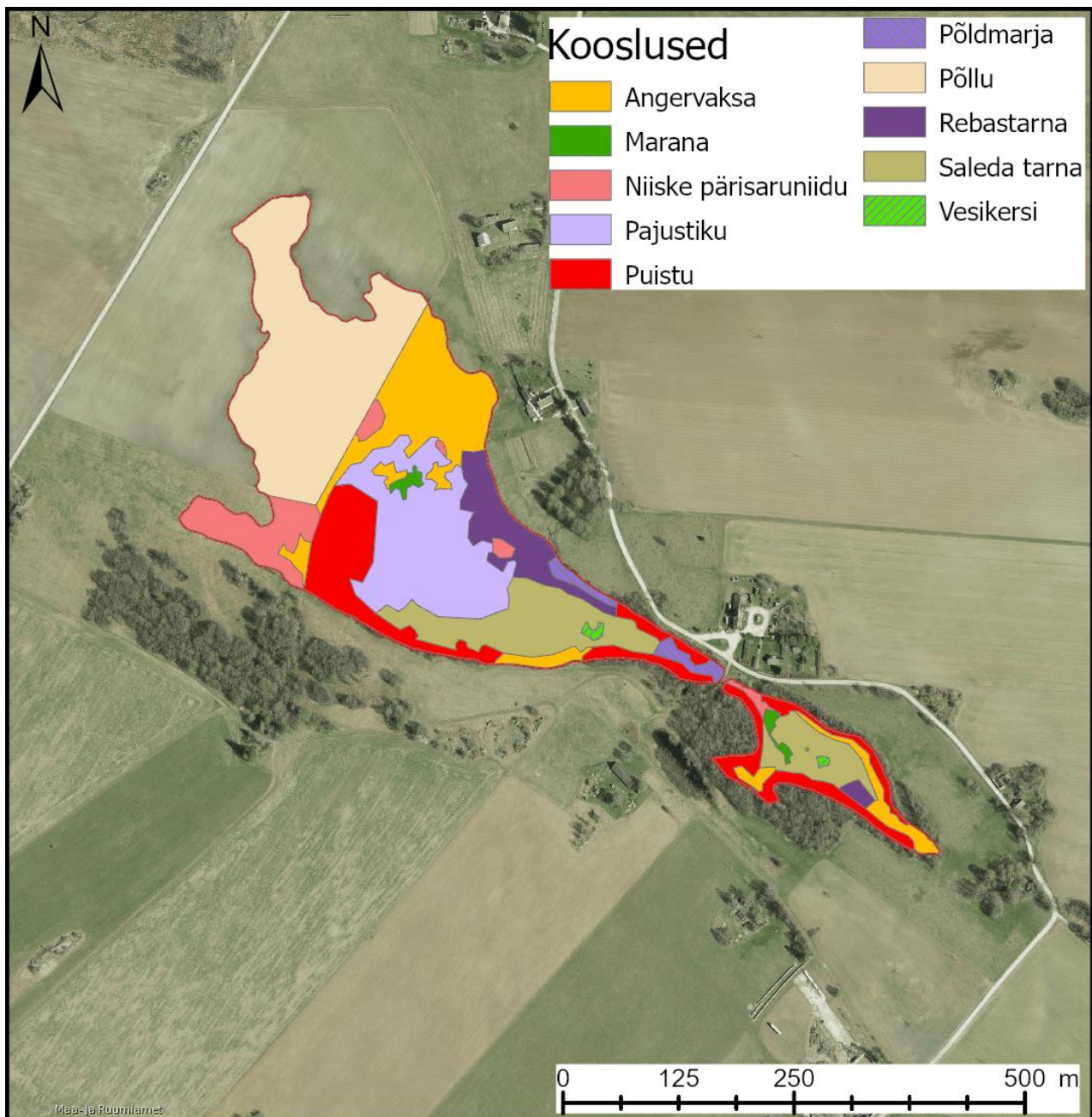
Objekt	Kuupäev	pH	ORP (mV)	SEC (µS/cm)	TDS (mg/l)	Temp (°C)	O ₂ (mg/l)	O ₂ %	Hägusus (NTU)
Järvik	10.12.2024	7,4	241	443	288	0,9			
Järvik	06.02.2025	7,6	181	628	408	3,2	10,9	80	
Järvik	25.03.2025	7,7	286	568	369	4,0	12,5	88	
Järvik	04.04.2025*	8,1	136	538	350	11,6			3,2
Järvik	19.04.2025	8,1	245	442	287	19,3	7,5	82	
Järvik	06.06.2025	8,1	236	363	236	17,2	11,9	123	
Kaev	10.12.2024	7,6	264	706	459	7,0			
Kaev	06.02.2025	8,2	175	620	403	6,6			
Kaev	22.04.2025	7,5	300	708	460	7,4			
Kaev	06.06.2025	7,8	132	554	360	12,5			

Tabel 4.9.2. Tudre järvikust ja Kõrtsi talu kaevust võetud proovidest laboris määratud näitajad

Objekt	Kuupäev	Nüld (mg/l)	NH ₄ ⁻ -N (mg/l)	NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	Püld (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)	TN:TP	KHT _{Cr} (mgO/l)	KHT _{Mn} (mgO/l)	Y (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Chl-a (µg/l)
Järvik	06.02.2025	6,2	<0008	5,4	0,007	0,028	0,016	221	<14	3,1	1,8	329	2,2
Järvik	25.03.2025	3,1	<0008	2,5	0,019	0,073	0,014	42	28	9,6	3,0	348	23
Järvik	04.04.2025												1,0
Järvik	19.04.2025	1,1	<0008	0,01	<0,005	0,120	0,024	9	51	15	6,9	342	73
Kaev	06.02.2025	4,1	<0,008	3,6	<0,005	<0,02	<0,005		<14	1,6		366	
Kaev	22.04.2025	8,5	<0,008	8,4	<0,005	<0,02	0,008		<14	1,1		445	

4.9.3. Taimestik

Tudre paigutub koos Saksi, Assamalla ja Jalgsemaga märgade kõrgrohustute rikaste ning konkreetsemalt saleda tarna ja angervaksa koosluste domineerimisega järvikute hulka. Järviku idaosas on ulatuslikul alal levinud pajustik ning üleujutusala jääb ka uuritud järvikutest kõige suurem haritava põllu osa (Joonis 4.9.9). Põllust lõuna pool on söötis niiske pärisaruniit, mida varasematel aastatel on tõenäoliselt niidetud. Looduslikest lagealadest hõlmab järvikus kõige suurema osa aga saleda tarna kooslus. Seda on nii järviku lääne- kui ka idaosas. Teistest kooslustest levib järviku loodeosas, lühema üleujutuse kestusega alal, angervaksakooslus. Uuringuaastal oli enamik sellest niidetud. Ülejäänud järvikus karjatati veiseid. Järviku lääneosa põhjaservas oli laiemal alal esindatud veel ka rebastarna kooslus, ülejäänud kooslused hõlmasid peamiselt järviku servades väiksemaid alasid.



Joonis 4.9.9. Tudre taimekooslused.

4.9.4. Suurselgrootud

Proovikoht oli järvikut läbivast teest ida poole jääva osa läänekaldal, mis oli järviku lääneosast vähem mudastunud. Järvik oli taksonivaene (15). Põhi oli muude veekogudega võrreldes kõva ning murune, mitte suurte tarnadega. Arvukamad taksonid olid mõned liigini määramata ehmediivalised perekonnast järvevana (*Limnephilus*) ning surusääsklased. Kõige huvitavam leid oli väike (<1 cm) ajutiste vete vähk *Branchipus schaefferi*, keda võib-olla pole Eestist enne leitudki. Seisund alaliste kalgiveeliste järvede kriteeriumite järgi oli kesine (Tabel 4.9.3).

Tabel 4.9.3. Tudre karstijärviku suurselgrootute kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a. kevadel. T – üldine taksonirikkus, H' – Shannoni erisus, ASPT – taksoni keskmine tundlikkus, EPT – tundlike taksonite rikkus, MMQ – seisund, Chir% - surusääsklaste vastsete protsent taksonite üldarvust

Kuupäev	T	H'	ASPT	EPT	suse_m (MMQ)	MESH	Chir%
04.04.2025	15	2,72	3,71	4	11	0,71	18,8

4.9.5. Fütoplankton

Proov võeti järvikut läbivast teest ida poole jääva osa kaldaveest. Tudre järvik oli Saksiga võrreldes sarnane, sest neis domineeris fütoplankton, kuigi Tudres oli biomass Eesti järvede keskmisega võrreldes ca üle poole võrra väiksem. Kui enamasti olid uuritud järvikutes domineerimas neelvetikad perekonnast *Cryptomonas*, siis siin oli oluline roll ka koldvetikatel perekondadest *Mallomonas* (eriti *M. akrokomos*) ja *Stichogloea*. Seisund alaliste järvede kriteeriumite alusel oli kesine (Tabel 4.9.4).

Tabel 4.9.4. Tudre järviku fütoplanktoni kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud. Chl a – klorofüll a sisaldus µg/l; J – ühtluse indeks; FKI – fütoplanktoni koondindeks; FLA – liikide arv loendusproovis ja võrkude proovis; FBM – biomass g/m³; CY, BAC, CHL, CONJ, CHR, CRY, DINO, EU – vastavalt sini-, räni-, rohe-, ikkes-, kold-, neel-, vaguvibur-, silmviburvetikate biomass g/m³

Kuupäev	Chl-a	J	FKI	FLA	FBM	CY	BAC	CHL	CONJ	CHR	CRY	DINO	EU	Dominandid	Kooslus
04.04.2025	1	0,36	0,67	11+4	2,76	0,017	0	0,06	0	0,45	2,13	0,11	0	<i>Cryptomonas</i> sp, <i>Mallomonas akrokomos</i> , <i>Stichogloea</i> sp	Kesine

4.9.6. Zooplankton

Tudre järvikust oli võimalik zooplanktoni proovi võtta nii märtsis kui aprillis. Kui märtsis oli zooplanktoni arvukus keskmine ja biomass väike, siis aprillis olid biomass suur ning arvukus isegi väga suur. Mõlemad näitajad olid märtsiga võrreldes suurusjärgu võrra kasvanud (Tabel 4.9.4). Üle 95% kogu zooplanktoni arvukusest ja biomassist moodustasid aerjalgsed ja neist omakorda valdavalt *Acanthocyclops robustus* naupliused ja vähikvastsed. Aerjalgsetest esines proovides veel hiidaerik (*Hemidiaptomus amblyodon*) ja karstijärvikutele iseloomulik ning Eestis haruldane sega-aerik (*Mixodiaptomus theeli*). Vesikirbulistest esines proovides *Daphnia cristata*, keriloomadest *Brachionus* sp, *Monostyla stenroosi* ja *Notholca caudata*.

Tabel 4.9.4. Tudre järviku metazooplanktoni rühmade arvukus (A) ja biomass (BM) ning peamiste rühmade osa koguarvukusest ja biomassist

	Kuupäev	Kokku	Cladocera	Copepoda	Rotatoria	Clad %	Cop %	Rot %
A, ind m ⁻³	25.03.2025	67353	880	64493	1980	1,3	95,8	2,9
A, ind m ⁻³	19.04.2025	951719	25	941694	10000	0,0	98,9	1,1
BM, mg m ⁻³	25.03.2025	307	13	292	2	4,3	95,1	0,6
BM, mg m ⁻³	19.04.2025	3701	0	3685	16	0,0	99,6	0,4

4.9.7. Fütobentos

Tudre karstijärviku fütobentose seisund (fübe_m) oli väga hea (Tabel 4.9.6). Ränivetikate spetsiifiline reostustundlikkuse ja troofsuse indeksid näitasid väga head seisundit, Watanabe indeks head seisundit. Kokku määrati 22 taksonit bencilisi ränivetikaid (uuritud järvikutest enim). Dominantseid liike polnud. Arvukalt esines liike *Planothidium lanceolata* (17,3%) ja *Gomphonema subclavatum* (13,3%). *Planothidium lanceolata* on iseloomulik eutroofsetele vetele ning *Gomphonema subclavatum* mesotroofsetele vetele. Vähetoitelisele vetele iseloomulike *Eunotia* perekonna liikide arvukus oli 22,1%. Enamikes uuritud järvikutes arvukat või domineerivat eutroofsete vete tunnusliiki *Gomphonema parvulum* oli Tudres aga vaid 8%.

Tabel 4.9.6. Tudre karstijärvi fütobentose kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a. kevadel

Aeg	Substraat	Taksonite arv	fübe indeksid			fübe_m
			IPS	WAT	100-TDI	
22.04.2025	makrofüüdid	22	15,6	12,5	53,8	väga hea

4.9.8. Kokkuvõte

Tudre järvik saavutas uuringuaastal varasemate teadaolevate väheste andmetega võrreldes maksimumilähedase ulatuse. Järviku toiteala jääb sellest põhja poole. Suure maksimaalse täitumise aegse lämmastiksisalduse poolest sarnanes järvik enamike uuritud Pandivere järvikutega. Fosforisisaldus oli järvikus maksimaalse veetaseme ajal mõõdukas ning hiljem suurenes, nagu enamikes uuritud järvikutes. Järviku põhjavee seirekaevus oli fosforisisaldus väike ning kuna kaev hinnati põhjavee poolt järvikule avalduva mõju seireks enam-vähem sobivaks, siis ei saa järviku fosforisisaldust seostada põhjaveega. Järvikute täitumisaegse fosfori päritolu jäi mõistatuseks mitme järviku puhul, kuid Tudres võis sellesse panustada põld, millele järvik kuni ühe kuu vältel ulatus. Klorofüll a sisaldus järvikus suurenes kevadeks märkimisväärselt, saavutades aprilliks suurima uuringus mõõdetud väärtuse. Seega saab järviku lugeda veekvaliteedi andmete põhjal eutrofeerunuks.

Elustiku osas näitasid nii suurselgrootud kui ka fütoplankton kesist ning fütobentos väga head seisundit. Suurselgrootute osas viis seisundihinnangu alla üldine taksonivaesus, samas tundlikke taksonid oli heal tasemel. Üldine taksonivaesus võib olla karstijärvikutele loomuline ning suurselgrootute kesine seisund tuleneda seetõttu hindamissüsteemi sobimatusest. Samas oli Tudre järviku fütobentose ränivetikate taksonite arv uuritud karstijärvikute seas kõrgeim. Zooplanktoni poolest domineerisid aerjalgsed ning keriloomi oli nii biomassilt kui arvukuselt väga vähe. Leiti haruldast ja seni vaid karstijärvikutest teada olevat sega-aerikut. Taimestik hoidis monotoonsete koosluste kujunemist ära karjatamine ja niitmine, kuid tõenäoliselt oleks järviku taimestik ilma selleta erinenud vähe Jalgsema ja Saksi järvikutest. Nii, et võib järeldada, et järviku elustikus kajastuvad teatud määral eutrofeerumise ilmingud, kuid vähem kui Saksis. **Järviku seisund on seetõttu pigem soodne kui ebasoodne, kuigi põhjavee suur lämmastiksisaldus avaldab sellele ilmselt teatavat negatiivset mõju.**

4.10. Võhmetu karstijärvik

Võhmetu karstijärvik asub Tapa vallas Piisupi külas. Maa- ja Ruumiameti ortofotodest on järvikut kõige veerohkemana kujutatud 06.05.2022 fotol (Joonis 4.10.1). Järviku väljanägemist 19.04.2025 on kujutatud joonisel 4.10.2.



Joonis 4.10.1. Võhmetu karstijärvik Maa-ja Ruumiameti 06.05.2022 ortofotol ning veetaseme anduri ja seirekaevu asukoht.



Joonis 4.10.2. Võhmetu karstijärvik 19.04.2025. Pilt: Kaili Jaago.

4.10.1. Hüdroloogia

Veetaseme loger paigaldati järviku põhjaosas olevasse laia lohku (Jooni 4.10.1) 10.12.2024. Lohk oli sellel ajal kuiv ning kogu järviku põhjaosa oli metssigade poolt ülessongitud (Joonis 4.10.3).



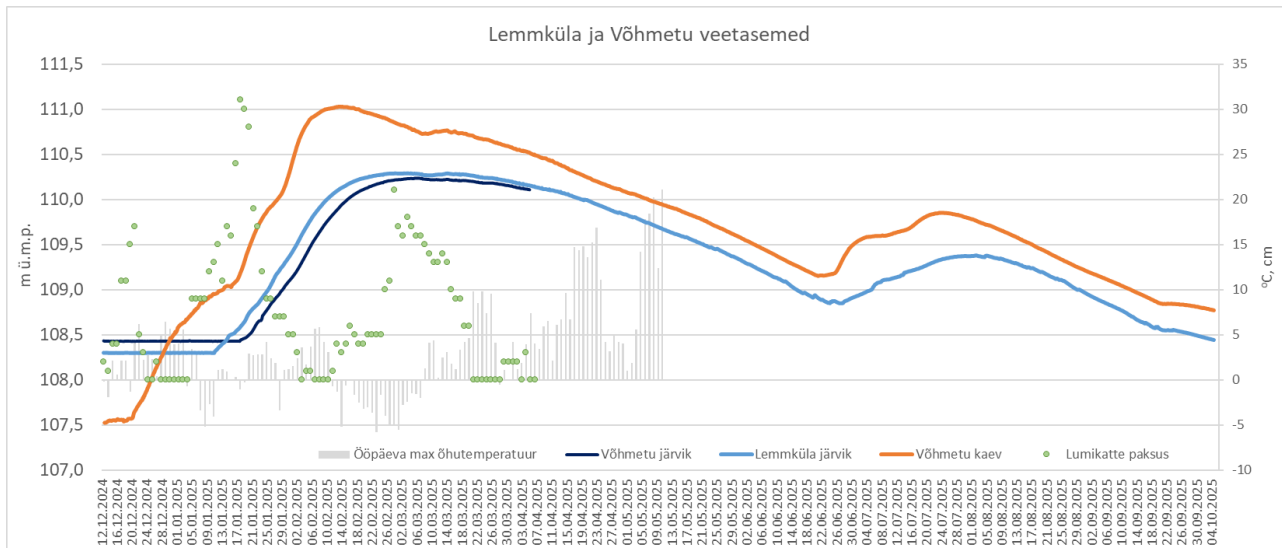
Joonis 4.10.3. Metssigade poolt ülessongitud Võhmetu järviku põhjaosa 12.12.2025. (Pilt: Marko Vainu)

Samal päeval paigaldati põhjaveetaseme loger järvikust ca 900 m kagu poole Roosa-Mihkli talu 8,4 m sügavusse salvkaevu. Logeri paigaldamise ajal oli kaevus ca 1,7 m vett. Veetase oli kaevus 80 cm madalamal kui lohu põhi järvikus oleva anduri asukohas. Vainu et al (2019) töös esitatud kontseptuaalse mudeli põhjal asub järviku toiteala sellest ida ja kagu pool. Sellel suunal on järvikule lähim asustus Võhmetu külas, mistõttu otsiti sobivat kaevu just sealt. Roosa-Mihkli talu salvkaevu kasutati lisaks Võhmetu järvikule ka Lemmküla järviku seirekaevuna, kuna järvikud asuvad lähestikku ning nende toitealad on Vainu et al (2019) töö põhjal kõrvuti.

Veetaseme muutusi Roosa-Mihkli kaevus on detailsemalt kirjeldatud Lemmküla järviku peatükis (ptk 4.7.1). Siin tuuakse nende puhul välja ainult aspekte, mis on Võhmetu järviku veetaseme muutustega seoses olulised. Kaevu veetase tõusis üle järvikus oleva logeri kõrguse 30. detsembril (Joonis 4.10.4). Loger püsis aga kuiv kuni 17. jaanuarini, seega kuus päeva kauem kui Lemmküla järvikus. Uuritud järvikutest oli Võhmetu täitumise algus kõige hilisem. Võhmetu loger asus küll ca 15 cm kõrgemal kui Lemmküla loger, kuid hetkeks, mil järvikus olev loger vee alla jäi, oli veetase kaevus tõusnud 75 cm üle logeri kõrguse (Lemmkülas oli täitumise alguseks erinevus kaevu veetasemega 65 cm) ning veetase Lemmküla järvikus oli kümnekond cm üle Võhmetu logeri kõrguse. Selle põhjal saab järeldada, et põhjavesi liikus sellel perioodil Lemmküla järviku poolt Võhmetu poole, kuigi Roosa-Mihkli kaev on Võhmetu järvikule lähemal kui Lemmküla järvikule. Need andmed viitavad arvatust veelgi keerulisemale põhjavee voolusüsteemile Võhmetu-Lemmküla järvestikus.

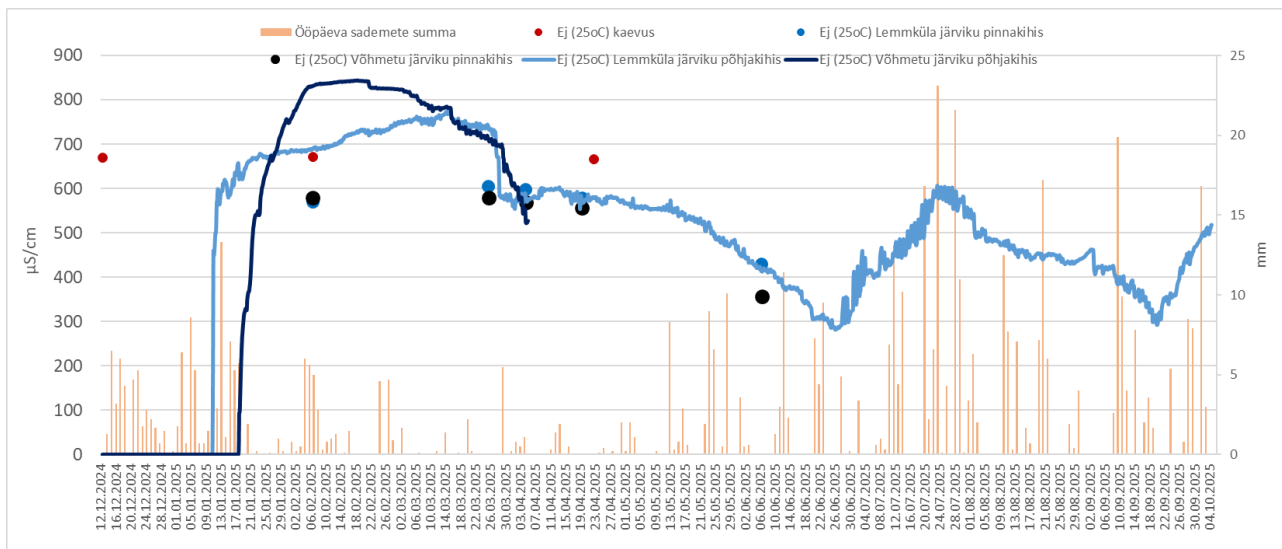
Veetaseme tõusu perioodi jooksul suurenes järvikute veetasemete erinevus veebruari alguses Lemmküla kasuks 30 cm-ni. Lisaks logeri andmetele kinnitasid sellist erinevust ka RTK GPSiga 6. veebruaril tehtud mõõtmised, mis näitasid, et Lemmküla järviku veetase oli 27 ± 6 cm Võhmetu omast kõrgem. Veetaseme maksimumi saavutas Võhmetu järvik 5. märtsil (110,43 m ü.m.p). Seega sarnaselt täitumise algusele saabus ka veetaseme tipp Võhmetus nädalajagu päevi pärast Lemmküla. Samas oli mõlema järviku maksimaalse veetaseme kõrgus sarnane. Veetaseme maksimum Roosa-Mihkli kaevus oli saavutatud aga juba 12. veebruaril ehk ligi kolm nädalat varem ning selleks hetkeks, kui Võhmetu järvik maksimaalse veetasemeni jõudis, oli kaevu veetase maksimumiga võrreldes juba ca 25 cm langenud. Sarnaselt Lemmküla järvikule püsis

Võhmetu veetase maksimumi lähedal üsna kaua. Veetase oli vähemalt 110,40 m ü.m.p 26. veebruarist 19. märtsini. Veetaseme langus toimus mõlemas järvikus, erinevalt tõusust, samas tempos. Paraku lõpetas Võhmetu veetaseme ja elektrijuhtivuse loger töö 5. aprilli öösel, kui logeri peal oli veel ca 1,7 m vett ning võimalikke erinevusi järvikute veetasemete vahel langusfaasis ei olnud võimalik tuvastada. RTK GPSiga 22. aprillil ja 6. juunil tehtud mõõtmiste põhjal olid järvikute veetasemed GPSi viga arvestades samal kõrgusel. Selle põhjal võib järeldada, et langusfaasis veetasemete erinevust ei tekkinudki.



Joonis 4.10.4. Veetaseme muutus Lemmküla ja Võhmetu karstijärvikutes ning Roosa-Mihkli talu kaevus; ööpäeva maksimaalne õhutemperatuur ja lumikatte paksus Väike-Maarja ilmajaamas (andmed: Keskkonnaagentuur).

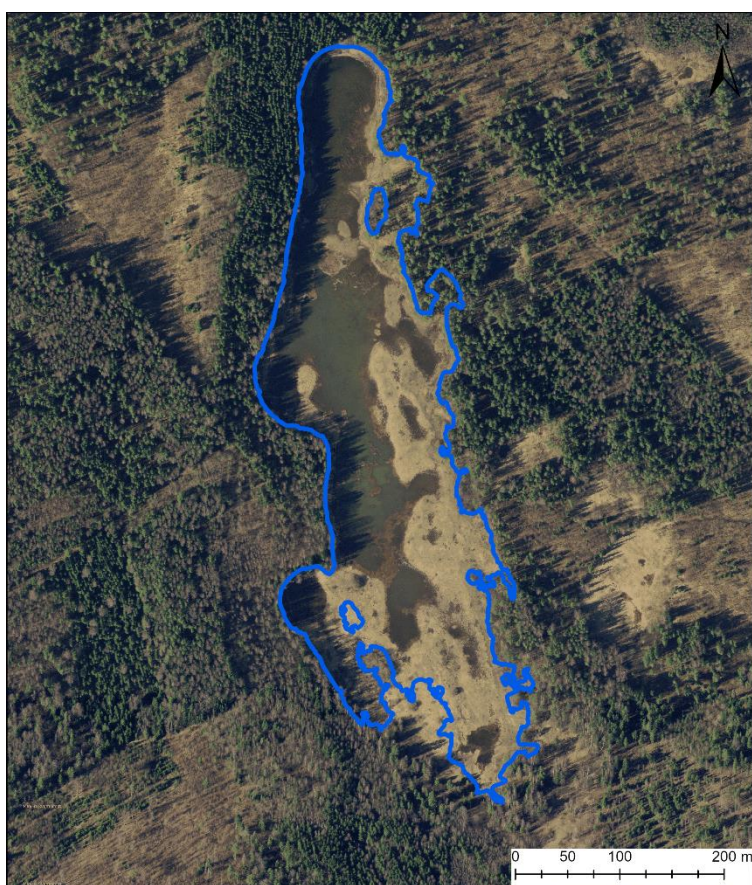
Logeriga mõõdetud elektrijuhtivus tõusis pärast täitumise algust paari nädala jooksul 830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ni (Joonis 4.10.4). See oli veelgi suurem kui Lemmkülas ning 6. veebruaril logeri asukoha lähedal, aga järviku pinnakihis mõõdetust 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ suurem. Selline erinevus viitab kergkruusaploki lahustumisele. Hiljem hakkas logeriga mõõdetud elektrijuhtivus, sarnaselt Lemmküla järvikule vähenema, kuid loger lõpetas töö enne kui elektrijuhtivuse kohta eeldatavalt adekvaatsemaid andmeid hakanuks tulema. Multimeetriga mõõdetult oli järviku elektrijuhtivus veebruaris Lemmkülaga sarnane, märtsis ja aprillis kuni 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ning juunis ca 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ väiksem.



Joonis 4.10.5. Elektrijuhtivus (25°C) Lemmküla ja Võhmetu järviku põhjakihis logeri ning pinnakihis ja Roosa-Mihkli talu kaevus üksikmõõtmiste põhjal; ööpäeva sademete summa Väike-Maarja ilmajaamas (andmed: Keskkonnaagentuur).

Järeldused, mida veetaseme andmete põhjal Võhmetu järvikuga seoses teha oli võimalik, on esitatud koos Lemmküla järvikut puudutavate järeldustega peatükis 4.7.1.

Järviku ulatuse, sügavusjaotuse ja mahu väljaselgitamiseks kasutati Maa- ja Ruumiameti 2013. aasta kevadise ülelennu LiDAR-andmeid (ülelennu kuupäev 03.05.2013). Ortofoto põhjal oli järvikus ülelennu ajal enamjaolt vesi sees (Joonis 4.10.6), kuid tegemist oli kõige kuivema kõrgusandmetega ülelennuga, mistõttu polnud võimalik paremaid andmeid kasutada. Seetõttu on selle põhjal modelleeritud sügavuse, mahu ja üleujutuse kestuse andmed tugevalt alahinnatud. **Järviku kaldajoon, sügavusjaotus ja maht modelleeriti lähtudes kõrgusjoonest 110,40 m ü.m.p. Sellele kõrgusjoonele vastava polügooni pindala ilma suuremate saartetea on koostatud kõrgusmudelil 9,1 ha.** Varem on järviku veepiir ortofotodelt eristatava orienteeruva maksimaalse veetaseme põhjal modelleeritud Consultare OÜ (2014) töös, kuid pole teada, millist kõrgusjoont toona kasutati. Selle polügooni pindala on 12,5 ha (Joonis 4.10.7). Selle veepiiri korral hõlmab Võhmetu järvik ka kahte ida poole jäävat soppi, mis uuringuaastal vähemalt kõrgusandmete põhjal Võhmetuga ühist veevälja ei moodustanud, kuid milles vesi eeldatavalt sees oli. Kuna teiste Tamsalu ümbruse karstijärvikute veetasemed jäid 2025. aastal vähemal või rohkemal määral alla 2022. aastale, mil samuti nende maksimaalset veetaset määrati (Vainu et al, 2022), siis võib eeldada, et sama olukord oli Võhmetu järviku puhul. Järelikult markeerib vasem Võhmetu järviku piirjoon selle võimalikku maksimaalset veetaset paremini kui 2025. aasta piirjoon.

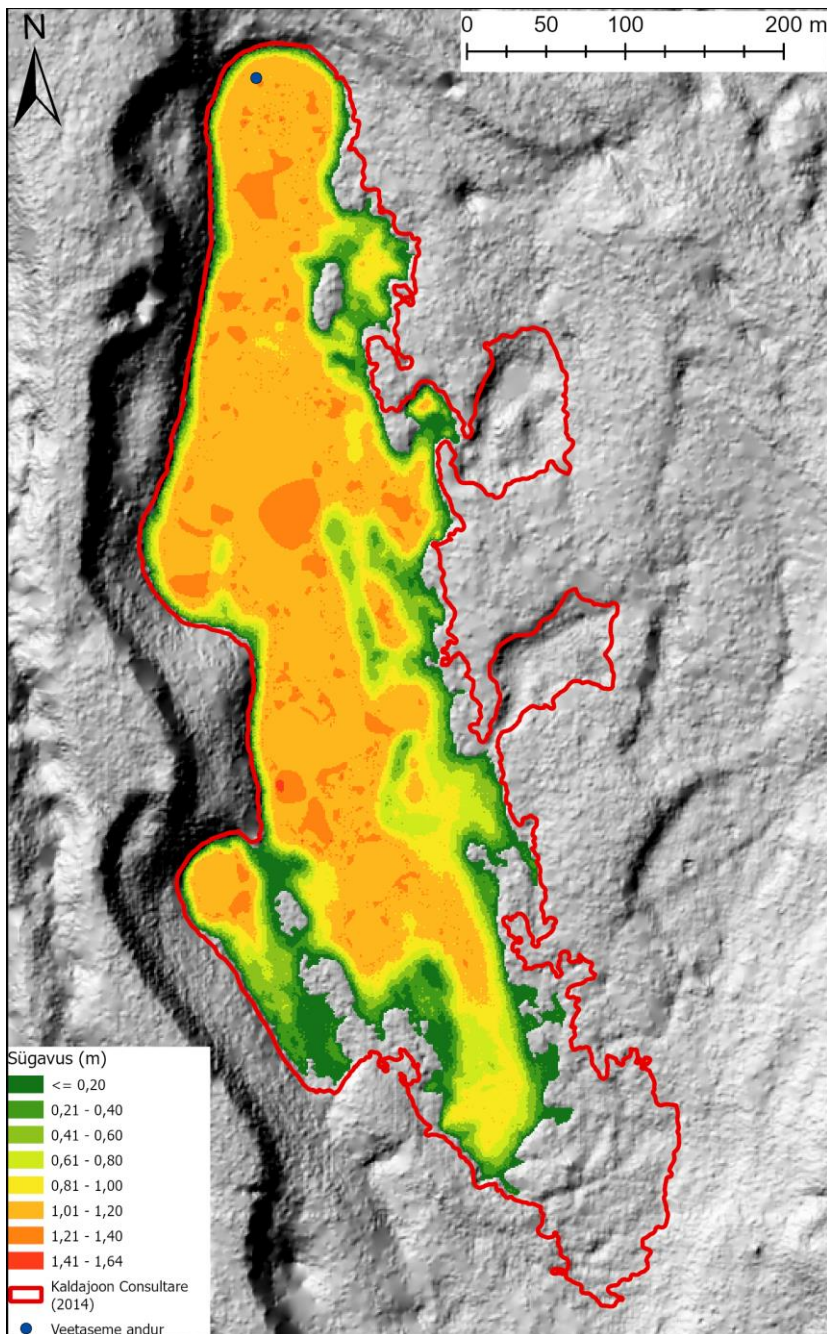


Joonis 4.10.6 Võhmetu karstijärviku veepiir tasemel 110,40 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2013. aasta kevadise lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudelile.

Veetaseme 110,40 m ü.m.p põhjal modelleeritud 1x1 m resolutsiooniga sügavusjaotuste kaardil on järviku suurimaks sügavuseks ca 1,60 m ning sügavaimad alad on väikesed lohud järviku keskosas (Joonis 4.10.7). Kuna aga kõrgusmudelil on tegelikes sügavamates kohtades vesi sees, siis ei kajasta sügavuskaart suurimaid sügavusi adekvaatselt. Tõenäoliselt on järviku sügavaim osa põhjaosas, alal kus asus uuringu jooksul veetaseme loger. **Veetaseme logeri asukohas oli modelleeritud veesügavus maksimaalse täitumise ajal ca 1,2 m, logeri andmetel oli veesügavus seal ca 1,8 m.** Seega on sügavuskaardil sügavused kuni 60 cm võrra alahinnatud.

Sügavusandmetest on näha, et järviku edelaosas asub ülejäänud järvikust peaaegu eraldatud lohk, mis uuringuaastal oli maksimaalse veetaseme ajal ülejäänud järvikuga ühendatud alla 30 cm veekihiga (Joonis

4.10.7). Sügavam ning ülejäänud järvikust kõrgemate künnistega eraldatud lohk asub ka järviku idaosas. Kaks järviku põhiosast itta väljaulatuvat sopistust, mis kõrgema veetaseme korral on järvikuga ühendatud (Joonis 4.10.7), 2025. aastal logeri ja kõrgusmudeli põhjal järvikuga ühtset veevälja ei moodustanud. Kuna pole teada, kas nende maksimaalne veetase oli sama, mis ülejäänud järvikul, siis nende sügavusandmeid kaardile ei kantud, kuigi nende põhjade absoluutkõrguseid arvestades oli neis vesi sees Võhmetu järviku veest sõltumatult. Kõrgusmudeli põhjal piisanuks nende ülejäänud järvikuga ühendamiseks ca 10 cm kõrgemast veetasemest. Kuna mõlemad asuvad põhjaveetaseme suhtes järvikust ülesvoolu, pole välistatud, et nende veetase võis olla ülejäänud järvikust mõnevõrra kõrgemal ning neist võis maksimaalse veetaseme ajal vesi ülejäänud Võhmetu järvikusse voolata. Nende ja neist lõuna pool asuva Laksi järviku hüdrooloogilist seost ülejäänud Võhmetu järvikuga tuleks edaspidi uurida mitme veetaseme logeriga, mis mõõdavad veetaset samaaegselt nii neis kui ka järviku põhiosas. Laksi järvikut ühendab Võhmetu järvikuga reljeefivarjutusel ja looduses eristuv nõva, mille olemasolu põhjuseks on ilmselt teatud veetasemete korral moodustuv veevool kummaski, aga seni teadmata, suunas.



Joonis 4.10.7. Võhmetu karstijärviku sügavus veetaseme kõrgusel 111,40 m ü.m.p vastavalt Maa- ja Ruumiameti 2013. aasta kevadise lennu käigus kogutud LiDAR-andmete alusel loodud 1x1 m kõrgusmudelile.

Järviku põhjaosas asub saar, mis ilmselt jääb vee alt välja ka veerohkemate aastate maksimaalsete veetasemete ajal, sest selle tipp küündib üle 110,8 m ü.m.p. Uuringuaastal oli maksimaalse veetaseme ajal üks väiksem saar ka järviku edelaosas, kuid veerohkematel aastatel jääb see vee alla, nagu on näha Maa- ja Ruumiameti 2022. aasta kevadisel ortofotol (Joonis 4.10.1).

Järviku kõrgusmudeli põhjal modelleeritud maht maksimaalse veetaseme ajal oli 78 000 m³ ja keskmine sügavus 0,9 m, kuid taaskord tuleb rõhutada, et need on tegelikkusega võrreldes tugevalt alahinnatud.

Üleujutuse kestuse kaarti polnud järvikule võimalik modelleerida veetaseme logeri rikke tõttu maksimaalsest veetasemest vaid veidi madalama veetaseme ajal.

4.10.2. Hüdrokeemia

Võhmetu järvikust mõõdeti vee väliparameetrid viiel korral ning võeti veeproove neljal korral. Väliparameetrid mõõdeti ja veeproovid võeti veetaseme anduri asukoha lähistelt järviku põhjakaldal. Detsembris ja märtsis võeti veeproovid ja mõõdeti parameetrid jääaugust, ülejäänud kordadel lahtisest veest.

Järviku pH oli uuringu ajal kalgiveelistele järvedele tüüpilises vahemikus 7,4-st 8,2-ni (Tabel 4.10.1). 1967. aastal oli järviku pH sarnane, 7,8–8,1 (Mäemets, 1977), 2010. aastal veidi kõrgem 8,0–8,5 (Ott, 2010). Lahustunud ainete sisaldus (mineraalsus) oli Simmi (1975) klassifikatsiooni järgi kõigil kordadel, peale juuni, suur ja varieerus vähe. Juuni alguseks oli mineraalainete sisaldus vähenenud keskmisele tasemele, mis viitab, et osa põhjaveelise päritoluga veest oli asendunud sademeveega. Vesinikkarbonaadi sisaldus oli veebruaris, märtsis ja aprillis suur ning juunis suurenenud. 1967. aastal oli see vahemikus 212–326 mg/l (Mäemets, 1977), seega sisuliselt identne käesoleva uuringu tulemustega. Samasse vahemikku jäi HCO₃⁻ sisaldus ka 2010. aastal (Ott, 2010). HCO₃⁻ moodustas 2025. aasta veebruari alguses mineraalsusest vaid 70%, hiljem 85%–90%. Seda, millised ioonid veebruaris vesinikkarbonaadi domineerimist vähendasid, ei uuritud. Hapnikuolud järvikus olid veebruaris jää all väga halvad. Hapnik sisuliselt puudus. Halvad olid olud ka märtsis ning aprillis keskpärased. Juunis, mil järvik oli taimi täis kasvanud, oli vesi hapnikuga üleküllastunud. 2010. aastal oli järvik nii mais kui juulis hapnikuga üleküllastunud (mais 109% ja juulis 121%) (Ott, 2010).

Üldlämmastiku sisaldus oli veebruaris väga halval, märtsis kesisel ning aprillis väga heal tasemel (Tabel 4.10.2). Seega vähenes ka Võhmetus veega täitumise perioodi jooksul vee lämmastikusisaldus oluliselt. Võhmetu oli, peale Kuksema, ainus järvik, kus suurim Nüld sisaldus ei olnud maksimaalse veetaseme ajal. Nitraatlämmastik moodustas veebruarist aprillini 82% kuni 90% üldlämmastikust. See tähendab, et nitraadisaldus vähenes vees samas tempos üldlämmastiku sisaldusega. Juunis oli nitraadisaldus allpool määramispiiri. 2010. aasta mais oli üldlämmastiku sisaldus 3,4 mg/l, nitraatlämmastiku sisaldus 2,8 mgN/l ja ammoniumlämmastiku sisaldus 0,079 mgN/l (Ott, 2010), seega sisuliselt identsed 2025. aasta aprilli prooviga. Samuti oli 2010. aastal sarnane see, et veega täitumise perioodi jooksul lämmastikusisaldus vähenes, kuna juuliks oli kõiki lämmastikuühendeid vähem kui aprillis (Ott, 2010).

Üldfosfori sisaldus oli veebruaris väga halval tasemel ning ülejäänud kordadel kesisel tasemel ning püsis märtsist juunini muutumatu. Fosforisisalduse muutuste osas erines Võhmetu enamikest teistest järvikutest, milles see veega täitumise perioodi ajal suurenes. Aprillis oli Võhmetu fosforisisaldus, koos Lemmküla järviku fosforisisaldusega, uuritud järvikutest kõige väiksem. Fosfaatfosfori sisaldus moodustas kõigil kordadel, peale juuni, alla 30% üldfosforist ning juunis oli see 40% lähedal. Seega valdas järvikus orgaaniline fosfor. Kuna hapnikuolud järvikus teiste järvikutega võrreldes paremad ei olnud ning järvikus kasvas ka taimestikku, siis jäid järviku fosforisisalduse muutuse trendi erinevuse põhjused selgusetuks.

Raskestikontrollitavaks hüpoteesiks selle täitumisaegse fosforisisalduse kohta võib püstitada metssigade poolt ulatuslikult ülessongitud pinnase mõju. Nimelt oli 2024. aasta detsembris vähemalt järviku põhjaots metssigade poolt lausaliselt mudaseks tuhnutud (Joonis 4.10.3). Teoreetiliselt on võimalik, et segatud pinnasest eraldus peale selle üleujutamist fosforit vette ohtramalt kui seda oleks juhtunud rikkumata pinnase korral. Ülestuhnutud alasid oli ka Lemmküla järvikus ning selle vee fosforisisaldus oli veebruari alguses oluliselt väiksem (Tabel 4.7.2). Samas ei kummuta see metssigade mõju hüpoteesi täielikult, kuna Võhmetus võeti

veebruari alguses veeproov järvi põhjaotsast, tuhnitud ala kohalt, kuid Lemmkülas järvi läänesopist tuhnimata ala kohalt. Veeproovi võtmise ajal oli Lemmküla järvis anduri kohal 1,5 m vett, kuid andur asus järvi üldist põhja morfoloogiat arvestades laias, sügavamas lohus, mistõttu järvi keskmine sügavus sellel ajal oli väiksem. Kuna järvi oli madal ja jääga kaetud, siis eeldatavasti polnud selles tingimused vee segunemiseks head ning võib ette kujutada olukorda, kus ka Lemmkülas oleks võinud mõned nädalad pärast veega täitumise algust, vahetult tuhnitud kohtade peal, olla fosforisisaldus suurem kui järvis keskmiselt. Võhmetus seevastu oli veeproovi võtmise ajal vett logeri kohal vaid 1,1 m, järvi jääga kaetud ning täitumise algusest möödunud vähem kui kolm nädalat. Nendes tingimustes võib olla usutav, et ülestuhtitud pinnasest vabanedes kujunes vees lokaalne suur fosfori kontsentratsioon, mida järvi mõnest muust, tolleks hetkeks veega kaetud, osast võetud veeproovis poleks olnud.

2010. aastal oli järvi fosforisisaldus nii mais kui juulis madalam kui ühelgi 2025. aasta analüüsi korral (0,013 ja 0,017 mgP/l) (Ott, 2010). Kuna vee lämmastikusisaldus oli 2025. aastal 2010. aasta kevadega identne, siis tekitab fosforisisalduse erinevus veel rohkem vastuseis küsimusi nii konkreetset Võhmetu kui ka teiste karstijärvikute fosforisisalduse dünaamika kohta 2025. aastal. Eeldatavasti oli 2010. aasta 2025. aastaga võrreldes hüdroloogiliselt tavapärasem ning Võhmetu järvi täitus kevadel, mitte talvel. Seega võivad 2025. aastal täheldatud suuremate fosforisisalduste põhjused olla seotud järvikute talvise täitumise ja jääkatte ning seetõttu tavapärasest halvemate hapnikuoludega. Võhmetu puhul võis rolli mängida ka metsisigade tegevus. Järvikute fosforisisalduse dünaamika paremaks mõistmiseks oleks vajalik viia läbi kõigi uuritud järvikute fosforisisalduse uuring tavapärasema hüdroloogilise režiimiga aastal.

Klorofüll a sisaldus järvis vastas veebruaris heale seisundiklassile, kuid märtsis ja aprilli teises pooles oli see sarnaselt enamikele teistele järvikutele väga halval tasemel. Samuti sarnaselt teistele järvikutele oli aprilli alguses fütoplanktoni proovide võtmise ajal mõõdetud klorofüll a sisaldus märtsi ja aprilli teise poole väärtustest oluliselt väiksem. Seega näib Võhmetus olevat intensiivne produktsioon ära kasutanud nii järvis täitumise ajal olnud lämmastiku kui ka fosfori ning mingil põhjusel ei vabanenud järvikust endast täiendavat fosforit.

Võhmetu orgaanilise aine sisalduse andmed on samuti omanäolised. Kui veebruaris oli orgaanilise aine sisaldus mõlemal viisil määratuna väike ning KHT_{Cr} oli ka alla määramispiiri, siis märtsiks olid mõlemad oluliselt suuremad, kuid jäid Simmi (1975) klassifikatsiooni järgi ikkagi väiksele tasemele. Aprilliks orgaanilise aine sisaldus mõlemal viisil määratuna aga uuesti vähenes, jõudes KHT_{Cr} puhul taas määramispiiri lähedale. KHT_{Mn} oli aprillis uuritud järvikutest kõige väiksem. Juunis olid orgaanilise aine sisaldused mõlemal viisil määratuna suurenenud märtsiga sarnaseks. Oksüdeeritavusprotsent oli kõigil kordadel 30% lähedal, mis viitab, et järvis olnud orgaaniline aine oli tekkinud peamiselt veefaasi ajal, kuid teatud määral oli ka üleujutatud pinnasest ja taimestikust vabanenud orgaanilist ainet. Võhmetu oksüdeeritavusprotsent oli kõigil kordadel ca 10% võrra suurem kui Lemmkülas, mis võiks viidata, et Võhmetus oli kuiva faasi ajal moodustunud orgaanika vabanemine vette intensiivsem. 1967. aastal oli KHT_{Cr} 2025. aastale sarnane, 20–26 mgO/l (Mäemets, 1977). See ei erinenud ka 2010. aastal, olles siis 18 mgO/l (Ott, 2010).

Järvi saab veekvaliteedi ja klorofüll a andmete põhja lugeda mõõdukalt eutrofeerunuks.

Nii Võhmetu kui ka Lemmküla järvikute seirekaevuks loeti Roosa-Mihkli kaev Võhmetu külas Võhmetu järvikust ca 0,9 km ja Lemmküla järvikust ca 1,8 km kaugusel kagus. Kummalegi järvikule lähemal sobivas suunas (ida pool) kaeve polnud. Järvikutest eeldatava põhjavee voolusuuna suhtes allavoolu oli seirekaevuks Rähni talu kaev, mis asub mõlemast järvikust ca 1,7 km lääne pool. Mõlemast kaevust mõõdeti vee väliparameetreid kolmel korral ning võeti veeproove kahel korral. Roosa-Mihkli kaevust võeti veeproovid batomeetriga *Uwitec Water Sample Bailer USB 50015* ja Rähni kaevust seal oleva pumba külge ühendatud voolikust, lastes enne värskel veel voolikust läbi voolata. Kuna veetaseme andmed näitasid, et Rähni kaevu veetase on mõlema järvi veetasemest madalamal (Joonis 4.10.2) ja seega seal olev vesi järvikute veekvaliteeti ei mõjuta, siis on selle kaevu veekvaliteedi andmed küll Lemmküla järvi peatüki tabelites 4.7.1 ja 4.7.2 esitatud, kuid neid siin põhjalikumalt ei analüüsita.

Roosa-Mihkli kaevu vee pH oli veebruaris järviku vee pH-ga võrdne ning aprillis väiksem (Tabel 4.7.1). Kaevuvee mineraalsus ja ka konkreetsemalt HCO_3^- sisaldus oli nii veebruaris kui aprillis järviku omast suurem. Sealjuures oli veebruaris HCO_3^- sisalduse erinevus enam kui pooleteise kordne. Kaevuvees moodustas HCO_3^- sisaldus mineraalsusest veebruaris 95% ja aprillis 90%. Kaevuvesi erines järviku veest piisavalt palju, et lõplikku kindlust, et sama põhjavesi, mis jõuab kaevu, jõuab ka järvikusse, ei õnnestunud saada.

Üldlämmastiku sisaldus oli kaevus kalgiveeliste järvede kriteeriumite alusel hinnates mõlemal korral väga halval tasemel ning kordadevaheline erinevus oli väike (Tabel 4.7.2). Samuti oli mõlemal korral sarnane nitraatlämmastiku sisaldus ning see moodustas üldlämmastikust üle 90%. Fosforisisaldus oli mõlemal korral alla määramispiiri. Samuti oli alla määramispiiri orgaanilise aine sisaldus mõlemal viisil määratuna. Ilmnes, et toiteainete sisalduse poolest oli kaevu vesi sarnasem Lemmküla, kui Võhemtu järvikuga (Tabel 4.7.2), kuigi kaev asub Võhemtu järvikule lähemal. Seega, kui pidada kaevu piisavalt esinduslikuks põhjavee kaudu Võhemtu järvikule avalduva mõju hindamiseks, tuleb järeldada, et järvikus maksimaalse veetaseme ajal olnud suur fosforisisaldus ei saanud tuleneda põhjaveest, vaid pidi pärinema järviku kohapealsetest varudest. Samas, nagu eelnevalt selgitatud, jäi **Roosa-Mihkli talu kaevu sobivus Võhemtu järvikule põhjavee kaudu avalduva mõju seireks ebaselgeks.**

Tabel 4.10.1. Võhemtu järvikust välitingimustes mõõdetud näitajad

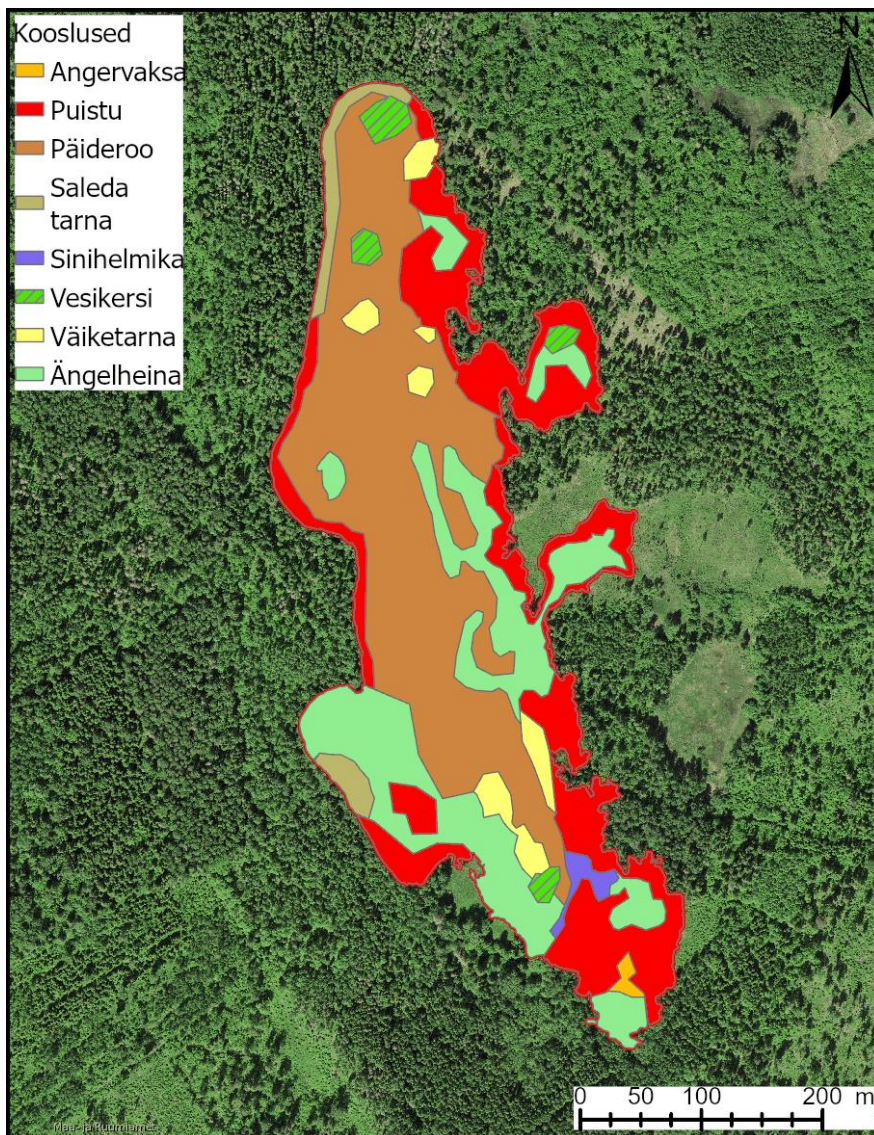
Objekt	Kuupäev	pH	ORP (mV)	SEC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	O ₂ (mg/l)	O ₂ %	Hägusus (NTU)
Järvik	06.02.2025	7,5	278	579	376	3,1	1,0	1	
Järvik	25.03.2025	7,4	220	579	376	5,9	5,9	43	
Järvik	04.04.2025	7,8	142	568	369	9,7			0,6
Järvik	19.04.2025	8,0	200	556	361	14,7	7,5	74	
Järvik	06.06.2025	8,2	232	356	231	17,7	12,1	124	

Tabel 4.10.2. Võhemtu järvikust võetud proovidest laboris määratud näitajad

Objekt	Kuupäev	Nüld (mg/l)	NH ₄ ⁻ -N (mg/l)	NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	Püld (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)	TN:TP	KHT _{Cr} (mgO/l)	KHT _{Mn} (mgO/l)	Y (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Chl-a ($\mu\text{g}/\text{l}$)
Järvik	06.02.2025	5,7	0,046	4,8	0,043	0,061	0,018	93	<14	3,1	3,0	262	1,6
Järvik	25.03.2025	4,1	<0,008	3,7	0,018	0,028	0,005	146	22	6,4	1,9	323	7,0
Järvik	04.04.2025												0,7
Järvik	19.04.2025	3,4	0,075	2,8	0,020	0,027	0,007	126	14	4,4	3,0	336	26
Järvik	06.06.2025	0,6	0,040	<0,02	<0,005	0,027	0,010	21	21	7,2		210	

4.10.3. Taimestik

Võhemtu järvik paigutub koos Lemmküla ja Kuksemaga märgade kõrgrohustute rikaste ning konkreetsemalt päideroo ja ängelheina koosluse domineerimisega järvikute hulka. Sarnaselt Lemmkülale hõlmab enamiku järvikust päiderookooslus (Joonis 4.10.9) ning ka selles järvikus on antud koosluses lisaks päideroole rohkelt vinavat tarinõgest, varsakapja ka kohati soo-alssi. Lühema üleujutuse kestusega aladel levib ängelheinakooslus. Kohati on väiketarnakooslust ning kauem üleujutatavates lohkudes vesikersikooslust. Järviku kaguosas oli väikesel alal sinihelmikakooslus, mis uuritud Pandivere järvikutes oli haruldane. Saledat tarna oli sarnaselt Lemmkülale väga vähe, ainult kitsa ribana järviku põhjaosas ja ühe siiluna järviku lääneosas. Ulatuslikumad üleujutatavad puistuosad paiknevad järviku ida ja kaguosas.



Joonis 4.10.9. Võhmetu taimekooslused.

4.10.4. Suurselgrootud

Proovikoht oli järviku põhjakaldal. Järvik oli vaatamata suurele pindalale taksonivaene (11). Samas kuulusid sinna alaliste vete limused: harilik keraskarp (*Sphaerium corneum*) ning harilik keeristigu (*Bithynia tentaculata*). Viimast leidis ka Lemmküla järvis. Kõige rohkem oli herneskarpe (*Pisidium*) ja ehmostiivalisi (*Limnephilus*). Kaldavööndisse oli kogunenud hulk pinnal ujuvat detriiti, mis segamini nii vee- kui ka maismaatigude tühjade kodadega. 2010. a kevadel domineerisid samas kohas kiilivastsed (*Coenagrionidae*), järvevanad (*Limnephilus*) ning harilik labatigu (*Planorbis planorbis*). Seisund alaliste kalgiveeliste järvede kriteeriumite järgi oli halb (Tabel 4.10.3). Järviku põhjaelustikku uuriti ka 1967. aastal ning siis nenditi, et see on vähearvukas, kuid võrdlemisi liigirikas. Rohkesti esines limuseid, nt keraskarpi (*Sphaerium*), sootigu (*Stagnicola*) ja keeristigu (*Bithynia*).

Tabel 4.10.3. Võhmetu karstijärviku suurselgrootute kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a kevadel. T – üldine taksonirikkus, H' – Shannoni erisus, ASPT – taksoni keskmine tundlikkus, EPT – tundlike taksonite rikkus, MMQ – seisund, Chir% - surusääsklaste vastsete protsent taksonite üldarvust

Aeg	T	H'	ASPT	EPT	suse_m (MMQ)	MESH	Chir%
04.04.2025	11	1,42	3,8	3	4	1,38	0

4.10.5. Fütoplankton

Proov võeti järviku põhjaosa kaldaveest. Järviku fütoplanktonis domineeris koldvetikas *Dinobryon sertularia*. Iseloomulikud olid ka niitjad rohevetikad *Mougeotia* sp. ja *Microspora* sp. Viimane on iseloomulik just külmade vete aspektile. Neelvetika perekond *Cryptomonas* on samuti iseloomulik. Seisund alaliste kalgiveeliste järvede kriteeriumite järgi oli hea (Tabel 4.10.4). Varasemaid andmeid järviku fütoplanktoni kohta on 1967. aastast, mil seda oli vähe (Mäemets, 1977). 2010. aastal oli nii liikide arv kui ka biomass samuti väike (Ott, 2010). Arvukamad olid rohe-, kold- ja neelvetikad ehk samad rühmad, mis käesolevas uuringus.

Tabel 4.10.4. Võhmetu järviku fütoplanktoni kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud. Chl a – klorofüll a sisaldus µg/l; J – ühtluse indeks; FKI – fütoplanktoni koondindeks; FLA – liikide arv loendusproovis ja võrkude proovis; FBM – biomass g/m³; CY, BAC, CHL, CONJ, CHR, CRY, DINO, EU – vastavalt sini-, räni-, rohe-, ikkes-, kold-, neel-, vaguvibur-, silmviburvetikate biomass g/m³

Kuupäev	Chl-a	J	FKI	FLA	FBM	CY	BAC	CHL	CONJ	CHR	CRY	DINO	EU	Dominandid	Kooslus
04.04.2025	0,7	0,77	2,33	11+2	1,8	0,005	0	0,63	0	0,44	0,4	0,32	0,01	<i>Dinobryon sertularia</i> , <i>Cryptomonas</i> sp	Hea

4.10.6. Zooplankton

Järvikust sai proovi võtta ainult aprillis, sest märtsi proovivõtukorra ajal oli järvik alles paksu jääkihiga kaetud. Võhmetu järviku zooplanktoni biomass oli kõigest vaadeldud järvikust suurim, ka arvukus oli suhteliselt suur (Tabel 4.10.5). Väga suure zooplanktoni biomassi tingis suuremõõtmelise hiidaeriku (*Hemidiaptomus amblyodon*) suguküpsede isendite suur hulk zooplanktoni proovis. Arvukuse poolest domineerisid aerjalgse *Acartocyclops robustus* vähikvastset. Lisaks esines zooplanktoni proovis veel karstijärvikutele iseloomulik Eestis haruldane hormikuline sega-aerik (*Mixodiaptomus theeli*) ja vesikirp *Daphnia longispina*. Keriloomi Võhmetu zooplanktoni proovis ei leitud.

Järviku zooplanktonit uuriti ka 2010. aastal (Ott, 2010). Toona võeti proove mais ja juunis ning mõlemal korral domineerisid arvukuselt keriloomad, keda käesolevas uuringus järvikust üldse ei leitud. Keriloomade hulgas oli 2010. aastal ülekaalukas dominant *Conochilus unicornis*, keda ei leitud käesolevas uuringus ühestki järvikust. Biomassilt domineerisid ka siis aerjalgsed, kuid moodustasid kogubiomassist oluliselt vähem kui käesolevas uuringus (75%). Aerjalgsetest leiti toona *Mesocyclops leuckarti* ja *Eudiaptomus gracilis*. Esimest neist ei leitud sel korral ühestki järvikust ning järve-pärisaerik (*Eudiaptomus gracilis*) oli vaid Kiriklas. Toona leiti kolm taksonit vesikirbulisi *Alona* sp., *Chydorus sphaericus* ja *Daphnia galeata*. Sel korral neid Võhmetust ei tuvastatud, kuigi järvikus oli liigini määramata jäänud *Daphnia*'id. Neist kolmest vesikirbuliste taksonist leiti käesolevas uuringus vaid *Chydorus sphaericus*'st Kiriklast ja Kuksemast.

1967. aasta kevadsuvel (Mäemets, 1977) oli järvikus viis liiki hormikulisi, nende hulgas sega-aerik (*Mixodiaptomus theeli*) ja hiidaerik (*Hemidiaptomus amblyodon*), keda leiti ka käesolevas uuringus. Lisaks leiti 1967. aastal liigid raba-jämekoodik (*Heterocope saliens*), sale pärisaerik (*Eudiaptomus graciloides*) ja liht-pärisaerik (*Eudiaptomus vulgaris*). Neid liike käesolevas uuringus ühestki järvikust ei leitud. Mäemets (1977) on välja toonud, et suveks asendus enamik hormikuliste liike vesikirbulistega. Kuna käesolevas uuringus järvikust suvisel perioodil zooplanktoni proovi madala veetaseme tõttu ei võetud, ei saa välistada, et ka 2025. aastal suurenes vesikirbuliste osatähtsus suveks. Kokkuvõttes oli järviku zooplanktoni kooslus 2025. aastal pigem sarnasem 1967. aastale 2010. aastale, sest 2025. aastal ei leitud järvikust ühtegi 2010. aastal kohatud liiki.

Tabel 4.10.5. Vöhmetu järvi metazooplanktoni rühmade arvukus (A) ja biomass (BM) ning peamiste rühmade osa koguarvukusest ja biomassist

	Kuupäev	Kokku	Cladocera	Copepoda	Rotatoria	Clad %	Cop %	Rot %
A, ind m ⁻³	19.04.2025	421350	825	420525	0	0,2	99,8	0,0
BM, mg m ⁻³	19.04.2025	14771	12	14759	0	0,1	99,9	0,0

4.10.7. Fütobentos

Vöhmetu karstijärvi fütobentose määrang (fübe_m) oli hea (Tabel 4.10.6). Ränivetikate spetsiifiline reostustundlikkuse ja troofsuse indeks näitasid väga head seisundit, kuid Watanabe indeks kesist seisundit. Kokku määrati 16 taksonit bentilisi ränivetikaid. Selles karstijärvis ei olnud dominantseid liike. Arvukalt esines liike *Gomphonema subclavatum* (23,6%), *Gomphonema parvulum* (16,9%) ja *Gomphonema brebissonii* (11,1%). *G. subclavatum* ja *G. brebissonii* on iseloomulikud keskoitelistele vetele ning *G. parvulum* eutroofsetele vetele. Vähetoitelisele vetele iseloomulike *Eunotia* perekonna liikide arvukus oli 14,6%. Vähetoiteliste vete tunnusliikidest oli rohkem ka *Pinnularia subcapitata*'t (7,6%).

Tabel 4.10.6. Vöhmetu karstijärvi fütobentose kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud 2025 a. kevadel

Aeg	Substraat	Taksonite arv	fübe indeksid			fübe_m
			IPS	WAT	100-TDI	
22.04.2025	makrofüüdid	16	17,0	11,5	56,7	hea

4.10.8. Kokkuvõte

Väheste olemasolevate andmetega võrreldes oli järvi maksimaalne ulatus uuringuaastal pigem keskmisest väiksem, kuid vesi püsis järvis kaua. Järvi toiteala jääb sellest ida ja kagu poole. Sarnaselt Lemmküla järvikule hakkas Vöhmetu järvi veega täituma mitu nädalat hiljem kui teised uuritud Pandivere järvid. Samas sai ümber lükatud rahvapärinus, et Vöhmetu-Lemmküla järvedesse hakkab vesi tulema alles siis, kui Assamalla luht kuivaks tõmbab, sest hetkeks, mil Vöhmetu järvi veega täituma hakkas, oli ka Assamalla järvi veel veetaseme tõusufaasis. Suure maksimaalse täitumise aegse lämmastiksisalduse poolest sarnanes järvi enamike teiste Pandivere järvikutega. Fosforisisalduse puhul oli eripärane talvine suur sisaldus, mis hiljem mitu korda vähenes ning püsis kevade edenedes muutumatu. Talvise suure fosforisisalduse võimaliku põhjusena on välja pakutud metssigade poolt ülestuhnitud järvi põhi, mille kohalt veeproove võeti. Klorofüll a sisalduse oluline suurenemine kevade edenedes toimus Vöhmetus sarnaselt enamikele teistele uuritud järvikutele. Seega saab järvi lugeda veekvaliteedi andmete põhjal eutrofeerunuks.

Elustikurühmadest näitasid suurselgrootud sarnaselt Lemmkülale väga halba seisundit. Järvikute taksonivaesuse võis tingida asjaolu, et mõlemad olid uuritud järvikutest kõige kauem jääs ning vaid kümme päeva enne suurselgrootute proovivõttu oli järvi kaetud veel sedavõrd paksu jääkihiga, et veeproovi võtmiseks tuli jäässe auk lõhkuda. Seetõttu ei pruukinud olla jõudnud järvi põhjaelustik proovivõtu ajaks veel piisavalt välja kujuneda. Järvi suurselgrootute kooslusest parema ülevaate saamiseks oleks vajalik edaspidi võtta järvikust proov tavapärasema veerežiimiga aastal, mil maksimaalne veetaseme aeg jääb kevadesse. Zooplanktoni kooslus sarnanes teistele sügavamatele ja kauem püsinud Pandivere järvikutele, kus valitsesid aerjalgsed, sh haruldane ja seni vaid karstijärvikutest leitud sega-aerik. Ainsa uuritud järvikuna puudusid Vöhmetus keriloomad täielikult. Taimestiku poolest oli järvis monotoonseid, ühe liigi poolt domineeritud, alasiid vähe. Fütoplankton ja -bentos näitasid head seisundit. Seega elustiku indikaatorite poolest oli Vöhmetu seisund Lemmküla järvikule üsna sarnane ning kui selle puhul võis pigem järeldada, et järvi elustikus ei kajastunud olulisel määral eutrofeerumise ilmingud, siis sama järeldus tuleb teha Vöhmetu kohta. **Järvi seisund on järelkult pigem soodne kui ebasoodne ja järvi toitva põhjavee suur lämmastiksisaldus väga olulist negatiivset mõju järvi elustikule, vaatamata järvisisesele mõõdukale fosfori sisekoormusele, avaldanud ei ole.**

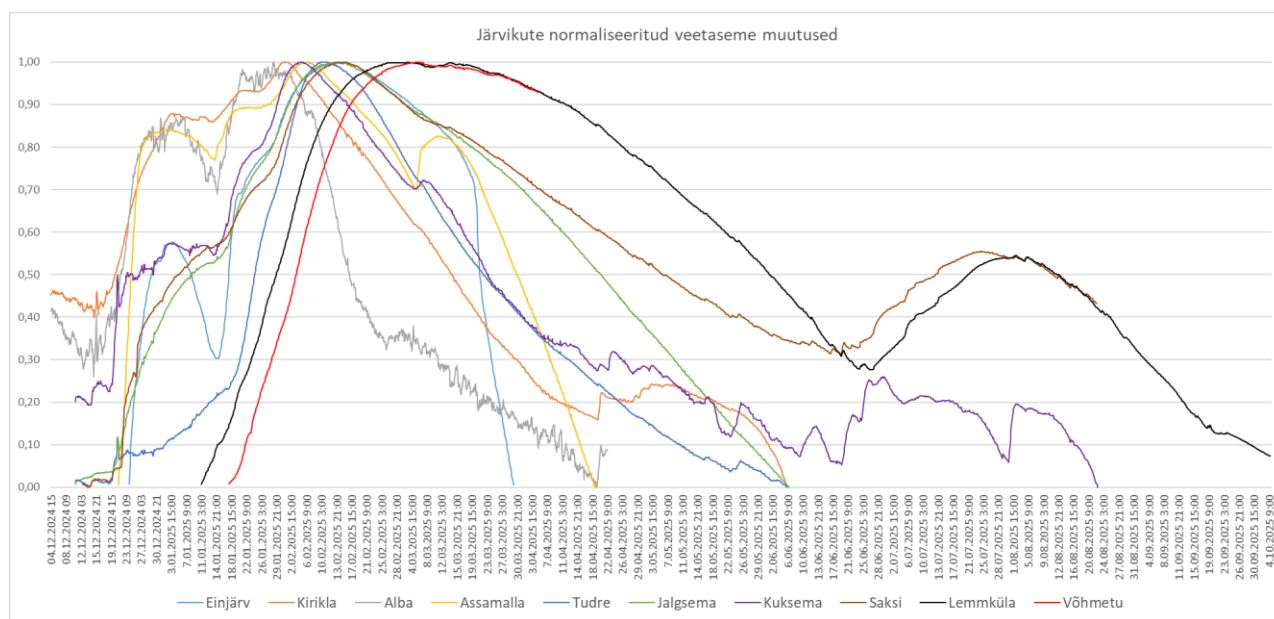
4.11. Järvikute võrdlev iseloomustus

4.11.1. Hüdroloogia

Karstijärvikute täitumine peaks Eestis tingimustes kirjanduse andmetel algama tavapärasel aastatel kevadel pärast lume sulamist või sellega samal ajal. Dokumenteeritud andmeid nii käesolevas uuringus käsitletud kui ka teiste karstijärvikute veega täitumise algusest aga seniajani teadaolevalt polnud. Kohalikega vesteldes selgus, et järvikute talvine täitumine ei ole aga päris ebatavaline ning näiteks Kiriklas ja Einjärvel on järvikutel talvel jäärajasõitu tehtud. Albas, Kiriklas ja Kuksemas oli arvestatav kogus vett sees juba 2024. aasta detsembri alguses. Seega jäi nende täitumise algusaeg välja selgitamata. Tegemist on järvikutega, millesse toimub uuritustest kõige suurem pinnavee sissevool. Kuna Alba ja Kirikla vees oli detsembri alguses ka kõigist mõõtmiskordadest väiksem elektrijuhtivus, võib oletada, et esialgne järvikutesse jõudnud vesi pärines valdavalt nende pinnaveevalgaladelt. Kuksema puhul oli sellesse mööda maapinda jõudva vee oluline osa veebilansist juba varem teada, kuna sellesse voolab sisse kaks alalise veevooluga kraavi.

Sõltumata sellest, kas neis oli vesi sees juba detsembri alguses, kas neis oli detsembri keskel põhjas vaid väike lomp või olid need päris kuivad, **algas järvikute kiire veetaseme tõus üllatuslikult lühikese ajavahemiku jooksul**. Kiriklas 18. detsembril, Kuksemas ja Jalgsemas 20. detsembril, Alba ja Assamalla 21. detsembril, Saksis 22. detsembril ja Einjärves 24. detsembril. Teistest hiljem algas täitumine või kiirem veetaseme tõus Tudres 1. jaanuaril, Lemmkülas 11. jaanuaril ja Võhmetus alles 18. jaanuaril (Joonis 4.11.1). Veetaseme tõusu algus ei sõltunud järvikute absoluutsest kõrgusest ega asukohast, kuna samal ajal hakkasid kiiresti täituma ka teistest oluliselt kaugemal lääne pool asuvad Alba ja Kirikla. Seevastu Lemmküla ja Võhmetu, mis asuvad teiste Tamsalu-piirkonna järvikute vahel nii geograafiliselt kui ka maapinna kõrguselt hakkasid täituma teistest mitu nädalat hiljem.

Jõuludele eelnenud veetaseme tõusu käivitajaks oli kiire lume sulamine plusskraadide tõttu ja lisandunud vedelad sademed, mis panid kiiresti tõusma põhjaveetaseme järvikute seirekaevudes ning mille mõju kandus kohati vaid tundidega järvikutesse. Kusjuures kõige olulisemaks tõusu käivitajaks näis olevat 19. detsembri vihmane sulailm, mille tõttu sulas vähemalt Väike-Maarja ilmajaamas ära enam kui 10 cm lund. Öösel vastu 20. detsembrit hakkas põhjaveetaseme kiirelt tõusma kõigis (!) Pandivere järvikute seirekaevudes, kus selleks ajaks veetaseme loger sees oli. Lääne pool oli detsembri esimeses pooles sadanud vähene lumi jõudunud 19. detsembriks juba sulada, kuid sademerohke oli 19. detsember ka Lääne-Nigulas (Alba) ning veetaseme tõus sealses seirekaevus algas juba 19. detsembri päeval. Kiriklas piisas kiire põhjaveetaseme tõusu käivitamiseks juba 18. jaanuarile eelnenud sademerohketest päevadest.



Joonis 4.11.1. Uuritud järvikute normaliseeritud veetaseme kõverad. Veetaseme muutuste võrdlemise võimaldamiseks võrdsustati iga järvi madalaim mõõdetud veetaseme 0-iga ja kõrgeim mõõdetud veetaseme 1-ga.

Jaauari jooksul oli enamikes järvikutes kaks veetaseme tõusu aeglustumise ja mõnel juhul ka langemise perioodi, mis seostuvad kahe külmaperioodiga, mil põhjavee toitumine pidurdus. Märkimisväärsem oli jaauari alguse külmaperiood, mis tõi Einjärves, Albas ja Assamalla kaasa ka veetaseme languse, kuid näiteks Saksis, Tudres ja Jalgsemas vaid veetaseme tõusu kiiruse tagasihoidliku vähenemise. Järgnenud sulad viisid aga veetasemed taas kiirele tõusule.

Kui veetaseme tõus algas enamikes järvikutes vähem kui nädala aja jooksul, siis veetaseme tipp saabus pikemal ajavahemikul. Esimesena saavutas maksimaalse veetaseme Alba järvik 29.01, Kirikla 31.01, Kuksema 3.02, Assamalla 5.02, Tudre 9.02, Jalgsema ja Einjärv 12.02 ning Saksi 13.02 (Joonis 4.11.1). Teistest järvikutest hiljem täituma hakanud Lemmküla ja Võhmetu jõudsid maksimaalse veetaseme ülejäänutest mitu nädalat hiljem, vastavalt 26. veebruaril ja 5. märtsil. Põhjaveetaseme järvikute seirekaevudes saavutas maksimumi reeglina järvikutest varem. Maksimaalse veetaseme saavutamise vahe kaevudes, võrreldes järvikutega, ulatus pooleteisest päevast Tudres, 21 päevani Võhmetus. Kuni neli päeva järvikust varem saavutati maksimaalne veetaseme lisaks Tudrele ka Jalgsema ja Assamalla seirekaevudes. Einjärves, Saksis ja Lemmkülas oli vahe ca kaks nädalat. Kiriklas saabus maksimaalne veetaseme järvikus ja seirekaevus samal päeval. Erandiks oli Alba järvik, kus seirekaevu veetaseme saavutas maksimumi alles päev pärast järvikut, kuid antud kaevu veetasemega seoses oli teisigi anomaaliaid, mis viitasid, et see ei iseloomusta järvikut toitvat põhjaveekihti.

Oli järvikuid, kus veetaseme püsis maksimaalne või selle lähedal (kuni 5 cm veetaseme erinevust maksimumist) vaid umbes nädal aega: Kiriklas 7, Tudres 8, Assamalla ja Kuksema 9 päeva, kui ka järvikuid, kus see püsis umbes kaks nädalat: Einjärves 12, Jalgsemas ja Saksis 13 ning Albas 15 päeva. Taas tulid teistest selgelt erinevamana esile Lemmküla ja Võhmetu, kus veetaseme püsis maksimumi lähedal vastavalt 32 ja 26 päeva. Kõigi järvikute veetaseme kõver on vaid ühe kindla maksimumväärtuste perioodiga, mis tähendab, et vaatamata heitlikele talvistele meteoroloogilistele oludele, ei kõikunud nende veetaseme üles alla, vaid pärast maksimaalse veetaseme saavutamist järgnes selgesuunaline veetaseme langus. See on üllatav, kuna veebruari jooksul sulas vähemalt Pandivere Väike-Maarja ilmajaama andmetel 21 cm lund. Selle koguse lume sulamine suutis lühiajalise ja vähem kui 20 cm veetaseme tõusu keset langusfaasi kaasa tuua ainult Assamalla. Kuksemas kaasnes 3 cm veetaseme tõus ning teistes järvikutes jätkus langus vaatamata sellele, et sulavesi pidi kusagile minema. Viimase lume sulamine ei mõjutanud ka enamike järvikute seirekaevude põhjaveetasemeid. Peale Assamalla seirekaevu oli väikest lühiajalist veetaseme tõusu vahetult pärast lume sulamist näha veel vaid Alba ja Einjärve seirekaevudes. Lumevee kadumine oli seda ootamatum, et talve kaks eelmist lumikattega perioodi ei olnud viimasest sedavõrd palju lumerohkemad. Väike-Maarjas oli järvikud maksimaalse veetasemeni viinud lumekihi paksus enne sulamist 30 cm ning detsembrikuine, sulamise järel järvikute täitumise algatanud lumekihi paksus vaid 17 cm. Lääne-Nigulas sulas detsembris 4 cm lund, veebruaris 8 cm; Kuusikul detsembris samuti 4 cm ning veebruaris 10 cm.

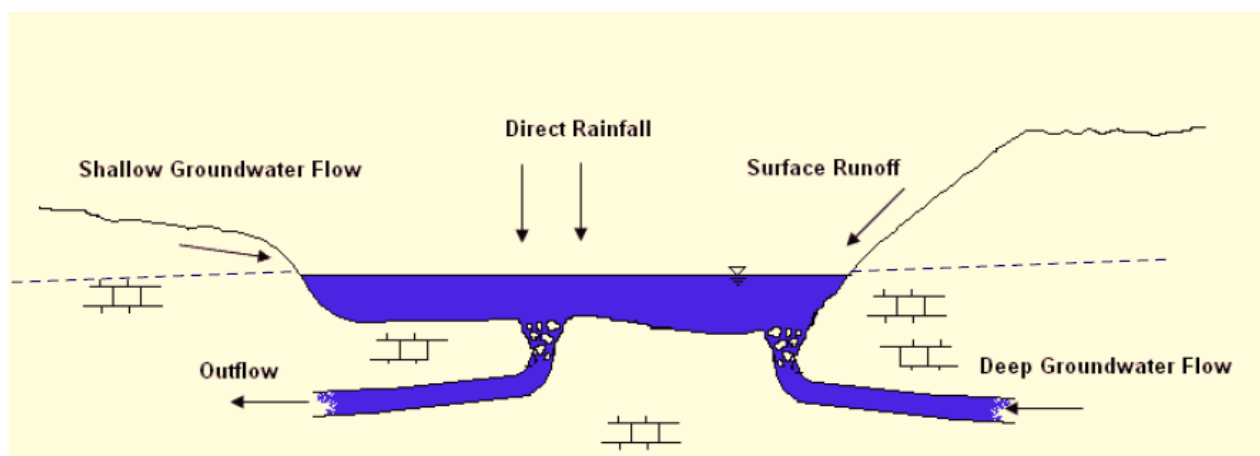
Veetaseme languse kiirus erines järvikutes olulisel määral. Esimesena kuivas Einjärv juba 29. märtsil, järgnes Assamalla 19. aprillil, Albast korjati loger ära 22. aprillil, kuigi järvik polnud veel päris kuiv. Kirikla ja Jalgsema jäid kuivaks juuni alguses. Tudre päris kuivaks ei jäänudki, kuid karstijärviku staadiumi lõpuks loeti juuni algust. Kuksemas ja Saksis oli vesi sees veel vähemalt augusti lõpus, kuid võis olla ka kauem ning Lemmkülas ja Võhmetus oktoobri alguseski. Vähemalt Kuksemas, Saksis, Võhmetus ja Lemmkülas, aga paikvaatluse põhjal ka Albas, toimus suvel uus veetaseme tõus. Et see ei olnud tingitud järvikutesse otse jõudnud sademeveest, vaid endiselt põhjaveest, viitab asjaolu, et järvikutest suuremgi veetaseme tõus toimus samal ajal nende seirekaevudes. Seega saab üldistada, et kui enamike järvikute täitumise käivitas üle Eesti samaaegselt lume sulamise ja sademete toel kiiresti tõusma hakanud põhjaveetaseme, siis järvikute ülejäänud veefaasi iseloomu mõjutasid järvikuspetsiifilised tingimused, mille puhul ei ilmnunud mingeid regionaalseid mustreid.

Maa- ja Ruumiameti ajalooliste ortofotode ning 2022. aasta kaardistusandmete põhjal saab järeldada, et **Järva-Jaani ümbruse järvikute (Jalgsema, Kuksema, Tudre) veetaseme oli uuringuaastal teadaoleva lähimeneviku maksimumi lähedal või veidi üle selle**, mistõttu oli võimalik piiritleda järvikute uued

maksimaalsele veetasemele vastavad pindobjektid, mille saab kanda Eesti Looduse Infosüsteemi tundlike alade nimistus olevate karstiobjektide külge. **Tamsalu ümbruse järvikute** (Assamalla, Lemmküla, Võhmetu, Einjärv, Saksi) **veetase jäi aga teadaolevale lähimineviku maksimumile** ehk 2022. aasta veetasemele **alla**. **Alba ja Kirikla saavutasid tõenäoliselt maksimumilähedase veetaseme**, kuna nende veetaseme tõus on piiratud väljavoolu tekkimise tõttu ning mõlemal järvikul moodustas uuringuaastal väljavool.

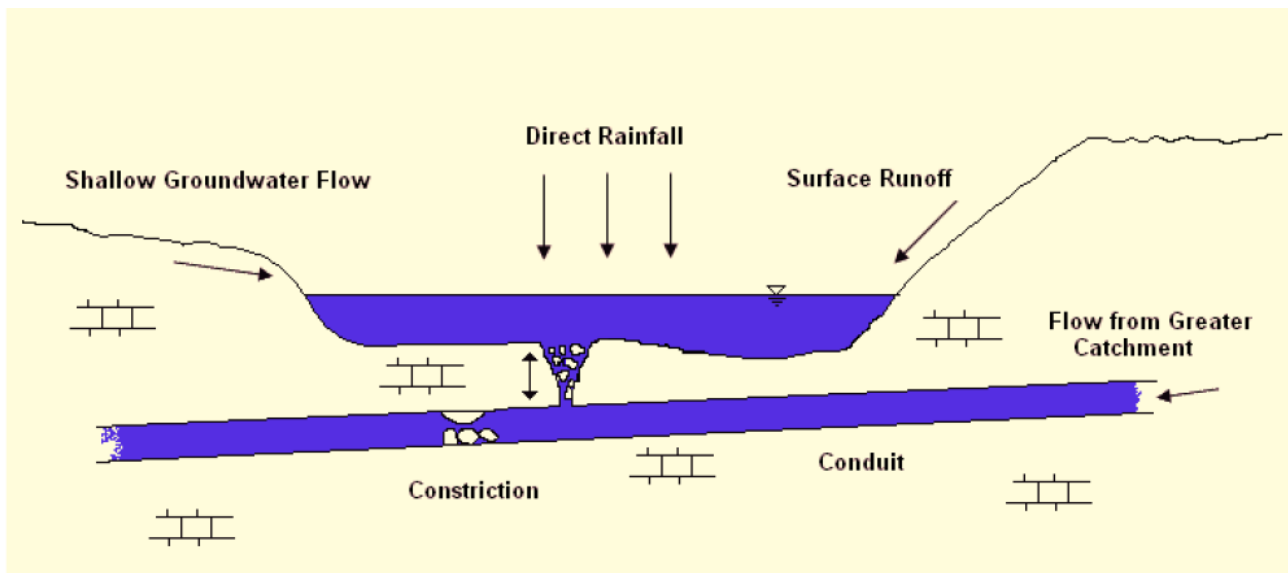
Suuremaid üldistusi uuritud karstijärvikuid eristavate või ühendatavate veerežiimist tulenevate iseärasuste kohta ühe uuringuaasta põhjal teha ei saa. Seda, kas täheldatud seaduspärad järvikute veega täitumise alguse, maksimaalse veetaseme saavutamise ja püsimise ning veetaseme languse kohta kehtivad üldiselt või olid konkreetse aasta spetsiifilised, saaks kinnitada pikemate vaatlusriidade korral. Erilist tähelepanu tuleks edaspidi pöörata Lemmküla ja Võhmetu järvikutele, kuna nende veerežiim erines kõigest teistest järvikutest, mis asusid nii neist mõne kuni 150 km kaugusel, oluliselt.

Karstijärvikute ja põhjaveekihi seoste ning sellest tulenevalt ka järvikute täitumise ja tühjenemise mehhanismi kohta esitasid Naughton et al (2015) kaks põhimõttelist mehhanismi. Esimest esindavad läbivoolulised karstijärvikud (Joonis 4.11.2). Nendes toimub järviku erinevates osades üheaegselt nii põhjavee sisse- kui ka väljavool. Järviku täitumine toimub perioodidel, kui põhjavee sissevool järvikusse ületab väljavooluvormide läbilaskevõimet ning järviku tühjenemine perioodidel, kui põhjavee sissevool muutub väiksemaks kui väljavooluvormide läbilaskevõime.



Joonis 4.11.2. Läbivoolulise karstijärviku kontseptuaalne mudel (Naughton et al, 2015).

Teist karstijärvikute ja põhjaveekihi seose põhimõttelist mehhanismi esindavad põhjavee ülevoolu mahutina toimivad karstijärvikud (Joonis 4.11.3.). Sellisel juhul toimib karstijärvik selle all asuva karstisüsteemi täiendava maapinnal asuva mahutina, kuhu koguneb põhjavesi, mida karstisüsteem piiratud ruumala tõttu mahutada ei suuda. Sellisel juhul toimub järviku täitumine ja tühjenemine samade karstivormide kaudu. Järviku täitumine toimub juhul, kui põhjavee juurdevool karstisüsteemi ületab karstisüsteemi läbilaskevõimet ning vesi hakkab tungima järvikusse. Sellel perioodil järvikust põhjavee väljavoolu ei toimu. Kui survetase karstisüsteemis langeb ning vee juurdevool muutub süsteemi läbilaskevõimest väiksemaks, hakkab ka järvikust vesi karstisüsteemi tagasi valguma. Järviku tühjenemise kiirus sõltub karstisüsteemi läbilaskevõimest ning järviku ja karstisüsteemi piesomeetrisel tasemetest erinevusest. Tühjenemise perioodil võib järvikusse vähesel määral vett lisanduda vaid sademetest, pindmisest äravoolust ning pinnakattes olevast põhjaveest.



Joonis 4.11.3. Ülevoolu mahutina toimiva karstijärvi kontseptuaalne mudel (Naughton et al, 2015).

Käesolevas uuringus käsitletud järvi- ja jõekõrgustest võib läbivooluliseks liigitada tõenäoliselt Saksi, Kuksema, Kirikla, võib-olla ka Alba ja Assamalla järvid. Ülejäänud toimivad tõenäoliselt pigem ülevoolu mahutina. Mehhanismi saaks kontrollida, kui oleks võimalik mõõta järvi täitumise ajal põhjaveetaset ümber järvi. Läbivoolu karstijärvi puhul peaks järvi ühel küljel olema põhjaveetaseme kõrgem kui teisel küljel. Ülevoolu mahutina toimiva järvi puhul peaks aga veetaseme tõusmise ajal olema põhjaveetaseme igal pool ümber järvi selle veetasemest kõrgemal. Kuna selliseid ideaalseid põhjaveetaseme jälgimise tingimusi ühegi järvi puhul pole, oleks põhjaveetaseme seotuse mehhanismi võimalik kontrollida järvi täitumise alguses, jälgides kas või kuhu järvisse valgub vesi voolab. Kui sellel perioodil õnnestub jälgida vaid vett välja ajavaid allikaid, mille vesi järvi põhja ühtlaselt laiali valgub, on tõenäoliselt tegemist ülevoolu mahutina järvi- ja jõekõrgustega. Kui aga allikad asuvad vaid järvi konkreetses servas ning vesi voolab esialgu mööda järvi põhja teise serva asuvate kurisuteni ning nendes neeldub, on tõenäoliselt tegemist läbivoolulise karstijärvi- ja jõekõrgustega. Sellist vaatlust on aga võimalik teha vaid loetud arv päevi, enne kui sissevool sedavõrd suureks muutub, et vett neelavad kurisud vett täis valguvad ning silmaga eristuvat veevoolu enam näha pole ning järvi põhjas enam ka liikuda ei saa. Praktikas on sellist vaatlust väga keeruline planeerida, kuna järvi- ja jõekõrguste täitumise algus on ennustamatu. Kaudsemalt saab järvi- ja jõekõrguste täitumismehhanismi jälgida, kui paigaldada veetaseme logerid järvi erinevatesse osadesse. Ülevoolu mahutina toimivate järvi- ja jõekõrguste puhul peaks veetaseme hakkama nende erinevates osades tõusma samaaegselt. Läbivooluliste karstijärvi- ja jõekõrguste puhul peaks aga veetaseme esmalt tõusma hakkama sissevoolu pool ning väljavoolu pool sellest hiljem.

Käesoleval hetkel on tõenäoliselt läbivooluliste karstijärvi- ja jõekõrguste kohta teada järgmist. Saksi järvi puhul on selle idaservas asuvad ajutised allikad ja põhjaservas asuvad alalised allikad teada ning 2024. aasta suvel oli ka võimalik jälgida, kuidas alaliste allikate vesi mööda järvi põhja selle loodeossa voolas. Tõenäoliselt toimub sama ajutise allikate veega, enne kui järvi põhja lausalt üle ujutatakse. Kuksema järvis on teada järvi lõunaservas asuvad kurisud ning mööda kraave toimuv lõunasuunaline veevool. Kui järvi hakkab täitma ka otse sellesse jõudev põhjavesi, siis tõenäoliselt avaneb ka see pigem järvi põhjaosas, mitte ei hakka järvi lõunaosa kurisud sellel hetkel allikatena käituma. Vähemalt ei olnud 2024. aasta detsembri alguses võimalik täheldada põhjavee väljavoolu lõunaosa kurisutest. Selle kindlamaks välistamiseks oleks olnud vajalik vaatlus 20. detsembril, mil veetaseme järvis kiiresti tõusma hakkas. Kiriklas voolab järvisse kagu poolt sisse oja ning talvel oli võimalik vaadelda põhjavee sissevoolu ka idakalda tiigist. Sügavaimad kurisud on järvi edelapoolse sopi lääneosas ja järvi põhiosa loodeosas ehk põhjavee voolusuuna suhtes allavoolu. Seega, kuigi seda ei õnnestunud uuringu käigus jälgida, on tõenäoline, et vahetult pärast täitumise algust voolab järvisse jõudev vesi neisse kurisutesse ja neeldub.

4.11.2. Hüdrokeemia

Suurem osa järvikute veekvaliteedi näitajatest muutusid veega täitumise perioodil oluliselt, mis muudab nende aritmeetilised keskmised pigem väheinformatiivseks. Teatava võrdlusmomendi võimaldamiseks need siiski leiti (Tabel 4.11.1). Vee väliparameetrite puhul võeti keskmiste arvutamisel arvesse vaid neid mõõtmiskordi, kui järvikust võeti ka veeproov. Elektrijuhtivuse puhul arvutati keskmised vaid multimeetriga mõõdetud tulemuste, mitte logerite tulemuste põhjal. Vee mineraalsust iseloomustavad näitajad muutusid proovivõtukordade vahel vähem ning toiteainete ja orgaanilise aine sisaldust iseloomustavad näitajad rohkem. Arvestades, et karstijärvikute puhul on tegemist pidevalt kiires muutuses olevate ebastabiilsete ökosüsteemidega, ei ole ka nende veekvaliteedi näitajate ebastabiilsus üllatav. Järvikute vee parameetrite väärtusi mõjutab ka asjaolu, et neist ei ole võimalik veeproove võtta samal viisil, nagu alalistest järvedest ehk sõita paadiga järve sügavamasse kohta ning võtta veeproov igal korral enam-vähem samast punktist. Kuigi põhimõtteliselt oleks võimalik sügavamatel karstijärvikutel maksimaalse veetaseme ajal ka paadiga liigelda, siis 2025. aasta veeperioodi jooksul saavutasid järvikud maksimaalse veetaseme talvel. Tegemist oli talvega, kus külma- ja soojaperioodid sageli vaheldusid, mistõttu oli enamik järvikutest kaetud vahelduva eduga õhema ja paksema jääkihiga, mille puhul ei saanud olla kindel sellel liikumise ohutuses. Pärast jää sulamist olid järvikud juba kiires veetaseme taandumise faasis, mistõttu ei olnud võimalik võtta kõiki proove ühest ja samast kohast ühest ja samast sügavusest. Seega võis osa ilmnenuid veeparameetrite muutlikusest tuleneda ka ebaühtlastest proovivõtu tingimustest.

Iirimaal läbi viidud karstijärvikute uuringust selgus, et lämmastiksisaldus, aluselisus, värvus ja silikaatide sisaldus olid järvikute erinevates osades sarnased, kuid fosfori ja klorofüll a sisaldus ning hägusus varieerusid ühe järviku piires olulisemal määral (Allott et al, 2015). Klorofüll a sisaldus oli Iirimaa uuringu põhjal suurem kalda lähedal ning seda seostati niitjate vetikate kogunemisega järvikute kaldavette tuule tulemusel. Samas ei välistatud ka võimalust, et kaldavees toimuski suurem klorofüllüli tootmine. Näitajate osas, mis järvikute erinevates osades varieerusid, oli varieerumine suurem üleujutusperioodi alguses ja lõpus, kui järvikutes oli vett vähem ning väiksem maksimaalse veetaseme ajal. Seetõttu soovitati juhul, kui järvikust on võimalik võtta ainult üks proov üleujutusperioodi kohta, teha seda maksimaalsete või neile lähedaste veetasemete ajal.

Tabel 4.11.1. Uuritud karstijärvikute aritmeetilised keskmised veekvaliteedi näitajad ja nende varieeruvus

Järvik	pH	pH vahemik	SEC (µS/cm)	SEC vahemik	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ vahemik	Nüüd (mg/l)	Nüüd vahemik	NO ₃ -N (mg/l)	NO ₃ -N vahemik
Alba	7,4	7,2-7,5	628	513-729	358	311-421	1,2	0,7-1,9	0,1	<0,1-0,12
Assamalla	7,7	7,6-7,8	539	492-585	293	281-305	8,0	4,0-12,0	7,2	3,4-11,0
Einjärv	7,6	7,3-7,8	505	481-528	305	275-336	1,9	0,7-3,0	1,5	0,5-2,4
Jalgsema	7,3	7,1-7,6	401	369-430	242	238-250	1,9	0,9-3,6	1,1	<0,1-2,6
Kirikla	7,4	7,4	563	555-576	342	299-366	1,4	0,8-2,8	0,7	0,5-1,4
Kuksema	7,9	7,7-8,1	701	642-761	361	336-372	6,3	5,0-8,4	5,1	4,1-6,2
Lemmküla	7,8	7,5-8,1	545	429-605	298	260-323	5,1	1,0-7,3	4,5	0,3-6,9
Saksi	7,7	7,6-7,9	504	467-527	315	293-340	2,3	1,2-5,3	1,4	<0,1-4,4
Tudre	7,8	7,6-8,1	546	442-628	340	329-348	3,5	1,1-6,2	2,7	<0,2-5,4
Võhmetu	7,8	7,4-8,2	518	356-579	283	210-336	3,4	0,6-5,7	2,9	<0,2-4,8

(Tabel 4.11.1 jätkub)

Järvik	Püld (mg/l)	Püld vahemik	PO ₄ -P (mg/l)	PO ₄ -P vahemik	Chl-a (µg/l)	Chl-a vahemik	KHT _{Cr} (mgO/l)	KHT _{Cr} vahemik	KHT _{Mn} (mgO/l)	KHT _{Mn} vahemik	Y (mg/l)	Y vahemik
Alba	0,018	0,011-0,029	0,006	<0,005-0,017	4,9	<1-18	39	34-48	12,8	11-16	9,8	8,1-12
Assamalla	0,210	0,190-0,230	0,180	0,170-0,190	32,0	11-53	17	7-27	3,2	<1-6,4	2,5	0,8-4,1
Einjärv	0,021	0,018-0,024	0,014	0,007-0,021	0,5	<1	15	15	3,1	1,8-4,3	2,0	0,7-3,3
Jalgsema	0,091	0,070-0,120	0,032	0,009-0,068	13,8	8,5-19	35	23-49	12,3	9-16	6,5	4,1-9,9
Kirikla	0,013	<0,01-0,037	0,003	<0,005	2,9	<1-10	16	<14-28	5,8	2,4-10	2,7	1,4-5,7
Kuksema	0,153	0,120-0,190	0,128	0,100-0,160	3,9	1,0-9,4	19	<14-27	6,1	4,0-9,3	4,1	1,4-7,5
Lemmküla	0,016	<0,01-0,026	0,003	<0,005-0,005	2,4	<1-3,6	20	<14-29	4,4	1,9-7,2	2,0	1,5-2,7
Saksi	0,056	0,028-0,086	0,012	0,005-0,023	15,5	2,5-30	34	<14-56	11,0	3,7-18	4,4	2,7-7,8
Tudre	0,074	0,028-0,120	0,018	0,014-0,024	32,7	2,2-73	29	<14-51	9,2	3,1-15	3,9	1,8-6,9
Võhmetu	0,036	0,027-0,061	0,010	0,005-0,018	11,5	1,6-26	16	<14-22	5,3	3,1-7,2	2,6	1,9-3,0

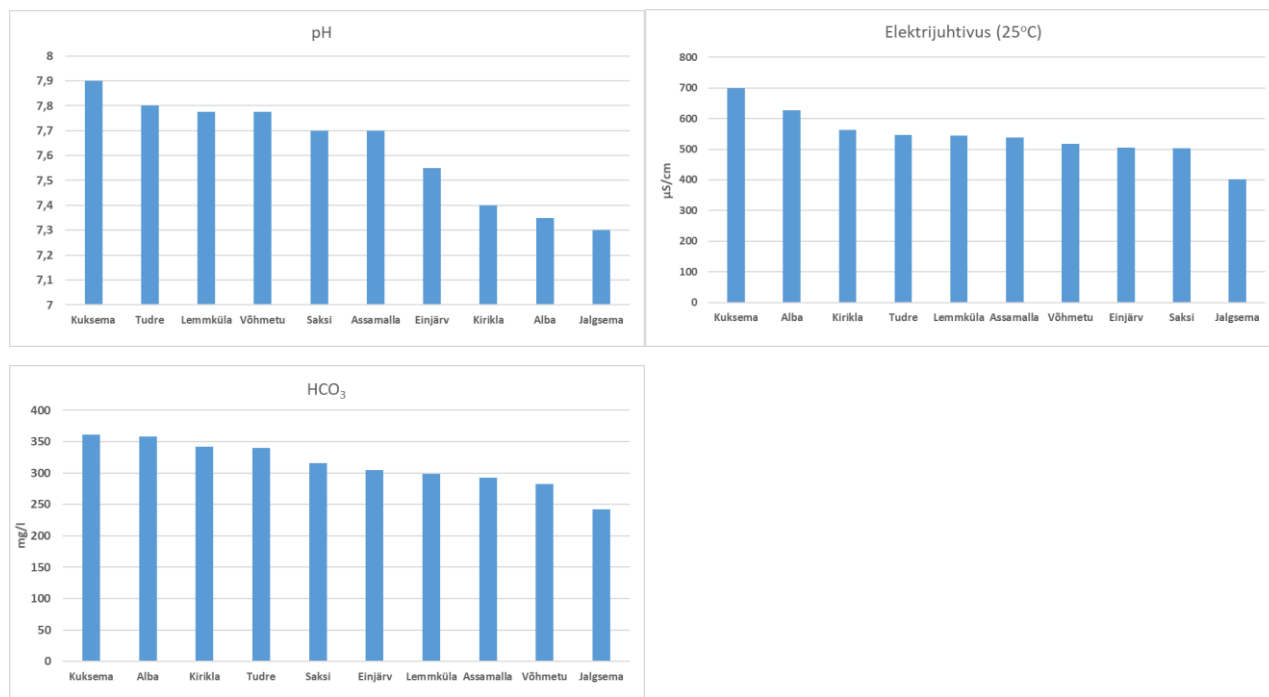
Veebruari alguse vee väliparameetrite mõõtmine ja veeproovide võtmine sattus enamike järvikute maksimaalse veetaseme lähedasse aega. Lemmküla ja Võhmetu järvikute puhul oli veetasemele veetasemele kõige lähemal märtsi teise poole proovivõtukorral. Kõik järvikud, v.a Assamalla ja Tudre, olid selle (eeldatavalt järviku vett kõige paremini esindava) proovi võtmise ajal jäänud. Kirjanduse (nt Joonuks, 1974), Maa- ja Ruumiameti ortofotode ning aruande autorite varasemate vaatluste põhjal saavutab järvikute veetaseme hüdrooloogilistelt oludest keskmisele sarnasematel aastatel maksimaalse veetaseme vahemikus aprillist mai alguseni. Siis võib vesi olla kümnekond kraadi soojem kui veebruaris-märtsis, mistõttu toimuvad bioloogilised protsessid järvikutes tavapärasematel aastatel maksimaalse veetaseme ajal aktiivsemalt kui käesoleva uuringu maksimaalse veetaseme ajal. See ei mõjuta ilmselt järvikute vee mineraalsust, kuid mõjutab toiteainete, orgaanilise aine ja klorofüll sisaldust. Eelnevalt tulenevalt ei saa ühe, ebatavaliste hüdrooloogiliste oludega aastal saadud tulemuste põhjal järeldada, et need kajastavad uuritud järvikute tüüpilisi iga-aastaseid olusid.

Veeparameetrite keskmiste väärtuste võrdlemise puhul tuleb silmas pidada ka seda, et kõigist järvikutest ei olnud võimalik näitajaid mõõta ja veeproove võtta sama arv kordi, sest osad täitusid veega juba detsembris ning osad kuivasid ära juba aprilli alguses. Püsinuks aprillis ärakuivanud järvikutes vesi kuni juunini, võinuks nende keskmised toiteainete, orgaanilise aine ja klorofüll a sisaldused olla vähemal või rohkemal määral erinevad nendest, mida oli võimalik leida nende veega täitumise perioodil kogutud andmete põhjal.

Kõik uuritud järvikud olid nõrgalt aluselise veega, mis põhjaveetoiteliste järvikute puhul oli eeldatav. Keskmiselt kõige aluselise veega oli Kuksema järvik (7,9) ning kõige neutraalse veega Jalgsema (7,3) (Joonis 4.11.4). Lisaks Jalgsemale jäi keskmine pH alla 7,5 ka Albas ja Kiriklas.

Elektrijuhtivus oli samuti kõige suurem Kuksemas ning kõige väiksem Jalgsemas (Joonis 4.11.4). Jalgsema tuli esile isegi ca 100 µS/cm väiksema keskmise elektrijuhtivusega kui järgmiseks lahjema veega järvikud. Seda, kuidas antud järviku elektrijuhtivus ning sellest tulenevalt ka mineraalainete sisaldus (leitakse "elektrijuhtivus 25°C x 0,65") ümbruskonna põhjavee elektrijuhtivusega suhe, polnud võimalik usaldusväärselt teada saada, sest järviku seirekaevust oli probleeme esinduslike veeproovide kättesaamisega. Kuksema suurt elektrijuhtivust ei saa põhjendada (ainult) sellesse Kuksema kraavi kaudu sissevoolava heitveega, kuna keskmiselt üle 700 µS/cm oli elektrijuhtivus ka Kagavere kraavis, kuhu heitvett ei juhita. See viitab, et seal võib põhjavee üldine elektrijuhtivuse foon olla suurem kui teistes uuritud piirkondades. Kui Albas ja Kiriklas

oli keskmine pH enamikest järvikutest väiksem, siis keskmise elektrijuhtivuse järgi olid need seevastu Kuksema järel teisel ja kolmandal kohal.



Joonis 4.11.4. Uuritud järvikute keskmine pH, elektrijuhtivus (25°C) ja vesinikkarbonaadi (HCO₃⁻) sisaldus.

Keskmine HCO₃⁻ sisalduse põhjal oli järvikute järjestus sarnane elektrijuhtivuse järjestusele (Joonis 4.11.4), mis oli oodatav, kuna HCO₃⁻ moodustas peaaegu kõigis järvikutes võetud proovides vähemalt 80% nende mineraalainete sisaldusest. Albas võis järvikute keskmisest suurema HCO₃⁻ sisalduse juures järvikute keskmisest väiksema pH taseme põhjustada kagu poolt Jaanissoost järvikusse voolav ja sealt tõenäoliselt humusaineid toov oja. Ka kollase aine sisaldus oli Albas teistest järvikutest suurem (Joonis 4.11.9). Kiriklasse voolas samuti sisse oja, mis tõi järvikusse kollast ainet, kuid järviku enda kollase aine sisaldust see oluliselt ei suurendanud. Uuringu kontekstis pigem madala pH-ga ning suure HCO₃⁻ sisaldusega oli ka põhjavesi Kirikla seirekaevus. Seega põhjustas Kirikla puhul pigem madala pH ja suure HCO₃⁻ seda toitev põhjavesi, aga mis selle põhjavees põhjustas, pole teada. Kuksema keskmine HCO₃⁻ sisaldus oli teistele järvikutele sarnasem kui keskmine elektrijuhtivus. Otseseks põhjuseks oli asjaolu, et keskmiselt moodustas HCO₃⁻ seal vaid 80% mineraalainete sisaldusest, kõigis teistes järvikutes oli see osakaal keskmisena suurem. See võib olla osaliselt tingitud järvikusse jõudvast heitveest, mis sisaldab ilmselt vesinikkarbonaadile lisaks suhteliselt rohkem muid mineraalaineid, sest Kuksema kraavil oli HCO₃⁻ keskmine osakaal alla 80%, kuid heitvesi ei saa taaskord olla ainus põhjus, kuna ka Kagavere kraavil oli HCO₃⁻ osakaal vaid mõni protsendipunkt üle 80%.

Järvikute vee mineraalsuse näitajate põhjal saab kõigi uuritud järvikute puhul järeldada, et nii nagu võis eeldada, on tegemist põhjavee poolt toidetavate, mitte pinnaveetoiteliste karstijärvikutega.

Üldlämmastiku keskmine sisaldus oli kõige suurem Assamallas (Joonis 4.11.5). Kuna märtsiks vähenes Nüld sisaldus seal veebruariga võrreldes kolm korda, kuid aprillis enam järviku kuivamise tõttu proovi võtta ei saanud, siis ilmselt oleks keskmine sisaldus olnud väiksem, kui järvikus oleks vesi kauem püsinud ning Nüld sisalduse vähenemise suundumus jätkunud. Veebruaris Assamallas mõõdetud maksimaalne sisaldus (12 mg/l) ületas järgmist ehk Kuksema maksimaalset sisaldust enam kui 3,5 mg/l võrra (Tabel 4.11.1). Keskmine sisaldusena oli Nüld üle kalgiveeliste järvede väga halva seisundiklassi piiri (>4,5 mg/l) veel Kuksemas ja Lemmkülas. Kuksemas ei toimunud veefaasi jooksul ka arvestatavat Nüld sisalduse vähenemist, kuigi sealt sai proovi võtta veel juuniski. Põhjuseks oli eeldatavasti pidev lämmastikurohke vee juurdevool Kuksema ja Kagavere kraavidest. Kuksema ja Assamalla tulid esile ka seetõttu, et kõigis teistes järvikutes mõõdeti uuringu jooksul väikseimaks Nüld sisalduseks 1,2 mg/l või vähem, kuid neis oli väikseim Nüld sisaldus vastavalt 5,0 ja

4,0 mg/l. Lemmkülas oli Nüld sisaldus kolmel korral väga halval tasemel, kuid langes juuni alguseks väga heale tasemele.

Tudre ja Võhmetu keskmine Nüld olid kesise ja halva seisundiklassi piiril, jäädes formaalselt napilt kesise poolele. Ülejäänud järvikute keskmine Nüld sisaldus oli kas heas või Kirikla ja Alba puhul ka väga heas seisundiklassis. Samas maksimaalne mõõdetud Nüld sisaldus oli Saksis väga halval, Jalgsemas halval, Einjärves ja Kiriklas kesisel tasemel ning vaid Alba Nüld sisaldus vastas kogu uuringuperioodi jooksul heale või väga heale seisundiklassile. Seega näitasid Nüld andmed, et peamine põhjus, miks Kirikla ja Alba järvikud uuringusse valiti ehk vähene mõjutatus põllumajanduse hajureostusest, osutus tõeks.

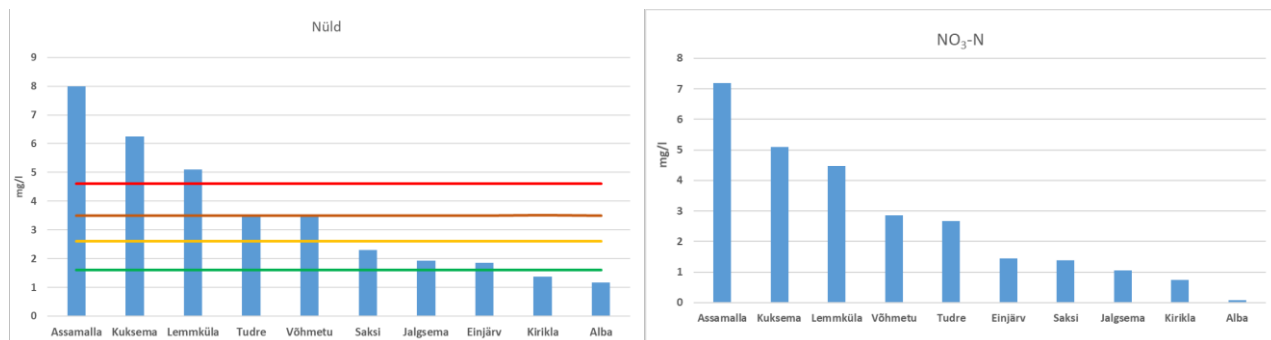
Kõigi järvikute, v.a Kuksema ja Lemmküla, mõõdeti suurim Nüld sisaldus veebruaris. Lemmkülas erines veebruarikuine Nüld sisaldus märtsikuisest aga vähe. Kuna reeglina kattus veebruarikuine proovivõtuaeg ka järvikute kõrgeima veetaseme perioodiga, siis oli peaaegu kõigis järvikutes enim lämmastikku kõrgeima veetaseme ajal. Selle seaduspära alla läheb ka Lemmküla järv, sest selle kõrgeim veetase oli märtsis. Erines taas Kuksema, kuna sellest mõõdeti suurim Nüld sisaldus juba detsembris ning Võhmetu, kus Nüld sisaldus oli suurim küll veebruaris, kuid järviku veetase oli kõrgem märtsis, mil Nüld sisaldus oli juba vähenenud. Eranditult kõigis uuritud järvikutes oli aga Nüld sisaldus viimasel proovivõtukorral (märtsis, aprillis või mais) väiksem, kui see oli olnud veebruaris (Joonis 4.11.6) ning reeglina oli see erinevus mitmekordne. **Järvikute suur Nüld sisaldus veega täitumise ja maksimaalse veetaseme ajal viitavad, et lämmastik pärineb järvikuid toitvast põhjaveest.** Sama Nüld sisalduse trend tuvastati lirimaa karstijärvikutes (Allott et al, 2015).

Allott et al (2015) töid välja, et Nüld sisalduse suurenemine sügisel ja talvel ning sellele järgnev vähenemine on alaliste järvede puhul hästi dokumenteeritud ning seotud lämmastiku leostumisega valgalade pinnasest taimede kasvuperioodi lõpus. Kevade poole Nüld sisaldus valgalade äravoolus väheneb, kuna vaba lämmastikuaru hakkab ammenduma. Alalistes järvedes on Nüld sisalduse vähenemine kevadel ja suvel seda kiirem, mida kiirem on nende veevahetus. Samas rõhutasid Allott et al (2015), et enamikus nende uuringu karstijärvikutes oli eeldatav veevahetus aeglane, mistõttu järvikute vee asendumine veefaasi jooksul polnud enamikel juhtudel hea põhjendus nende Nüld sisalduse vähenemisele. Samas polnud neil piisavalt andmeid, et hinnata enamike järvikute puhul järvikuisest protsesside suhtelist osatähtsust Nüld sisalduse vähenemisel veevahetusega võrreldes.

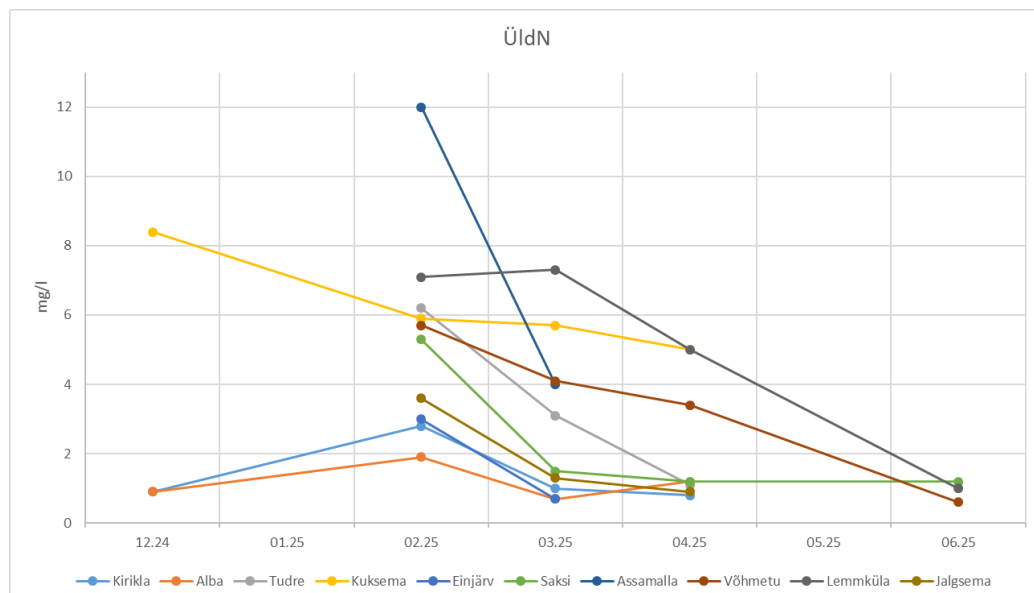
Käesolevas uuringus ei tuvastatud järvikute seirekaevude vees sarnast selget Nüld sisalduse vähenemist kevade jooksul. Tõsi on küll see, et kaevudest võeti reeglina vaid kaks proovi, kuid veebruari alguse ning aprilli teise poole tulemustes oleks järvikutega sarnane mitmekordne Nüld sisalduse vähenemine pidanud avalduma. Seega ei saa järvikute Nüld sisalduse vähenemist seostada neid toitva põhjavee Nüld sisalduse vähenemisega. Seda enam, et veetaseme langusfaasi ajaks vähenes või lõppes põhjavee sissevool järvikutesse. Järvikute elektrijuhtivus ei vähenenud üheski järvikus viimaseks proovivõtukorraks sedavõrd madalale, et mitmekordselt vähenenud Nüld sisaldust saaks selgitada põhjavee päritolu vee asendumisega sademevee päritolu veega. Kõige väiksemad elektrijuhtivused mõõdeti märtsis Jalgsemas ja juunis Võhmetus (Tabel 4.11.1), kuid Jalgsemas oli see märtsis vaid 14% väiksem, kui oli olnud veebruaris, kuid Nüld sisaldus oli märtsis 2,8 korda väiksem kui veebruaris. Võhmetus oli elektrijuhtivus juunis 36% väiksem kui aprillis, aga Nüld sisaldus oli viis ja pool korda väiksem. Järelikult **saab käesoleva uuringu tulemuste põhjal järeldada, et Nüld sisalduse vähenemine järvikutes tulenes järvikuisestest protsessidest.** Kõige tõenäolisemalt kasutati lämmastik ära bioproduktiooni käigus, kuid ei saa välistada ka denitrifikatsiooni mõju järvikutes, mille põhjas võisid jää alla kujuneda anoksilised tingimused.

Keskmine nitraatlämmastiku sisalduse jaotus järvikutes oli sarnane Nüld sisalduse jaotusele, olles suurim Assamalla ning järgnesid Kuksema ja Lemmküla (Joonis 4.11.5). Alba järvik oli sisuliselt nitraadivaba. Suurima Nüld sisalduse ajal moodustas nitraatlämmastik enamikes järvikutes vähemalt 80% Nüld-ist. Eranditeks olid Jalgsema, kus nitraatlämmastiku osakaal veebruaris oli 72%, Kirikla 50% ja Alba vaid 6%. Reeglina vähenes nitraatlämmastiku osakaal Nüld-ist kevade jooksul. See tähendab, et nitraatlämmastiku sisaldus vähenes reeglina kiiremini kui Nüld sisaldus. See võib olla põhjustatud denitrifitseerimisest või nitraatide kiiremast äratarbimisest produktiooni käigus, samal ajal kui orgaanilise lämmastiku biomassi sidumine kulges

aeglasemalt. Ülejäänud anorgaaniliste lämmastikuühendite osakaal Nüld-ist oli väike, jäädes ammoniumlämmastiku puhul reeglina alla 7% ja nitritlämmastiku puhul alla 1%. Erandiks olid Saksi ja Jalgsema järvikud aprillis, kus ammoniumlämmastik moodustas 13–16% Nüld-ist, kuid mõlemal juhul oli Nüld sisaldus siis väga väike, jäädes 1 mg/l juurde.



Joonis 4.11.5. Uuritud järvikute keskmine üldlämmastiku (Nüld) ja nitraatlämmastiku (NO₃-N) sisaldus. Punane horisontaaljoon tähistab kalgiveeliste järvede väga halva, pruun joon halva, kollane kesise ja roheline hea seisundiklassi alumist piiri.



Joonis 4.11.6. Üldlämmastiku sisalduse muutus uuritud järvikutes veefaasi jooksul.

Keskmise Püld sisalduse põhjal oli järvikute seisund alaliste kalgiveeliste järvede kriteeriumite põhjal hinnates üllatuslikult halvemgi kui üldlämmastiku põhjal. Keskmine Püld, nagu ka Nüld, oli suurim Assamallas (Joonis 4.11.7). Kui Assamalla keskmine Nüld sisaldus ületas väga halva seisundiklassi piiri vähem kui kaks korda, siis väga halva Püld seisundiklassi piiri ületas järviku keskmine Püld sisaldus üle nelja korra. Keskmise Püld sisalduse järgi olid väga halvas seisundiklassis ka Kuksema, Jalgsema, Tudre ja Saksi, viimane küll napilt. Assamalla, Kuksema ja Jalgsema eristas teistest järvikutest see, et Püld sisaldus vastas neis kõigil määramiskordadel väga halvale seisundiklassile. Tudre ja Saksi olid veebruaris kesises seisundis. Võhmetu oli keskmise Püld sisalduse järgi halvas seisundis ning ülejäänud järvikud heas seisundis. Erinevalt Nüld sisaldusest ei olnud ükski uuritud järvik Püld keskmise sisalduse põhjal väga heas seisundis.

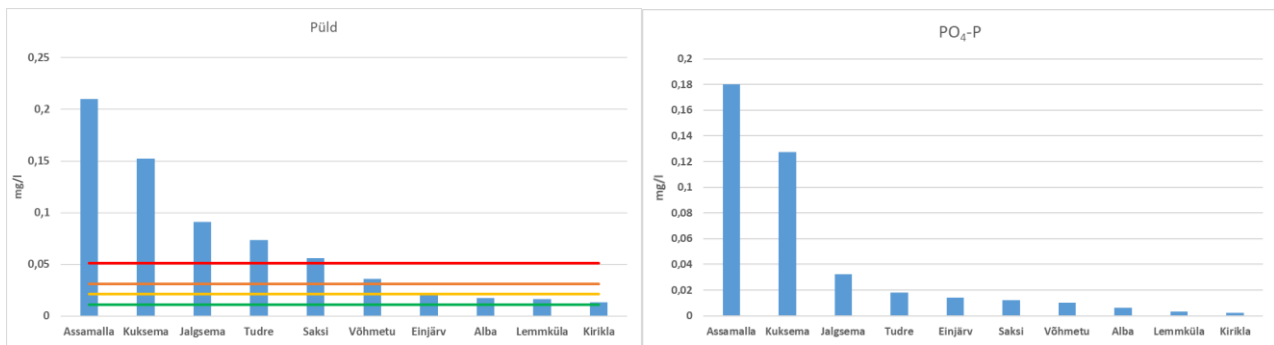
Sellised Püld sisaldused olid üllatavad, sest enne uuringu läbiviimist eeldati, et uuritavate järvikute, eriti Pandiveres asuvate, peamiseks veekvaliteedi halvendajaks on põllumajandusest pärinevad nitraadid. Kui Nüld dünaamika oli kõigis järvikutes sarnane ning see pärines kõigil juhtudel selgelt järvikut toitvast veest, siis Püld dünaamika oli järvikute puhul varieeruvam. Enamikes järvikutes oli Püld sisaldus veebruaris väiksem kui hilisematel mõõtmiskordadel (Joonis 4.11.8), mis tähendab, et vastupidiselt Nüld-ile suurenes järvikute Püld sisaldus kevade edenedes ning veetaseme langedes. Iirimaa uuringus Püld dünaamikas üheseid trende ei ilmnenud (Allott et al 2015), selle sisaldus kõikus ebareeglipäraselt järvikute vahel ja ajas. Järeldati, et Püld

sisaldust mõjutavad protsessid on järvikuspetsiifilised, kuid seda, millised spetsiifilised protsessid need olla võivad, välja ei pakutud.

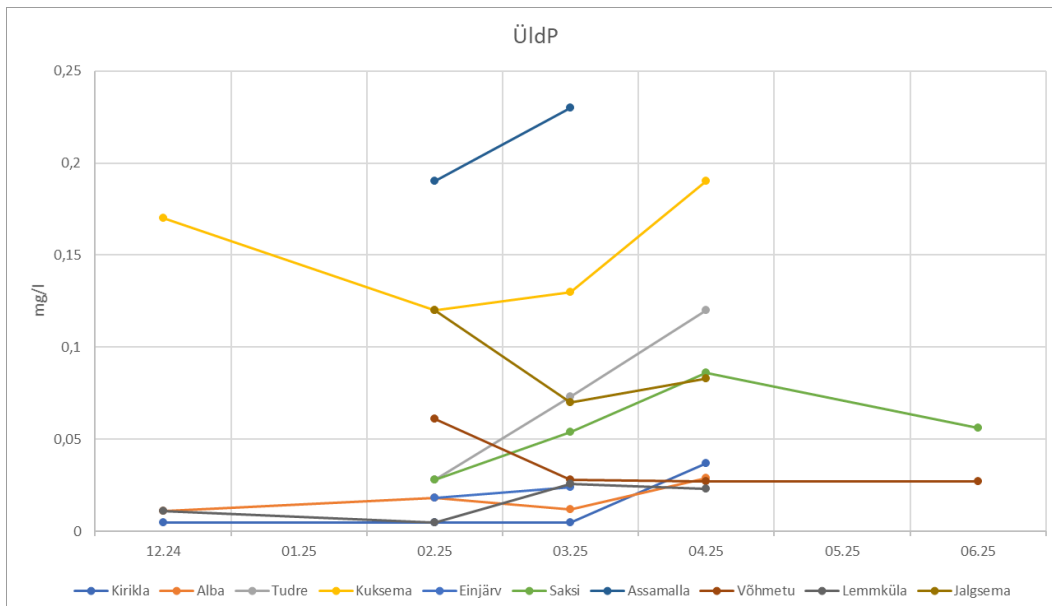
Käesolevas uuringus eristuvad järvikud, kus Püld sisaldus näitas väga halba seisundit juba esimesel proovivõtukorral ja järvikud, kus see näitas esimesel korral väga head, head või kesist seisundit, kuid hiljem seisundiklass halvenes. Esimesse gruppi kuuluvad Assamalla, Kuksema, Jalgsema ja Võhmetu. Nagu eespool välja toodud, püsis neist esimese kolme seisundiklass väga halb kogu uuringu jooksul. Kui Assamallas suurenes juba veebruaris suur olnud Püld sisaldus märtsiks veelgi, siis Kuksemas see vahepeal vähenes, kuid oli aprilliks ehk viimaseks proovivõtukorraks ikkagi kogu uuringuperioodi kõige suurem. Jalgsemas samuti Püld sisaldus vahepeal vähenes ja suurenes aprilliks uuesti, kuid ei ületanud veebruarikuist taset. Assamalla ja Jalgsema puhul oli Püld sisaldus suur ka nende põhjavee seirekaevus ning Kuksema puhul sissevoolavas Kuksema kraavis (aga mitte Kagavere kraavis). Seega **võib Assamalla ja Jalgsema puhul järeldada, et suur fosforikogus voolas järvikutesse sisse koos neid täitva põhjaveega**. Kuksema puhul oli algse fosforisisalduse oluliseks allikaks Kuksema kraav. Seal pärines see osaliselt heitveest, aga heitvee koguseid ja selle fosfori sisaldusi arvestades pidi oluline osa fosforist tulema kraavi kusagilt mujalt, tõenäoliselt põhjaveest. Seega **ka Kuksema järvikusse voolas tõenäoliselt sisse olulises koguses kaudselt põhjaveest pärinevat fosforit**.

Esimesel proovivõtukorral väga halba Püld seisundiklassi kuulunud järvikutes eristub Võhmetu, kuna märtsiks vähenes selle Püld sisaldus enam kui kaks korda ning hiljem enam ei suurenenud. Võhmetu oli ainus järvik, kus Püld sisaldus iga järgmise proovivõtukorraga vähenes või püsis muutumatuna. Lisaks ei olnud Võhmetu põhjavee seirekaevus fosforit. Samuti oli seda veebruaris väga vähe lähedalasuvas ja eelduste kohaselt samast põhjaveekihist toitavas Lemmküla järvikus. Kõik need andmed viitavad, et erinevalt Assamallast, Kuksemast ja Jalgsemast pidi Võhmetu algne suur fosforisisaldus pärinema järviku siseprotsessidest. Võimaliku fosforiallikana on peatüks 4.10.2 välja pakutud metssigade poolt ülesongitud järviku põhja, millest fosfor pärast ala üleujutamist veesambasse vabanes.

Ülejäänud kuues järvikus olid esialgsed fosforisisaldused määramispiiri ja 0,028 mg/l vahel, see tähendab enam kui kaks korda väiksemad kui Võhmetus ja enam kui neli korda väiksemad kui Jalgsemas. Erinevus Assamalla ja Kuksemaga oli veel suurem. Püld järgi veebruaris kesises seisundis olnud Tudre puhul põhjavee seirekaevus fosforit polnud, kuid Saksi puhul oli, mistõttu ka Saksis võis esialgne fosforikogus pärineda põhjaveest. Kõigi nende kuue järviku puhul oli aga ühine see, et hiljem fosforisisaldus suurenes vähemalt kesise, aga ka halva ja väga halva seisundini. Kõigi nende järvikute suurim Püld sisaldus oli aprillis (Einjärves märtsis, sest aprilliks oli järvik kuivanud). Seega pidi fosforit vabanema järvikute seest sisemiste protsesside tulemusel. Ilmselt on tõenäolisem fosforiallikas üleujutatud pinnas, millest võis järvikute põhjas hapnikupuuduse tõttu redokstingimuste muutumisel fosforit vette vabaneda. Teine võimalik fosfori allikas on järvikutes kuiva faasi ajal kasvanud taimne biomass, mis vee soojenedes lagunema hakkas ja fosforit vette vabastas. Kui taimse biomassi lagunemine oleks olnud peamine fosforiallikas, siis võinuks suurened ka Nüld sisaldus, kuid seda teatavasti ei juhtunud. Teisalt pidanuks pinnasest anoksilistes tingimustes vabanema eelkõige fosfaatfosfor. Samas oli fosfaatfosfori osakaal Püld-ist reeglina alla 60% ning mitmetes järvikutes palju väiksemgi. Näiteks oli Kirikla järvikus aprillikuise 0,037 mg/l Püld sisalduse juures fosfaatfosforit alla määramispiiri. Kõige suurem fosfaatfosfori osakaal oli Assamallas, kus veebruarikuise ülisuure Püld sisalduse juures moodustas fosfaatfosfor Püld-ist 100%. Pidevalt üle 80% oli fosfaatfosfori osakaal ka Kuksema järvikus. Seega toimus järvikute fosforisisalduse suurenemine enamjaolt orgaanilise fosfori arvelt. Järelikult tuleb nentida, et **enamike järvikute fosforiallikas jäi väljaselgitamata ning karstijärvikute fosforidünaamika vajab täiendavat uurimist**, selleks et oleks võimalik hinnata, mil määral tulenevad suured Püld sisaldused looduslikest protsessidest ning mil määral inimtegevusest. Lisaks tuleks kordusuuringuga välja selgitada ka, kas 2025. aasta ebatavalistes hüdrooloogilistes tingimustest täheldatud Püld trendid korduvad ka tavapäraste hüdrooloogiliste tingimustega aastatel.



Joonis 4.11.7. Uuritud järvikute keskmine üldfosfori (Püld) ja fosfaatfosfori (PO₄-P) sisaldus. Punane horisontaaljoon tähistab kalgiveeliste järvede väga halva, pruun joon halva, kollane kesise ja roheline hea seisundiklassi alumist piiri.



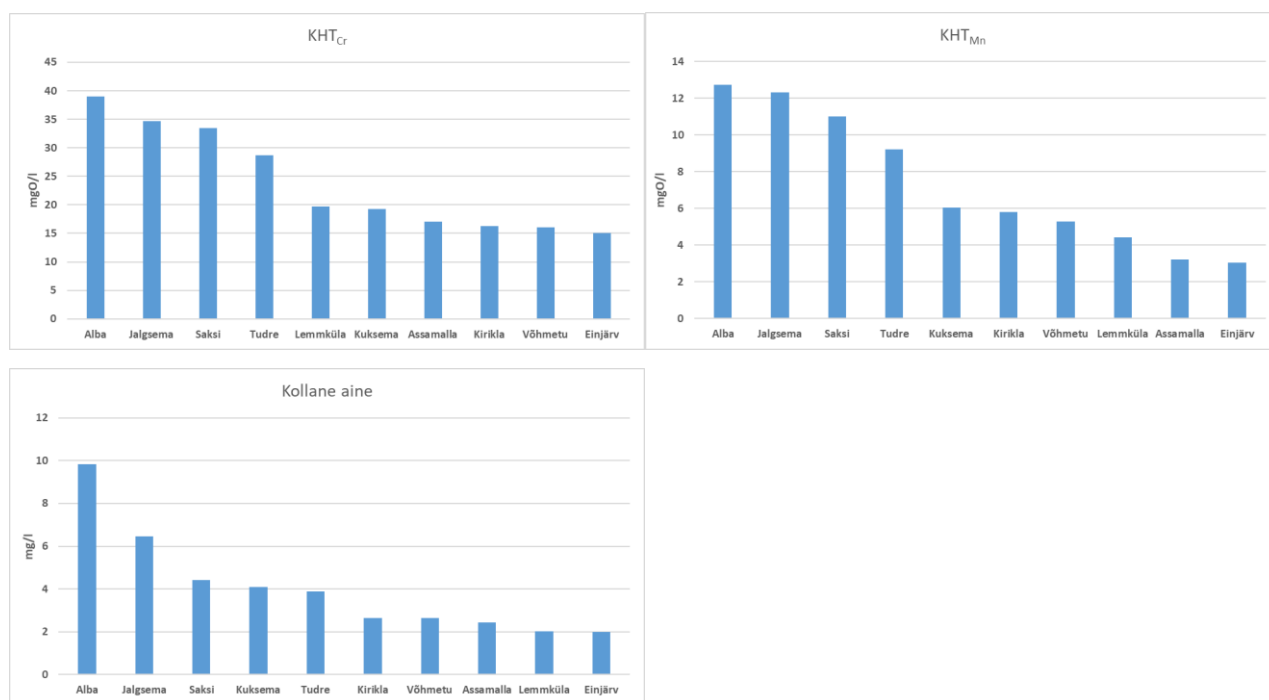
Joonis 4.11.8. Üldfosfori sisalduse muutus uuritud järvikutes veefaasi jooksul.

Keskmine orgaanilise aine sisaldus oli enamikes järvikutes Simm (1975) järgi väike ehk KHT_{Cr} järgi alla 25 mgO/l ja KHT_{Mn} järgi alla 10 mgO/l (Joonis 4.11.9). Ainus järvik, kus orgaanilise aine sisaldus oli Simmi (1975) klassifikatsiooni järgi suur, oli Alba KHT_{Cr} põhjal, aga mitte KHT_{Mn} põhjal. Teistest järvikutest ca 10 mgO/l võrra suurem oli orgaanilise aine keskmine sisaldus KHT_{Cr} järgi ka Jalgsemas, Saksis ja Tudres. Need neli järvikut erinesid ülejäänutest ka KHT_{Mn} põhjal. Põhjaveetoiteliste veekogudena on karstijärvikute puhul väike orgaanilise aine sisaldus täitumisperiodil ootuspärasem kui suur. Orgaanilise aine sisaldus saab järvikus suurendada veefaasi jooksul järvikusisese produktsiooni või sellesse kuiva faasi ajal kasvanud ja ladestunud orgaanilise materjali lagunemise tulemusel. Kuna järvikutesse kasvav maismaataimestik laguneb nii kuiva kui ka veefaasi ajal, siis toimub järvikutes humifitseerumine, mida alalistes järvedes ei esine. Üleujutusperiodil saavad aga huumusained mullast vette vabaneda. Seetõttu ei pruugi karstijärvikutes kehtida reegel, et selles olevad huumusained pärinevad vaid järviku valgalalt. Veefaasi ajal toimuva järvesisese produktsiooni tulemusel moodustunud orgaanilise aine domineerimine järvikute vees kuiva faasi ajal moodustunud orgaanilise aine üle on siiski tõenäolisem. Seda näitas ka järvikute oksüdeeritavusprotsent (KHT_{Mn}/KHT_{Cr}), mis oli >40% vaid Kirikla järvikus detsembris, mil järves valdas kagust oja kaudu sissevoolanud vesi. 40% lähedal oli see ka Jalgsema järvikus maksimaalse veetaseme ajal.

Suurima orgaanilise aine sisaldusega järvikutest oli Albas teistest selgelt rohkem kollast ainet (Joonis 4.11.9), samas keskmine KHT_{Mn}, mis samuti pigem huumusainete sisaldust näitab (Ott, 2008), sedavõrd palju teistest järvikutest suurem ei olnud. Selle eripära põhjused pole teada, kuid suur kollase aine sisaldus juba järviku täitumisperiodil võiks viidata järvikusse kagust sissevoolava, Jaanissoost algava oja mõjule. Jalgsema järvikus oli samuti orgaanilise aine sisaldus mõlema KHT põhjal juba maksimaalse veetaseme ajal suurem kui enamikes järvikutes, kuid Tudres ja Saksis oli see KHT_{Cr} järgi alla määramispiiri ja suurenes kevade jooksul

oluliselt. Mõlemas oli enamikest järvikutest suurem ka klorofüll a keskmine sisaldus (Joonis 4.11.10), samas oksüdeeritavusprotsent oli 30% juures ning keskmine kollase aine sisaldus väike. Kõik need andmed viitavad, et kõnealuse kahe järviku puhul saab orgaanilise aine suurenemise kanda veefaasi-aegse järvesisele produktsiooni arvele. Jalgsema järviku orgaanilise aine sisalduse lahtimõtestamine on keerukam. Ainsa järvikuna, peale Alba, oli selle KHT_{Cr} kõrgeima veetaseme ajal tunduvalt üle määramispiiri. Lisaks mõõdeti kogu uuringu jooksul Jalgsema veebruarikuisest tulemusest suurem oksüdeeritavusprotsent vaid ühel korral Kiriklas. Kollase aine sisaldus oli kõrgeima veetaseme ajal suurem vaid Albas ja Kuksemas (proov võeti kultuurheinamaa pealt jääserva alt). Klorofüll a sisaldus ($19 \mu\text{g/l}$) oli Jalgsemas kõigest veebruarikuistest proovidest suurim. Seega viitavad osad andmed, et oluline osa järvikus olnud orgaanikast võis pärineda kuivemast keskkonnast, samas viitavad teised andmed, et ka järvikusisene produktsioon oli suur. Kui see orgaaniline aine oli järvikusse jõudnud täitumise ajal, siis peaks leidma ka selle allika. Erinevalt Albast ega Kiriklast ei ole Jalgsemal aga turvasmuldadelt vett koguvat sissevoolu, mis oleks võinud orgaanilise aine järvikusse tuua. Tõsi, ka Jalgsemasse voolab põhja poolt sisse nire, kuid see on enne järvikusse suubumist vaid paarisaja meetri pikkune ega voola üle turvasmuldade. Seetõttu on võimalik, et orgaaniline aine jõudis järvikusse põhjavee kaudu, kuid selle kinnituseks pole ühtegi fakti, kuna Jalgsema järviku põhjavee seirekaevust ei õnnestunud veebruaris esinduslikku veeproovi võtta. Kevade jooksul järviku orgaanilise aine sisaldus suurenes, kusjuures KHT_{Cr} suurenes kiiremini kui KHT_{Mn} ja vähenes ka oksüdeeritavusprotsent, mistõttu valitsevaks pidi saama järvesisene produktsioon, nagu Tudres ja Saksis.

Kui keskmise KHT_{Cr} sisalduse põhjal erinesid ülejäänud järvikud, peale kirjeldatud nelja, omavahel vähe, siis KHT_{Mn} põhjal olid teistest eristuvamalt väiksema keskmise orgaanilise aine sisaldusega Assamalla ja Einjärv (Joonis 4.11.9). Mõlematest sai võtta vaid kaks proovi, kuna need olid aprilliks kuivanud. Enamikes järvikutes suurenesid aprilliks nii KHT_{Cr} kui ka KHT_{Mn} . KHT_{Mn} suurenemisse võisid panustada lisaks järvesisele produktsioonile ka pinnasest eraldunud huumusained, mida sai eralduda seda rohkem, mida kauem järvikutes vesi sees oli. Seetõttu võib oletada, et ka Assamalla ja Einjärve keskmised KHT_{Mn} väärtused oleksid olnud ülejäänud vähese orgaanilise aine sisaldusega järvikutele sarnasemad, kui neis vesi kauem sees oleks püsinud.



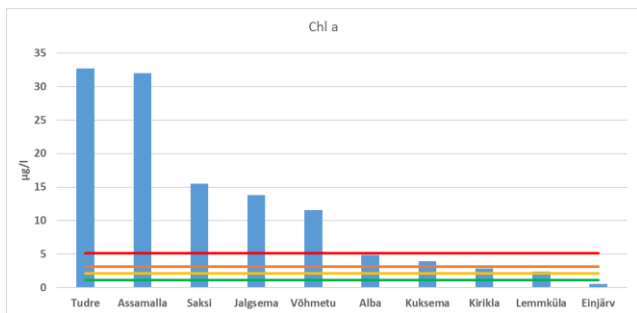
Joonis 4.11.9. Uuritud järvikute keskmine orgaanilise aine sisaldus dikromaatse (KHT_{Cr}) ja permanganaatse (KHT_{Mn}) oksüdeeritavusena ning kollase ainena.

Keskmise klorofüll a sisalduse põhjal oli heas seisundis vaid Einjärv (Joonis 4.11.10). Väga halvas seisundis olid Tudre, Assamalla, Saksi, Jalgsema ja Võhmetu. Alba ja Kuksema olid halvas seisundis ning Kirikla ja Lemmküla kesises seisundis. Tudre ja Assamalla keskmine klorofüll a sisaldus oli enam kui kuus korda väga halva seisundiklassi piirist suurem ning ka enam kui kaks korda klorofüllisisalduselt järgmistest järvikutest suurem. Vähemalt ühe korra (kui mitte varem, siis aprillis) vastas klorofüll a sisaldus väga halvale seisundiklassile kõigis järvikutes, peale Lemmküla ja Einjärve.

Reeglina klorofüll a sisaldused iga järgmise mõõtmiskorruga suurenesid või jäid samaks. Erandiks olid Kuksema, kus märtsis oli sisaldus väiksem kui veebruaris, aga aprilliks see taas tõusis; Lemmküla, kus see oli aprillis väiksem kui märtsis ja Jalgsema, kus see oli märtsis väiksem kui veebruaris. Aprilliks Jalgsema klorofüll a sisaldus küll suurenes, kuid ei ületanud veebruarikuist sisaldust. Mõnevõrra ootamatu oli kalgiveeliste järvede jaoks väga suurte klorofüll a sisalduste tuvastamine keset talve veebruaris Assamallas ja Jalgsemas, ajal, mil elutegevus veekogudes võiks olla tagasihoidlik. Talvist intensiivset produktsiooni täheldati ka Iirimaa karstijärvikute uuringus. Nimelt tuvastati selles enamike järvikute suurim klorofüll a sisaldus kõige pimedamatel kuudel novembris, jaanuaris ja veebruaris (Allott et al, 2015). Suurt talvist produktsiooni põhjendati nende madaluse ja selge veega, mistõttu levib valgus kogu nende veesambas hästi. 2024.–25. aasta talv oli Eestis küll pehme ja seetõttu sarnasem Iirimaa talvedele, kui keskmistel aastatel, kuid teatud perioodidel oli enamik järvikuid siiski jääga kaetud. Kui Assamalla puhul uuringu käigus jääkatet ei nähtud, siis Jalgsema oli veebruarikuise veeproovi võtmise ajal jääs. See pidi halvendama järviku valgustingimusi, kuid nähtavasti mitte piisavalt, et klorofüll a produktsiooni takistada. Iirimaa uuringus toodi üllatusliku avastusena välja ka suurte klorofüll a sisalduste saavutamine kiiresti pärast järviku veega täitumise algust. Ühes järvikus mõõdeti klorofüll a sisaldus 110,5 µg/l hilissügisel vaid 19 päeva pärast järviku eeldatava täitumise algust (Allott et al, 2015). Selle kõrval pole Jalgsema järvikust mõõdetud 19 µg/l 48 päeva pärast veega täitumise algust kuigi ebatavaline tulemus. Põhjendades, kuidas fütoplanktoni populatsioon järvikutes sedavõrd kiiresti kujuneda saab, on toodud välja, et Iirimaa on õnnestunud vetikaid kasvatama panna karstijärvikute põhjast kogutud kuivast mullast ning mõned sealsed karstijärvikute vetikaliigid taluvad läbikuivamist (ref Allott et al, 2015).

Üldist klorofüll a sisalduse suurenemist käesoleva uuringu järvikutes veefaasi jooksul saab seostada nende vee lämmastiksisalduse vähenemise ja fosforisisalduse suurenemisega. Lämmastikku jäi järvikute vees pärast veetaseme tipu saavutamist vähemaks, kuid fosforit tuli järvikute sisemiste protsesside tulemusel juurde. Seeläbi vähenes fosfori limiteeritus lämmastiku suhtes, mis soodustas klorofüll a tootmise suurenemist. Intensiivse produktsiooni tulemusel kasutati järvikute lämmastikuvarud ära ja seoti biomassi. Selle tulemusel suurenes järvikutes ka orgaanilise aine sisaldus.

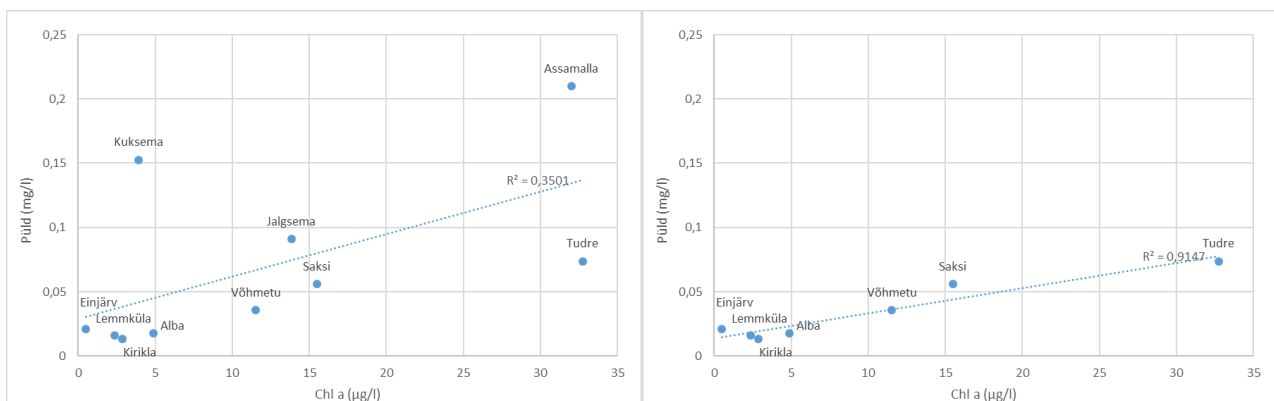
Eelneva, uuringu käigus kogutud andmetega justkui väga hästi sobitava protsessikirjeldusega ei lähe kokku aga aprilli alguses kogutud proovide fütoplanktoni ja klorofüll a sisaldused. Tabelis 4.11.1 ja joonisel 4.11.10 esitatud keskmiste klorofüll a sisalduste leidmisel aprilli alguse andmeid ei kasutatud. Need on nähtavad iga järviku hüdrokeemia peatükis ning tabelis 4.11.3. Aprilli alguse proovides määratud klorofüll a sisaldused olid kõigis järvikutes kordades väiksemad kui aprilli teises pooles ning enamikes järvikutes ka väiksemad kui märtsi teises pooles. Samuti määrati enamike järvikute aprilli alguse proovidest väga väikesed fütoplanktoni biomassid. Ainsana hinnati suureks Saksi järviku fütoplanktoni biomass (vt ptk 4.8.5), kus oli ka klorofüll a sisaldus kõige suurem. Seega läksid nii klorofüll a kui fütoplanktoni biomassi tulemused aprilli alguse proovides kokku, kuid ei sobitunud teiste proovivõtukordade klorofüll a tulemustega ega näidanud oluliste esmasproduktentidena fütoplanktonit. Vees olevad toiteained võisid ära tarbida peale fütoplanktoni ka pikoplankton, bentilised ränivetikad ja perifüüton (Assamallas olid vee all olevad taimed juba märtsis ohtralt niitvetikatega kaetud) ning toota ka suure koguse klorofüll a-d. Seetõttu väike fütoplanktoni biomass otseselt suurte klorofüll a sisaldustega vastuolus ei ole ning aprilli teiseks pooleks võis fütoplanktoni tänu vee soojenemisele järvikutes ka oluliselt ohtralt eksisteerida. Raskesti seletatav on aga klorofüll a sisalduse mitmekordne vähenemine enamikes järvikutest aprilli alguseks märtsi teise poolega võrreldes. Need andmed viitavad, et järvikute klorofüll a ja fütoplanktoni dünaamikat tuleks edaspidi uurida tihedama intervalliga.



Joonis 4.11.10. Uuritud järvikute keskmine klorofüll a sisaldus. Punane horisontaaljoon tähistab kalgiveeliste järvede väga halva, pruun joon halva, kollane kesise ja roheline hea seisundiklassi alumist piiri.

Järvikute keskmise klorofüll a ja Püld sisalduse vahel oli keskmise tugevusega positiivne lineaarne seos (Joonis 4.11.11). Selgeteks võõrväärtusteks olid Kuksema ja Assamalla. Kuksema puhul oli väga suurele keskmisele fosforisisaldusele vaatamata keskmine klorofüll a sisaldus pigem väike. Kuigi Püld sisaldus oli järvikus kõigil neljal proovivõtukorral üle 0,1 mg/l, oli vaid aprillikuine klorofüll a sisaldus suurem kui 4 µg/l. Arvestades, et järvikus oli kõigil kordadel suur Nüld sisaldus, ei saanud produktsiooni piirajana mõju avaldada ka lämmastiku defitsiit. Seega jäi ebaselgeks, mis järvikus kevadtalvel klorofüll a tootmist takistas. Assamallas seevastu oli keskmine klorofüll a sisaldus küll peaaegu kõigist uuritud järvikutest suurim, kuid et ka Püld sisaldus oli suurim, siis teiste järvikutega võrreldes pidanuks seal klorofüll a-d veelgi rohkem olema, et see sirgele lähemal oleks olnud. Võimalik, et nii oleks ka juhtunud, kui vesi järvikus kauem oleks püsinud, sest veebruarist märtsini suurenes Assamalla klorofüll a sisaldus ligi viis korda. Teisalt võinuks produktsiooni suurenemist hakata takistama lämmastiku defitsiit, sest juba märtsiks oli N:P suhe järvikus langenud 17:1-ni (fütoplanktoni produktsiooni piiravaks peetakse lämmastikku siis, kui N:P suhe langeb alla 16:1 (Ott & Timm, 2020)). Kui need kaks järvikut kõrvale jätta, muutub seos klorofüll a ja Püld vahel oluliselt tugevamaks ($R^2=0,60$).

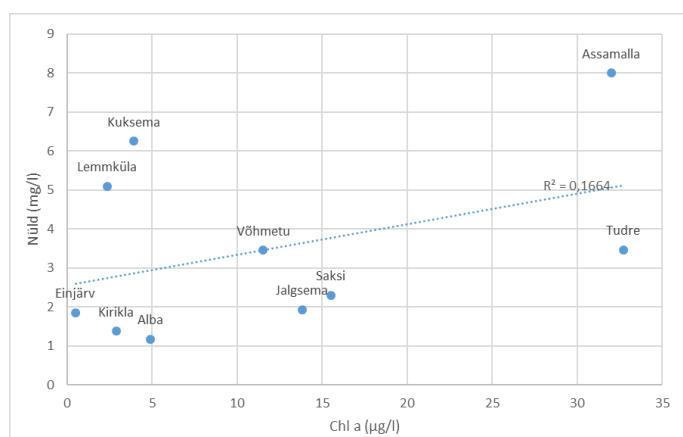
Lineaarsest seosest kaldub mõnevõrra kõrvale ka Jalgsema, kus keskmist Püld sisaldust arvestades võinuks oodata suuremat klorofüll a sisaldust. Seal võis klorofüll a tootmist takistama hakata lämmastikupuudus, sest selle sisaldus oli juba märtsis vaid 1,3 mg/l ja langes aprilliks veelgi, mistõttu juba märtsis oli N:P suhe 19:1 ning aprilliks langes 11:1-ni. Ülejäänud seitsme järviku keskmise Püld ja klorofüll a sisalduse seos oli väga tugev ($R^2=0,91$) (Joonis 4.11.11). Tugev seos klorofüll a ja Püld sisalduse vahel leiti ka lirimaa karstijärvikute uuringus, kus 17 järviku puhul oli $R^2=0,84$ (Allott et al, 2015). Selleski uuringus jäeti viis järvikut regressioonanalüüsist kõrvale, kuna neis oli fosforisisalduse kohta liiga vähe klorofüll a-d. Nende viie järviku puhul eeldati, et fosfor polnud klorofüll a-d toodangut limiteerivaks toiteaineks.



Joonis 4.11.11. Järvikute keskmise üldfosfori (Püld) ja klorofüll a (Chl a) sisalduse seos kõigi kümne järviku põhjal (vasakul); seitsme järviku põhjal (paremal).

Keskmise klorofüll a ja Nüld sisalduse vahel oli positiivne lineaarne seos palju nõrgem kui fosfori puhul (Joonis 4.11.12). Seose saaks mõnevõrra tugevamaks kui eemaldada Kuksema ja Lemmküla, kuid see jääb endiselt nõrgemaks kui seos Püld-ga. Statistiliselt olulise seose puudumist nende näitajate vahel nenditi ka lirimaa karstijärvikute uuringus (Allott et al, 2015).

Positiivne lineaarne seos klorofüll a ja Püld sisalduste vahel viitab, et enamikes järvikutes oli klorofüll a toodangut limiteerivaks toiteaineks fosfor. Arvestades, et enamikes järvikutes näis fosfor vabanevat järvikutest endist, kuid selle konkreetne allikas on ebaselge ning jäi kahtlus, et tavapärasema hüdrooloogilise režiimiga aastal on järvikute fosforisisaldus väiksem, ei saa ka olla kindel, kas enamikes järvikutes täheldatud kalgiveeliste järvede kohta väga suur klorofüll a sisaldus on tavapärane. Teisalt, kui uuringuaastal mõõdetud fosforisisaldused on järvikutes tüüpilised ning fosfori dünaamika neis pole inimtegevusest mõjutatud, siis tuleks ka alalistele kalgiveelistele järvedele kehtestatud klorofüll a seisundiklasside piirid lugeda karstijärvikutele sobimatuteks. **Selleks, et järvikute seisundit klorofüll a, aga ka üldfosfori sisalduse alusel tulevikus hinnata, tuleks välja töötada neile sobivad seisundiklasside piirid.** Seda on võimalik teha aga ainult ühest aastast oluliselt pikemate andmeridade põhjal.



Joonis 4.11.12. Järvikute keskmise üldlämmastiku (Nüld) ja klorofüll a (Chl a) sisalduse seos.

Üldkokkuvõttes võib 2025. aasta andmete põhjal teha järelduse, et karstijärvikud käituvad justkui biotiikidena, kus sisenev nitraadirohke vesi muudetakse nitraadi- ja üldisemalt lämmastikuvaeseks. Seetõttu liigub tagasi põhjaveekihti lämmastikuühendite poolest puhtam vesi. Teisalt rikastub karstijärvikute vesi aga fosforiga ning järelikult on ka tagasi põhjaveekihti liikuv vesi põhjavee üldisest foonist fosforirohkem. Põhjavee joogiveena kasutamise seisukohalt on nitraadirohke asendumine fosforirohkusega parem, sest fosforisisaldusele joogivees piirväärtust seatud ei ole (Joogivee kvaliteedi..., 2019). Samas allavoolu asuvatele põhjaveest sõltuvatele ökosüsteemidele on see pigem halvem, sest enamjaolt on siseveekogudes esmasproduktiooni limiteerivaks toiteaineks fosfor. Seda, **kas või mil määral karstijärvikute põhjaveekihti liikuv vesi põhjavee kvaliteedile järvikutest allavoolu mõju avaldab, tuleks edaspidi täiendavalt uurida.**

4.11.3. Taimestik

Inventuuri käigus kirjeldati karstijärvikute looduslik ja pool-looduslik taimkate puittaimestikuta aladel. Teadaoleva maksimaalse veetaseme järgi leitud järviku piiri sisse jäänud teist tüüpi alade piirid märgiti, aga täpsemat taimkatte analüüsi ei tehtud. Samuti ei käsitletud lähemalt teisi „kogemata” karstijärvikute alal asuvaid kooslusi – põllumaid ja allikasood. Erinevalt teistest uuritud elustiku rühmadest, pole järvikute taimestiku puhul võimalik kasutada alaliste järvede seisundihindamise kriteeriume. Alaliste järvede seisundit hinnatakse veetaimede põhjal, kuid karstijärvikutes kasvavad valdavalt maismaataimed ning veetaimi on vaid väikestes alalistes või peaaegu alalistes veesilmades. Seetõttu ei antud järvikutele taimestiku põhjal seisundihinnangut. Inventuuri käigus kogutud andmete põhjal eristati ja rühmitati nendes leitud kooslused, et edaspidi oleks võimalik erinevatele kooslustele omistada seisundit näitav tähendus. Töö raames loodud ja allpool kirjeldatud karstijärvikute taimekoosluste klassifikatsioon on esialgne. See vajab täpsustamiseks kogutud taimkatteruutude andmete matemaatilist analüüsi ja samuti mullastiku analüüsi.

Karstijärvikute taimkatte mitmekesisuse kujunemisel on kõige olulisemad veerežiimi ja mullastiku eripärad. Erinevad taimekooslused kujunevad nende kahe koostoimel.

1. Veerežiimi puhul on eristatavad:

lühiajalise,
keskmise,
pika üleujutusega alad.

Viimased lähevad üle (peaaegu) püsiveekogudeks. Vee sügavusel on kooslustele väiksem kujundav tähtsus.

2. Mullastiku puhul on eristatavad kaks osaliselt kattuvat klassifitseerimise võimalust – pinnase lõimis ja pinnase õhustatus.

2A Pinnase või lähtekivimi lõimise puhul on esialgu piiratud järgnevatega:

liiv ja saviliiv,
savi ja liivsavi; võimalik et eristatav on ka karbonaatne savirähk,
turvas.

2B Pinnase õhustatuse põhjal saab eristada samuti kolme võimalust:

hästiõhustatud pinnas – lühiajalise üleujutuse alal ja karstunud kooslustes,
gleistunud muld,
turvas, mis on kattuv 2A all tooduga.

Pinnase happelisus karstijärvikutes olulisi erinevusi ei saa põhjustada. See on kindlasti rohkem või vähem karbonaatne, varieerudes erineva karbonaatsuse piires. Karstunud järvikutes võib pinnas happeline olla, kui sinna voolab rabavesi (Marimetsa raba lääneservas), aga sellist karstunud alale tekkivat veekogu ei saa pidada tüüpiliseks ehk põhjaveetoiteliseks karstijärvikuks.

A. Põhjalikuma kirjelduseta kooslused

1. Kultiveeritud rohumaad ja põllud

Karstijärvikute üleujutusosalade servadesse jäi neid vähesel määral Pandiveres. Peamiselt oli tegemist erinevate kasutatavate püsirohumaadega, Assamalla oli ka väike kasutusest välja langenud ristiku põld. Kuksemas, Saksis ja Tudres ulatus karstijärviku veetase kitsale või laiemale alale küntava põllu servas.

2. Puittaimestikuga alad

Enamasti ümbritseb karstijärvikuid kitsam või laiem puittaimestikuga ala. Kas mets või võsastunud metsastunud varasem niidukoosluse ala. Nende taimestik sõltub väga palju koosluse vanusest ja naabrusest. Toimub üsna sujuv üleminek naabruse arumetsa või soo- ja soostunud kooslusteks. Seal võib leida mõnesid erinevusi üleujutuseta alade taimestikust, eelkõige puuduvad sealt mitmed kevadel õitsevad taimed, näiteks sinilill.

3. Paju kasvukohatüüp

Kasvukohatüüp on omane lammide taimestikule, millega karstijärvikute taimekooslused sarnanevad. Siin lähemalt ei käsitleta.

4. *Allikasoo* asub Saksi järve üleujutusosalal, selle idaservas (allikasoo kasvukohatüüp). Ala taimestikku kujundab märjal ajal karstijärviku üleujutus, kuival ajal järviku veepiirist kõrgemal asuva allika ja väiksemate üleujutusosalal asuvate allikate vesi. Kooslusel on vaid üksikuid allikasoo elemente, samal ajal pole see ka karstijärvikule omase veerežiimiga. Toimub pidev karstirežiimist sõltumatu allikalise vee pealevool.

B. Karstijärvikutes eristatud avatud kooslused

B1. Lühiajalise üleujutuse perioodiga niidukooslused

Need on ühelt poolt peaaegu looduslikult lagedana püsivad alad. Neile lisaks on ka niidetavate ja karjatavate alade vähem üleujutatav vöönd, mis niitmise-karjatamise lakkamisel ilmselt võsastuks-metsastuks kiiresti. Üleujutuse periood jääb taimede kasvuperioodil ilmselt keskmiselt alla ühe kuu.

Selle vööndi ülaserava tähistamiseks sobib kevadel tekkiva orgaanilise veeheite valli ala, mis sageli ei lange kokku (on kõrgemal) töös kasutatava karstijärviku veetaseme piiri samakõrgusjoonest. Koosneb eelkõige järvikus kasvanud taimede kulu väikestest jäänustest, lisaks on enamasti rohkesti veetigude karpe ning esineb ka teisi taimseid jäänuseid.

Eesti taimkatte kasvukohatüüpide klassifikatsiooni järgi sarnanevad need kooslused eelkõige niisketele aruniitudele või soostunud niitudele. Siia on allpool paigutatud ka turbaala kraavitamise järgselt kujunenud kõdusooniit, kuna metsadega analoogset klassifikatsiooniühikut niitude puhul ei kasutata.

B1.1. Madalamad rohustud, kõrgusega kuni 50 cm

5. Liigivaene kõdusooniit

Ainuke sellisena käsitletud ala asub Kuksema järviku alal suhteliselt väikesel pindalal. Eesti taimkatte kasvukohatüüpide klassifikatsiooni järgi sarnaneb tedremarana-luhtkastevarre kooslusele (soostunud niidud)

6. Niiske pärisaruniidu kasvukohatüüp, kooslus täpsustamata.

7. Pajuvaagi kooslus

See on karstijärvikutele omane, esinedes paljudes väiksemal või suuremal alal, ribana puistu piiri ja sügavama vee madala taimestikuga koosluste vahel. Fragmentide piiratuse tõttu on mitmes järvikus jäänud kaardistamata. Eesti taimkatte kasvukohatüüpide klassifikatsiooni järgi sarnaneb niiske looniidu sinihelmika-lubika ja niiske pärisaruniidu kõrveköömne-sinihelmika kooslusele.

Kooslusel on uuritud aladel kaks vormi – Lääne-Eesti ja Pandivere. Lääne-Eesti vormil on pajuvaak enamasti hõre ja madal, dominandid on pigem teised liigid. Pandivere vormil (esineb kitsaste ribadena, väikeste laikudena avatud ala ülaservas, enamasti kaardistamata) on pajuvaak tihedam ja kõrgem, kohati lausaliselt valitsev dominant väheste tõrjutud kaasliikide isenditega. On edasiste uuringute teema, kas see on tingitud pinnase erinevusest (Pandiveres valdavalt saviliivane, Lääne-Eestis savirähkne) või seostatav üleujutusvee eutrofeerituse tasemega. Võimalik, et see tuleks kirjeldada eraldi kooslusena karstijärvikute kasvukohatüübis.

8. Peetrilehe kooslus

Seda sai eristada väikesel alal Einjärves. Tegemist on ilmselt lühiajalise üleujutusega soostuva niidu kasvukohatüübi kooslusega. Kaasliikide lähema analüüsi põhjal saab otsustada, millisele soostunud niidu kooslusele seda lähedasemaks pidada

B1.2. Kõrgrohustud

9. Angervaksa kooslus

Angervaksa-soo-kurereha kooslus võib esineda nii liigivaese soostunud niidu, märja lamminiidu kui ka liigivaese madal-soo kasvukohatüübis. Nendes on angervaks dominant, aga angervaks kaasliigina esineb veel paljudes niiskemates kooslustes. Karstijärvikute aladel ei olnud aga peaaegu üldse soo-kurereha – võimalik, et piirajaks on liiga karbonaatne keskkond. Üldistatuna võib pidada karstijärvikute angervaksa kooslust soostunud koosluseks (seda on ka põhimõtteliselt märja lamminiidu kooslus). Soo kooslusena on ta eelkõige kuivenduskraavidena aladel, Kuksema karstijärviku põhjaosas. Üldistusena võib karstijärvikute angervaksa

kooslus olla liigivaesem kui soostunud niitude oma ja isegi lamminiitude oma, kuna pikem üleujutus takistab sageli taimeliikide kasvamist. Märjemal alal piirneb kooslus sageli suurarnade kooslusega (Pandiveres).

10. Jäneskastiku kooslus

Jäneskastiku kooslus on vähesel määral kõige lühema üleujutusega aladel vähestes kohtades. Eesti taimkatte kasvukohatüüpide klassifikatsioonis on teda väga kasinalt käsitletud, vaid raiesmikutaimena märgitud. Liik on teada kasutusest väljajäänud niitudel pealetungiva taimena. Liik tundub eelistavat õhustatud pinnast, ühtlasi võib teda pidada avakoosluste järgseks liigiks. Aga siiski on teda ka mõnedel soostunud ja soosaladel vähemal määral. Ilmselt võiks tema kooslust antud juhul käsitleda niiske aruniidu all.

11. Ängelheina kooslus

Kollast ängelheina käsitletakse ainult märja lamminiidu sookastiku koosluses. Liik on siiski lamminiitudel ja soostuvatel niitudel laiemalt arvukas. Karstijärvikutes on rohke kollase ängelheinaga kooslused laialdaselt levinud, eelkõige Pandiveres. Esineb enamasti pajuvaagu kooslusest pikema üleujutusega aladel, vahel ka vägagi sügava vee aladel, mis siiski jäävad suvel kindlasti kuivaks. On öitsemise hilinemise kaudu hea üleujutuse pikkuse indikaator – see võib olla samas veekogus kuu aega. Ilmselt on kobedamal settel kasvaja, mis kuival ajal õhustub. Esineb ka kurisude karstilohkudes. Võimalik, et sobiks käsitleda karstijärvikutele eriomase kooslusena.

B2. Soostunud niidu kooslused, keskmise üleujutuse pikkusega

Võivad hõlmata suuri alasid järvikute keskosades või piirduda vaid keskmise servavööndiga. Aladel, kus puuduvad selged karstiprotsessid, aga vesi kaob enamasti suveks.

12. Sinihelmika kooslus

Sinihelmikas on omane mitmetele soostunud niitudele. Dominant on ta Eesti taimkatte kasvukohatüüpide järgi kuivenduse mõjuga (madal)soodes, mis on reeglina liigivaesed. Varasemate uuringute põhjal on karstijärvikute sinihelmikakooslused teistest eristatavad – need on sageli liigivaesed, samal ajal ka samblavaesed (viimast on enamasti ka kuivenduse mõjuga soo sinihelmika kooslus). Karstijärvikutes on sinihelmikakooslustes kaasliigiks sageli mülgaskannike. Võib olla peamine kooslus madalates karstijärvikutes (Mängudepealne).

13. Sepsika kooslus

Sirbiku – pruuni sepsika kooslus on liigirikaste madalsoode ja vähem soostunud niitude kooslus. Soostunud niitudel tundub see kooslus kujunevat imballikalisel alal. Karstijärvikutes, mis on üldiselt samblavaesed või väga samblavaesed, on ka sepsika kooslus vaid vähese samblaga. Uuritutest esineb väikesel alal Alba karstijärvikus savirähksel soostunud pinnasel.

14. Väiketarnade kooslus

Väiketarnade kooslus on omane veidi pikema üleujutusega aladele. Sellistes oludes on liikide täpsema määramisega raskusi – liikide areng on pidurdunud, taimed jäävad sageli vegetatiivseks, ei omanda ka liikidele omaseid tüüpilisi vegetatiivseid tunnuseid. Ilmselt saab koosluse mahutada pikemapoolse üleujutuse tõttu tugevalt vaesunud hariliku tarna – hirsstarna koosluse alla. Väikesekasvulised liigid on eelistatud ilmselt pinnase halva õhustatuse tagajärg, soostumist takistab aga pikk üleujutus.

15. Ojatarna kooslus

Ojatarn on niisketel-soistel niitudel laia ökoloogilise amplituudiga. Ilmselt sobiks karstijärvikutes tema järgi äratuntav kooslus kõige rohkem soostunud niitude kollase tarna koosluse alla, kuigi nimiliik puudub. Esineb väikestel aladel, kus on väga madal rohustu. Võimalik, et sobiks paigutada eelmise alla.

B3. Karstunud niidu kooslused

B3.1. Karsti madalmurus rohustu

16. Kannikeste kooslus

Kannikeste koosluse puhul on kaks karakterliiki – mülgaskannike ja pisikannike, mis vahel võivad ka dominantliikideks olla. Kumbagi pole Eesti taimkatte kasvukohatüüpides käsitletud. Kooslus ootab kirjeldamist. Mülgaskannike on siiski lamminiitudel küllaltki sage, vahel isegi kaasdominandiks (Kärevere luht). Pisikannike on lõunapoolse, metsastepi liigina omane ainult paealadele, esinedes ka väikestes vaestes üleujutatavates karstilohkudes.

Kannikeste kooslus on väga iseloomulik karstijärvikutele. Kas lamminiitude mülgaskannikese kooslust tuleks eraldi kooslusena käsitleda, vajab täiendavat uurimist. Kannikese kooslus on omane õhukese pinnakattega alale, nii paepealsele kui karstunud savirähksele mullale.

Kesk-Euroopas (ref. Wikipedia) on mülgaskannike kõrveköömne ja sinihelmika koosluste haruldane liik. Pisikannikest pakutakse samuti kõrveköömne kooslusesse, aga veidi lubjalembesemana. Eestis pole neid niiske pärisaruniidu kõrveköömne-sinihelmika kooslusest teada, pole ka niivõrd happelistes kasvukohtades kui Kesk-Euroopas. Või kui, siis koosluse kõige üleujutatavates servaalades.

17. Hanijala – roomava marana kooslus

Koosluse üks karakter- ja dominantliik hanijalg on mitmete märja lamminiidu kasvukohatüübi koosluse liik. Lubika – hirsstarna kooslus sobib neist kõige enam. Aga ilmselt on hanijalg arvukam tugevama inimõjuga – niitmine, karjatamine – kooslustes. Hanijalg on iseloomulikud ka paljudele suprasaliinse ja saliiinse rannaniidu kooslustele. Dominant on saliiinse rannaniidu orasheina koosluses. Viimasele on iseloomulik ka roomav maran. Roomav maran on ka kuiva looniidu nõmmlivatee – lood-jõhvsambla koosluse liigiks. Hanijala – roomava marana kooslus on omane õhukese pinnakattega karstunud savirähksele pinnasele, aga ilmselt ka liivakamale pinnasele.

18. Tarinõgese kooslus

Tarinõgest pole haruldase liigina Eesti taimkatte kasvukohatüüpide all liigina käsitletud. Liik esineb eelkõige niisketes avatud ja poolvarjulistes savikates lohkudes dominandina või kaasdominandina. Kesk-Euroopas (ref Wikipedia) on tarinõges lamminiitude ja kuivale jäävate tiigiservade taim. Omane muutliku veerežiimiga aladele. Orasheina – oblika koosluse ja ka suurtarnade, eriti luhttarna koosluse liik. Saksi järvis on ta ohter eelkõige saleda tarna koosluses.

B3.2. Karsti kõrgrohustu

19. Põldmarja kooslus

Põldmarja käsitletakse ainult lammimetsade humala kasvukohatüübis. Kahtlemata pole selle liigi käsitlemine Eesti taimkatte kasvukohatüüpides piisav. Liik on Lääne- ja Põhja-Eestis laialdase levikuga, sageli dominant nii puistute alustaimestikis kui ka niitudel. Liik on lubjalembene ja talle sobib väga muutlik veerežiim. Peale vahelduva veerežiimiga lammimetsade on ta levinud eelkõige erinevates viljakamates loometsades, kus kevadeti on muld uppunud, suvel aga kuivab läbi. Sellised on sageli sekundaarsed karjamaametsad, mida saaks klassifitseerida nii madalaboniteedilise sinilille kui angervaksa kasvukohatüübi alla, vähem ka isegi madalaboniteediliseks seljarohu-naadi koosluseks.

Karstijärvikutes kasvab ta lühema üleujutusega aladel, kus mulla gleistumist on ilmselt vähe. Võimalik, et tema kasvualad on suurema kalduvusega metsastumiseks. Kas käsitleda põldmarja kooslust karstijärvikutes eraldi kooslusena või lammimetsade humala kasvukohatüübi allvormina, vajab eraldi kaalutlemist.

20. Soo-piimalille kooslus

Soo-piimalille kui mõõduka sagedusega liiki Lääne-Eestis pole taimkatte kasvukohatüüpide all käsitletud. Arvestataval hulgal on ta esindatud Alba järvis, teistes vaadeldutes puudub. Alba piirkonnas esineb teda

ka soostunud niitudel ja -metsades, kus on pikem üleujutus madala veega (nt ainult 20 cm), aga põuaga kuivab maapind läbi. Ilmselt on ka selle koosluse kasvualadel gleistumine mõõdukas, aga üleujutuse aeg pikem kui põldmarja koosluse alal. Soo-piimalille kooslusel tuleb eristada ilmselt soostunud metsade ja -niitude kooslust (variante teistes soostunud kooslustes) ja karstijärvikute soo-piimalille kooslust, kus karakterliik on kõige jõulisem ja domineerivam.

Kesk-Euroopas (ref Wikipedia) on ta eelkõige lammide kõrgrohustute taim, omane muutliku veerežiimiga aladele. Seal on üks tema kesksemaid kooslusi pikalehse mailase – soo-piimalille kooslus. Meie karstunud aladel on pikalehine mailane aga harv.

21. „Rannaniidu ruderaalkooslus”

Kahara kirburohu kooslusele kõige lähedasemad on ebastabiilsete kaldaalade üheaastaste taimede kooslused. Eesti taimkatte kasvukohtade klassifikatsioonis on mainimist väärinud vaid randmaltsa kooslus suprasaliinse rannaniidu koosluses. Mageveekogude puhul pole neid peetud oluliseks eristada. Kaharat kirburohtu esineb sageli ka randmaltsa koosluses, aga teisalt on ta ka levinud ruderaalkooslustes. Antud alal tuleb koosluse taimede lähtealaks lugeda siiski lähikonna ruderaalalasid. Olemuslikult on tegemist väga tugevalt kõikuva veetasemega õhustatud pinnasega alal kasvava taimestikuga, sellepoolest sarnaneb rannaniitudega, mis on üldiselt karstunud niitudele omane. Võimalus leida karstijärvikutest selliseid taimekooslusi rohkem on väga väike ja täpsemat taimkatteruutude analüüsi pole.

Inventeeritud järvikud saab domineeriva taimekoosluse põhjal jagada nelja rühma:

A. Sinihelmikakoosluste rikkad, ühtlasi saleda tarna koosluste vaesed – Alba ja Kirikla;

B. Maranate rikkad (roomav maran ja hanijalg) karstijärvikud – Einjärv;

C. Märgade kõrgrohustute rikkad järvikud. Saleda tarna ja angervaksa koosluste domineerimisega järvikud – Saksi, Tudre, Assamalla, Jalgsema;

D. Märgade kõrgrohustute rikkad järvikud. Päideroo ja ka ängelheina koosluse domineerimisega järvikud – Lemmküla, Võhmetu, Kuksema.

Inventuuri käigus kogutud veekvaliteedi andmetega võrreldes (vt ptk 4.11.2) ilmneb, et kahte esimesse rühma paigutuvad järvikud olid vähetoitelised ning kahte viimasesse rühma paigutuvad vähemal või rohkemal määral toiteainetega rikastunud. Kogutud võrdlusandmestik on tõsikindlate järelduste tegemiseks liiga väike, kuid **edasisteks uuringuteks võib esitada hüpoteesi, vähetoitelistes järvikutes domineerivad sinihelmika- ja maranakooslused ning rohketoitelistes saleda tarna, angervaksa-, päideroo- ja ängelheinakooslused.** Edasiste uuringutega tuleb ka täpsustada, kas või mil määral sõltub järvikute koosluste struktuur mullastiku omadustest ja mil määral põhjaveega transporditavatest toiteainetest.

4.11.4. Suurselgrootud

Kõik suurselgrootute proovialad olid valdavalt mudase või taimse põhjaga. Seda näitas ka MESH indeks, mis oli enamasti ligikaudu 1 või vähem (Tabel 4.11.2). Natuke kõrgemad väärtused fikseeriti vooluveekogu (Kuksema kraavi) lähedal asuvas Kuksema järvikus ning üsna mudases Võhmetu järvikus, mille põhjaosa olid 2024. aasta sügisel, mil järvik oli täiesti kuivanud, mudaseks tuhninud metssead.

Tulemused näitavad, et **maapealse veekihi ajutisus mõjutab enamasti järvikute suurselgrootute liigistikku oluliselt ning alaliste järvede kriteeriumid ei pruugi nende seisundi hindamiseks sobida.** Kolme indeksi puhul oli üle poole uuritud veekogudest halvemas seisundis kui hea (Tabel 4.11.2). EPT oli seda 4 juhul 9 võimalikust. Kuid läänepoolsete järvikute (Alba, Kirikla) koondseisund alaliste järvede kriteeriumide järgi oli kokkuvõttes siiski hea. Järva-Jaani ja Rakvere ümbruse järvikutest oli üks (vastavalt Tudre ja Saksi) kesises seisundis, ülejäänud halvast või väga halvast.

Eesti karstijärvikute seisundit on varem suurselgrootute põhjal hinnatud ainult ühe korra (Võhmetu järvikus 2010. a (Ott, 2010)). Seal oli siis seisund formaalselt halb, mis ei tulenenud tõenäoliselt samuti olulisest

inimmõjust, vaid veekogu looduslikust ajutisusest. Nappe varasemaid andmeid on Võhmetu järvikust ka 1967. aastast, mil on kirjeldatud, et sealne põhjaloomastik oli vähene, kuid võrdlemisi liigirikas ning rohkesti esines limuseid (Mäemets, 1967).

Alalistes järvedes kehtib seaduspära, et mida halvem on järve seisund muude näitajate põhjal, seda suurem on surusääsklaste osakaal põhjaelustikust (*Chir%*) (Timm & Haldna, 2019). Paljudes karstijärvikutes oli seisund halb, ometi küündis surusääsklaste osakaal 20%-gi ligidale ainult kahes veekogus (Kuksema ja Tudre). Seegi osakaal ei tähendaks looduslikes järvedes ja vooluvetes midagi erilist. Karstijärvikute väike *Chir%* oli tõenäoliselt põhjustatud nii vee ajutisusest, mis enamikule surusääsklastest ei sobi, kui ka biotilistest suhetest. Alalistes veekogudes leidub kalu, kelle eest paljud surusääsklased end enam-vähem varjata oskavad. Ajutistes vetes on nad hoopis selliste selgrootute kiskjate mõju all, kes ise ei talu kalade survet. Ka oli mitmes järvikus palju pistesääsklaste (*Culicidae*) vastseid, mis on samuti ajutiste vete tüüpiline tunnus.

Võrreldes alaliste veekogudega, leidus karstijärvikutes väga vähe ühepäevikulisi ja kiililisi. Vooluvenile tüüpilisi kevikulisi ei olnud üldse. Mitu ehimestiivaliste liiki perekondadest *Limnephilus* ja *Grammotaulius* jäid edaspidist täpsemat määramist ootama. Tudre järvikus elas ajutiste vete liik, puudukilbiline vähk *Branchipus schaefferi*, keda on e-Elurikkuses küll mainitud, kuid ühtki konkreetset leidu seni märgitud polnud. Siinne elupaik paistab olevat üks põhjapoolsematest Euroopas (Lukic et al, 2019).

Kogutud andmete põhjal saab järeldada, et **karstijärvikute suurselgrootuid on põhjust seirata ka edaspidi, kuid sobiva seisundi hindamise skaala väljatöötamine eeldaks suuremat hulka võrdlusproove veelgi rohkematest järvikutest.**

Tabel 4.11.2. Uuritud karstijärvikute suurselgrootute kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud. T – üldine taksonirikkus, H' – Shannoni erisus, ASPT – taksoni keskmine tundlikkus, EPT – tundlike taksonite rikkus, MMQ – seisund, Etalon – etalonseisund, EQRMMQ – seisundi ja etalonseisundi suhe. Sinine – väga hea, roheline – hea, kollane – kesine, oranž – halb, punane – väga halb seisund

Järvik	T	H'	ASPT	EPT	MMQ	Etalon	EQRMMQ	MESH	Chir%
Alba	24	2,60	4,08	4	15	20	0,75	1,06	0,2
Assamalla	8	2,14	3,75	3	6	20	0,30	0,80	9,4
Jalgsema	11	1,41	4,00	2	2	20	0,1	1,00	0,5
Kirikla	18	3,08	4,77	5	16	20	0,80	1,07	1,5
Kuksema	14	1,08	4,13	4	6	20	0,3	1,33	21,8
Lemmküla	16	1,67	4,45	3	4	20	0,20	0,90	0,1
Saksi	14	1,85	5,67	5	12	20	0,60	0,67	0,1
Tudre	15	2,72	3,71	4	11	20	0,55	0,71	18,8
Võhmetu	11	1,42	3,8	3	4	20	0,20	1,38	0

4.11.5. Fütoplankton

Karstijärvikute fütoplanktonit uuriti kevade fenofaasis. Ökoloogilise seisundi (ÖSE) hinnangu koostamine on tavapärasest väga erinev, sest need järvikud on kõikidest Eestis eristatud järvetüüpidest erinevad. Karstijärvikud on kõige sarnasemad kahele tüübile, lubjatoitelistele (S1) ja kihistumata, keskmise vee karedusega järvedele (S2). Kuigi fütoplanktoni proovivõtu ajal aprilli alguses sarnanes Assamalla järviku proovivõtukoht vee kareduse järgi pigem S2 tüüpi järvedele, siis veebruari alguse ja märtsi lõpu mõõtmiste põhjal oli tegemist selgelt karedaveelise veekoguga (vt ptk 4.4.2). Seega hinnati ka seda järvetüübist S1 lähtuvalt. ÖSE hinnangu andmisel lähtuti suures osas limnoloogilisest ekspertarvamusest, sest muudele erinevustele lisaks koguti proove ka erinevalt veepoliitika raamdirektiivi nõuetest. Proove koguti vaid kevadel ja madaluse tõttu puudub enamusel neist järvedest tavaline pelagiaal. Kõigist järvikutest koguti proove tiheda taimestiku vahelt, mistõttu on planktonvetikate kooslused vaesed, kiiresti muutuvad ja aineringes oletatavasti vähetähtsad. Järvikute hinnangud on esitatud tabelis 4.11.3. Fütoplanktoni üldhinnangut on erinevatel põhjustel raske anda (järvetüübilised iseärasused, väga vaene liigiline koosseis, ühekordne vaatlus, S1 tüübis koosluse hinnangut ametlikult ei kasutata). Need järvikud funktsioneerivad fütoplanktoni alusel ilmselt ajaliselt väga vahelduva dünaamikaga, sest keskkonna omadused on kiiresti ja oluliselt muutuvad.

Üldiselt ongi **uuritud järvikute fütoplanktoni liigiline koosseis väga vaene, kogused väikesed**. Lisaks planktonvetikatele oli mõnes järvikus (Kuksema, Lemmküla, Kirikla) ka veeproovides oluliselt mikroskoopilisi bentilisi vetikaid, mis kuuluvad peamiselt sulgränivetikate hulka. Kuna need ei ole planktoni esindajad, siis neid ei määratud ega hinnatud. Osades järvikutes oli oluliselt pikoplanktonit (Assamalla, Alba, Tudre, Saksi, Jalgsema), mida morfoloogiliselt reeglina mikroskoobis ei määrata. Üldistatult on need järved fütoplanktonist vaesed, domineerivad taimerikaste järvede indikaatorid (peamiselt neelvetikad perekonnast *Cryptomonas*). Samas on kevadisele aspektile iseloomulikke kooslusi (koldvetikad) ning miksotroofsete omadustega liike (neelvetikad, silmviburvetikad). Tüüpilisi, nn alaliste järvede liike kas ei ole või on väga vähe. Planktoni proovides oli suhteliselt ohtralt metazooplanktonit, kuid nende toidubaas on ilmselt teistsugune võrreldes alaliste järvedega, kus peamiselt toitutakse keskmise suurusega fütoplanktonist. Seda, et fütoplanktoni vähesus uuringu käigus kogutud proovidest polnud tingitud varajasest proovivõtuajast, näitavad Võhmetu ja Lemmküla järvikutest varem kogutud proovid. 1967. aastal nenditi ka suviste proovide põhjal, et nii Võhmetu, Lemmküla kui ka Piisupi järvikus oli väga vähe fütoplanktonit (Mäemets, 1977). Sama tulemus saadi Võhmetu järvikust 2010. aasta mais ja juulis (Ott, 2011). Teadaolevalt pole Eesti karstijärvikutest rohkem fütoplanktoni proove analüüsitud. **Seetõttu saab kogutud andmete põhjal järeldada, et fütoplanktoni seiramine karstijärvikutes pole edaspidi vajalik.**

Tabel 4.11.3. Uuritud järvikute fütoplanktoni kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud. Chl a – klorofüll a sisaldus µg/l; J – ühtluse indeks; FKI – fütoplanktoni koondindeks; FLA – liikide arv loendusproovis ja võrkude proovis; FBM – biomass g/m³; CY, BAC, CHL, CONJ, CHR, CRY, DINO, EU – vastavalt sini-, räni-, rohe-, ikkes-, kold-, neel-, vaguvibur-, silmviburvetikate biomass g/m³

Järvik	Kuupäev	Chl-a	J	FKI	FLA	FBM	CY	BAC	CHL	CONJ	CHR	CRY	DINO	EU	Dominandid	Kooslus
Alba	05.04.2025	0,3	0,3	5	5+2	0,89	0,706	0	0	0	0	0,14	0,05	0	Pikoplankton (määramata sinivetikas).	Kesine
Assamalla	04.04.2025	3	0,61	11	10	2,59	0,012	0	0,61	0	0	1,84	0	0,13	Cryptomonas sp	Halb
Jalgsema	04.04.2025	0,5	0,4	1,75	12+4	1,45	0	0	0,01	0	0,02	1,41	0	0	Cryptomonas sp, Koliella sp	Hea
Kirikla	05.04.2025	0,1	0,72	1	4+1	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0	0	Dominante ei saa eristada	Hea
Kuksema	04.04.2025	0,2	0,7	5	7+5	0,43	0,003	0,1	0	0	0	0,33	0	0	Cryptomonas sp	Hea
Lemmküla	04.04.2025	0,1	0,39	1,75	10+3	0,46	0,0001	0	0	0	0,02	0,44	0	0	Cryptomonas sp	Hea
Saksi	04.04.2025	4	0,51	1,67	7+3	10,6	0	0	0,03	0	0,19	10,4	0,05	0	Cryptomonas sp, Koliella sp	Kesine
Tudre	04.04.2025	1	0,36	0,67	11+4	2,76	0,017	0	0,06	0	0,45	2,13	0,11	0	Cryptomonas sp, Mallomonas akrokomos, Stichogloea sp	Kesine
Võhmetu	04.04.2025	0,7	0,77	2,33	11+2	1,8	0,005	0	0,63	0	0,44	0,4	0,32	0,01	Dinobryon sertularia, Cryptomonas sp	Hea

4.11.6. Zooplankton

Zooplanktoni arvukus kõigis kogutud proovides oli keskmiselt 336 000 ind/m³ ja biomass 2,1 g/m³, mediaanväärtused olid palju tagasihoidlikumad, vastavalt 74 000 ind/m³ ja 0,4 g/m³. Jalgsema järvikus aprillis leitud väga suur zooplanktoni arvukus ning Võhmetu järvikus aprillis leitud väga suur biomass (Tabelid 4.11.4 ja 4.11.5) olid suurte keskmiste väärtuste põhjuseks. Mediaanväärtusest üle kümne korra suuremad olid arvukused ka Tudre ja Saksi aprillikuistes proovides ning biomass Jalgsema aprillikuises proovis.

Kõikidest mesozooplanktoni proovidest leiti kokku 29 erinevat taksonit (Lisa K7). Domineerisid aerjalgsed (Copepoda), kelle naupliused ja vähikvastused moodustasid suure osa kogu zooplanktoni arvukusest ja biomassist kõigis proovides. Vaid Assamalla järvikus ületas keriloomade (Rotatoria) arvukus aerjalgsete oma, biomassist moodustasid aerjalgsed ka Assamalla järvikus 59%, Kirikla järvikus moodustasid aerjalgsed aprillis 76% zooplanktoni biomassist, kõigis ülejäänud proovides oli aerjalgsete osa zooplanktoni biomassist rohkem kui 90%. Arvukuselt oli aerjalgsete osakaal alla 90% eelnevalt nimetatutele lisaks veel ka mõlemas Kuksema proovis (vastavalt märtsis 74% ja aprillis 79%), Einjärves märtsis 71% (aprillis proovi võtta ei saanud), ning Saksis aprillis 86%. Aerjalgsete liikidest omakorda oli kõige arvukam ja rohkem levinud (kevadine) ogasõudik *Acanthocyclops robustus*, mis esines kõikides proovides ja kuigi naupliusi ja väiksemaid vähikvastseid ei määratud, siis oli enamasti tõenäoliselt tegemist just selle liigi noorjarkudega. Veel esines aerjalgsetest (hormikulistest) viies järvikus kevadistele, suveks ära kuivavatele väikestele veekogudele iseloomulik hiidaerik (*Hemidiaptomus amblyodon*), neljas järvikus leiti arktiline sega-aerik (*Mixodiaptomus theeli*) ja Kirikla järvikus järve-pärisaerik (*Eudiaptomus gracilis*). Neljast järvikust leiti ka rullikulisi (Harpacticoida). *M. theeli* on arktilise levikuga liik, mida Eestis seni ongi leitud vaid Võhmetu-Lemmküla järvikutest. Käesoleva uuringuga lisandusid selle liigi levikusse Jalgsema ja Tudre järvikud. Seega **leidis käesoleva uuringuga laiemat kinnitust** varem ainult Võhmetu-Lemmküla järvestiku andmete põhjal Eesti karstijärvikutele tehtud üldistus, **et neile on iseloomulik mitmekesine ja haruldasi liike sisaldav hormikuliste fauna** (Paal, 2007).

Keriloomade liike või perekondi määrati zooplanktoni proovides kokku 13, seejuures jäid mõned pehmed, formaliinis kokku tõmbunud keriloomad ka perekonna tasemeni määramata. Suurima arvukuse ja biomassiga esinesid keriloomad märtsis Assamalla järvikus, vastavalt 114 500 ind/m³ ning 237 mg/m³, sellest 106 500 ind/m³ moodustas *Notholca squamula*. Saksi järvikus leitud aprillis arvukalt ka keriloomi perekonnast *Polyarthra*. Ülejäänud proovides oli keriloomade absoluutne arvukus oluliselt väiksem.

Vesikirbuliste (Cladocera) arvukus ja biomass olid zooplanktoni proovides valdavalt alla 5%, vaid Kiriklas aprillis kogutud proovis, moodustasid vesikirbud 15% zooplanktoni arvukusest ja 23% biomassist. Kokku leiti 7 vesikirpude liiki: *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Daphnia cristata*, *D. curvispira*, *D. longispina*, *Polyphemus pediculus* ja *Simocephalus vetulus*. Väga varane kevadine proovide kogumise aeg on ilmselt üks põhjusi, miks vesikirpude osa zooplanktonis väga väikeseks jäi, kuna enamasti on tegemist suvises planktonis domineeriva rühmaga. Kõigis viies järvikus, kus õnnestus zooplanktoni proovi võtta nii märtsis kui aprillis oli vesikirpude liikide arv ja koguarvukus aprilliks suurenenud. Alba, Assamalla ja Einjärvest võeti proov vaid märtsis ja nendes järvikutes vesikirpe ei leitudki.

Zooplanktoni proovide analüüsi oluliselt segavaks teguriks oli lagunevate taimede ja muu orgaanika tükide suur hulk proovis, mille tõttu võivad mõned vähem arvukad liigid kergesti märkamata jääda. Lisaks keriloomadele, vesikirpudele ja aerjalgsetele esines kõigis proovides karpvähke (Ostracoda) ja pistesääsklaste (*Culicidae*) vastseid. Üksikutes proovides leiti ka muid väikeseid pigem põhjaelustikku kuuluvaid loomi: vesikakandeid (*Asellus aquaticus*), kiilivastseid (Odonata), ripskõhtseid (Gastrotricha), loimureid (Tardigrada), mardikaid (Coleoptera), ümarusse (Nematoda), hüdrasid (Hydrzoa) ja lestalisi (Acari), viimaste hulgas sattus proovi ka võsapuuk (*Ixodes ricinus*).

Maileht et al (2024) on teistele järvetüüpidele, peale kalgiveeliste järvede, välja pakkunud ökoloogilise seisundi hindamiseks sobivate näitajatena zooplanktoni koguarvukuse ja keriloomade arvukuse. Mida suurem kumbki näitaja on, seda halvem on järve seisund. Kalgiveeliste järvede puhul nende näitajate sobivust kontrollida ei saadud, sest Eesti Maaülikooli andmebaasis oli sellesse tüüpi kuuluvatest järvedest

zooplanktoni andmeridu vaid Äntu Sinijärvest. Seal domineerivad aerjalgsed, samas teistes järvetüüpides keriloomad. Sama tuli välja käesolevas uuringus.

Koguarvukuse poolest tulid esile Jalgsema nii märtsis kui aprillis ning Tudre, Saksi ja Vöhmetu aprillis. Keriloomade arvukus oli arvestatav ehk üle 100 tuh is/m³ vaid Assamalla märtsis ning Saksis aprillis. Jalgsema ja Vöhmetu said toiteainete ja klorofüll a sisalduse põhjal hinnatud mõõdukalt eutrofeerunuks ning Tudre ja Saksi eutrofeerunuks. Assamalla, mis hinnati toiteainete ja klorofüll a sisalduse põhjal tugevalt eutrofeerunuks, oli keriloomade arvukus tõepoolest uuritud järvikutest suurim. Samas Kuksema, mis hinnati samuti tugevalt eutrofeerunuks, nende kahe zooplanktoni näitaja põhjal esile ei tulnud. Küll eristuvad mõlemad kaks järvikut enamikest ülejäänutest keriloomade arvukuse osakaalu põhjal koguarvukusest. Assamalla oli ka ainuke, kus keriloomade osakaal biomassist oli üle 7%, olles tervelt 41%. Kuksemaga võrreldav keriloomade osakaal koguarvukusest oli veel Einjärve proovis. See järvik loeti veekvaliteedi andmete põhjal eutrofeerumisest mittemõjutatuks. Samas oli Einjärve proovis kõigist kogutud zooplanktoni proovidest väikseim koguarvukus, mistõttu ei pruukinud proovi sattunud plankterite arvukuse jaotus rühmade vahel esindada kõige paremini kogu sellel hetkel kurisusse alles jäänud plankterite arvukuse jaotust. **Kogutud andmete põhjal näib, et mitte niivõrd keriloomade koguarvukus, vaid nende osakaal zooplanktoni arvukusest ja biomassist võib olla hea indikaator karstijärvikute eutrofeerumise hindamisel ning märgatud seaduspära paikapidavust tuleks edasiste uuringutega kontrollida. Sama näitajat on eutrofeerumise indikaatorina välja toonud ka Haberman & Haldna (2014). Nii käesoleva uuringu kui ka Vöhmetu-Lemmküla järvikute varasemate uuringute andmed kinnitavad, et karstijärvikute zooplanktonit tasub seirata ka edaspidi.**

Tabel 4.11.4. Uuritud karstijärvikute metazooplanktoni rühmade arvukus ning peamiste rühmade osa koguarvukusest

Järvik	Kuupäev	Kokku (ind/m ³)	Cladocera (ind/m ³)	Copepoda (ind/m ³)	Rotatoria (ind/m ³)	Clad %	Cop %	Rot %
Alba	24.03.2025	163 200	0	161 400	1800	0,0	98,9	1,1
Assamalla	25.03.2025	216 500	0	102 000	114 500	0,0	47,1	52,9
Einjärv	25.03.2025	5203	0	3687	1516	0,0	70,9	29,1
Jalgsema	25.03.2025	790 000	1000	756 500	32 500	0,1	95,8	4,1
Jalgsema	19.04.2025	1 954 075	8025	1 946 050	0	0,4	99,6	0,0
Kirikla	24.03.2025	10 595	13	10 062	520	0,1	95,0	4,9
Kirikla	19.04.2025	60 650	9150	50 000	1500	15,1	82,4	2,5
Kuksema	25.03.2025	7779	29	5749	2002	0,4	73,9	25,7
Kuksema	19.04.2025	24 900	250	19 525	5125	1,0	78,4	20,6
Lemmküla	19.04.2025	74 250	25	71 725	2500	0,0	96,6	3,4
Saksi	25.03.2025	70 263	13	66 000	4250	0,0	93,9	6,0
Saksi	19.04.2025	760 925	2750	656 175	102 000	0,4	86,2	13,4
Tudre	25.03.2025	67 353	880	64 493	1980	1,3	95,8	2,9
Tudre	19.04.2025	951 719	25	941 694	10 000	0,0	98,9	1,1
Vöhmetu	19.04.2025	421 350	825	420 525	0	0,2	99,8	0,0

Tabel 4.11.5. Uuritud karstijärvikute metazooplanktoni rühmade biomass ning peamiste rühmade osa kogubiomassist

Järvik	Kuupäev	Kokku (mg/m ³)	Cladocera (mg/m ³)	Copepoda (mg/m ³)	Rotatoria (mg/m ³)	Clad %	Cop %	Rot %
Alba	24.03.2025	447	0	441	5	0,0	98,8	1,2
Assamalla	25.03.2025	574	0	337	237	0,0	58,7	41,3
Einjärv	25.03.2025	34	0	32	2	0,0	94,3	5,7
Jalgsema	25.03.2025	3632	15	3585	33	0,4	98,7	0,9
Jalgsema	19.04.2025	5670	120	5550	0	2,1	97,9	0,0
Kirikla	24.03.2025	54	0	53	1	0,2	97,9	1,9
Kirikla	19.04.2025	362	83	274	5	22,9	75,9	1,2
Kuksema	25.03.2025	29	0	27	2	0,8	92,9	6,3
Kuksema	19.04.2025	183	3	171	9	1,8	93,5	4,8
Lemmküla	19.04.2025	619	0	617	3	0,1	99,5	0,4
Saksi	25.03.2025	215	0	210	5	0,1	97,6	2,3
Saksi	19.04.2025	2549	41	2388	119	1,6	93,7	4,7
Tudre	25.03.2025	307	13	292	2	4,3	95,1	0,6
Tudre	19.04.2025	3701	0	3685	16	0,0	99,6	0,4
Võhmetu	19.04.2025	14 771	12	14 759	0	0,1	99,9	0,0

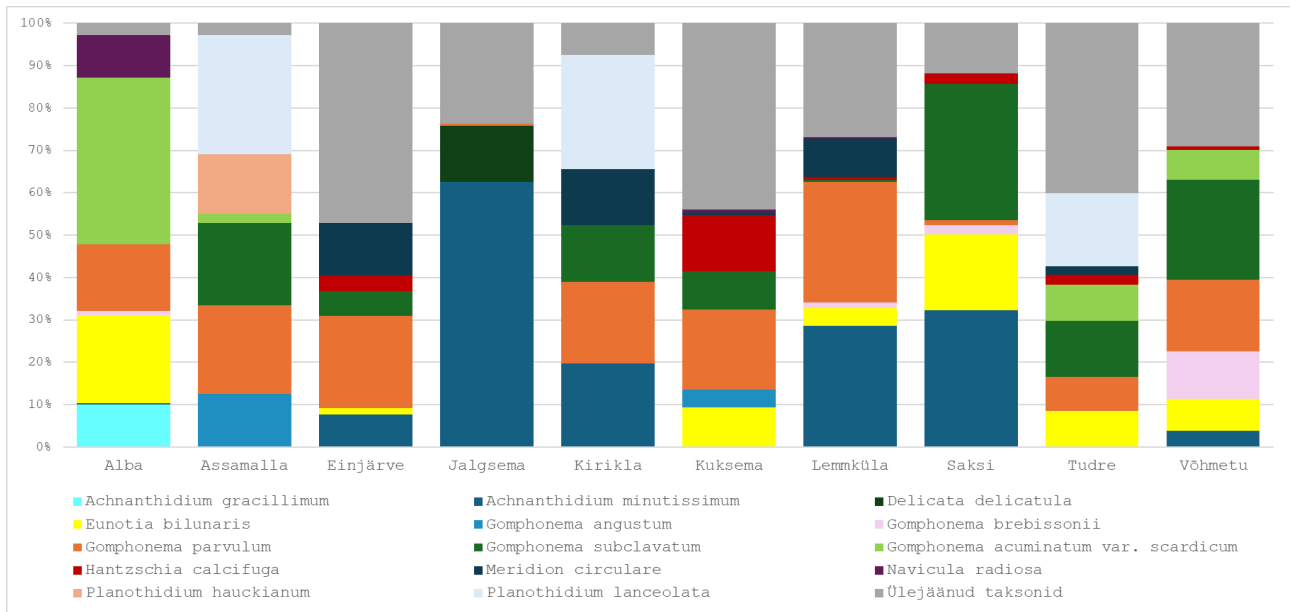
4.11.7. Fütobentos

Fütobentose taksonite arv uuritud karstijärvikutes kõikus 10–22 vahel, olles väikseim Kiriklas ja suurim Tudres. Ülevaade ränivetikataksionitest, mida esines mõnes järvis vähemalt 10% (14 liiki), on esitatud joonisel 4.11.13.

Järvikute ökoloogiline seisund fütobentose järgi varieerus reeglina hea ja väga hea ökoloogilise seisundi vahel. Ainus halvas seisundis järvis oli Assamalla (Tabel 4.11.6). IPS indeks näitas kaheksas järvis väga head ning kahes head seisundit. Watanabe indeksi järgi olid enamik järvikuid heas seisundis ning kesises seisundis olid Alba, Einjärv ja Võhmetu. Troofsusindeksi (TDI) põhjal olid kaheksa järvis väga heas seisundis ning Kirikla kesises ja Assamalla halvas seisundis. Tuleb silmas pidada, et kasutatud ränivetikaindeksid ja nende klassikaline tõlgendus on töötatud välja jõgede seisundi hindamiseks ning on tunnustatud, et nende põhjal järelduste tegemine on probleemne alaliste järvedegi puhul (Maileht et al, 2024).

IPS ja Watanabe indeksid on välja töötatud tuvastama orgaanilist, heitveest pärinevat reostust (saproobsust), samas kui TDI peaks paremini tuvastama üldise toiteainekoormuse mõju. Kuna heitvesi pole enamike järvikute puhul probleemiks, on loogiline, et IPS indeks näitas järvikutes reeglina paremat seisundit kui TDI indeks. Kõige halvema IPS indeksi väärtuse sai Kuksema järvis. Klassipiiridest tulenevalt tähendas küll seegi head seisundit, kuid teistest järvikutest väiksemat indeksi väärtust oleks võimalik põhjendada sellega, et tegemist on järvikuga, kuhu jõuab Kuksema kraavi kaudu heitvett. Teistest mõnevõrra väiksema IPS indeksi väärtuse sai ka Einjärv, kuid selle puhul on tulemust keeruline orgaanilise reostusega siduda.

Watanabe indeksi põhjal jaotusid järvikud küll väga hea ja hea seisundiklassi asemel hea ja kesise seisundiklassi vahel, kuid järvikute erinevus oli väike. Indeksi suurima ja väikseima väärtuse vahe oli vaid kaks ühikut. Kesise seisundi poole jäid Alba, Einjärv ja Võhmetu. Samas Kuksema selle indeksi alusel teistest järvikutest ei eristunud. Pole selge, miks näitas enamike järvikute puhul kasutatud kolmest indeksist kõige halvemat seisundit just Watanabe indeks.



Joonis 4.11.13. Järvikutest leitud sagedasemate ränivetikataksone arvukuse osakaalud. Esitatud on taksonid, mida esines mõnes järvis vähemalt 10%.

Tabel. 4.11.6. Uuritud karstijärvikute fütobentose kvaliteedinäitajad ja seisundihinnangud. IPS – spetsiifiline reostustundlikkuse indeks, WAT – Watanabe indeks, TDI – troofsusindeks

Järvik	Substraat	Taksonite arv	fübe indeksid			fübe_m
			IPS	WAT	100-TDI	
Alba	makrofüüdid	16	16	12,1	57,1	hea
Assamalla	makrofüüdid	11	15,7	13,1	11,3	halb
Einjärve	makrofüüdid	20	14,4	12,4	55,7	hea
Jalgsema	makrofüüdid	15	17,3	13,5	82,1	väga hea
Kirikla	makrofüüdid	10	16,2	12,5	33,7	hea
Kuksema	makrofüüdid	19	12,8	12,7	56,0	hea
Lemmküla	makrofüüdid	19	16,7	13,2	57,1	väga hea
Saksi	makrofüüdid	13	17,3	12,7	71,6	väga hea
Tudre	makrofüüdid	22	15,6	12,5	53,8	väga hea
Vöhmetu	makrofüüdid	16	17	11,5	56,7	hea

Troofsusindeksi (TDI) järgi oli järvikute seisund kolme indeksi võrdluses kõige varieeruvam. Indeks näitas kõige halvemat seisundit Assamallas, mis oli ka veekvaliteedi andmete põhjal uuritute kõige suurema keskmise toiteainesisaldusega. Kesisesse seisundiklassi paigutus selle indeksi põhjal ka Kirikla, mis oli aga toiteainete sisalduse poolest koos Albaga kõige oligotroofsem. Kiriklas oli üldine taksonite arvukus väike ning arvukalt oli eutroofsete vete tunnusliike *Planotheridium lanceolata* ja *Gomphonema parvulum* (Kelly et al, 2001). Tegemist oli uuritud järvikutes kõige sagedamini esinenud eutrofeerumise indikaatoritega, kuid erinevalt teistest järvikutest ei olnud Kiriklas piisavalt neid "neutraliseerivaid" vähetoiteliste vete indikaatoreid. Kuksema järvis, mis oli veekvaliteedi andmete põhjal Assamalla järel toiteainete rohkuselt teisel kohal, osutus troofsusindeksi põhjal väga heas seisundis olevaks. Seal oli küll arvukalt *Gomphonema parvulum*'i ning veel üht eutroofsete vete tunnusliiki *Hantzschia calcifuga*. Samas moodustasid sealse fütobentose arvukusest peaaegu kolmandiku erinevad *Eunotia* perekonna taksonid, kes on omased just väga vähetoitelistele veekogudele. Seetõttu tuli troofsusindeksi väärtus väga heale seisundile vastav.

Nii tugevalt eutroofseid kui ka oligotroofseid tingimusi iseloomustavate taksonite samaaegne esinemine ränivetikakooslustes oli omane enamikele järvikutele. *Gomphonema parvulum* oli domineeriv või arvukas seitsmes järvikus, kaks *Planothidium*'i perekonna liiki olid arvukad kolmes järvikus, sh Tudres, kus *G. parvulum* arvukas ei olnud. Kelly et al (2001) põhjal väga vähetoitelisi tingimusi eelistavad *Eunotia* perekonna liigid olid summeeritult domineerivad või arvukad samuti seitsmes järvikus. Seega üldjoontes määraski järvikute troofsusindeksi väärtuse ära *G. parvulum*'i ja *Planothidium* spp arvukus, võrreldes *Eunotia* spp arvukusega. Kõige halvema troofsusindeksi väärtuse said Assamalla ja Kirikla, kus *Eunotia*'id polnud või peaaegu polnud. Kõige parema troofsusindeksi väärtuse said Jalgsema ja Saksi, kus *G. parvulum*'i ja *Planothidium* spp polnud või peaaegu polnud. Jalgsemas oli vähearvukas ka *Eunotia*. Tegemist oli uuritud järvikutest kõige monotoonsema ränivetikakooslusega järvikuga, kuna seal moodustas peaaegu kaks kolmandikku arvukusest üks takson, milleks oli pigem vähetoitelisi tingimusi eelistav *Achnantheidium minutissimum*. Seetõttu oli järviku troofsusindeksi väärtus ka kõige parem.

Selliste, erisuunalisi tingimusi eelistavate ebatüüpiliste ränivetikakoosluste esinemise tõttu tuligi suurema osa järvikute seisund fütobentose alusel sarnane. Saadud tulemuste põhjal võib järeldada, et **jõgede jaoks välja töötatud ning Eestis ka alaliste järvede seisundite hindamiseks kasutatavad ränivetikaindeksid karstijärvikute seisundite hindamisel tulemuslikult ei tööta.**

5. Kokkuvõte ja ettepanekud

Inventuuri eesmärk oli koguda andmeid seni Eestis sisuliselt uurimata karstijärvikute elupaigatüübi kohta, et tulevikus oleks võimalik nii nende seisundit kui ka võimalikku põhjavee poolt neile avalduvat negatiivset mõju objektiivsemalt hinnata. Uuringu jooksul koguti mitmekesine andmestik kümne järviku kohta, mis avab nende seoseid ümbritseva põhjaveekihi, toob esile nende veekvaliteedis veefaasi ajal toimuvad muutused ning heidab valgust järvikuid asustavate elustikurühmade mitmekesisusele. Inventuuri eesmärk ei olnud välja töötada järvikute seisundi hindamise juhendit või selgitada leitud seadus- või eripärade põhjuseid. Need ülesanded jäävad järgmistele töödele, mis saavad kasutada käesoleva inventuuri käigus kogutud andmeid. Võimaluste piires arutleti siiski ka käesolevas töös avastatu võimalike põhjuste üle ja anti järvikutele esialgsed kvalitatiivsed seisundihinnangud ning pakuti välja põhjavee võimalik roll nendes hinnangutes. Nagu teadusuuringutele omane, ilmnes inventuuri tulemusel palju uusi aspekte, mida tuleks edaspidi karstijärvikute toimimise mõistmiseks täiendavalt uurida.

Inventeeriti kümnet karstijärvikut, millest kaheksa asuvad Pandivere kõrgustikul, üks Kohila karstivaldkonnas ja üks Läänemaal. Alba ja Kirikla karstijärvikule koostati põhjaveega seotuse kontseptuaalsed mudelid. Ülejäänud kaheksale järvikule olid kontseptuaalsed mudelid koostatud Vainu et al (2019) töös.

Inventuuri käigus jälgiti järvikute veetaset ja veega täitumise perioodi 2024/2025 veefaasi jooksul veetaseme logeriga. Saadud andmete põhjal tuletati järvikute maksimaalne veetase, ulatus ja üleujutuse kestus. Enamike järvikute eeldataval toitealadel jälgiti ühe põhjaveekaevu veetaset samuti veetaseme logeriga. Järvikutest võeti veefaasi ajal kaks kuni neli veeproovi toiteainete, orgaanilise aine sisalduse, klorofüll a ja aluselisuse määramiseks. Kohapeal mõõdeti sama arv kordi vee väliparameetreid. Järvikute põhjaveeseire kaevudest võeti kaks kuni kolm veeproovi toiteainete, orgaanilise aine sisalduse ja aluselisuse määramiseks.

Kuiva faasi ajal 2024. või 2025. aasta suvel kaardistati järvikute taimekooslused. 2025. aasta kevadel võeti järvikutest suurselgrootute, fütoplanktoni, zooplanktoni ja fütobentose proovid ning kirjeldati vastavate elustikurühmade koosluste eripärad igas järvikus. Võimalusel anti elustikurühmade kohta seisundihinnangud vastavalt alaliste kalgiveeliste järvede seisundihindamise meetodikale.

Tulenevalt sajurohkest 2024. aasta sügisest hakkasid osad järvikud veega täituma juba 2024. aasta lõpus, kuigi tavapärase täitumisaeg pidanuks olema kevadel lume sulamise ajal. Kiire veetaseme tõus enamikes uuritud järvikutes algas vähem kui nädala jooksul enne jõule, kusjuures pooltes järvikutes, nii Pandiveres kui ka lääne pool, algas kiire veetaseme tõus vaid kolme päeva jooksul 20. detsembrist 22. detsembrini. Teistest

hiljem algas veetaseme tõus Tudre, Lemmküla ja Võhmetu järvikutes. Neist viimases kuu aega hiljem kui kõige esimesena kiirelt täituma hakanud järvikus, Kiriklas. Järvikute täitumisele eelnes kiire põhjaveetaseme tõusu algus järvikute põhjaveeseire kaevudes ning tõusu käivitajaks näis olevat üks vihmane ja sulailmaga päev.

Veetaseme tipp saabus enamikes järvikutes kahe nädala jooksul jaanuari lõpust veebruari keskpaigani. Teistest kaks kuni kolm nädalat hiljem saabus veetaseme tipp Võhmetu ja Lemmküla järvikutes. Järvikute veetase saavutas maksimumi enamjaolt kuni kaks nädalat nende seirekaevude põhjaveetasemest hiljem. Erandiks oli Võhmetu, kus järviku veetase tõusis veel kolm nädalat pärast seirekaevu maksimumi saavutamist. Järgnenud veetaseme langust ei mõjutanud enamikes järvikutes ka lume sulamine veebruaris. Järvikute veetaseme langus toimus väga erinevas tempos. Esimesena kuivas Einjärvi juba märtsi lõpus, kuid Võhmetu ja Lemmküla polnud kuivanud veel oktoobri algusekski. Osades järvikutes esines suvel rohketest sademetest tingitud teine veetaseme tõusu periood. Seega oli tegemist tavapärasest oluliselt erineva karstijärvikute veefaasiga. Tavapäraselt peaks järvikute täitumine algama kevadel pärast lume sulamist või sellega samal ajal ning järvelaadsed peaksid need välja nägema veel maikuuski. Seetõttu ei pruugi saadud tulemused ei veekvaliteedi ega vee-elustiku osas olla omased tavapärasele ajale paigutuva veefaasiga aastatele.

Alba ja Kirikla järvikud saavutasid uuritud veefaasi ajal tõenäoliselt absoluutsele maksimumile lähedase veetaseme, sest mõlemast järvikust tekkis väljavool. Järva-Jaani ümbruse järvikute maksimaalne veetase oli teadaoleva lähimineviku maksimumi lähedal või veidi üle selle. Tamsalu ümbruse järvikute veetase ja seetõttu ka ulatus jäi aga teadaolevale lähimineviku maksimumile alla.

Järvikute mineraalsuse andmete põhjal saab järeldada, et kõik on põhjavee, mitte pinnaveetoitelised. Pooltes järvikutes näitas keskmine üldlämmastiku sisaldus alaliste kalgiveeliste järvede kriteeriumite põhjal hinnates ebasoodsat seisundit sh kolmes järvikus väga halba seisundit. Maksimaalne mõõdetud üldlämmastiku sisaldus vastas soodsale seisundile aga ainult Albas. Enamike järvikute suurim üldlämmastiku ja nitraadisaldus mõõdeti veega täitumise ja maksimaalse veetaseme ajal ning hiljem kõigis järvikutes lämmastikusisaldus vähenes ning reeglina mitu korda. Selle põhjal saab järeldada, et lämmastik pärines järvikuid toitvast põhjaveest. Järvikute põhjavee seirekaevudes sarnast lämmastikusisalduse vähenemist kevade jooksul ei toimunud. Samas ei vähenenud järvikute elektrijuhtivus kevade jooksul sedavõrd palju, et saaks oletada põhjavee päritolu vee asendumist sademevee päritoluga veega. Järelikult pidi lämmastikusisalduse vähenemine tulenema järvikusisestest protsessidest.

Keskmise üldfosfori sisalduse põhjal oli järvikute seisund halvemgi kui üldlämmastiku põhjal. Kuues uuritud järvikus oli seisund ebasoodne, kusjuures viies järvikus väga halb. Enamikes järvikutes oli Püldi sisaldus veebruaris väiksem kui hilisematel mõõtmiskordadel, mis tähendab, et vastupidiselt Nüldi-ile suurenes Püldi sisaldus kevade jooksul. Järvikutes, kus fosforisisaldus oli suur juba maksimaalse veetaseme ajal, pärines see tõenäoliselt otse (Assamalla, Jalgsema) või kaudselt (Kuksema kraavi kaudu) põhjaveest. Erandiks oli Võhmetu, kus see võis pärineda metssigade poolt ülesongitud järvepõhjast. Järvikutes, kus üldfosfori sisaldus, peamiselt orgaanilise fosfori arvelt, kevade jooksul suurenes, võis see pärineda üleujutatud pinnasest, millest see hapnikupuuduse tingimustes vabanes, või järvikutesse kuiva faasi ajal kasvanud taimse massi lagunemisest. Kindlat järvikute fosforiallikat ei õnnestunud välja selgitada.

Klorofüll a sisaldused olid mõnedes järvikutes kalgiveeliste järvede kohta suured juba talvel, kuid reeglina suurenesid kevade jooksul veelgi. Seda saab seostada järvikute lämmastikusisalduse vähenemise ja fosforisisalduse suurenemisega. Lämmastikku järvikute vette pärast veetaseme tipu saavutamist olulisel määral enam ei lisandunud, kuid fosforit järvikute sisemiste protsesside tulemusel lisandus. Seeläbi vähenes fosfori limiteeritus lämmastiku suhtes, mis soodustas klorofüll a tootmise suurenemist. Intensiivse produktsiooni tulemusel kasutati järvikute lämmastikuvarud ära ja seoti biomassi. Kolme kõige suurema fosforisisaldusega järvikut arvestamata oli järvikute vee keskmise üldfosfori ja klorofüll a sisalduse vahel tugev lineaarne positiivne seos ($R^2=0,91$). Lineaarne positiivne seos keskmise üldlämmastiku ja klorofüll a sisalduse vahel oli palju nõrgem. Seega näib uuringu tulemuste põhjal, et karstijärvikud käituvad justkui

biotiikidena, kus nitraadirohke vesi muudetakse lämmastikuvaeseks. Selle käigus võib tagasi põhjavette neelduv vesi muutuda aga fosforirikkamaks. Seda hüpoteesi tuleks täiendavate uuringutega kontrollida.

Järvikute suurselgrootute andmed näitasid reeglina ebasoodsat seisundit, kuid nende taksonivaesus võib olla loomupärane ning olla tingitud maapealse veekihi ajutisusest, mistõttu alaliste kalgiveeliste järvede seisundite klassipiirid ei pruugi neile sobida. Kõige parema seisundi suurselgrootute põhjal said siiski kaks kõige vähetoitelisemat järvikut, Alba ja Kirikla. Tudre järvikust leiti Eestis teadaolevalt esmakordselt puudukilbiline vähk *Branchipus schaefferi*.

Järvikute fütoplanktoni liigiline koosseis oli väga vaene ja kogused väikesed, mistõttu olulisi järeldusi järvikute seisundi kohta fütoplanktoni põhjal teha ei saa.

Zooplanktonis valitsesid peaaegu kõigis järvikutes aerjalgsed, eriti nende noorjärgud, ning keriloomi oli reeglina vähe ning vesikirbulisi polnud peaaegu üldse. Vesikirbuliste puudus võib olla seotud varajase proovivõtuajaga, kuna nad eelistavad soojemat vett. Zooplanktoni puhul puuduvad seisundihindamise kriteeriumid ka alaliste järvede jaoks, mistõttu uuringus järvikutele formaalseid seisundihinnanguid ei antud. Erinevatest zooplanktoni ökoloogilise indikaatoriivsuse näitajatest kattus veekvaliteedi andmetega hästi keriloomade osakaal zooplanktoni arvukusest, mis oli suurim toiteainerohkeimates Assamalla ja Kuksema järvikutes. Jalgsema ja Tudre järvikutest leiti varem vaid Võhmetu-Lemmküla järvestikus kohatud haruldane, arktilise levikuga sega-aerik (*Mixodiptomus theeli*). Liiki leiti esimest korda pärast 1967. aastat uuesti ka Võhmetu ja Lemmküla järvikutest.

Suurema osa järvikute fütobentose kooslustes esines nii tugevalt eutroofseid kui ka oligotroofseid tingimusi eelistavaid taksonid, mistõttu jõgede ja alaliste järvede seisundi hindamisel kasutatavad indeksid ei tundu karstijärvikute puhul toimivat. Assamalla järvik osutus aga ka fütobentose indeksite põhjal kõige halvemas seisundis olevaks.

Elustikurühmade osas saab teha järelduse, et väärtuslikumat infot karstijärvikute kui elupaiga, funktsioneerimise kohta annavad taimed, zooplankton ja suurselgrootud ning neid rühmi on oluline ka tulevikus teistest järvikutest või muutuste hindamiseks ka samadest järvikutest seirata. Fütoplanktoni jaoks pole järvikud sobilik elupaik, mistõttu on seda seal vähe ning see ei moodusta olulist osa ökosüsteemist. Seetõttu pole edaspidi mõtet järvikutest fütoplanktonit seirata. Bentiliste ränivetikate poolest olid järvikute kooslused küll omapärased, kuid olemasolevate, alaliste veekogude seisundit kajastavate ränivetikaindeksite alusel nende seisundite kohta adekvaatset infot ei saa. Seetõttu pole ka nende seiramine järvikute seisundite iseloomustamiseks vajalik.

Kuna formaalsed seisundi hindamise kriteeriumid karstijärvikute jaoks puuduvad ning järve-elupaikade inventeerimise juhendis on nende hindamiseks eristatud vaid kaks taimestikul põhinevat taset (soodne ja ebasoodne), siis anti käesolevas uuringus hinnang järvikute seisunditele kvalitatiivselt, uuritud veekvaliteedi ja elustiku komponente arvesse võttes. Hinnati ka põhjavee võimalikku rolli järvikute ebasoodsas seisundis:

- Alba – inimõju järviku veekvaliteedile ja seetõttu ka selle elukooslustele on väike ning see sobib vähese inimõjuga karstijärvikute etaloniks vähemalt Lääne-Eestis.
- Assamalla – järviku seisund on põhjavee kaudu avalduva suure toiteainekoormuse tõttu ebasoodne.
- Einjärv – võib sobida Pandivere piirkonna karstijärvikute soodsa seisundi etaloniks, kuid vaja on täiendavat veekvaliteedi, zooplanktoni ja suurselgrootute uuringut tavapärasema veerežiimiga aastal kui järvikus püsib vesi kauem kui märtsi lõpuni. Täiendavalt on vaja uurida ka järviku veerežiimi.
- Jalgsema – järviku seisund on põhjavee kaudu avalduva suure fosforikoormuse tõttu ebasoodne.
- Kirikla – inimõju järviku veekvaliteedile ja seetõttu ka selle elukooslustele on väike ning see sobib vähese inimõjuga karstijärvikute etaloniks vähemalt Lääne-Eestis.

- Kuksema – järviku seisund on suure toiteainekoormuse tõttu ebasoodne ning tõenäoliselt on suure toiteainekoormuse allikaks vähemalt osaliselt põhjavesi. Kõige selgemalt avaldab negatiivset mõju Kuksema kraavi halb veekvaliteet, mis on osaliselt põhjustatud kraavi suunatud heitveelaskmetest, kuid oluline osa peab olema veel mingil allikal, mis tõenäoliselt on põhjavesi. Võimalik, et osa otse järve jõudvast toiteainekoormusest pärineb põldudelt, mida järvik üle ujutab.
- Lemmküla – järviku seisund on pigem soodne kui ebasoodne ja järvikut toitva põhjavee suur lämmastikuisaldus märkimisväärselt olulist negatiivset mõju järviku elustikule, tänu järvikusisesele vähesele fosfori sisekoormusele, avaldanud ei ole.
- Saksi – järviku seisund on pigem ebasoodne kui soodne ning sellele avaldab ilmselt negatiivset mõju põhjavee mõõdukas lämmastikuisaldus, aga võimalik, et ka fosforisisaldus.
- Tudre – järviku seisund on pigem soodne kui ebasoodne, kuigi põhjavee suur lämmastikuisaldus avaldab sellele ilmselt teatavat negatiivset mõju. Võimalik, et osa järviku toiteainekoormusest pärineb põllult, mida järvik üle ujutab.
- Võhmetu – järviku seisund on pigem soodne kui ebasoodne ja järvikut toitva põhjavee suur lämmastikuisaldus märkimisväärselt olulist negatiivset mõju järviku elustikule, vaatamata järvikusisesele mõõdukale fosfori sisekoormusele, avaldanud ei ole.

Töö tulemusel ilmnes mitmeid vastuseta jäänud küsimusi ja ettepanekuid, mida tuleks tulevastest karstijärvikute uuringutes käsitleda ja arvestada:

- Järvikute veefaasi ajal rikastus nende vesi fosforiga. Fosfori allikad pidid olema järviku enda sees. Tuleb välja selgitada, kas fosforisisalduse dünaamika on samasugune aastatel, mil järvikud pole suurema osa veefaasist jääga kaetud ning millised on järvikusisesed fosforiallikad.
- Kuna järvikute suurselgrootute ja zooplanktoni proovid tuli hüdrooloogilistest oludest tulenevalt võtta varakevadel, ei pruukinud nende kooslused olla täielikult välja arenenud. Zooplanktoni puhul viitab sellele suur noorjärkude osakaal proovides. Seega on vajalik võtta uuritud järvikutest suurselgrootute ja zooplanktoni proovid tavapärasema veerežiimiga aastal aprilli lõpus, mai alguses, kui järvikute vesi on saanud pikemalt soojem olla. Nende põhjal saab hinnata, kas inventuuri käigus ilmnenuid järvikute valdavalt ebasoodne seisund suurselgrootute põhjal kalgiveeliste järvede kriteeriumite alusel oli tingitud varajasest proovivõtuajast või vajavad karstijärvikud alalistest järvedest erinevaid seisundiklasside piire. Zooplanktoni puhul saab kordusproovide põhjal hinnata, kui tüüpilised inventuuris saadud tulemused tavapärasemate aastatega võrreldes on. Lisaks tuleks zooplanktoni proove võtta võimalusel ka suvisel ajal, et analüüsida, kuidas kooslused veeperioodi jooksul muutuvad.
- Tulevastes karstijärvikute elustiku inventuurides piisab, kui uurida nende taimestikku, zooplanktonit ja suurselgrootuid. Fütoplanktoni ja fütobentose seiramine pole oluline.
- Tamsalut ümbritsevate järvikute puhul, mille veetase jäi inventuuriaastal teadaolevatele lähimineviku silmamõõdulistele maksimumidele olulisel määral alla, tuleb logeriga veetaseme seiret jätkata, et saada kinnitust, kas praegu EELISe tundlike alade nimistus olevad järvikute polügoonid, mille põhjal arvestatakse nendega seotud veekaitselisi kitsendusi, on adekvaatsed.
- Käesoleva uuringu veetaseme logeri järvikusse paigutamise viisi sobib kasutada ka tulevastes uuringutes, kuid tuleb jälgida, et samal ajal elektrijuhtivust mõõtes oleks loger kinnitatud inertsema materjali, kui kergkruusaploki külge.
- Einjärve toitumisrežiim on uuritud järvikutest kõige ebaselgem. Pole isegi kindel, kus asub järviku toiteala. Seetõttu on vaja järviku toitumisrežiimi edaspidi täiendavalt uurida.
- Ebaselgeks jäi põhjavee liikumise suund Võhmetu ja Lemmküla järvikute vahel ning nendest põhja ja lääne pool. Selleks, et välja selgitada, kas järvikutest liigub põhjavesi kõrge veetaseme ajal põhja- või lääne suunas, kus kohas asub Ida- ja Lääne-Eesti vesikonda eraldav veelahe ning kas see piir muutub

erineva põhjaveetaseme tingimustest olulisel määral, tuleb läbi viia Võhmetu-Lemmküla järvestiku järvikute ja seda ümbritsevate kaevude veetasemete detailuuring.

- Kuksema järvikut toitva Kuksema kraavi suure lämmastiku- ja fosforisisalduse põhjused on ebaselged, kuna heitveelaskmetest tulev koormus neid selgitada ei suuda. Kraavi suure toiteainesisalduse põhjused tuleb välja selgitada.
- Täpsustamiseks uuritud järvikute veega täitumise mehhanisme ehk kas need toimivad läbivoolulistena või ülevoolu mahutina, tuleks järvikute veetasemeid seirata ühe veefaasi jooksul mitme veetaseme logeriga.
- Kontrollimaks inventuuri põhjal tehtud nõrka järeldust, et vähetoitelistes järvikutes domineerivad sinihelmika- ja maranakooslused ning rohketoitelistes saleda tarna, angervaksa-, päideroo- ja ängelheinakooslused, tuleb lisaks veekvaliteedile analüüsida ka mullastiku toiteainete sisaldust ning hõlmata uuringusse rohkem sinihelmika- ja maranakooslustega järvikuid.
- Väiksemad konkreetsete järvikute kohta vastamata jäänud küsimused on välja toodud iga järviku kirjelduses.

Kasutatud materjalid

- Allott, N., Coxon, C. & Cunha Pereira, H. 2015. Water Chemistry and Algal Biomass. In: Waldren, S. (ed) *Turlough Hydrology, Ecology and Conservation. Unpublished Report*. National Parks & Wildlife Services, Department of Arts, Heritage and the Gaeltacht, Dublin.
- Armitage, P.D., Moss, D., Wright, J.F. & Furse, M.T. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Res.* 17: 333-347.
- Consultare OÜ. 2014. *Pandivere ja Adavere-Põltsamaa nitraaditundliku ala allikate ja karstihetrite keskkonnaregistri andmete ajakohastamine*. Tartu.
- Dillon, P.J. & Molot, L.A. 2024. The Phosphorus Cycle. In: Jones, I.D. & Smol, J.P. (eds) *Wetzel's Limnology. Lake and River Ecosystems. Fourth Edition*. Academic Press, 359–425.
- Dumont, H. J., Van de Velde, I., & Dumont, S. 1975. The dry weight estimate of biomass in a selection of cladocera, copepoda and rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. *Oecologia*, 19: 75-97.
- EVS-EN ISO 10870:2012. *Water quality – Guidelines for the selection of sampling methods and devices for benthic macroinvertebrates in fresh waters (ISO 10870:2012)*. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN 16695:2015. *Vee kvaliteet. Juhised fütoplanktoni biomahu määramiseks*. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN 16698:2015. *Vee kvaliteet. Siseveekogudest fütoplanktoni kvantitatiivsete ja kvalitatiivsete proovide võtmise juhised*. Eesti Standardikeskus.
- Haberman, J. & Haldna, M. 2014. Indices of zooplankton community as valuable tools in assessing the trophic state and water quality of eutrophic lakes: long term study of Lake Vörtsjärv. *J. Limnol*, 73: 61–71.
- Hillebrand, H., Dürselen, C.-D., Kirschtel, D., Zohary, T. and Pollinger, U. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.* 35: 403-424.
- Hofmann, G., Lange-Bertalot, H. & Werum, M. 2013. *Diatomeen im Süßwasser - Benthos von Mitteleuropa. Bestimmungsflora Kieselalgen für die ökologische Praxis. Über 700 der häufigsten Arten und ihre Ökologie*. Koeltz Scientific Books, Königstein.
- Johnson, R.K. 1999. Benthic macroinvertebrates. In: *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Sjöar och vattendrag. Bakgrundsrapport 2. Biologiska parametrar* (Ed. by Torgny Wiederholm). Naturvårdsverket Förlag, 85-166.
- Joogivee kvaliteedi- ja kontrollnõuded ja analüüsimeetodid ning tarbijale teabe esitamise nõuded*. 2019. Sotsiaalministri 24.9.2019 määrus nr 61. RT I, 05.09.2023, 6.
- Joonuks, H. 1974. Ajutiste järvede maal. *Eesti Loodus* 2: 115–119.
- Jõelet A. & Polikarpus M. 2018. *Hüdrokeoloogiline modelleerimine. Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. KIK projekt 11808. Lõpparuanne, köide 4*. Tartu Ülikool, Tartu.
- Kelly, M.G., Adams, C., Graves, A.C., Jamieson, J., Krokowski, J., Lycett, E.B., Murray-Bligh, J., Pritchard, S., & Wilkins, C. 2001. *The Trophic Diatom Index: A User's Manual, Revised Edition*, R&D Technical Report E2/TR2). Environment Agency, Bristol.
- Krammer, K. 2000. The genus Pinnularia. In: Lange-Bertalot, H. (ed) *Diatoms of Europe: diatoms of the European inland waters and comparable habitats Vol 1*. Bubenheim: A.R.G. Gantner Verlag. K.G., Ruggell.

- Krammer, K. 2002. Cymbella. In: Lange-Bertalot, H. (ed) *Diatoms of Europe: diatoms of the European inland waters and comparable habitats, Vol 3*. Bubenheim: A.R.G. Gantner Verlag. K.G., Ruggell.
- Koit, O. & Vainu, M. 2017. Savalduma karstiaala, Tamsalu linna heitveelask. *Eesti Loodus* 12: 22–27.
- Kõvask, V. & Milius, A. 1982. Lõuna-Eesti järvede fütoplankton. In: *Eesti NSV järvede nüüdisseisund*. Tartu, 75-85.
- Lange-Bertalot, H., Bak, M., Witkowski, A. & Tagliaventi, N. 2011. Eunotia and some related genera. In Lange-Bertalot, H. (ed) *Diatoms of Europe: diatoms of the European inland waters and comparable habitats Vol. 6*. Bubenheim: A.R.G. Gantner Verlag. K.G., Ruggell.
- Lehtpuu, M., Mäemets, H., Timm, H. & Ott, I. 2025. *Loodusdirektiivi I lisa järveelupaigatüüpide määramis- ja hindamismetoodika juhis*. Eesti Maaülikool, Põllumajandus- ja Keskkonnainstituut, Hüdrobioloogia ja kalanduse õppetool, Tartu.
- Lenat, D.R. 1988. Water quality assessment of streams using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates. *J. North Amer. Benthol. Soc.* 7: 222-233.
- Loeb, R., Lamers, L.P.M. & Roelfos, J.G.M. 2008. Prediction of phosphorus mobilisation in inundated floodplain soils. *Env. Poll.* 156: 325–331.
- Lukic D., Waterkeyn A., Rabet N., Mioduchowska M., Geudens B., Vanschoenwinkel B., Brendock L. & Pinceel T. 2019. High genetic variation and phylogeographic relations among Palearctic fairy shrimp populations reflect persistence in multiple Southern refugia during Pleistocene ice ages and postglacial colonization. *Freshwater Biology*. DOI: 10.1111/fwb.13380.
- Maileht, K., Ott, I., Timm, H., Lehtpuu, M., Palm, A., Krause, T., Pall, P. & Blank, K. 2024. *KIK projekti "Väikejärvede ökoloogilise seisundi hindamise klassifikatsiooni täiustamine" aruanne*. Eesti Maaülikooli hüdrobioloogia ja kalanduse õppetool, Tartu.
- Medin, M., Ericsson, U., Nilsson, C., Sundberg, I. & Nilsson, P.-A. 2001. *Bedömningsgrunder för bottenfaunaundersökningar*. Medins Sjö- och Åbiologi AB, Mölnlycke.
- Mertens, A., van der Wal, J., Verweij, G., Pex, B., van Dulmen, A. & van Dam, H. 2025. A revised list of diatom ecological indicator values in The Netherlands. *Ecological Indicators* 172: 113219.
- Mikkelsaar, K., Mõtus, M.-A., Uppin, M., Paat, K. 2020. *Harju maakonna Kirikla uuringuruumi geoloogilise uuringu aruanne. Töö nr 20/2914*. OÜ Inseneribüroo STEIGER, Tallinn.
- Mäemets, A. 1968. *Eesti järved*. Tallinn, Valgus.
- Mäemets, A. 1969. *Eesti karstijärvedel*. Eesti Loodus 11: 691–693.
- Naughton, O., Johnston, P. & Gill, L. 2015. Hydrology. In: Waldren, S. (ed) *Turlough Hydrology, Ecology and Conservation. Unpublished Report*. National Parks & Wildlife Services, Department of Arts, Heritage and the Gaeltacht, Dublin.
- Ott, I. & Laugaste, R. 1996. *Fütoplanktoni koondindeks (FKI). Üldistus Eesti väikejärvede kohta*. Eesti Keskkonnaministeeriumi Infoleht nr 3.
- Ott, I. 2008. *Võrumaa 4 järve inventuur 2008. a*. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu.
- Ott, I. 2010. *Eesti väikejärvede seire 2010. a*. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu.
- Ott, I. 2013. *Kahekümne kuue Põlva-, Valga- ja Võrumaa järve kompleksuuringu teostamine ja kaitsekorralduslike soovituste andmine*. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu.

- Ott, I. & Timm, H. 2020. *Siseveekogud. Õpik kõrgkoolidele*. Eesti Loodusfoto.
- Ott, I., Timm, H., Maileht, K., Rakko, A., Lehtpuu, M., Laarmaa, R., Ott, K., Palm, A., Krause, T. & Pall, P. 2021. *Eesti väikejärvede hüdrobioloogiline seire ja uuringud 2021. a.* Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu.
- Paal, J. *Loodusdirektiivi elupaigatüüpide käsiraamat. Teine, parandatud trükk*. Auratrükk, Tallinn.
- Pielou, E.C., 1975. *Ecological diversity*. New York.
- Pinnaveekogumite nimekiri, pinnaveekogumite ja territoriaalmere seisundiklasside määramise kord, pinnaveekogumite ökoloogiliste seisundiklasside kvaliteedinäitajate väärtused ja pinnaveekogumiga hõlmamata veekogude kvaliteedinäitajate väärtused*. 2020. Keskkonnaministri 16.04.2020 määrus nr 19. RT I, 21.04.2020, 61.
- Ploompuu, T. 2013. Taebla karstijärved. *Eesti Loodus* 6–7: 36–39.
- Porkuni maastikukaitseala kaitsekorralduskava*. 2023. Keskkonnaamet.
- 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*. 2019. Keskkonnaministri 01.10.2019 määrus nr 48. RT I, 27.06.2022, 18.
- Ruttner-Kolisko, A. 1977. Suggestions for biomass calculations of plankton rotifers. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, 8: 71–76.
- Salu, M. 2009. *Tamsalu linna heitvee juhtimisega Savalduma karstijärve ja Savalduma küla elanike nõuetekohase joogivee saamisega seonduvad keskkonnauuringud*. AS Maves, Tallinn.
- Simm, H. 1975. Eesti pinnavete hüdrokeemia. Valgus, Tallinn.
- Tamm, I. 1985. *Harju rajooni Tammiku vihmutus*. Eesti NSV Agrotööstuskoondis Riiklik Projekteerimise ja Uurimise Instituut "Eesti Maaparandusprojekt", Tallinn.
- Timm, H. & Vilbaste, S. 2010. *Pinnavee ökoloogilise seisundi hindamise meetodika bioloogiliste kvaliteedielementide alusel. Bentiliste ränivetikate kooslus jões. Suurselgrootute põhjaloomade kooslus jões ja järves*. Eesti Maaülikool, Tartu.
- Timm H., Käiro K., Möls T. & Virro T. 2011. An index to assess hydromorphological quality of Estonian surface waters based on macroinvertebrate taxonomic composition. *Limnologica* 41: 398-410.
- Timm H., 2015. *Eesti sisevete suurselgrootute määraja. Identification guide to freshwater macroinvertebrates of Estonia*. Kuma.
- Timm, H, Haldna, M, 2019. Do abundance and percentage of dipteran larvae and Oligochaeta indicate low water quality in streams and lake littoral? *Oceanological and Hydrobiological Studies* 48: 415-429.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. *Mitt. int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 9: 1-38.
- Vainu, M., Koit, O., Lode, E., Ploompuu, T., Terasmaa, J. & Ravis, R. 2019. *Põhjaveekogumite seosed maismaaökosüsteemide ja pinnaveekogudega, hüdrogeoloogilised mudelid ning seirevõrgu kujundamine*. Tallinna Ülikool, Tallinn.
- Vainu, M., Vaasma, T., Vandel, E. & Terasmaa, J. 2021. *Valglate andmestiku loomine. Lõpparuanne*. Tallinna Ülikooli Ökoloogia keskus, Tallinn.

Vainu, M., Koit, O. & Abreldaal, P. 2022. *Nitraaditundliku ala oluliste allika- ja karstialade nimistu üle vaatamine ja piiride korrigeerimine*. Tallinna Ülikool, Tallinn.

Viljasoo, L. 1952. *Eesti NSV Tallinna oblasti Haapsalu rajooni soode kirjeldus*. TA Maaparanduse ja Sookultuuri Instituut. EGF 5015

Väikejärvede ökoloogilise seisundi hindamise klassifikatsiooni täiustamine. 2024. Vastutavad täitjad K. Maileht, I. Ott. Keskkonnainvesteeringute Keskuse projekti aruanne RE.4.10.22-0058.

Waldren, S. (ed.) 2015. *Turlough Hydrology, Ecology and Conservation. Unpublished Report*. National Parks & Wildlife Services, Department of Arts, Heritage and the Gaeltacht, Dublin.

Watanabe, T., Asai, K. & Houki, A. 1990. Numerical simulation of organic pollution in flowing waters. In: *Cheremisinoff P. N. (ed) Encyclopedia of Environmental Control Technology, 4. Hazardous Waste Containment and Treatment*. Gulf Publishing Company, Houston, 251–284.

Lisad

Lisad K1 kuni K8 on eraldi Exceli failides.