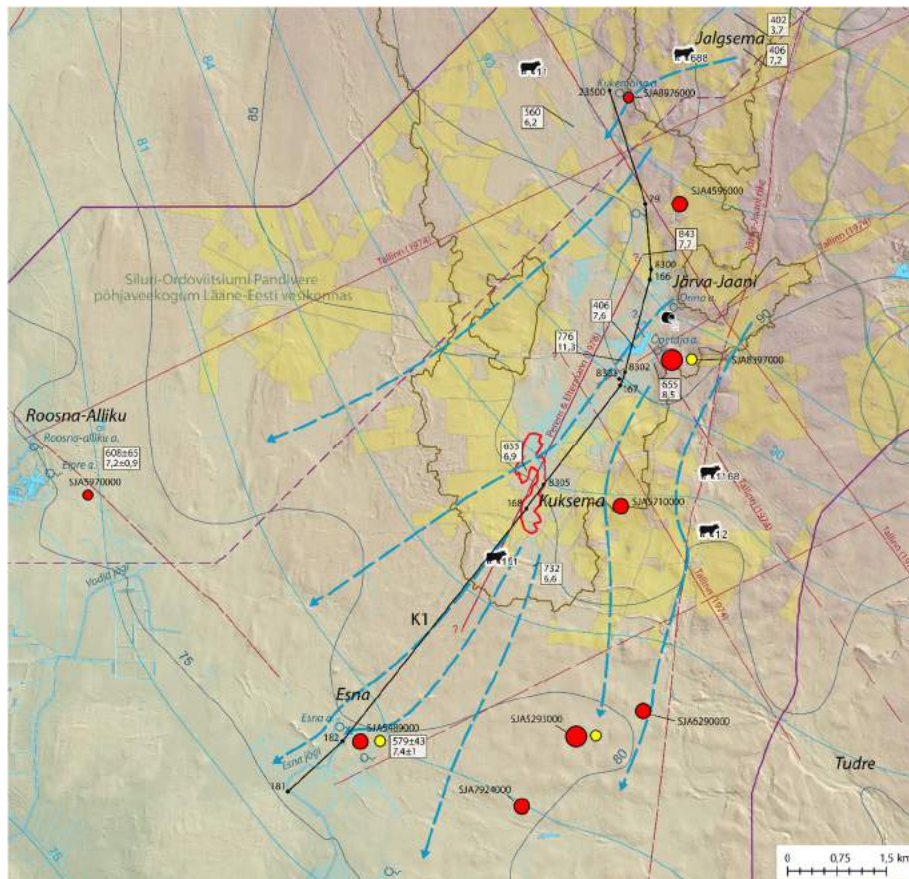


Töö koostaja: Tallinna Ülikooli Ökoloogia keskus

Põhjaveekogumite seosed maismaaökosüsteemide ja pinnaveekogudega, hüdrogeoloogilised mudelid ning seirevõrgu kujundamine

Lõpparuanne



Töö tellija: Keskkonnaministeerium, käsundusleping 4-1/18/109

Töö põhitäitjad: Marko Vainu, Oliver Koit, Elve Lode, Tõnu Ploompuu, Jaanus Terasmaa, Reimo Ravis

Tallinn, 2019

Sisukord

1.P	Lähteülesanne	4P
1.1.	Taust	4P
1.2.	Uuringu eesmärk	4P
1.3.	Uuringu eesmärkide saavutamiseks vajalikud tegevused	5P
2.	Kaasajastatud kontseptuaalsed mudelid	7P
2.1.	Porkuni järv	7P
2.1.1.	Taustainfo	7P
2.1.2.	Kaasajastatud kontseptuaalne mudel ja seiresoovitused	8P
2.2.	Jõuga järvestik	10P
2.2.1.	Taustainfo	10P
2.2.2.	Kaasajastatud kontseptuaalne mudel ja seiresoovitused	11P
2.3.	Kurtna järvestik	14P
2.3.1.	Taustainfo	14P
2.3.2.	Kaasajastatud kontseptuaalne mudel ja seiresoovitused	16P
2.4.	Kurtna Suurjärve äärne soo	21P
2.4.1.	Taustainfo	21P
2.4.2.	Kaasajastatud kontseptuaalne mudel ja seiresoovitused	25P
3.	Selisoo ja Ratva raba kontseptuaalsed mudelid	27P
3.1.	Taustainfo	27P
3.1.1.	Üldandmed	27P
3.1.2.	Säilinud looduskaitsealised väärtused	29P
3.1.2.1.	Selisoo	29P
3.1.2.2.	Ratva raba	30P
3.1.3.	Häiringutega märealad	32P
3.1.4.	Seisuveekogud soodes	34P
3.1.5.	Kujunenud pinnavee hüdroloogia ja selle võimalik dünaamika	35P
3.1.6.	Põhjaveega seotud häiringud	37P
3.1.6.1.	Selisoo	39P
3.1.6.2.	Ratva raba	42P
3.2.	Kontseptuaalsed mudelid	44P
3.2.1.	Selisoo	44P
3.2.2.	Ratva raba	45P
3.2.3.	Veebilansilised kontseptuaalsed mudelid	46P
3.3.	Ettepanekud seireks	50P
3.3.1.	Põhimõtted rabatuumikutega soode seireks	50P
3.3.2	Selisoo	51P
3.3.3	Ratva raba	52P
4.	Loobu ja Sõmeru jõe kontseptuaalsed mudelid ja uuringukavad	54P
4.1.	Loobu jõgi	54P
4.1.1.	Taustainfo	54P
4.1.2.	Välivaatluste tulemused	57P
4.1.3.	Kontseptuaalne mudel	60P
4.1.4.	Uuringukava	64P
4.2.	Sõmeru jõgi	67P
4.2.1.	Taustainfo	67P
4.2.2.	Välivaatluste tulemused	70P
4.2.3.	Kontseptuaalne mudel	72P
4.2.4.	Uuringukava	77P

5. Karstijärvikud	80P
5.1. Karstijärviku definitsioon	80P
5.2. Pandivere kõrgustik	81P
5.3. Karstijärvikute kontseptuaalsete mudelite koostamise põhimõtted ja materjal	82P
5.4. Assamalla karstiluht	84P
5.4. Võhmetu-Lemküla karstijärvikud	90P
5.5. Saksi järv	92P
5.6. Savalduma, Aniste ja Einjärve karstijärvikud	95P
5.7. Jalgsema karstijärvik	100P
5.8. Kuksema karstijärvik	105P
5.9. Tudre karstijärvik	109P
5.10. Ülevaade Eesti karstielustikust	112P
5.10.1. Karstijärvikute fauna	114P
5.10.2. Karstijärvikute floora	115P
5.10.3. Taimestik karstijärvikute olemasolu ja omaduste indikaatorina	117P
5.11. Karstijärvikute elustiku-uuringud Euroopas	118P
5.12. Assamalla karstiluha uuringu- ja seirekava	123P
6. Ida-Viru seisuveekogude seire	128P
6.1. Põhjaveekogumitest sõltuvad seisuveekogud Ida-Virumaal	128P
6.2. Kurtna järvestik	130P
6.3. Jõuga järvestik	135P
6.4. Kõnnu järvestik	135P
6.5. Uljaste järv	136P
6.6. Ratva järv	137P
6.7. Veetasemete seiremetoodika	138P
7. Põhjaveekogumitest sõltuvate ökosüsteemide keskkonnaeesmärkide täitmine	139P
7.1. Põhjaveekogumitest sõltuvad vooluveekogud	139P
7.2. Põhjaveekogumitest sõltuvad seisuveekogud	150P
Kokkuvõte	154P
Summary	154P
Kasutatud materjalid	155P

1. Lähteülesanne

1.1. Taust

Veemajanduse korraldamiseks, vee kasutamise ja kaitse planeerimiseks on Eesti territoorium jagatud kolmeks veemajandusvesikonnaks – Ida-Eesti vesikond, Lääne-Eesti vesikond ja Koiva vesikond. Vesikondade kohta tehakse regulaarselt ülevaateid ja analüüse. Tulenevalt veeseaduse §3² lõikest 2 kavandatakse ning korraldatakse pinna- ja põhjavee kasutamist ja kaitset valgla põhiselt vesikondade kaupa, arvestades veekogude valglate hüdroloogilisi piire.

23. oktoobril 2000. a võeti vastu Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiv 2000/60/EÜ, millega kehtestati ühenduse veepoliitika tegevusraamistik. Veepoliitika raamdirektiivi (edaspidi VRD) eesmärk on säilitada või saavutada pinna- ja põhjaveekogumite hea seisund. Lisaks VRDle võeti 12. detsembril 2006. a vastu Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiv 2006/118/EÜ, mis käsitleb põhjavee kaitset reostuse ja seisundi halvenemise eest (edaspidi põhjaveedirektiiv – PVD). Põhjaveedirektiiviga täpsustatakse VRD sätteid saasteainete põhjavette viimise ärahoidmiseks või piiramiseks ning kõikide põhjaveekogumite seisundi halvenemise vältimiseks.

VRD rakendamiseks moodustavad liikmesriigid põhjaveekihtidest põhjaveekogumid. Eestis on moodustatud 39 põhjaveekogumit, võttes arvesse keskkonnaministri kinnitatud põhjaveevaru olemasolu, põhjaveekihist vett tarbivate inimeste arvu, põhjaveekihi tootlikkust ja põhjavee looduslikku keemilist koostist.

VRD eesmärkide saavutamiseks koostatakse kuue aasta pikkuseks perioodiks veemajanduskavad. Veemajanduskava perioodi alguses hinnatakse põhjaveekogumite seisundit ja kirjeldatakse kõiki põhjaveekogumi seisundit mõjutada võivaid survetegureid. Lähtudes surveteguritest hinnatakse, kas põhjaveekogumi seisund on järgmise veemajanduskava perioodi alguses endiselt hea või mitte. PVD lisa V punkti 2 alusel on liikmesriigid kohustatud läbi viima põhjaveekogumite koguselise ja keemilise seisundi seiret, et hinnata põhjaveekogumite koguselist ja keemilist seisundit ning direktiivi kohaste keskkonnamärgide saavutamist.

Põhjaveekogumite seisundite hindamisel hinnatakse eraldi nende koguselist ja keemilist seisundit. Nii põhjaveekogumi keemiline kui ka koguseline seisund mõjutavad sellest sõltuvate maismaa- ja veeökosüsteemide seisundit. Näiteks sõltuvad allikate ja jõgede vooluhulk, järvede veetase ning maismaaökosüsteemide veerežiim neid toitva põhjaveekihi toite- ja väljeala veerežiimist ning formeerunud põhjaveetasemest. Veekogude veekvaliteet sõltub aga neid toitva põhjavee kvaliteedist.

VRD II lisa punktide 2.1. ja 2.2. alusel peavad liikmesriigid koostama nimekirja maismaa- ja veeökosüsteemidest, mis sõltuvad põhjaveekogumitest. VRD lisa V kohaselt peavad liikmesriigid põhjaveekogumi seisundi hindamisel arvestama seda, kuidas põhjavesi mõjutab ökosüsteeme. Juhul, kui põhjavesi põhjustab pinnaveekogude ja maismaaökosüsteemide seisundi halvenemist, ei ole ka põhjaveekogum heas seisundis.

Liikmesriikidel tuleb põhjaveekogumite vee seisundi hindamiseks määratleda muuhulgas ka põhjaveest sõltuvad maismaa- ja veeökosüsteemid, kehtestada nende seisundi hindamise kriteeriumid ning hinnata, millisel määral ja viisil mõjutab põhjavesi sellest sõltuvaid ökosüsteeme. Selleks on vaja koostada ka kompleksne seirevõrk põhjavee ja sellest sõltuvate ökosüsteemide seisundi muutuste jälgimiseks.

1.2. Uuringu eesmärk

Uuring on vajalik veemajanduskava 2015–2021 perioodi põhjavee meetmeprogrammi täitmise tagamiseks, veeökosüsteemide riiklike seireprogrammide täiendamiseks ja põhjaveekogumite seisundite usaldusväärseks hindamiseks uue teabe saamiseks. 2015. aastal Tallinna ülikooli

Ökoloogia Instituudi (alates 2016. aastast Ökoloogia Keskus) tehtud uuringus „Põhjaveekogumi veest sõltuvad ökosüsteemid, nende seisundi hindamise kriteeriumid ja seirevõrk“ (Terasmaa et al., 2015) keskenduti halvas seisundis ja ohustatud maapinnalähedastele põhjaveekogumitele, mis on olulise inimõju all. Uuringus käsitleti kahte peamist piirkonda: Ida-Virumaa põhjaveekogumid, mis on põlevkivi kaevandamise mõju all – kogumid nr 6, 7 ja 27 ning nitraaditundliku ala põhjaveekogumid – nr 14, 15 ja 16. Koostati kontseptuaalsed mudelid Kurtna järvestikule, Porkuni järvele ja Jõuga järvestikule (nimetatud töös ptk 6.1.3) ning Selisoole ja Kurtna Suurjärve äärsele soole (ptk 6.3.2). Kontseptuaalsetes mudelites kasutati töö tegemise ajal viimase seireaasta 2013 andmeid. Käesoleva töö eesmärgiks on kaasajastada uuringus Terasmaa et al. (2015) koostatud kontseptuaalsed mudelid vastavalt lisandunud teabele. Kaasajastatakse kontseptuaalsed mudelid, mis koostati Kurtna järvestikule, Porkuni järvele ja Jõuga järvestikule ning Selisoole ja Kurtna Suurjärve äärsele soole.

Lisaks on eesmärgiks koostada täiendavalt kolm kontseptuaalset mudelit põhjaveest sõltuvatele ökosüsteemidele, seirekava Ida-Virumaa põhjaveekogumitest sõltuvatele seisuveekogudele ning uuringukavad Loobu_1 ja Sõmeru vooluveekogumitele põhjaveekogumite poolt avaldatava võimaliku negatiivse mõju väljaselgitamiseks.

Eesmärgiks on ka saada rohkem teavet karstijärvikutest, mida on 2015. aasta uuringu andmetel väga puudulikult uuritud, mistõttu pole sisuliselt kvantitatiivset metoodikat nende seisundi hindamiseks. Ühtlasi ei võimalda see hinnata põhjaveekogumi mõju nende seisundile.

1.3. Uuringu eesmärkide saavutamiseks vajalikud tegevused

1.3.1. Kaasajastada Tallinna ülikooli Ökoloogia instituudi poolt 2015. aastal tehtud uuringus „Põhjaveekogumi veest sõltuvad ökosüsteemid, nende seisundi hindamise kriteeriumid ja seirevõrk“ kontseptuaalsed mudelid vastavalt lisandunud teabele. Kaasajastatakse kontseptuaalsed mudelid, mis koostati Kurtna järvestikule, Porkuni järvele ja Jõuga järvestikule ning Selisoole ja Kurtna Suurjärve äärsele soole.

1.3.2. Koostada vabal valikul kolme põhjaveekogumi veest sõltuva ökosüsteemi kohta selle toimimist selgitavad joonised (kontseptuaalsed mudelid) soovitatavalt halvas või ohustatud põhjaveekogumites lisaks punktis 3.3 nimetatutele. Kontseptuaalsetel mudelitel peab olema näidatud vähemalt ökosüsteemi seosed põhjaveekogumi veetasemega, põhjaveekogumi sisse-ja väljavoolualad, ökosüsteemile avalduvad koormusallikad.

1.3.3. Koostada 7 karstijärviku (nimetatud allpool) kohta nende kirjeldused ja kontseptuaalsed mudelid. Koostada seirekava vabal valikul ühele karstijärvikule põhjaveekogumis nr 14 (soovitatavalt Natura elupaigatüüp 3180) ja kirjeldada selle näite abil seire metoodikat. Seejuures koostada ka karsti elustiku uurimise kava, mille abil oleks võimalik hinnata seoseid põhjaveega. 2015. aasta uuringus on peatükis 8.1 tabelis välja toodud seisuveekogude uuritusest tulenevad probleemid ja nende lahendused. Antakse hinnang, et karstijärvikud on väga puudulikult uuritud, mistõttu pole sisuliselt kvantitatiivset metoodikat nende seisundi hindamiseks. Ühtlasi ei võimalda see hinnata põhjaveekogumi mõju nende seisundile. Natura elupaigatüüpi 3180 – karstijärved ja järvikud – määratud objektide kasutamine oli raskendatud, kuna nimetatud elupaigatüüp on omistatud väga vähestele ning ruumiliselt väga ebaühtlaselt jaotunud karstijärvikutele. Samuti on karstijärvikuid määratud Natura elupaikadeks väga ebaühtlaselt. Kuna tegemist on esmatähtsa Natura elupaigatüübiga, siis soovatakse pöörata karstijärvikute uurimisele ja inventeerimisele senisest suuremat tähelepanu. Olemasolevatele kirjandusandmetele tuginedes määratleti Eestis 197 olulist põhjaveekogumitest sõltuvat seisuveekogu ja 26 karstiobjekti. Neist 77 järve ja 7 karstiobjekti on sõltuvad Ida-Virumaa ja nitraaditundliku ala põhjaveekogumitest ehk 2015. aasta uuringu kontekstis prioriteetsetest põhjaveekogumitest. Need 7 karstiobjekti on Neanurme karstijärvik (põhjaveekogum nr 16), Assamalla karstiluht (Natura elupaigatüüp 3180), Einjärve ja Aniste karstijärved (Natura elupaigatüüp 3180), Kuksema karstihäll, Paistevälja – Jalgsema

karstinõod (Natura elupaigatüüp 3180), Savalduma karstijärv (Natura elupaigatüüp 3180) ja Tudre karstiorg (Natura elupaigatüüp 3180). Seitsmest karstiobjektist kuus on seotud põhjaveekogumiga nr 14. 2015. aasta uuringus on välja toodud, et karstijärvikute veekvaliteedi ega veetasemete andmeid Eestis ei koguta ning puuduvad ka kriteeriumid nende hindamiseks. Seega 2015. aasta tehtud uuringus testidesse põhjaveekogumitest sõltuvaks määratud karstijärvikuid ei kaasatud. Töö teostamise käigus lepidi tellijaga kokku, et Neanurme karstijärviku asemel koostatakse kontseptuaalne mudel Saksi karstijärvikule (põhjaveekogum nr. 14), eesmärgiga keskenduda põhjalikumalt Pandivere karstijärvikute funktsioneerimise väljaselgitamisele.

1.3.4. Koostada konkreetne uuringukava pinnaveekogumite Loobu_1 ja Sõmeru seisundi seoste uurimiseks halvas seisundis põhjaveekogumitega. 2015. aasta uuringu peatükis 7.2.2 on antud olemasoleva info põhjal hinnang, et Loobu_1 ja Sõmeru veekogumite seisund on seotud halvas seisundis olevate põhjaveekogumitega ja need veekogumid tuleks võtta lähitulevikus uuringualadeks.

1.3.5. Teha konkreetsed ettepanekud, millistes Ida-Viru piirkonna põhjaveekogumitega seotud seisuveekogudes on vajalik teha veetasemete seiret ja milline peab olema selle seire metoodika. 2015. aasta uuringu peatükis 8.1 on tehtud ettepanek alustada põhjaveekogumitest sõltuvate seisuveekogude veetasemete seiret vähemalt Ida-Viru põhjaveekogumitega seotud järvedes.

1.3.6. Loetleda, millised põhjaveekogumite veest sõltuvad ökosüsteemid Eestis ei saavuta tõenäoliselt aastaks 2027 keskkonnanäesmärgi ja kirjeldada inimtekkelisi koormusi, mis takistavad keskkonnanäesmärkide saavutamist.

2. Kaasajastatud kontseptuaalsed mudelid

Lähteülesanne: Kaasajastada Tallinna ülikooli Ökoloogia instituudi poolt 2015. aastal tehtud uuringus „Põhjaveekogumi veest sõltuvad ökosüsteemid, nende seisundi hindamise kriteeriumid ja seirevõrk“ kontseptuaalsed mudelid vastavalt lisandunud teabele. Kaasajastatakse kontseptuaalsed mudelid, mis koostati Porkuni järvele, Jõuga järvestikule, Kurtna järvestikule ning Kurtna Suurjärve äärsele soole ja Selisoole. Selisoo kaasajastatud kontseptuaalne mudel on peatükis 3.

2.1. Porkuni järv

2.1.1. Taustainfo

Porkuni järv (pindala 48 ha (EELIS, 2019)) asub Porkuni külas Tapa vallas, absoluutkõrgusel ligikaudu 107 m ümp Terasmaa et al. (2015) järgi on järv sõltuv S-O (Siluri-Ordoviitsiumi) Pandivere Lääne-Eesti vesikonna põhjaveekogumist (nr 14). Porkuni järve puhul on tegu allikatoitelise (põhjaveetoitelise), tehislikult paisutatud järvega, mis paikneb maastikuliselt Pandivere kõrgustikku võlvioosa lõikunud Valgejõe aluspõhjalise oru (Porkuni ürgoru) kaguosas. Heinsalu (1963) andmetel jätkub Porkuni ürgorg siin maetuna kagu suunas vähemalt Koonu küalani. Sealjuures Porkuni ürgoru avatud osa järgiv lõhelisusvöönd levib vähemalt 20 km pikkuselt kagu suunas, ning sellega on tõenäoliselt seotud Koonu, Vesioru, Eipri, Avispea ja Määra karstiväljad (Heinsalu, 1963). Porkunis ristub ürgoruga Neeruti-Porkuni oosistik, mis läbib peaaegu põhja-lõunasuunaliselt järvenõgu. Porkuni järve loodepoolne osa asub Pirgu ja kagupoolne osa Porkuni lademe avamusalal. Aluspõhjakehimeid katab oru põhjas Neeruti-Porkuni oosistiku levialal kuni 25 m paksune kvaternaarisetete kiht. Valgejõe orus, Porkuni järve põhjas ja sellest allavoolu on tuvastatud ulatuslik järvelubja leiukoht keskmise paksusega 3 m (Suuroja et al. (2015) järgi järvelubja hinnanguliselt kokku 4800 tuh m³).

Porkuni järv koosneb neljast tammidega eraldatud osast. Mäemets (1977) kirjeldab Porkuni järve kui alkalitroofset ehk allikatoitelist järve, mis põuaperioodidel juhuviisi kuivaks jääb. Valdav osa allikaid on järve kaguosas nn. „Allikaotsas“, teadaolevatest allikatest on tuntuimad Kaieallikas ja Külmaallikas. Porkuni järvest saab alguse Valgejõgi, mille vooluhulk Mäemetsa (1977) andmetel on keskmiselt 0,1–0,3 m³/s, suurveeaegu aga kuni 1 m³/s.

Porkuni järv kuulub elupaigatüüpi 3140 – vähe- kuni kesktoitelised kalgiveelised järved. Vee Raamdirektiivi järgi kuulub järv tüüpi I – kalgiveelised järved. Selle kaitseks on rajatud Porkuni maastikukaitseala ning samuti kuulub järv Porkuni loodusala koosseisu. Teadaolevalt värskeima Porkuni järve kompleksse uuringu andmetel (Ott, 2009a) oli järv põhjani (2 m) läbipaistev, roheline värvusega. Hapnikuolud järves olid halvad, kuna vesi oli hapnikuga tugevalt (157%) üleküllastunud. Vesi oli nõrgalt aluseline pH 7,9, madala orgaanilise aine sisaldusega KHT_{Cr} 21 mgO/l ja mineraalainete rikas, erielektrojuhtivus oli 414 µS/cm ning lahustunud ainete sisaldus 269 mg/l.

Järve kontseptuaalne mudel koostati 2015. aastal (Terasmaa et al., 2015), kuna järve seisund oli viimase hindamise andmetel kesine (Ott, 2009a). Kesise seisundi põhjustasid nii füüsikalise-keemilised näitajad kui ka põhjaloomastik. Põhjavee poolt mõjutatavatest näitajatest vastas järve üldlämmastiku (N_{üld}) sisaldus väga halvale kvaliteediklassile, 5,95 mgN/l. Hea seisundiklassi piir N_{üld} järgi on Porkuni järve tüüpi (I) järvedel 2,5 mgN/l (Pinnaveekogumite..., 2009). Tuvastatud üldlämmastikust moodustas 3,7 mgN/l nitraatlämmastik ja 0,03 mgN/l ammooniumlämmastik. Järve vee fosforisisaldus seevastu oli väga madal, vaid 0,008 mg/l. EELISE andmetel asub Porkuni järve ühes allikas nitraaditundliku ala operatiivseire jaam SJA4032000 (Porkuni allikas), millest on viimase kümne aasta jooksul võetud kaks proovi, 2009. ja 2010. aasta suvel. Nitraatiooni (NO₃⁻) sisaldus oli KESE andmetel kummalgi korral vastavalt 12,0 ja 15,1 mg/l ehk nitraatlämmastikuna esitatult vastavalt 3,4 ja 2,7 mgN/l. Sarnaselt järvevee keskmisele nitraatlämmastiku sisaldusele

2009. aastal, olid ka need väga kõrged. Hiljem pole sellest seirejaamast proove võetud, kuna 2010. aasta aruandes hinnati seirejaam allikavee seireks ebasobivaks (Osjamets, 2010).

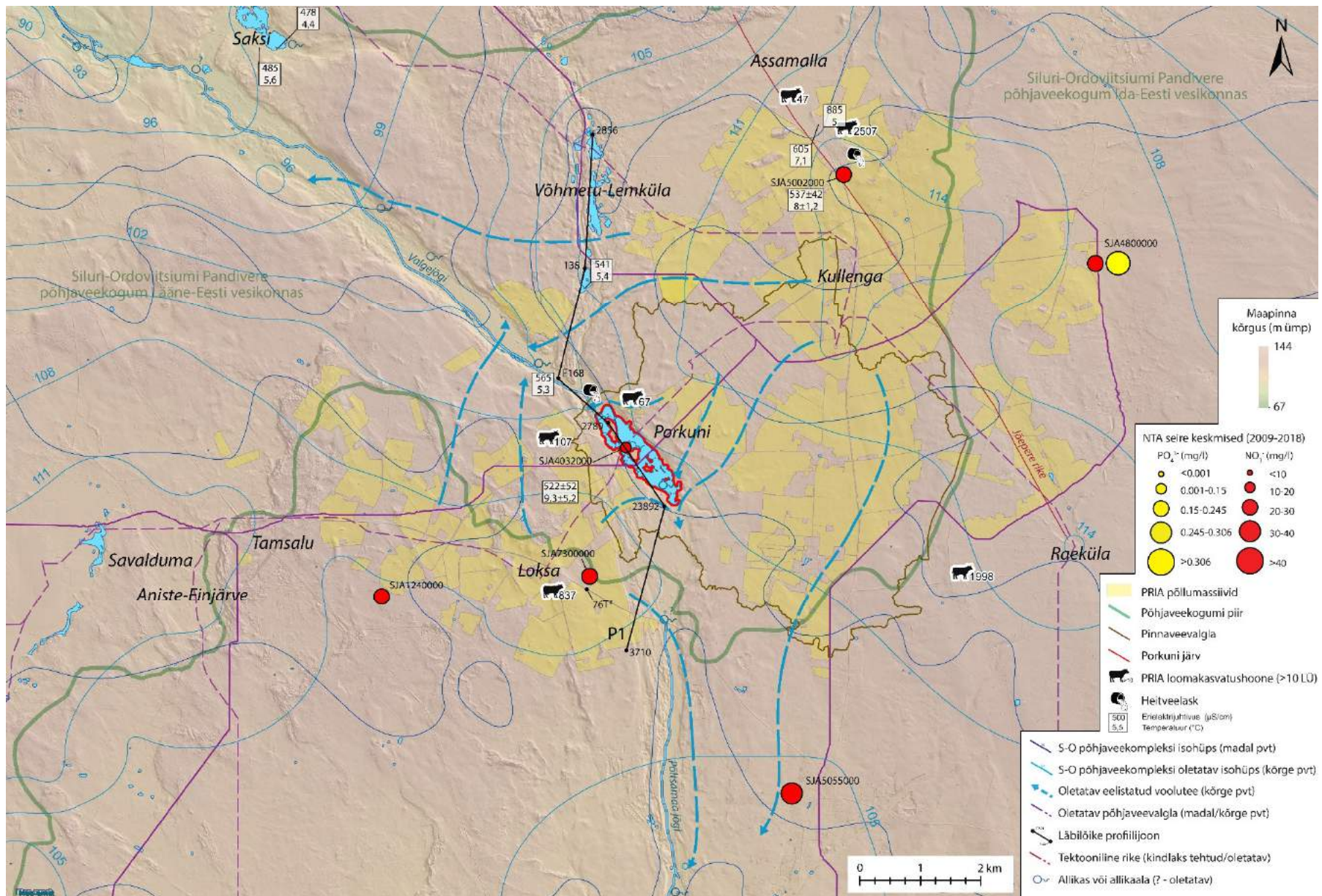
Terasmaa et al. (2015) töös läbi viidud testimise tulemusena ei saanud kõrgeenenud lämmastiksisalduse põhjusena välistada põhjaveekogumi mõju. Koostatud väga väheste sisendandmetega kontseptuaalne mudel näitas, et eeldatav põhjavee voolusuund järve ümbruses on kirde ja ida suunast järve poole ning lääne ja lõuna suunas järvest eemale. Kuna järve põhjavee toiteala asub valdavalt põllumajandusmaastikul, siis ei saanud koostatud mudeli põhjal välistada, et liigne lämmastik on jõudnud Porkuni järve põhjaveega. Samas ei saanud seda ka kinnitada, kuna järve eeldataval toitealal põhjavee seirekaevud puudusid.

2.1.2. Kaasajastatud kontseptuaalne mudel ja seiresoovitused

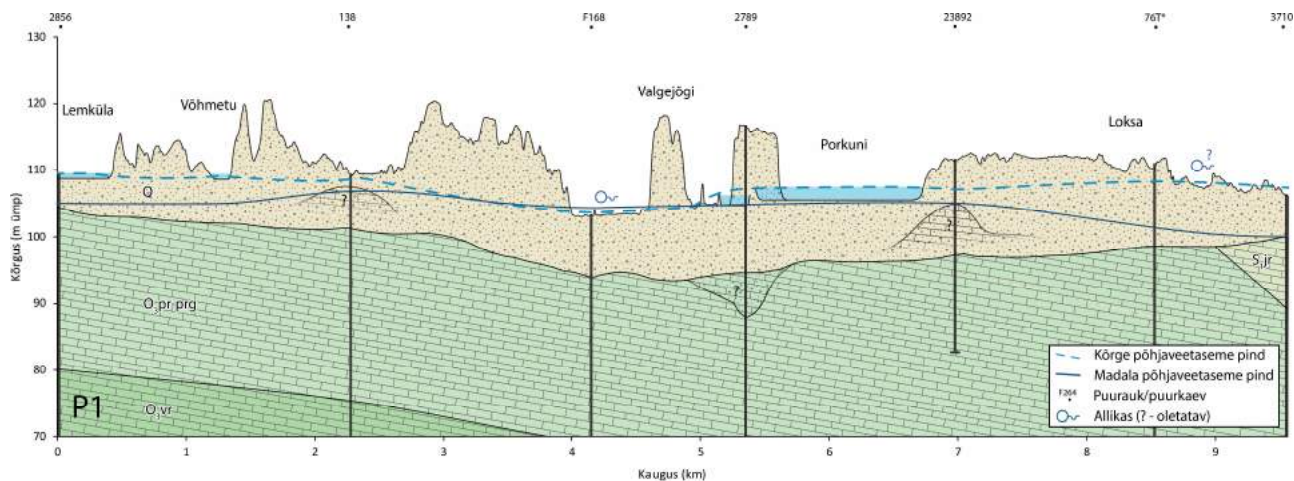
Eelmise kontseptuaalse mudeli põhjal tehtud järelduste kontrollimiseks ja võimalusel tugevdamiseks kaasajastati järve kontseptuaalset mudelit, kasutades lisaks vähestele põhjavee seirekaevudele (EELIS, 2019; KESE, 2019) ka Eesti Geoloogilise baaskaardi viiemeetrise intervalliga S-O põhjaveekompleksi isohüpsed (Maa-ameti geoportaal, 2019), VEKA andmebaasi (VEKA, 2019) kantud puuraukude veetasemete põhjal koostatud kõrge põhjaveetaseme isohüpsed (vt ptk 5.3), nitraaditundliku ala seire käigus perioodil 2009–2018 kogutud põhjavee nitraadi- ja fosfaadisisalduse andmeid (KESE, 2019), PRIA andmebaasi loomakasvatushoonete ja põllumassiivide andmeid (PRIA, 2019) ning EELISE heitveelaskude asukohaandmeid (EELIS, 2019). Ruumiandmete töötlemiseks kasutati tarkvara *ArcMap 10.5.1*.

Vahepealsetel aastatel pole järve seisundi kohta andmeid lisandunud. Valminud on küll üks bakalaureusetöö (Raidma, 2015), kuid selles ei määratud järvest toitainete sisaldust. Kuna tegemist ei ole veekogumite hulka kuuluva järvega, siis riikliku seire raames järve kohta andmeid ei koguta. Seega tuleb endiselt aluseks võtta eeldus, et järve seisundit mõjutab negatiivselt väga kõrge lämmastiksisaldus. Veekogumiteks on Eestis üldjuhul liigitatud vaid vähemalt 50 ha pindalaga järved. Väiksema pindalaga seisuveekogudest kuulub veekogumite hulka vaid üheksa erilise teadusliku või looduskaitse väärtusega järve.

Täiendatud kontseptuaalse mudeli põhjal (Joonis 2.1) võib eeldada, et Porkuni järv on seotud S-O põhjaveekompleksi Porkuni-Pirgu ja Nabala-Rakvere veekihtidega, mis avanevad järve põhjas ja ürgoru veergudes. Eesti Geoloogilise baaskaardi S-O põhjaveekompleksi isohüpside järgi jääb Porkuni järve põhjaveevalgla järvest vastavalt kirde ja edela poole, ning on üldjoontes seotud Kullenga ja Tamsalu kõvikutega, mida Porkuni ürgorg lahutab (Joonis 2.1). Sealjuures on tõenäoliselt olulisem roll järve põhjaveetoite kujunemisel järvest kirdes asuval Kullenga kõvikul, kus on kõrgemad põhjaveetasemed ja suurem gradient. Seda markeerivad ka teadaolevate allikate asukohad järve kirdekaldal. Valgejõe ja Põltsamaa jõgede orgudega seotud põhjaveevalglate veelahkmeala kulgeb kirde-edelasuunaliselt läbi Porkuni järve (Joonis 2.1). Kõrge põhjaveetaseme puhul võivad põhjaveevalglate piirid muutuda. Sealjuures tuleb arvestada detailsete andmete puudumisega karstisüsteemide (hüdrauliliste ühenduste) kohta, mida käesolevas kontseptuaalses mudelis toodud andmete põhjal kindlaks teha ei ole võimalik, küll aga vähemal määral oletada. Pandivere piirkonna... (1975), Kink (2006) ja Suuroja et al. (2015) kirjeldatud otsene seos Võhmetu-Lemküla karstijärvikute ja Porkuni järve vahel on kontseptuaalse mudeli põhjal (Joonised 2.1 ja 2.2) pigem vähetõenäoline. Selle teooria vastu räägib üldine põhjavee voolusuund Võhmetu-Lemküla järvikute ja Porkuni järve vahelisel alal, ning Valgejõe oru (Porkuni ürgoru) dreniv roll nende vahel. Küll aga on ilmne, et Porkuni järv ja Võhmetu-Lemküla järvikud jagavad osaliselt kattuvat eeldatavat põhjavee toiteala. Sealjuures võib oletada, et Porkuni järve seob ka Assamalla karstiluhtaga osaliselt kattuv põhjaveetoiteala Kullenga kõvikul (Joonis 2.1), mille veelahe nihkub kõrgema põhjaveetaseme korral Assamalla karstiluhta poole.



Joonis 2.1. Porkuni järve põhjaveekogumiga seotuse kontseptuaalne mudel.



Joonis 2.2. Porkuni järve geoloogilis-hüdrogeoloogiline läbilõige P1. Läbilõike paiknemine maastikul on näidatud joonisel 2.1. Veekihtide liigestus ja lühendid Jõelett & Polikarpus (2019) järgi. Q – Kvaternaari veekiht; S₃jr – Juuru veekiht; O₃pg-prg – Porkuni-Pirgu veekiht; O₃vr – Vormsi veekiht/nõrk veepide.

Porkuni järve Kullenga kõvikul asuval oletataval põhjaveetoitalal ei asu ühtegi põhjaveekogumite ega ka nitraaditundliku ala seirejaama, kus viimase kümne aasta jooksul oleks lämmastiku- või fosforisisaldust määratud, mistõttu endiselt ei saa viia kõrge usaldusväärsusega läbi testi põhjaveekogumi negatiivsest kvalitatiivsest mõjust sõltuvale veeökosüsteemile. Samas järve jaoks oletatavalt väheolulisemal põhjavee toitealal järvest edelas, Tamsalu kõvikul, asub nitraaditundliku ala operatiivseire jaam SJA7300000 (Loksa küla, Varese talu), kus on KESE andmetel nitraatiooni sisaldust määratud ühest proovist 2010. ja 2011. aasta suvel. Saadud väärtuste, vastavalt 29 ja 16 mg/l, teisendamisel nitraatlämmastikuks oli põhjavee lämmastikuisaldus toona vähemalt 6,6 ja 3,6 mgN/l. Mõlemad väärtused on oluliselt kõrgemad kui kalgiveeliste järvede hea seisundi üldlämmastikuisalduse alampiir 2,5 mgN/l (Pinnaveekogumid..., 2009).

Seega, kuigi kõik eeldused järvele avalduva põhjavee mõju testi läbiviimiseks pole täidetud, võib täiendatud kontseptuaalse mudeli põhjal ning seirejaamadele SJA7300000 (Loksa küla, Varese talu) ja SJA4032000 (Porkuni allikas) toetudes **üsna suure usaldusväärsusega väita, et S-O Pandivere põhjaveekogumil Lääne-Eesti vesikonnas (nr 14) on Porkuni järve seisundile negatiivne mõju.** Pinnasesse heitvett suunavaid väljalaske järve oletataval põhjavee toitealal ei asu, küll aga asub järve kirdekalda läheduses üks vähemalt kümne loomühikuga loomakasvatushoone. Samas tõenäolisemalt kõige olulisemaks koormusallikaks on järve oletataval põhjaveevalgal nii kirdes kui edelas asuvad ulatuslikud põllumaad.

Järvele põhjaveekogumi kvaliteedi poolt avalduva mõju hindamise testi kõrge usaldusväärsusega läbiviimiseks oleks vajalik viia läbi uus järve seisundi hindamine, kuna eelmisest on möödas kümme aastat ning rajada põhjavee toitainesisalduse määramiseks seirejaam järve peamisele toitealale Kullenga kõvikule järvest kirdes.

2.2. Jõuga järvestik

2.2.1. Taustainfo

Jõuga järvestik asub Ida-Virumaal 6 km lisakust kirde pool metsa- ja põllumajandusmaastiku piiril. See koosneb kolmest väikesest järvest: Pesujärv (1,9 ha), Linajärv (1,1 ha) ja Liivjärv (1,9 ha), mis kuuluvad elupaigatüüpi 3110 – liiva-alade vähetoitelised järved. Vee Raamdirektiivi järgi on nende vee tüüp V – pehme ja hele. Järvestik jääb Alutaguse rahvusparki ja Jõuga loodusala territooriumile.

Järvestik asub lisaku-Iluka servamoodustiste hulka kuuluva Jõuga lavaoosi kohal ning on kujunenud glatsiokarstilistesse ehk mandrijääpankade sulamislohkudes (Mäemets, 1977). Järvestik on hinnatud seotuks Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumiga (nr 7)

(Terasmaa et al., 2015). Selle kontseptuaalne mudel koostati 2015. aastal (Terasmaa et al., 2015), kuna järvestiku järvede seisund määrati 2013. aasta seire raames halvemaks kui hea (Ott, 2013). Pesujärve seisund oli halb ning Lina- ja Liivjärve seisund kesine. Potentsiaalselt põhjaveest sõltuvatest füüsikalis-keemilistest näitajatest ületasid kõigis kolmes järves N_{üld} ja P_{üld} sisaldused heale kvaliteediklassile kehtestatud piirmäärasid (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Jõuga järvede üldlämmastiku ja üldfosfori keskmised sisaldused 2013. aasta seire andmetel (Ott 2013) ning pehme- ja heledaveeliste järvede hea seisundiklassi piir (Pinnaveekogumite..., 2009)

Seisuveekogu	N _{üld} (mg/l)	P _{üld} (mg/l)
Jõuga Pesujärv	1,4	0,037
Jõuga Linajärv	0,76	0,047
Jõuga Liivjärv	1,5	0,057
Hea seisundiklassi piir	0,50	0,020

Terasmaa et al. (2015) töös läbi viidud testimise tulemusena ei saanud kõrgeenenud toitainete sisalduse põhjustena välistada põhjavee mõju. Koostatud kontseptuaalne mudel näitas, et toitainete jõudmine järvedesse Ordoviitsiumi põhjaveekogumist on vähetõenäoline, kuna maapinnale lähima ehk Nabala-Rakvere veekihi lasuvussügavus on üle 30 m järvede veetasemest allpool ning järvede põhja ja Ordoviitsiumi kivimite vahel on ca. 7 m paksune Kvaternaari liiva- ja moreenikiht. Samas oli staatiline veetase Pesujärve lähedal paiknevas puurkaevus nr. 16281, mis avab Nabala-Rakvere veekihti, 2002. aastal vaid ca. pool meetrit madalamal kui Pesujärve veetase 2009. aastal, hinnatuna Maa-ameti LiDAR andmete põhjal. Teisalt on indikaatoriks, et Ordoviitsiumi põhjavesi neisse järvedesse ilmselt ei jõua, ka järvede vee väga madal erielektri juhtivus ja vesinikkarbonaatide sisaldus. 2013. aasta seire andmetel oli järvede erielektri juhtivus keskmiselt 31 µS/cm ning vesinikkarbonaatide sisaldus 0,3 mg-ekv/l. See näitab vee päritoluna sademevett või pinnalähedast Kvaternaari põhjavett. Kuna lisaku-illuka servamoodustiste võõndi Kvaternaari põhjaveest pole põhjaveekogumit moodustatud, siis võimaluse üle, kas järvede kõrge toitainete sisaldus võib olla tingitud Kvaternaari põhjaveest, ei olnud võimalik arutleda eelnevas töös ega ka käesolevas töös. Täiendav analüüs pole võimalik ka seetõttu, et värskeamad andmed järvede vee toitainesisalduse kohta puuduvad ning puudub igasugune andmestik järvestikku ümbritseva Kvaternaari põhjavee taseme ja kvaliteedi kohta.

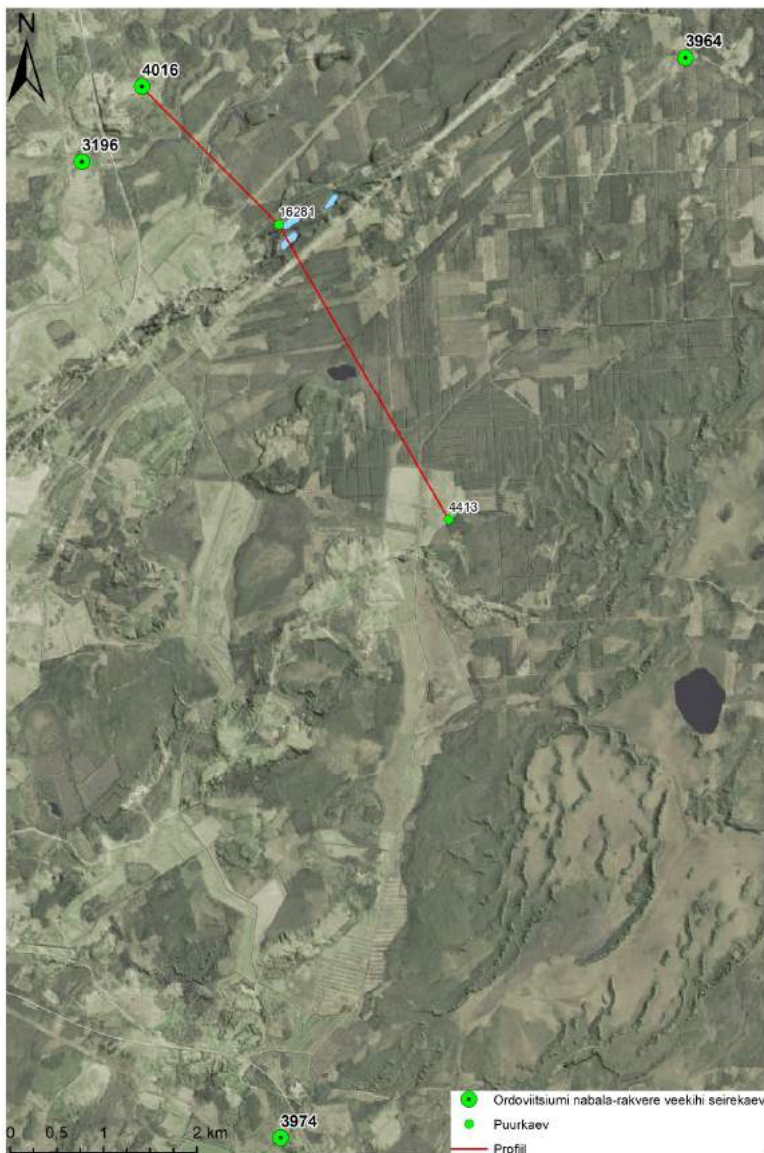
2.2.2. Kaasajastatud kontseptuaalne mudel ja seiresoovitused

Kuigi Jõuga järvestik olemasolevate andmete põhjal Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumist ei toitu, on järvestiku lugemine põhjaveekogumiga seotuks õigustatud samadel põhjustel, nagu käesolevas töös käsitletud Selisoo ja Ratva raba (ptk 3) ning enamik Kurtna järvestiku järvi (ptk 2.3). Ordoviitsiumi põhjavee survepinna langus toob tõenäoliselt kaasa sellele toetava Kvaternaari põhjaveetaseme languse ning omakorda ka järvede veetaseme languse. Põhjaveekogumi survepinna languse võib põhjustada Estonia põlevikivikaevanduse mäeeraldisse piiri lähenemine. Lähtuvalt sellest Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi võimalikust kvantitatiivsest mõjust Jõuga järvestikule, kaasajastati järvestiku kontseptuaalset mudelit, näidates põhjavee eeldatavat liikumissuunda erinevatel ajahetkedel üheksa aasta jooksul.

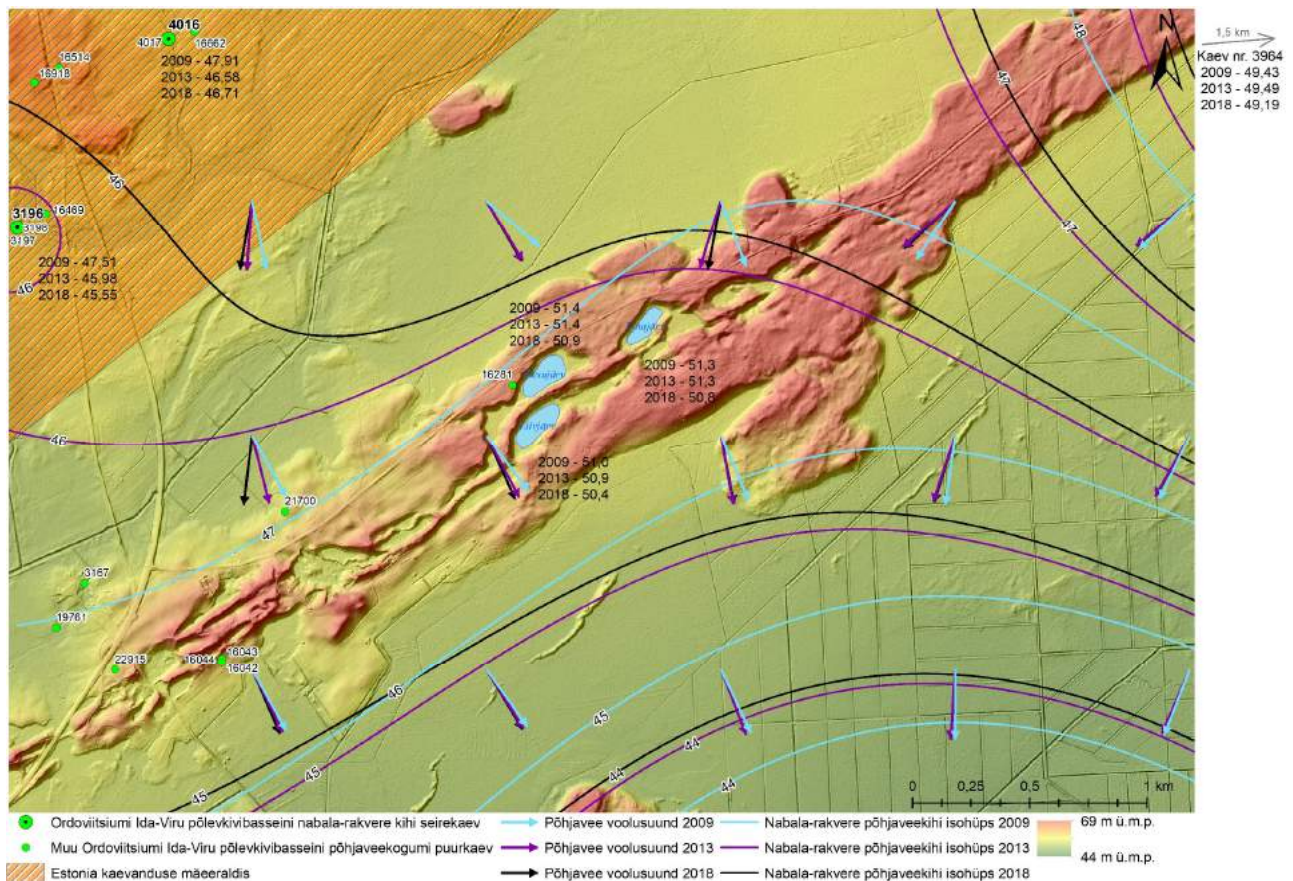
Kontseptuaalsele mudelile kanti ajahetked, mille kohta on järvede veetasemete andmeid. Kuna Jõuga järvestiku järvedes veetaseme seiret ei tehta, kasutati veetaseme kaudsete andmetena Maa-ameti kolme LiDAR-möödistamise kõrguspunkte (Maa-ameti geoportaal, 2019). Möödistamisel kasutatav laserkiir küll veepinnalt ei peegeldu, kuid veepinnal oleva taimestiku või muu materjali pinnalt peegeldudes tekib ka järvede veepeegli piiresse kõrguspunkte, mida võib tõlgendada järve veetasemena. LiDAR-möödistamiste andmed Jõuga järvestikus pärinevad 9.05.2018, 15.05.2013 ja 26.05.2009. Seetõttu said kontseptuaalses mudelis kajastatud ajahetkedeks mai 2018, mai 2013 ja mai 2009. Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogumi kõige pinnalähedasema veekihi ehk Nabala-Rakvere veekihi taseme ja eeldatavate liikumissuundade

interpoleerimiseks kasutati riikliku põhjaveekogumite seirekaevude nr. 3196, 3964, 3974 ja 4016 vastavate aastate maikuude keskmisi veetasemeid KESE andmebaasist (Joonis 2.3). Ruumiandmete töötlemiseks kasutati tarkvara *ArcMap 10.5.1*.

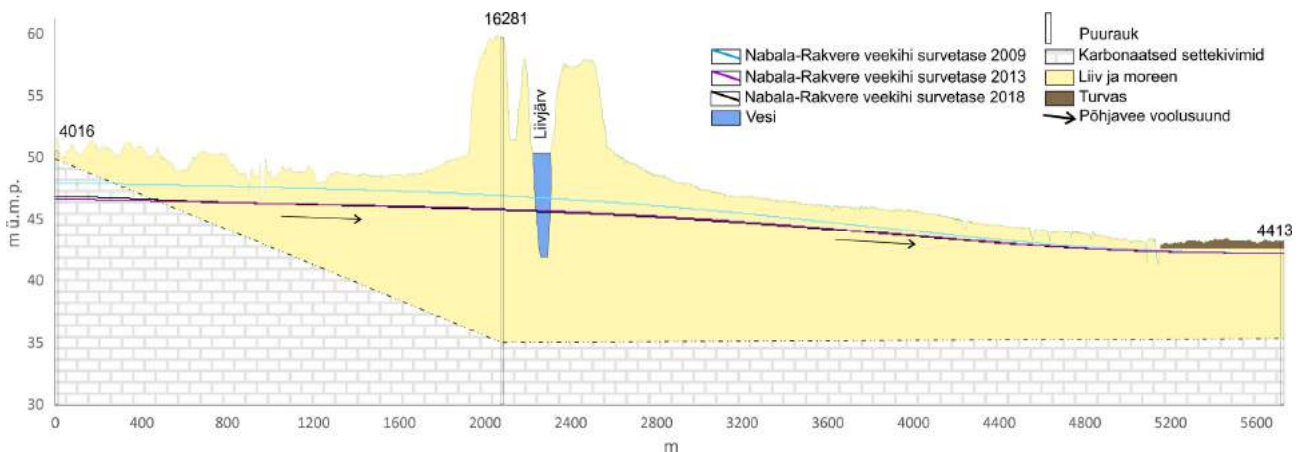
Selgub, et perioodil 2009–2018 on Jõuga järvestiku piirkonnas püsinud Ordoviitsiumi põhjavee põhja-lõunasuunaline liikumine (Joonis 2.4). Samas on täheldatav põhjavee survepinna langus Estonia mäeeraldise piiresse jäävates seirekaevudes nr. 3196 ja 4016, samal ajal kui järvestikust kirdes asuvas seirekaevus nr. 3964 pole muutust toimunud. Samuti oli 2013. ja 2018. aastal Nabala-Rakvere veekihi survepind Jõuga järvestiku kohal ca 1 m madalam kui aastal 2009 (Joonis 2.5). Kuna interpoleeritud põhjaveetasemed vastavad igal aastal maikuule, siis erinevuste põhjused ei saa olla tingitud veetasemete sesoonsetest kõikumistest. Järvede veetasemed olid 2009. ja 2013. aastal sarnased, kuid 2018. aastal ca pool meetrit madalamad. Et tegemist on ainult ühte ajahetke kajastavate LiDARi-andmetest tuletatud veetasemetega, siis ei ole esiteks võimalik järeldada, kas järvede veetase on tõesti langenud, ega teiseks, kas selle ning Ordoviitsiumi põhjavee survepinna languse vahel võib olla seos. Olemasolevate andmete põhjal **ei saa aga välistada, et Estonia kaevanduse põhjavee survetaset langetav mõju võib edaspidi hakata avalduma ka Jõuga järvestiku veetasemetes**. Järvede veetasemete jälgimiseks ja võimaliku mõju kiireks registreerimiseks on vajalik paigalda vähemalt ühte järvestiku järve, soovitatavalt Pesujärve veetaseme automaatandur. Täpsemalt on antud teemat käsitletud peatükis 6.



Joonis 2.3. Kontseptuaalse mudeli koostamiseks kasutatud põhjavee seirekaevude ning profiilijoone asukohad (Aluskaart: Maa-amet).



Joonis 2.4. Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi ülemise veekihi survetasemed ja liikumissuundad mais 2009, 2013 ja 2018 Jõuga järvestiku ümbruses. Tekstikastides on põhjavee seirekaevude ja järvede juures esitatud kontseptuaalse mudeli koostamiseks kasutatud surve-/veetasemed m üm (Reljeefi alusandmestik: Maa-amet).



Joonis 2.5. Jõuga järvestiku piirkonna geoloogiline läbilõige, Ordoviitsiumi Nabala-Rakvere põhjaveekihi survetase mais 2009, 2013 ja 2018 ning liikumissuund. Profili paiknemine looduses on näidatud joonisel 2.3.

2.3. Kurtna järvestik

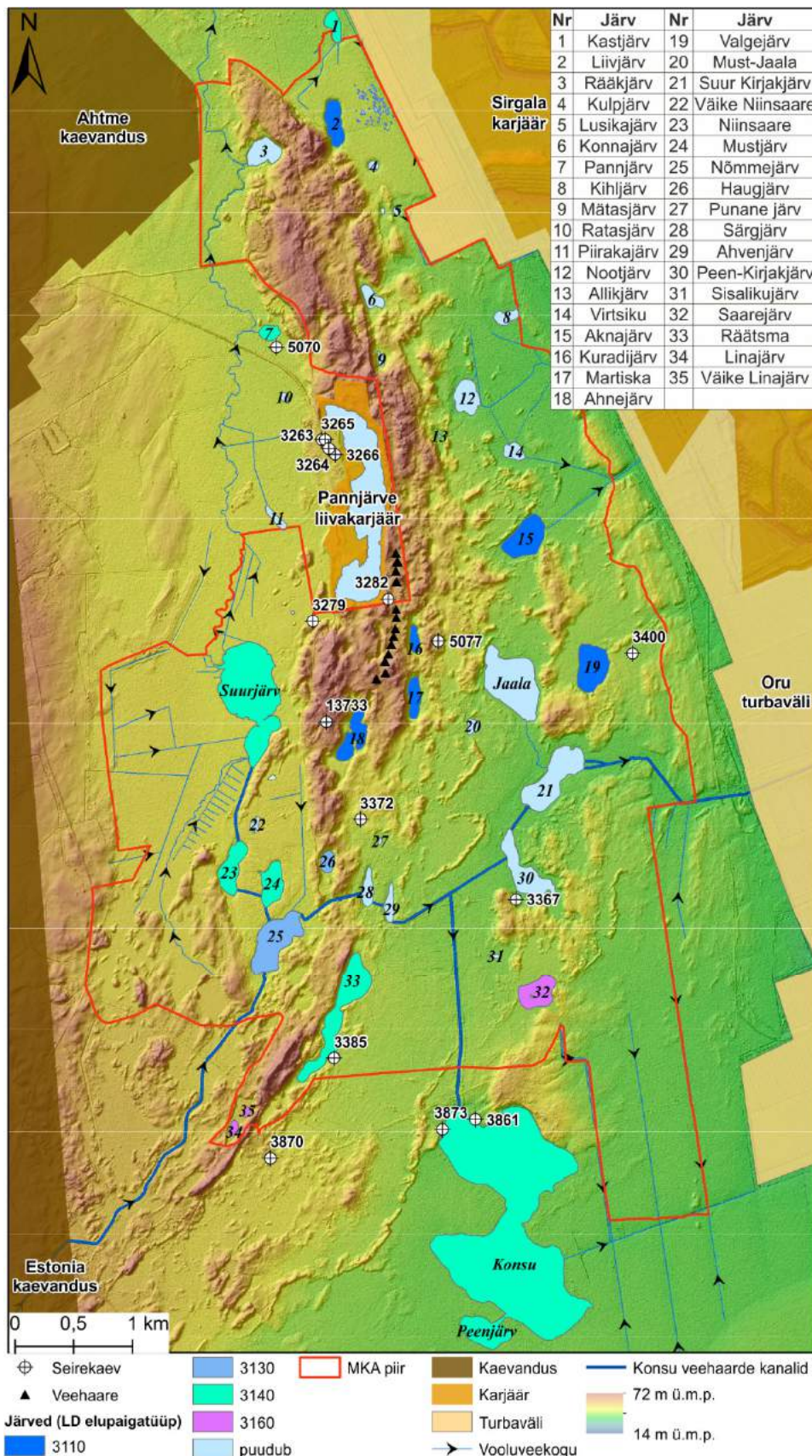
2.3.1. Taustainfo

Kurtna järvestik paikneb Ida-Virumaal Jõhvi ja Kuremäe vahelisel alal. Kokku hõlmab ca. 30 km² paiknev järvestik Keskkonnaregistri andmetel 39 looduslikku veekogu. Järvestikus leidub 18 loodusdirektiivi elupaigatüüpidesse liigitatud järve, esindatud on elupaigatüübid 3110 – liiva- alade vähetoitelised järved, 3130 – vähe- kuni kesktoitelised mõõdukalt kareda veega järved, 3140 – vähe- kuni kesktoitelised kalgiveelised järved ning 3160 – huumustoitelised järved ja järvikud (Joonis 2.6). Vee Raamdirektiivi tüübi järgi leidub seal nii I, II, III, IV kui ka V tüüpi kuuluvaid järvi. Järvestiku kaitseks on moodustatud Kurtna maastikukaitseala, mis alates 2018. aasta sügisest kuulub Alutaguse rahvusparki koosseisu. Kõige väärtuslikumad järved on arvatud ka Kurtna loodusala koosseisu.

Järvestik asub Kurtna mõhnastikus ja selle lähiümbruse tasandikualadel. Mõhnastik kujunes viimase jääaja lõpus 12 200–12 300 aastat tagasi Vasavere ürgoru kohale taandunud liustikukeele irdjääväljas moodustunud Pleistotseeni setteist (Karukäpp, 1987b). Mõhnad koosnevad glatsiolimniliistest ja -fluviaalsetest liivadest ja kruusadest. Nendevahelised sulglohud ehk sõllid on tekkinud glatsiokarstiliselt ehk kujunesid osaliselt mattunud jääpangaste aeglasel sulamisel. Küngaste ja nendevaheliste sulglohkude kõrgus varieerub vahemikus 40–70 m ü.m.p (Kont ja Arold, 1987). Põhjaveetaseme tõustes täitusid madalamal paiknevad sulglohud veega ning kujunesid arvukad järvesilmad.

Vasavere ürgorg on kuni 80 m sügavune liiva ja kruusaga täitunud vagumus Ordoviitsiumi sette kivimite. Ürgoru kohale kujunenud mõhnastiku suure veejuhtivusega setetes asub vabapinnaline Kvaternaari Vasavere põhjaveekiht, mida osaliselt eraldab sügavamal paiknevast Ordoviitsiumi veekihist madala veejuhtivusega katkendlik moreenikiht (Erg, 1987; Perens et al, 2012). Looduslik põhjavee liikumise suund järvestikus on läänest itta (Vallner, 1987). Vasavere põhjaveekihiil on oluline roll mitme Kurtna järve veebilansis. Samuti võetakse sellest veekihist alates 1972. aastast Vasavere põhjaveehaardega (Joonis 2.6) vett Jõhvi ning Kohtla-Järve Ahtme ja Oru linnaosade veega varustamiseks.

Järvestikust idas tegutseb Sirgala põlevkivikarjäär, mis on jõudnud lähimast järvest 500 m kaugusele. Karjääritranžeele põhjas olevate veesilmade veetaseme kõrguse (Maa-ameti kõrgusmudeli andmetel) ja karjääri läänepiiri lähedal olevate põhjaveekaevude veetaseme järgi võib hinnata, et põhjaveetaseme on karjääris langenud enam kui 20 m. Alates 1990ndatest on kaevandajal kohustus hoida karjääri ja järvestiku vahel asuvas filtratsioonibasseinis piisaval hulgal vett, et vältida põhjaveetaseme langust järvestiku idaosas. Samuti tuleb tagada karjääri läänepiiril vähejuhtivatest setetest koosneva loodusliku filtratsioonitõkke olemasolu (Metsur et al., 2015). Järvestikust edelas töötab Estonia põlevkivikaevandus. Seni teadaolevalt ei ulatu selle põhjaveetaseme alandav mõju veel Kurtna järvedeni. Varem mõjutas piirkonna põhjaveetaseme ka Ahtme kaevandus (Joonis 2.6).



Joonis 2.6. Kurtne järvestiku järved, piirkonna pinnamood, olulised inimtegevuse mõjurid ja riikliku põhjaveekogumite seire Kvaternaari põhjaveetaseme seirekaevud (Vainu, 2019) (Reljeefi alusandmestik: Maa-ameti LiDAR-andmed).

Terasmaa et al. (2015) töös on järvestik hinnatud seotuks nii Kvaternaari Vasavere (nr 27), Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini (nr 7) kui ka Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogumiga (nr 6). 2015. aastal olemas olnud andmete põhjal oli Martiska järve, Kuradijärve ja Peenjärve seisund

halvem kui hea. Potentsiaalselt põhjaveest mõjutatavate näitajate osas ei vastanud heale seisundiklassile Kuradijärve üldlämmastiku ja üldfosfori ning Martiska ja Peenjärve üldlämmastiku sisaldus. Lisaks oli Ahnejärve, Liivjärve, Martiska järve ja Kuradijärve keskmine veetase 2014. aastal enam kui poolteist meetrit madalam ajaloolistel andmetel põhinevast loomulikust veetasemest. Samuti toimus kõigi nende järvede läheduses põhjavee väljapumpamine vähemalt 1000 m³ ööpäevas. Eelneva tõttu ei saanud välistada põhjaveekogumite negatiivset kvalitatiivset ja koguselist mõju nimetatud Kurtna järvestiku järvedele ning koostati põhjaveega seotuse kontseptuaalne mudel.

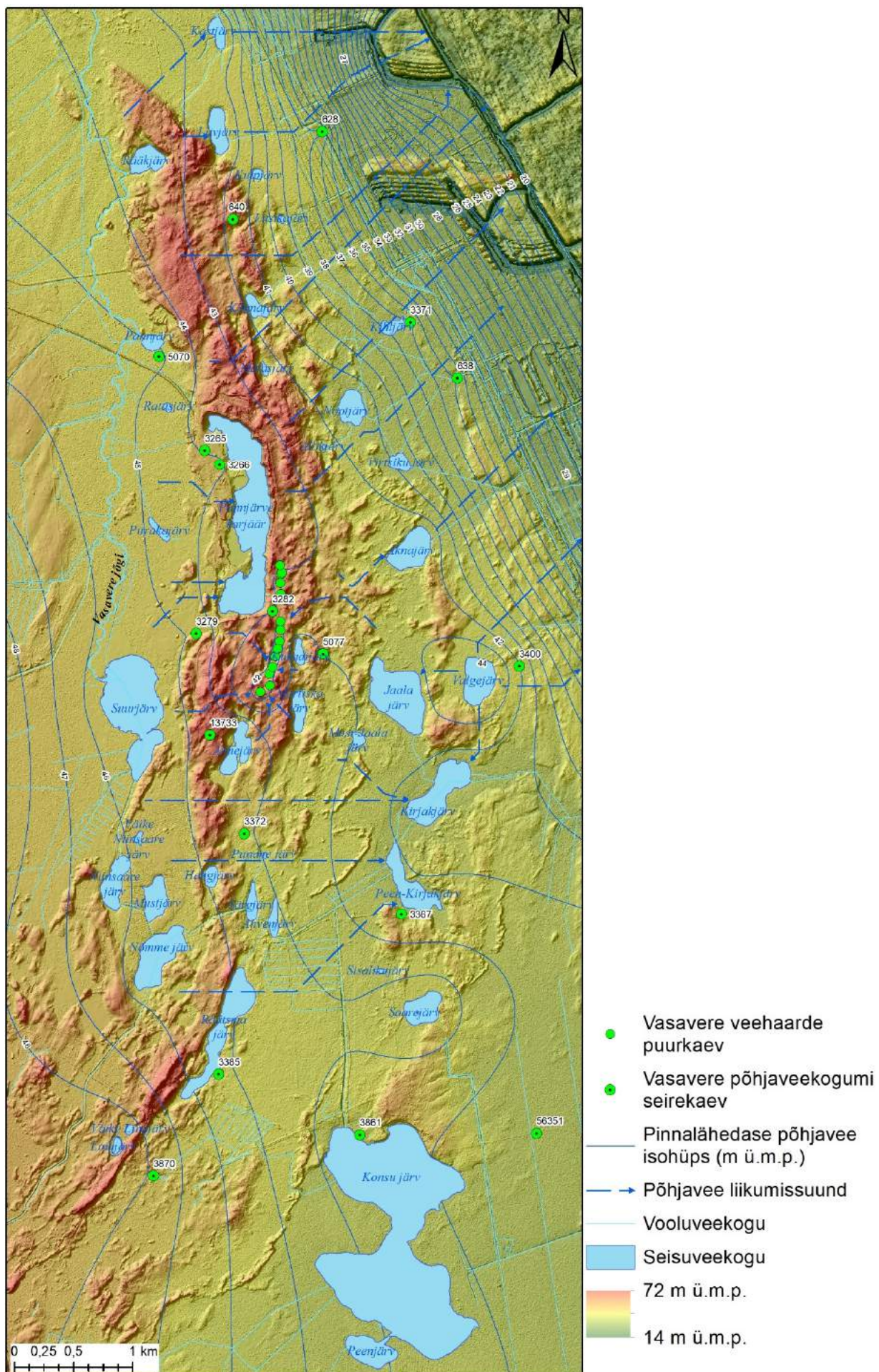
Kontseptuaalse mudeli põhjal järeldati, et liigse lämmastiku ja fosfori jõudmine järvedesse põhjavee kaudu on vähetõenäoline. Samas Vasavere veehaarde tekitatud depressioonilehtri tõttu hinnati Vasavere põhjaveekogumi negatiivset koguselist mõju Ahnejärvele, Martiska järvele ja Kuradijärve veetasemetele reaalseks. Samuti järeldati, et kuigi Ordoviitsiumi põhjaveekihtide vesi olemasolevate andmete põhjal otse järvestiku järvedesse ei jõua, on nende seostamine põhjendatud, kuna kaevandamise tulemusel Ordoviitsiumi põhjaveekogumis kujuneva depressioonilehtri tõttu võib tänu mittetäielikule veepidemele langeda Vasavere põhjaveekogumi veetase ja ka sellega otseselt seotud järvede veetase. (Terasmaa et al., 2015)

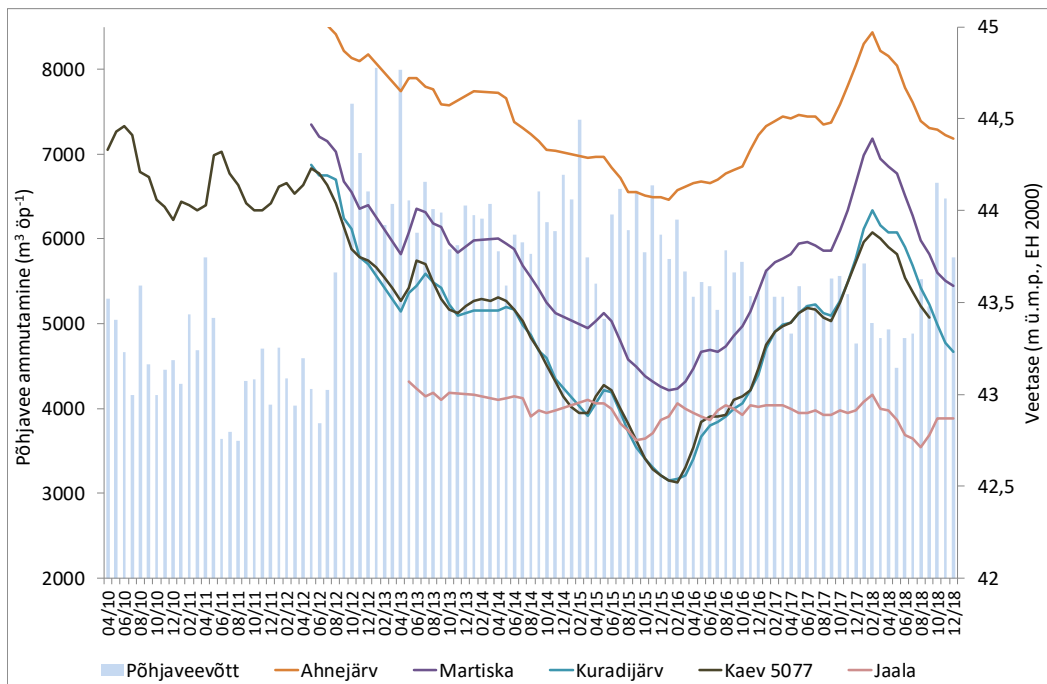
2.3.2. Kaasajastatud kontseptuaalne mudel ja seiresoovitused

Vahepealsete aastatega on järvestiku järvede seisundi ja nende põhjaveega seotuse kohta kogunenud ohtralt uut informatsiooni. Valminud on järvestiku keskosa järvede põhjaveega seotust käsitlev doktoritöö (Vainu, 2018) ning aruande koostamise ajal on valmimas ka Keskkonnameti tellitud mahukas uuring “Hüdrogeoloogilise ja limnoloogilise uuringu läbiviimine koos loodusdirektiivi järvedele lubatava veetaseme kõikumise vahemiku määramisega Kurtna maastikukaitsealal”. Uuringu käigus koostatakse Kurtna järvestikule hüdrogeoloogiline mudel, millega prognoositakse nii Vasavere veehaarde kui ka Sirgala karjääri ja Estonia kaevanduse mõju järvestiku viie järve veetasemetele. Käsitletakse Martiska järve, Kuradijärve, Liivjärve, Valgejärve ja Saarejärve. Neist kolm esimest kuuluvad 1946. aastaga võrreldes suurima veetaseme langusega järvede hulka ning Valgejärv on kõige väärtuslikuma senini säilinud ökosüsteemiga järv. Martiska ja Kuradijärv asuvad Vasavere veehaarde mõjupiirkonnas, Liivjärv on olnud aastakümneid Sirgala karjääri mõjupiirkonnas ning Valgejärv ja Saarejärv satuvad lähiaastatel Sirgala karjääri mõjupiirkonda.

Kurtna järvestiku põhjaveega seotuse kontseptuaalse mudeli kaasajastamiseks (Joonis 2.7) kasutati riikliku põhjaveekogumite seire Kvaternaari veekihi põhjaveetasemeid, OÜ Järve Biopuhasti seiratavaid Vasavere veehaarde puurkaevude staatilisi veetasemeid, AS Enefit Kaevandused seiratavaid Kvanternaari põhjaveekihi ja Kastjärve veetasemeid, Keskkonnameti seiratavaid 14 järve veetasemeid (vt ptk 6.2) ning Maa-ameti LiDAR andmetest tuletatud hinnangulist veetaset Sirgala karjääri idaosa tranžeede põhjas. Seiratavate veetasemete puhul kasutati 2018. aasta detsembri keskmise veetaseme andmeid. Ruumiandmete töötlemiseks kasutati tarkvara *ArcMap 10.5.1*.

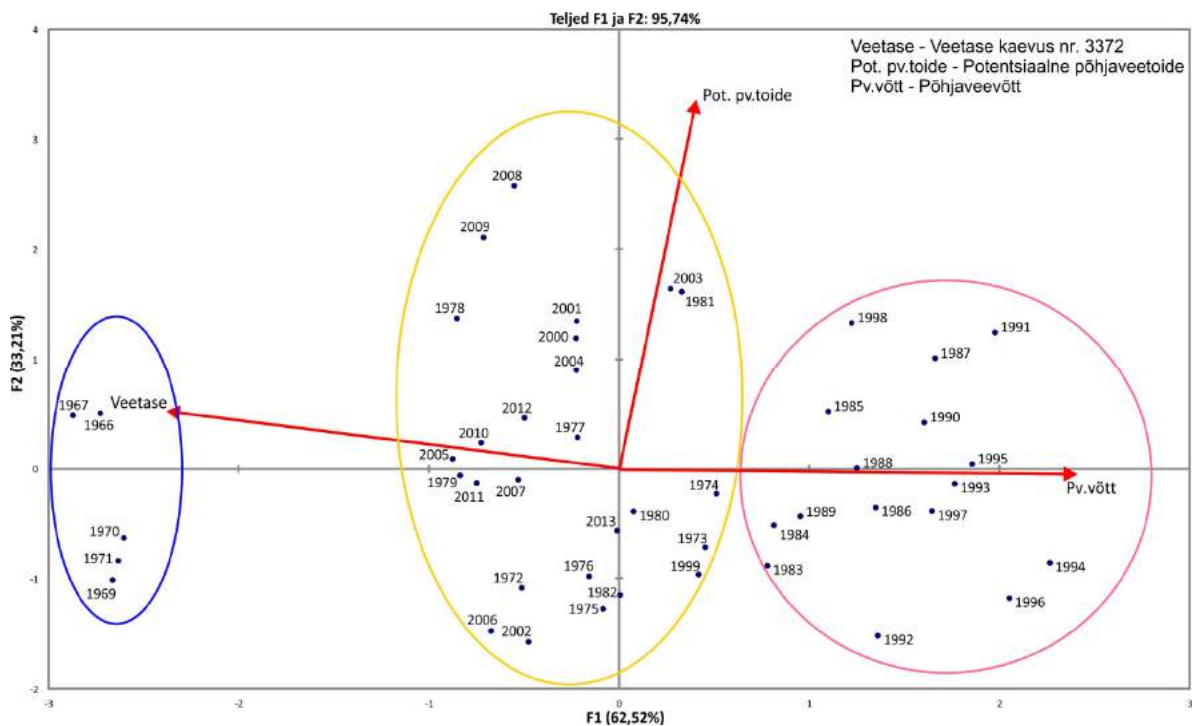
Vasavere veehaarde roll ümbruse põhjaveetaseme ning selle lähedusse jäävate Martiska ja Kuradijärve veetaseme peamise mõjutajana leidis kinnitust Vainu (2018) doktoritöös. Muuhulgas näidati selles, kuidas Martiska järve põhjas suurenes järvevee põhjavette väljaibumise ala pärast veevõtu olulist suurendamist veehaardest. Põhjaveetaseme ja järvede veetaseme seotust iseloomustab joonis 2.8, kus on näha Kvaternaari põhjavee seirekaevu nr 5077 ning eelkõige Kuradi-, aga ka Martiska ja Ahnejärve veetasemete sünkroonsust. Lisaks kujutab joonis 2.8 selgelt 2012. aastal hüppeliselt suurenenud põhjaveevõtule järgnenud kiiret langust nii veehaarde lähedases põhjaveetasemes kui järvede veetasemetes. Aastatel 2014–2015, mil põhjaveevõtt püsis stabiilne, põhjustasid järvede veetasemete jätkuvat langust sademetevaesed ja suure aurumisega ehk väikese netoinfiltratsiooniga ilmastikutingimused (Vainu, 2018).





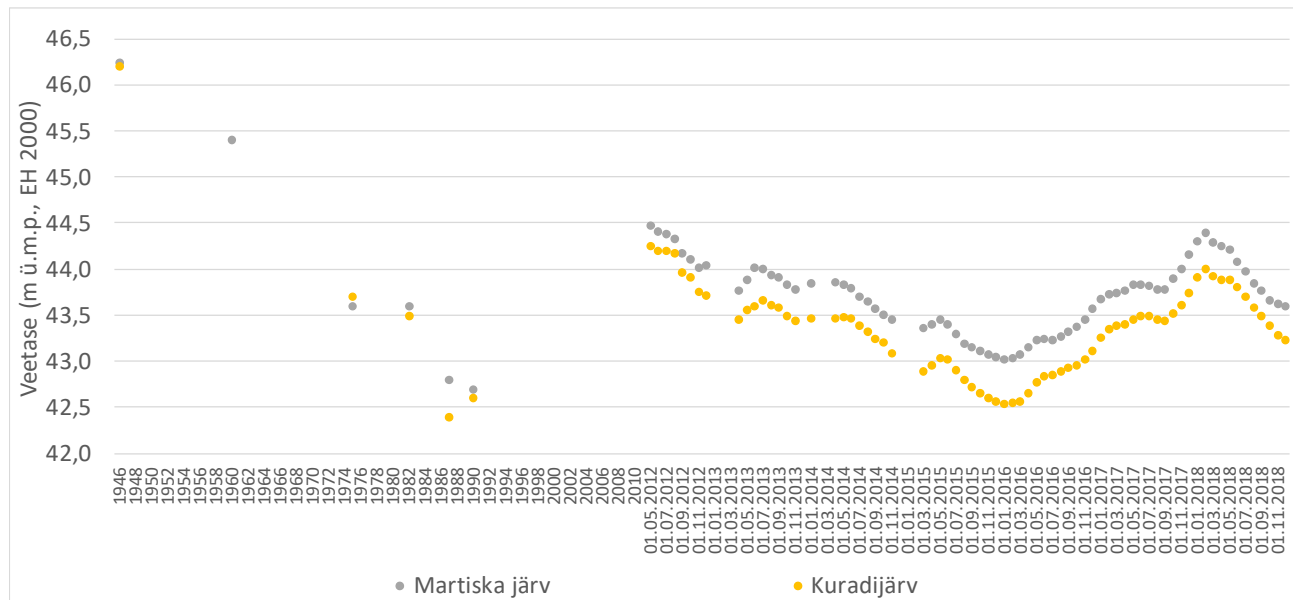
Joonis 2.8. Vasavere veehaarde kuukeskmise põhjaveevõtt ja põhjavee seirekaevu nr 5077 veetase aprill 2010–september 2018 ning Ahnejärve, Martiska järve ja Jaala järve veetase mai 2012–detsember 2018.

2012. aasta maist kuni 2015. aasta detsembrini Martiska ja Kuradijärve veetasemetega peaaegu sama hästi korreleerunud (Martiska järv $r=0,94$, Kuradijärv $r=0,91$) Kvaternaari põhjavee seirekaevu nr 3372 aastakeskmiste veetasemete, aastakeskmise põhjaveevõtu ning aastakeskmise potentsiaalse põhjaveetoite peakomponentanalüüsi tulemuste põhjal järeldas Vainu (2018), et põhjaveevõtt on pikkaajaliselt olnud peamine piirkonna põhjaveetaset ja ka järvede veetaset mõjutav tegur (Joonis 2.9). Põhjaveevõtu mõju on ilmastikutingimuste omast oluliselt suurem.



Joonis 2.9. Põhjavee seirekaevu nr 3372 aastakeskmise veetaseme, Vasavere veehaarde aastakeskmise veevõtu ja aasta summaarse potentsiaalse põhjaveetoite peakomponentanalüüsi tulemused (Vainu, 2018). Sinises ovaalis on kõrge põhjaveetasemega aastad enne veevõtu algust, roosas ovaalis on madala põhjaveetaseme ja suurima põhjaveevõtuga aastad, kollases ovaalis on keskmise põhjaveevõtu ja keskmise põhjaveetasemega aastad. Potentsiaalse põhjaveetoite telg mõjutab aastate paigutumist teljestikus eelkõige keskmise põhjaveevõtuga aastatel.

Madala veetaseme negatiivset mõju nii Martiska, Kuradijärve kui ka Ahnejärve ökosüsteemide seisundile on kirjeldanud juba Mäemets (1977). Seda on jätkuvalt rõhutanud ka hilisemad limnoloogilised uurimused (Ilomets, 1987; 1989; Ott et al., 1995; Ott, 2001; Ott, 2006). Ka lõppevas kompleksuuringus on Martiska ja Kuradijärve seisundiks 2018. aasta andmetel hinnatud nii füüsikalise-keemilise kui taime- ja loomastiku kvaliteedielementide tõttu halvem kui hea. Ühtlasi on nende järvede veetasemed looduslikest põhjaveetaseme häiringutele eelnenud veetasemest jätkuvalt madalamad (Joonis 2.10).

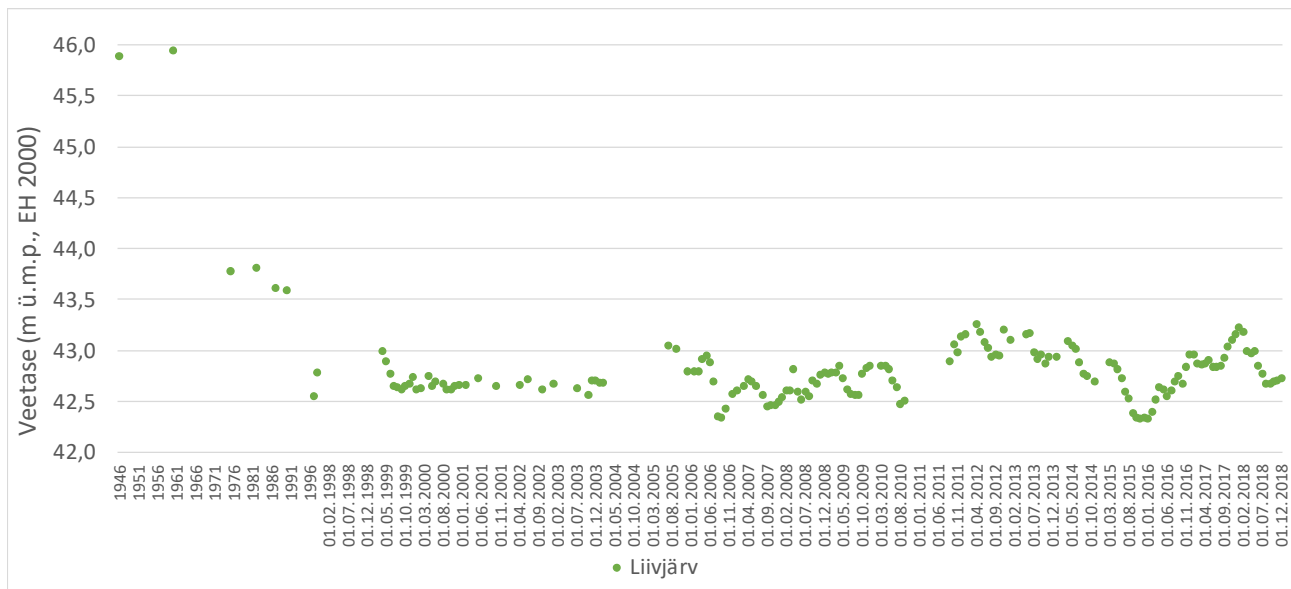


Joonis 2.10. Martiska ja Kuradijärve veetaseme muutused 1946–2018.

Seega on Vasavere põhjaveekogumi (nr 27) poolt avaldunud negatiivne koguseline mõju põhjaveekogumist sõltuvatele seisuveekogudele – Martiska ja Kuradijärve – igakülgset tõendatud.

Kui Terasmaa et al. (2015) töös peeti Kurtna järvestiku järvede toitumist Ordoviitsiumi veekihtide veest vähetöenaoliseks, siis arvestades TLÜ üliõpilaste loodusgeograafia välipraktikumi käigus kogutud erielektrijuhtivuse näitajaid, on Ordoviitsiumi veekihtide vee jõudmine järvestiku läänepiiril paiknevatesse järvedesse siiski võimalik. Niinsaare ja Kurtna Suurjärve erielektrijuhtivus oli 2017. aasta juuni alguses $>300 \mu\text{S}/\text{cm}$. Lisaks on varasemast ajast andmeid (nt Mäemets et al., 1989) nende järvede üldaluselisuse kohta ning see on olnud suur ca $3 \text{ mg-ekv}/\text{l}$. Samuti oli Nõmmejärve aluselisus suur juba enne seda, kui sinna hakati 1970. aastal suunama kaevandusvett – 1954. aastal $3,9 \text{ mg-ekv}/\text{l}$ (Mäemets, 1968). Nende järvede seisundile Ordoviitsiumi põhjaveekogumite kvaliteet aga olemasolevate andmete põhjal negatiivset mõju pole avaldanud, samuti ei ole registreeritud ebaharilikke veetaseme languseid.

On aga põhjust kahtlustada Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi negatiivset koguselist mõju järvestiku idapiiril paiknevatele järvedele. Järvestiku põhjaosas paikneva Liivjärve veetase langes enam kui kaks meetrit 1970ndateks aastateks ning seda seostati Oru turbaväljade kuivenduse mõjuga (Mäemets, 1977). Täiendav ligi meetrine veetaseme langus toimus aga 1990. ja 1997. aasta vahel ning järve veetase pole enam 1990. aasta tasemele taastunud (Joonis 2.11). Toimunud suurtes veetaseme alanemistes võib oletada vähemalt osalist Sirgala karjääri põhjaveetasel langetavat mõju, mis on langetanud varem Liivjärve veetasel kõrgemal hoidnud Kvaternaari veekihi veetasel. Samuti on võimalik, et järvestiku põhjaosa põhjaveetasemetele on mõju avaldanud Ahtme kaevandus nii selle tegutsemise ajal kui ka tänapäeval, mil selle veetasel hoitakse kõrgusel 42 m ümp (Perens et al., 2010), mis on mitme meetri võrra madalam kui järvestiku põhjaosa järvede kunagine veetase. Täitunud kaevanduse veetaseme hoidmiseks on Sanniku oja lähedale rajatud ülevoolu puurkaevud.



Joonis 2.11. Liivjärve veetaseme muutused 1946–2018.

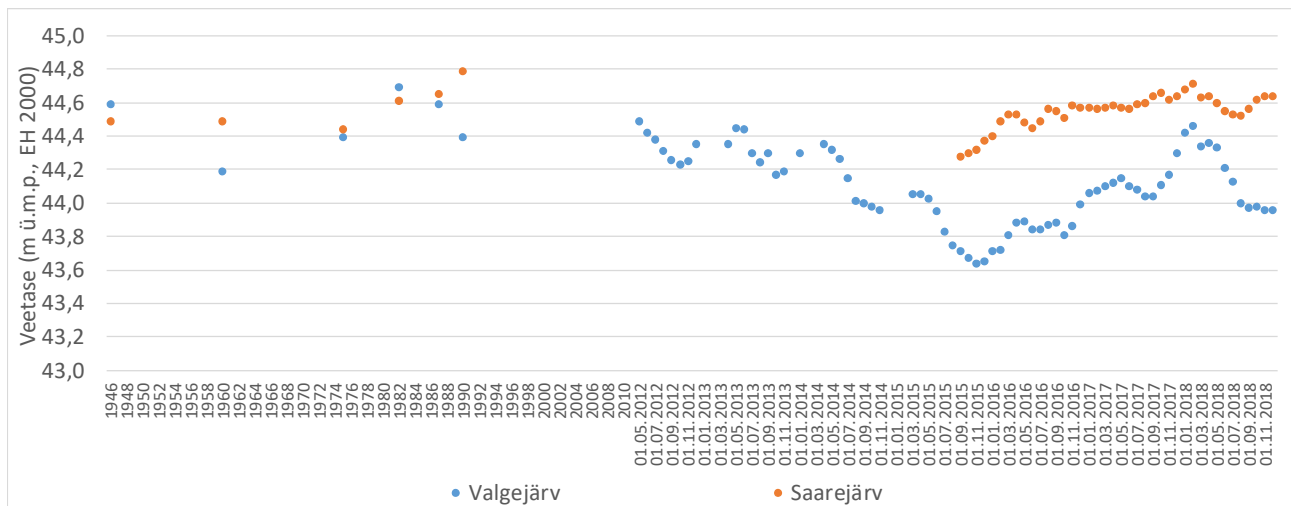
Seni Sirgala põlevkivikarjäärist suhteliselt kaugel asunud Valgejärvele on karjäär viimastel aastatel lähemale liikunud ning täheldada on anomaalseid muutusi järve veetasemes võrreldes sarnaste parameetritega Saarejärve veetasemega. Valgejärve veetase on teadaolevatel andmetel kõikunud ca 0,5 m amplituudiga ning olnud üldjuhul olnud Saarejärve veetasemest maksimaalselt mõnikümmend sentimeetrit madalam (Joonis 2.12). Järve veetase langes senisest teadaolevast miinimumist madalamale 2014. aasta kevadel ning saavutas teadoleva miinimumi 2016. aasta alguses. Olles maksimaalselt Saarejärve veetasemest 70 cm madalam. Pärast veetaseme taastumist 2018. kevadeks ca 30 cm-le Saarejärve veetasemest madalamale, asus järve veetase aga taas kiiresse langusesse ning aasta lõpuks oli see taas 70 cm Saarejärve veetasemest madalam. Senistest teadaolevatest veetasemetest madalamad veetasemed ning anomaalselt suured kõikumised Saarejärve veetaseme suhtes annavad põhjust oletada, et Valgejärve hüdroloogilises režiimis, mis selle umbjäreelise oleku tõttu sõltub peamiselt põhjaveetasemest, on toimunud muutused. On võimalik, et muutuse on toonud kaasa Sirgala karjääri alanduslehtri lähenemine.

Nii Liivjärv kui Valgejärv on pehmeveelised järved, mis Ordoviitsiumi veekihtide veest ei toitu ning on otseselt seotud Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumiga, kuid selle põhjaveekogumi veetase on tundlik Ordoviitsiumi Nabala-Rakvere põhjaveekihi veetaseme muutustele. Seetõttu on põhjust Kurtna Vasavere põhjaveekogumiga seotud järvi lugeda sõltuvaks ka Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogumitest.

Lisaks Liiv- ja Valgejärvele on oluline veetaseme langus aset leidnud ka järvestiku kirdepiiril asuvas Kihljärves. Järv on viimase viie aastaga sisuliselt kuivanud, vaid märjematel perioodidel koguneb selle põhja madal veesilm. Järve olukorda on kirjeldatud pikemalt peatükis 6.2.

Seega on olemasolevate andmete põhjal võimalik, et Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogum (nr 7) avaldab negatiivset koguselist mõju sellest sõltuvatele seisuveekogudele – Liivjärv, Valgejärv ja Kihljärv.

Kurtna järvestiku järved veetasemete seiret ning soovitusi seirevõrgu täiendamiseks on käsitletud peatükis 6.2.



Joonis 2.12. Valgejärve ja Saarejärve veetaseme muutused 1946–2018.

Uuringu “Hüdrogeoloogilise ja limnoloogilise uuringu läbiviimine koos loodusdirektiivi järvedele lubatava veetaseme kõikumise vahemiku määramisega Kurtna maastikukaitsealal” andmetel oli nii Martiska, Kuradi-, Liiv-, Valge kui ka Saarejärve füüsikalise-keemiline seisund 2018. aastal kesine. Põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatavatest näitajatest vastas üldlämmastiku sisaldus väga halvale seisundiklassile ($>1,1$ mg/l) ning Martiska, Kuradi- ja Liivjärve üldfosfori sisaldus kesisele seisundiklassile ($>0,02$ mg/l). Fosfori jõudmise tõenäosust järvedesse Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumi kaudu hinnata ei saa, sest piirkonnas asuvates põhjaveekogumite seirekaevudes fosfori ega fosfaatide sisaldust ei mõõdetata. Põhjavee lämmastikusisaldust järvede eeldataval põhjavee toitealadel põhjaveekogumite seire raames viimasel aastakümnel samuti määratud ei ole. Martiska ja Kuradijärve läheduses on aga viimastel aastatel määratud põhjavee lämmastikusisaldust Vasavere veehaarde piirkonnas asuvas puurkaevus nr. 3245 (SJA9065000). See jääb küll järvede põhjavee toitealalt välja, kuid ilmselt iseloomustab piirkonna põhjavee kvaliteeti laiemalt. Põhjavee nitraatiooni sisaldus on selles kaevus olnud viimase kümne aasta jooksul (2009–2018) pidevalt alla määramispiiri. Nitritiooni sisaldus on vaid 2017. aastal olnud ühel korral määramispiiri peal ($0,004$ mg/l). Ammooniumiooni sisaldus on üle määramispiiri olnud neljal korral kümnest, kusjuures määramispiiri ületavate analüüsitulemuste keskmine on $0,1$ mg/l. Seega **olemasolevate andmete põhjal Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumi (nr 7) kvaliteet vähemalt Martiska ja Kuradijärve seisundile negatiivset mõju ei avalda.**

2.4. Kurtna Suurjärve äärne soo

2.4.1. Taustainfo

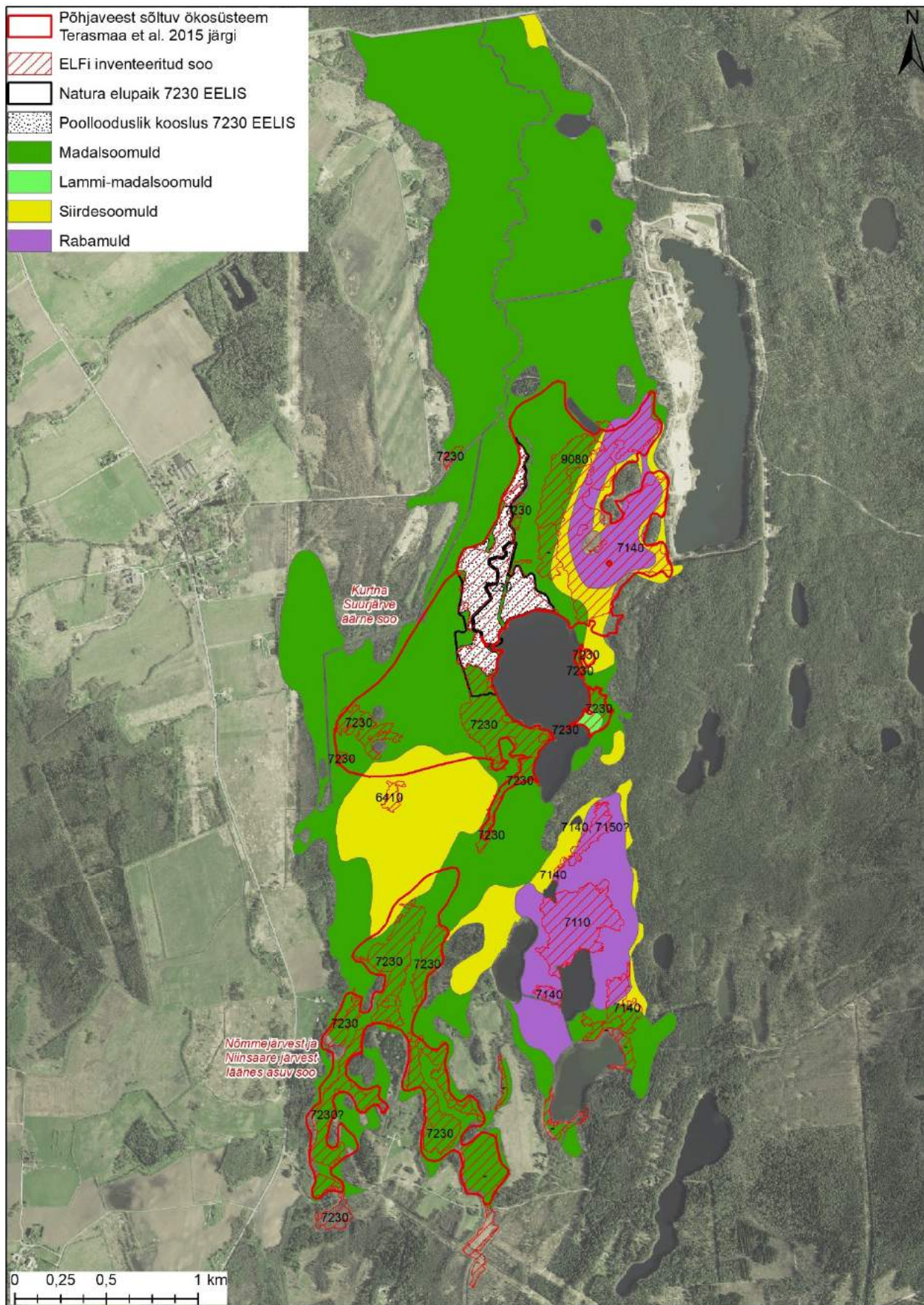
Kurtna Suurjärve-äärne soo paikneb Kurtna mõhnastiku lääneosas Kurtna Suurjärve ümbruses. Terasmaa et al. (2015) järgi on soo hinnatud sõltuvaks Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini (nr 7) ja Kvaternaari Vasavere (nr 27) põhjaveekogumitest. Sama töö põhjal on põhjaveekogumist sõltuva maismaaökosüsteemina piiritletud sooala pindala 167 ha (Joonis 2.13). Suurjärve äärse soo kui põhjaveest sõltuva maismaaökosüsteemi selge piiritlemine on aga üsna keerukas.

Sooala on EELISE Natura elupaikade kaardikihi andmetel osaliselt inventeeritud Natura elupaigatüüpi 7230 (liigirikkad madalsood), elupaigapolügooni pindala on 26 ha (Joonis 2.13). EELISE andmetel on elupaigapolügooni üldiseks looduskaitseks väärtuseks B (kõrge). Lisaks Natura elupaikade kaardikihile on soo EELISEs ka Poollooduslike koosluste kaardikihil kolme lahustükina (Joonis 2.13), mille koondpindala on 22 ha, neist kahele lõunapoolsele lahustükile on üldiseks looduskaitseks väärtuseks antud aga A (väga kõrge). Eestimaa Looduse Fondi (ELF) soode inventuuri käigus on piirkonnas valdavalt 2009. aastal, aga ka 2000. ja 2018. aastal inventeeritud mitmeid eraldiseisvaid lahustükke, määratud neid osaliselt erinevateks Natura elupaigatüüpideks ning omistatud neile nii kõrge (B), keskmine (C) kui ka madal (D) hinnang (Joonis

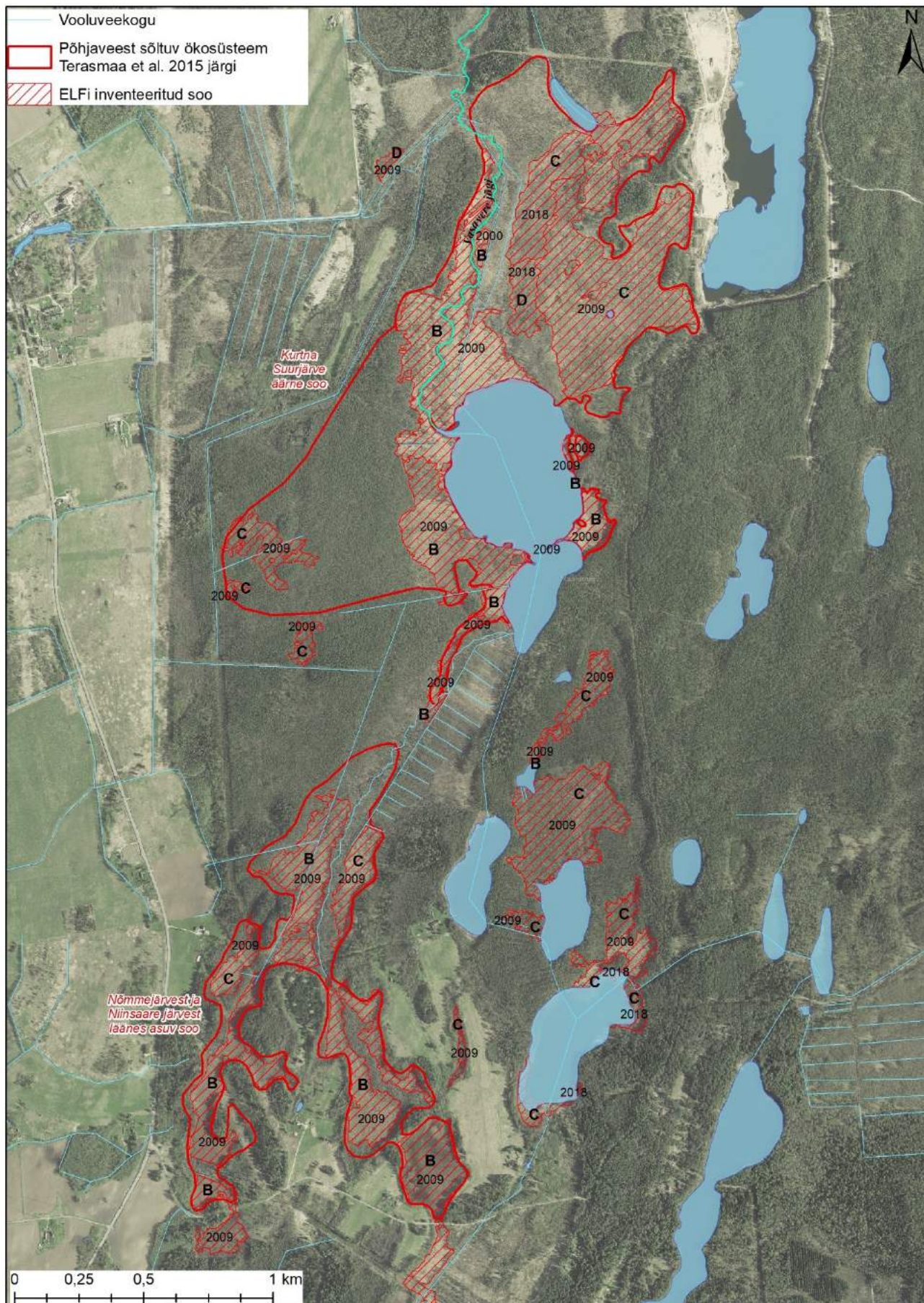
2.14). EELISes Natura elupaigana arvel oleva ala inventeerimise andmed pärinevad 2000. aastast. 2018. aastal teostati kordusinventuur kahele Suurjärvest põhja pool olevale alale.

Mullakaardi järgi moodustab kogu Kurtna küla ja Kurtna mõhnastiku vaheline ala aga ühtse, valdavalt tusedatel madalloomuldadel paikneva soomassiivi, mille pindala ilma mineraalmaasaarte ja järvedeta on Pannjärve tee ja Konso tee vahelisel alal 704 ha (Joonis 2.13). See soomassiiv hõlmab ka Terasmaa et al. (2015) töös eristatud põhjaveest sõltuva maismaaökosüsteemi Nõmmejärvest ja Niinsaare järvest läänes asuva soo.

Tulenevalt selgetest raskustest põhjaveest sõltuvate maismaaökosüsteemide piiritlemisel, on Eesti-Läti koostöös läbiviidava INTERREG programmi projekti "Põhjaveest sõltuvate ökosüsteemide ühishaldamine piiriüleses Gauja-Koiva vesikonnas (GroundEco)" raames kokku lepitud, et edaspidi lähtutakse mõlemas riigis põhjaveest sõltuvate maismaaökosüsteemide piiritlemisel kõige kaasaegsematest Natura inventuuride andmetest ning põhjaveest sõltuvate ökosüsteemide hulka loetakse elupaigatüüpidesse 2190 – luidetevahelised niisked nõod, 7140 – siirde- ja õõtsiksood, 7160 – allikad ja allikasood, 7220 – nõrglubja-allikad, 7230 – liigirikkad madalsood, 9080 – soostuvad ja soo-lehtmetsad liigitatud alad ning teatud tingimustel ka elupaigatüüpidesse 6410 – si nihelmikakooslused, 6430 – niiskuslembesed kõrgrohustud, 7210 – lubjarikkad madalsood lääne-mõõkrohuga, 7110 – rabad, 7120 – rikutud, kuid taastumisvõimelised rabad, 91D0 – siirdesoo- ja rabametsad liigitatud alad. Sellest käsitlusest lähtuvalt on Kurtna Suurjärve-äärse madalsoo puhul põhjust põhjaveest sõltuva ökosüsteemina käsitleda rangelt võttes ainult 26 ha suurust EELISe Natura elupaikade kaardikihile kantud teadaolevatel andmetel heas seisundis olevat liigirikka madalsoo (7230) polügooni. Lähtudes võimalusest, et ELFi inventuuri tulemusena Natura elupaikadesse liigitatud alad võivad tulevikus ka ametlikule Natura elupaikade kihile jõuda, käsitletakse käesolevas töös sarnaselt Terasmaa et al. (2015) tööle Kurtna Suurjärve äärset sood laiemana, kui vaid ametliku elupaigapolügooni piires.



Joonis 2.13. Kurtna Suurjärve ääri-soo ulatus erinevate alusandmete põhjal. Kurtna Suurjärve ääri-soo ning Nõmmejärvest ja Niinsaare järvest läänes asuva soo piirid Terasmaa et al. (2015) järgi, turbamuldadega kaetud ühtne ala Pannjärve ja Konso teede vahel Maa-ameti mullastiku kaardi põhjal, EELISE Natura elupaikade ja poollooduslike koosluste kaardikihtidel olevate märgalaelupaikade piirid (aprill 2019 seisuga), Eestimaa Looduse Fondi inventeeritud sood ja inventuuri põhjal määratud elupaigatüübid (aprill 2019 seisuga) (Aluskaart: Maa-amet).



Joonis 2.14. Eestimaa Looduse Fondi soode inventuuri põhjal antud soolade üldhinnangud ja inventeerimise aastad (Aluskaart: Maa-amet).

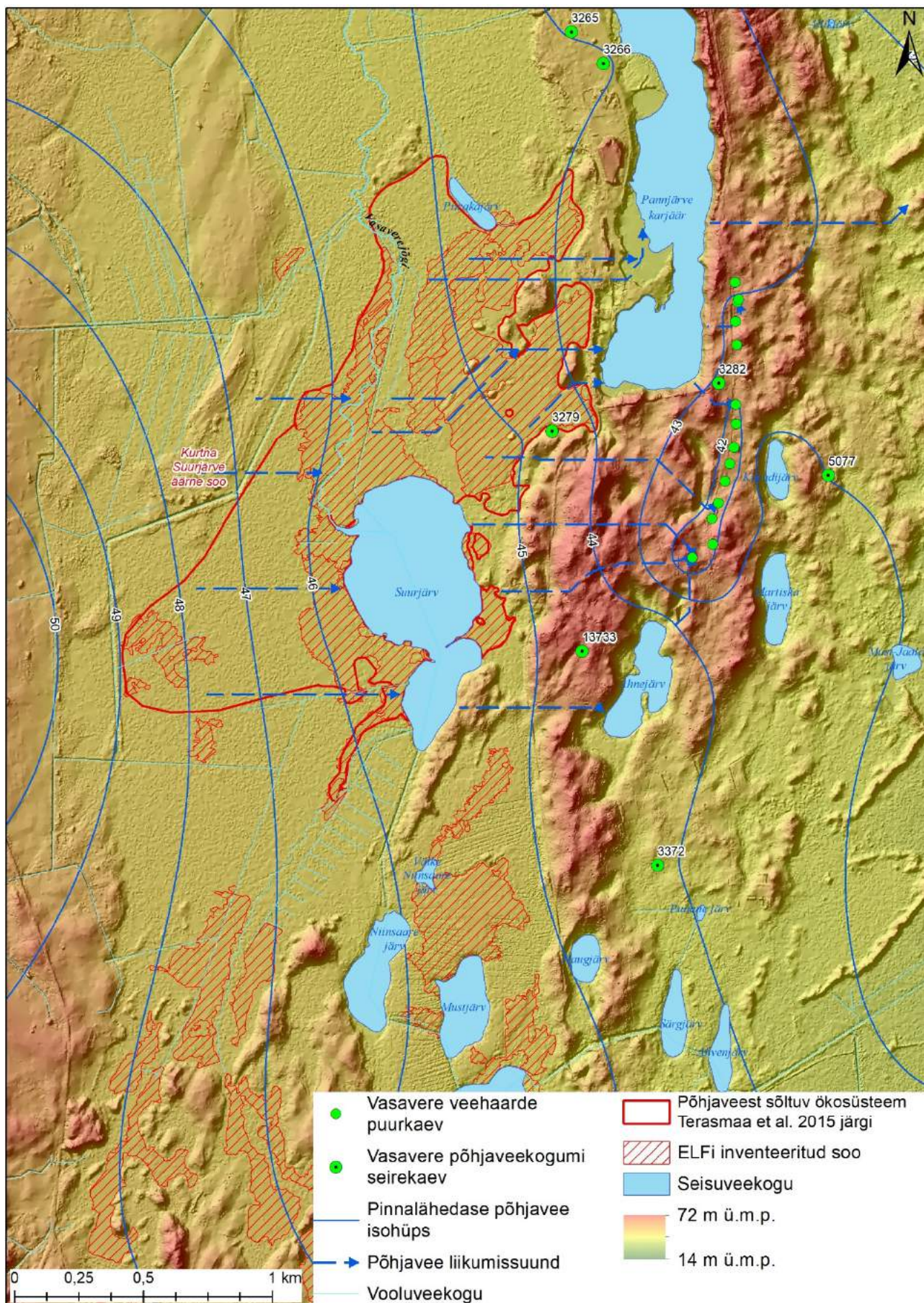
Terasmaa et al. (2015) töös nenditi, et soo kirdeserv on Vasavere veehaardest vaid 0,5 km kaugusel ning kuna soo kirdeosa seisund ELFi inventuuri põhjal oli ebasoodne ja soo läheduses tegutseb põhjaveehaare, koostati Terasmaa et al. (2015) töös soole kontseptuaalne mudel. Soo piirkonna geoloogiliste ja hüdrogeoloogiliste andmete nappuse ning sooveetaseme andmete puudumise tõttu jäi kontseptuaalne mudel vaid plokk skeemi ja sõnalise kirjelduse tasemele. Selle põhjal oletati, et vähemalt soo kirde- ja idaosa asuvad veehaarde poolt tekitatud põhjavee alanduslehtri alal, kus põhjaveetaseme on alanenud 0,1–0,4 m võrra ning vesi voolab itta Vasavere veehaarde suunas. Lähtudes võimalusest, et turbalasundi vesi on seotud selle all olevate kvaternaarisetetega peeti võimalikuks, et Kvaternaari põhjaveetaseme alanemine on alandanud ka turbaalasundi vee ja soovee tasemeid. Samas nenditi et, kui soonõo põhjas esineks savikaid setteid, mis toimivad veepidemena, oleks soovee seos veekogumi veega nõrgem ning ka võimalik negatiivne mõju sooökosüsteemi seisundile väiksem. Täiendavalt muudavad olukorra keerukamaks kuivenduskraavide olemasolu ning piirkonda mõjutav õgvendatud Vasavere jõgi. Analüüsi põhjal jõuti järeldusele, et seoste ja mõjude selgitamine ei ole võimalik ilma sooökosüsteemi seisundi ja veetasemete seireta.

2.4.2. Kaasajastatud kontseptuaalne mudel ja seiresoovitused

Vahepealsete aastatega ei ole lisandunud andmeid EELISes Natura elupaigana arvel oleva ala seisundi, veetaseme ega geoloogilise ehituse kohta. ELF on teostanud kordusinventuuri Suurjärvest põhja pool olevale kahele alale, mille seisund on endiselt mittehea. Seega neis aspektides ei olnud käesolevas töös Kurtna Suurjärve äärses soo kontseptuaalse mudeli edasiarendamine võimalik. Küll aga oli seiratavate põhjavee- ja järveveetasemete alusel võimalik kirjeldada suurema kindlusega põhjavee eeldatavat liikumissuunda Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumis soo turbakihi all. Selleks kasutati samu andmeid, mida Kurtna järvestiku üldise kontseptuaalse mudeli koostamisel (ptk 2.3.2). Ruumiandmete töötlemiseks kasutati tarkvara *ArcMap 10.5.1*.

Kontseptuaalselt mudelilt (Joonis 2.15) selgub, et põhjavee oletatav liikumissuund Kurtna Suurjärve äärses soo all on läänest itta. Seega toituvad soolad eelkõige läänest Jõhvi kõrgustiku poolt valguvast veest. Olenevalt soola asukohast valgub selle vesi kas otse Kurtna Suurjärve, Vasavere jõe, Pannjärve karjääri või ka Vasavere veehaarde poole. Pikemas ajaskaalas jõuab ka osa Kurtna Suurjärve ja Pannjärve karjääri valguvast veest veehaarde tekitatud alanduslehtrisse. Seega toetab kontseptuaalne mudel varasemat oletust, et Suurjärve ja Pannjärve karjääri vahel asuva soo-ala ebasoodsa seisundi põhjuseks on vähemalt osaliselt veevõtt Vasavere veehaardes. Teisalt on tõenäoliselt mõju olnud ka Pannjärve karjääril. Sellest küll vett välja ei pumbata, mistõttu põhjaveetaseme otsest langetavat mõju ei ole, kuid tõenäoliselt on karjääril ümbruskonna põhjaveetasemele kaudne mõju siiski olemas. Kui enne karjääri rajamist oli põhjaveel praeguse karjääri kohal ümbritsevate aladega sarnane gradient, kus veetaseme oli lääne pool kõrgem ja ida pool madalam, siis karjääri pindala kasvamisega on kujunenud kogu selle ulatuses ühtlase veetasemega ala. See tähendab, et karjääri lääneosas on põhjaveetaseme tõenäoliselt madalam kui oli enne karjääri. Lääneosas tekitatud veetaseme langus võis aga langetada ka karjäärist vahetult läänes asuva Kurtna Suurjärve äärses soo veetaseme ning aidata kaasa selle ebasoodsa seisundi kujunemisele.

Karjääri võimalikku mõju ei ole aga ilmselt kohane nimetada Vasavere põhjaveekogumi negatiivseks koguseliseks mõjuks, kuna karjäärist põhjavee väljapumpamist ei toimu. Vasavere veehaarde oletatava mõju tõttu on aga ka olemasolevate andmete põhjal **Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumi (nr 27) negatiivne koguline mõju Kurtna Suurjärve äärsele soole võimalik**. Täpsemate järelduste tegemiseks oleks vaja detailsemaid andmeid soo erinevate osade seisundi kohta ning veetaseme seireandmeid nii soost kui ka soo-alusest mineraalsest pinnakattest.



3. Selisoo ja Ratva raba kontseptuaalsed mudelid

Lähteülesanne: Kaasajastada Tallinna ülikooli Ökoloogia instituudi poolt 2015, aastal tehtud uuringus „Põhjaveekogumi veest sõltuvad ökosüsteemid, nende seisundi hindamise kriteeriumid ja seirevõrk“ kontseptuaalsed mudelid vastavalt lisandunud teabele. Kaasajastatakse kontseptuaalsed mudelid, mis koostati [---] Selisoole.

Koostada vabal valikul kolme põhjaveekogumi veest sõltuva ökosüsteemi kohta selle toimimist selgitavad joonised (kontseptuaalsed mudelid) soovitatavalt halvas või ohustatud põhjaveekogumites lisaks punktis 3.3 nimetatutele. Kontseptuaalsetel mudelitel peab olema näidatud vähemalt ökosüsteemi seosed põhjaveekogumi veetasemega, põhjaveekogumi sisse-ja väljavoolualad, ökosüsteemile avalduvad koormusallikad. Ratva raba on üks kolmest valitud põhjaveekogumi veest sõltuvast ökosüsteemist.

3.1. Taustainfo

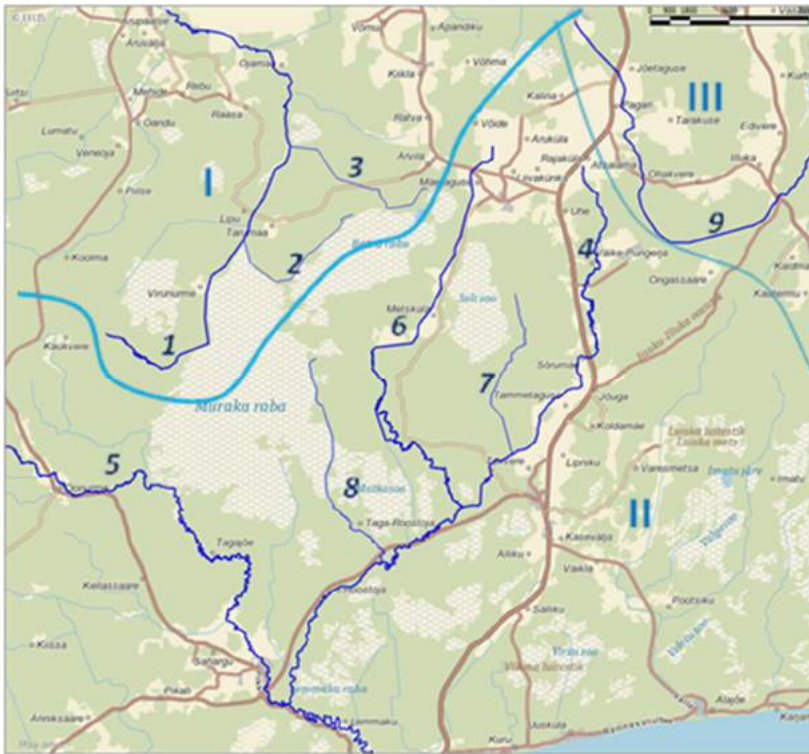
3.1.1. Üldandmed

Ratva raba ja Selisoo kuuluvad ulatusliku Muraka soostiku koosseisu. Orru (1995) andmetel katab soostik soostunud moreenialadega vahelduvaid jääjärvenõgusid ning on sademete ja põhja-moreenivee segatoiteline. Soostik on maastikuliselt mitmekesine, kus rabamassiivid vahelduvad mineraalsete soosartega (Loopmann, 1988) ning põhjaveetoitliste madalasoodega, mistõttu Perens et al. (2013) nimetavad seda põhjaveest sõltuvaks ökosüsteemiks. Samas on madalsood seotud eelkõige soosetete all lasuva moreeniga, mille vesi on küll põhjavesi, kuid ei moodusta iseseisvat põhjaveekogumit. Glatsiaalsete setete (moreeni) vesi on omakorda seotud aluspõhja veekihtide (Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi – nr 7) põhjaveega (Perens et al. 2013), mistõttu nimetatakse Muraka-Ratva soostikku kaudselt Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumiga seotuks. Võrreldes Muraka-Ratva soostikuga on Selisoo tuumikala ühtlaselt kaetud rabaga, mida ümbritsevad siirde- ja madalsooline märeala (Lode et al. 2011).

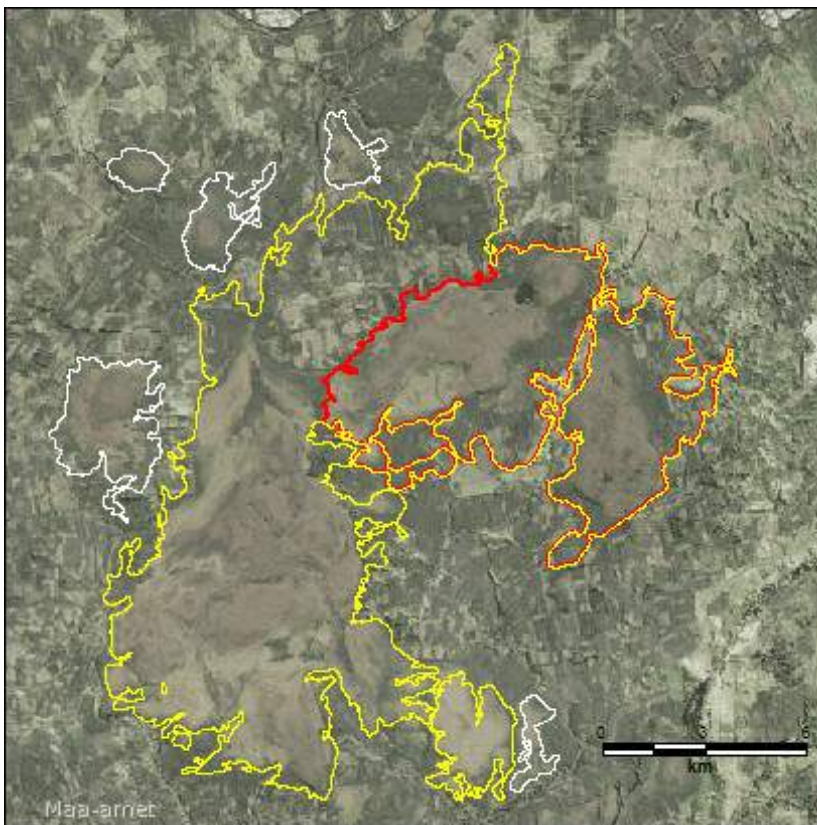
Terasmaa et al. (2015) töös on mõlemad sood hinnatud sõltuvaks Ordoviitsiumi Ida-Viru (nr 6) ja Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumitest (nr 7). Kuigi rabade puhul puudub reeglina põhjaveeline toitumine ning otsene seos põhjaveekogumitega, siis lähtudes asjaolust, et põhjaveetaseme alanemine võib turbalasundi aluse veepideme puudumise või ebapiisavuse korral põhjustada ka pinnavee taseme alanemist rabades, liigitati Ida-Viru põlevkivibasseini alal paiknevad rabad nimetatud töös ettevaatusprintsibiist lähtuvalt põhjaveekogumitest sõltuvateks maismaaökosüsteemideks.

Muraka soostik (sh Muraka, Ratva, Seli ja Virunurme rabamassiivid (Orru, 1995)) on Soome lahe ning Peipsi-Pihkva järve ja Narva jõe pinnaveevõrgustiku veelahkmealaks (Joonis 3.1). Suurimateks pinnavee eesvooludeks on EELISe andmebaasi kohaselt Soome lahte suubuva Ojamaa jõe ülemjooks ning Ojamaa jõkke esimese järgu lisajõgedena suubuvad Murakaraba kraav ning Tarumaa peakraav. Suurimateks Peipsi järve suubuvateks eesvooludeks on Rannapungerja jõe parema kalda lisajõed, milledest suurimad on Mäetaguse jõgi ning Tagajõgi (Joonis 3.1).

Muraka soostiku kogupindalaks on kunagi hinnatud 12 793 ha (Orru, 1995), kuid Lode et al. (2012) andmetel on katkematu turba-ala „null-kontuuri“ järgi Muraka soostiku pindala 16 560 ha (Joonis 3.2). Saadud pindalast 5 438 ha (33%) kuulub Ratva-Seli soodele, millede tuumikaladeks on rabamassiivid pindaladega 1 664 ha Ratva rabas ning 970 ha Selisoos (Tabel 3.1, Joonis 3.3). Rabaturba pindalaline osakaal Selisoos on 47% ning Ratva rabas 49%.



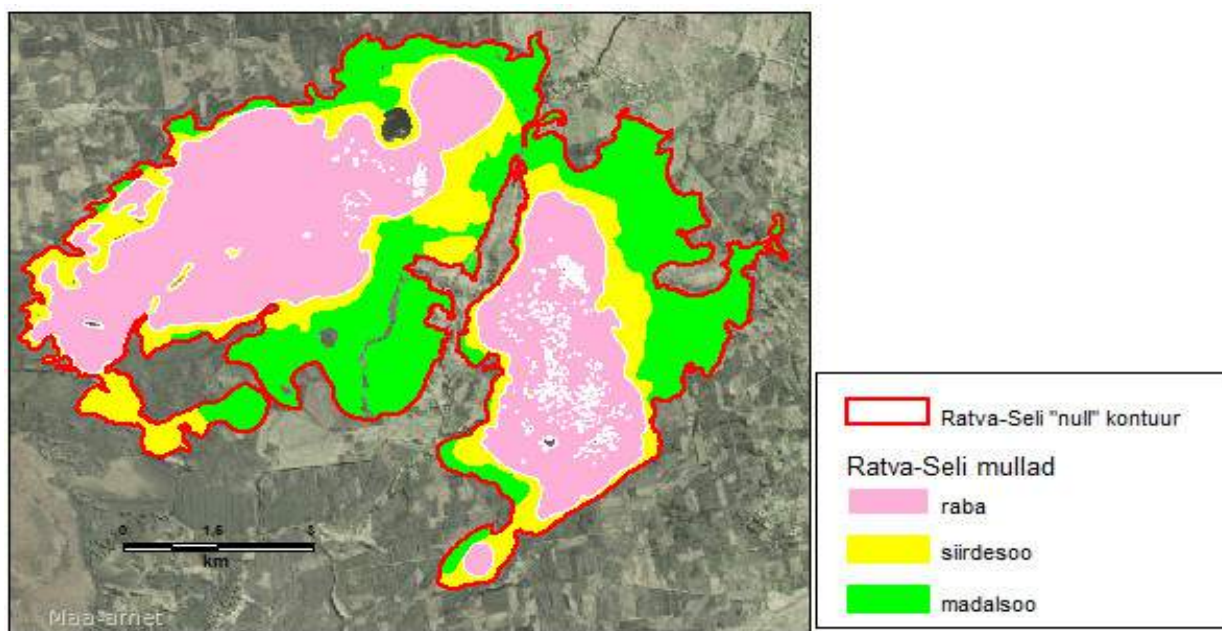
Joonis 3.1. Muraka soostikku kuuluvad olulisemad rabamassiivid (Muraka, Ratva, Seli ja Virunurme) ning nende eesvoolud, jaotatuna Soome lahe ja Peipsi-Pihkva vesikondade jõgedeks, kus: I Soome lahe, II Peipsi-Pihkva järve vesikond ja III Narva jõe enese vesikond, kus: 1. Ojamaa jõgi (Keskkonnaregistri kood: VEE1068700), 2. Murakaraba kraav (VEE1068800), 3. Tarumaa peakraav (VEE1069000), 4. Rannapungerja jõgi (VEE1058700), 5. Tagajõgi (VEE1059900), 6. Mäetaguse jõgi (VEE1059200), 7. Milloja (VEE1059100), 8. Härjaoja (VEE1059700), 9. Raudi kanal (ehk Raudi jõgi; VEE1063600). Helesinised jooned tähistavad vesikondade piire (Aluskaart: Maa-amet).



Joonis 3.2. Madalsooturba „null“-kontuuri järgi piiritletud Muraka soostiku ulatus (kollane piirjoon), Ratva-Selisoa ala (punane piirjoon) ning soostiku juurde kuuluvad teiste soolade lahusalad (valge piirjoon) (Lode et al., 2012) (Aluskaart: Maa-amet).

Tabel 3.1. Ratva raba ja Selisoo turbalasundite pindalaline katvus (andmestik: Eesti elektrooniline mullakaart)

Turbalasundi tüüp	Pindalaline turbalasundi katvus					
	Ratva raba		Selisoo		Kokku	
	ha	%	ha	%	ha	%
Raba	1664	sh 49,1	970 sh	47,3	2634	48,5
	laukad		laukad			
Siirdesoo	647	19,1	349	17,0	996	18,3
Madalsoo	972	28,7	574	28,0	1546	28,4
Ratva järv	26	0,8			26	0,5
Muu muld	78	2,3	158	7,7	236	4,3
Kokku	3387	100	2051	100	5438	100



Joonis 3.3. Ratva raba ja Selisoo maastikuline ulatus ning nende turbalasundite pindalaline katvus (andmestik: Eesti elektrooniline mullakaart, aluskaart: Maa-amet).

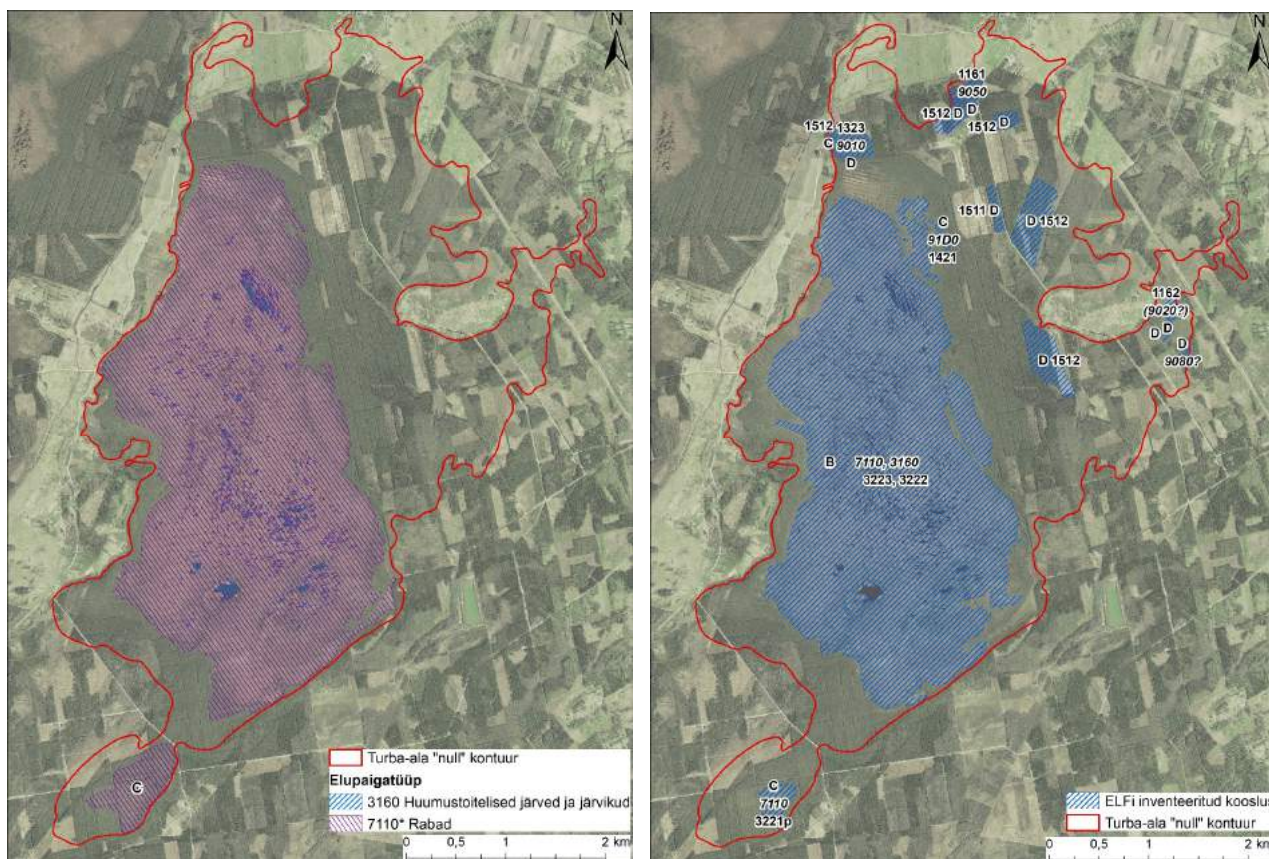
3.1.2. Säilinud looduskaitsetelised väärtused

3.1.2.1. Selisoo

Andmebaas EELIS järgi on Selisoos turba-ala nullkontuuri piires eristatud kaks loodusdirektiivi elupaigatüüpi: 7110 (Rabad) ja 3160 (Huumustoitelised järved ja järvikud) (allikas: Natura elupaikade kaardikiht, mai 2019 seisuga) (Joonis 3.4). Raba elupaigatüübi polügoonide kogupindala on 958 ha ning see moodustub kahest lahustükist. Üldine looduskaitse väärtus on määratud vaid lõunapoolsele väiksele lahustükile ning see on C (keskmine).

Eestimaa Looduse Fond (ELF) on Selisoos inventeerinud 908 ha alasid, sh. 827 ha rabasid, 61 ha kõdusoometsi, 10 ha rabastunud metsi (vanad loodusemetsad), 6 ha salumetsi (vanad laialehised metsad ja rohunditerikkad kuusikud), 2 ha siirdesoometsi ja 2 ha soostunud metsi (Joonis 3.4). Lähtuvalt INTERREGi programmi GroundEco projekti tulemustest, saab neist põhjaveest otseselt sõltuvateks maismaaökosüsteemideks lugeda soostunud metsi. Kuna tegemist on Ida-Viru põlevkivibasseini alaga, siis ettevaatusprintsibist lähtuvalt on põhjaveest potentsiaalselt sõltuvateks maismaaökosüsteemideks ka rabad ja siirdesoometsad.

ELFi inventuuride põhjal on lõunapoolse raba lahustüki looduskaitseline väärtus keskmine (C) (aastast 1997), raba põhiosa väärtus kõrge (B) (aastast 2007), väikese siirdesoometsa (91D0) väärtus keskmine (C) (aastast 2014) ning soostuva metsa (9080) väärtus madal (D) (aastast 2014) (Joonis 3.4). Keskmine või madal on ka teiste inventeeritud metsatüüpide looduskaitseline väärtus.



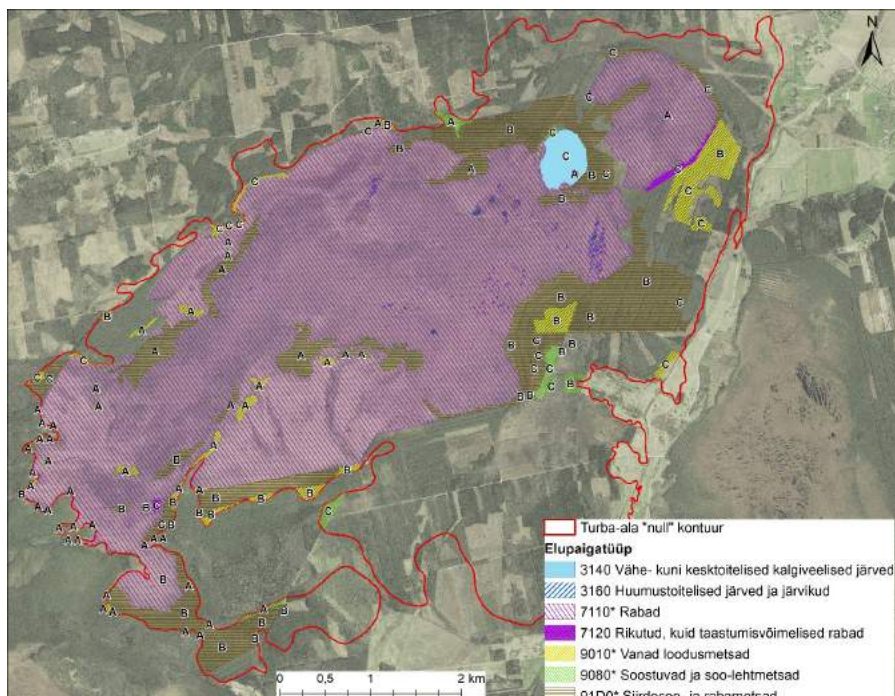
Joonis 3.4. Vasakul: Loodusdirektiivi elupaigatüübid Selisoos. "C" tähistab elupaiga keskmist looduskaitselist väärtust (EELISe Natura elupaikade kaardikiht, mai 2019). Paremal: Eestimaa Looduse Fondi inventeeritud elupaigad Selisoos. Püstkirjas on polügoonide kasvukohatüüpide koodid Paali (1997) järgi ja kaldkirjas elupaigatüüpide koodid loodusdirektiivi järgi. "B, C, D" tähistavad elupaiga vastavalt kõrget, keskmist ja madalat looduskaitselist väärtust (Aluskaart: Maa-amet).

3.1.2.2. Ratva raba

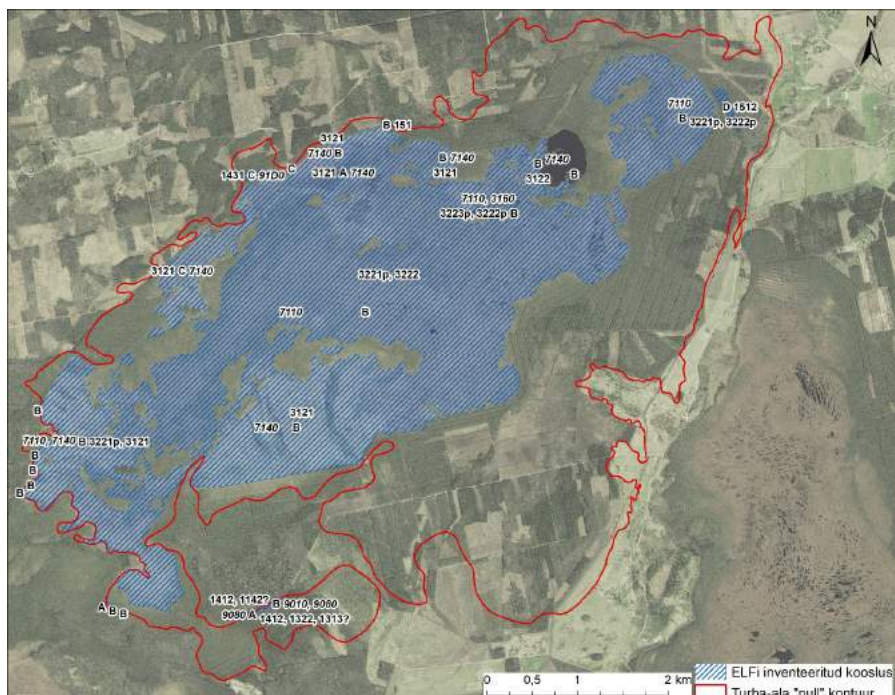
Andmebaas EELIS järgi on Ratva rabas turba-ala nullkontuuri piires eristatud järgnevad loodusdirektiivi elupaigatüübid: 7110 (Rabad), 7120 (Rikutud, kuid taastumisvõimelised rabad), 9010 (Vanad loodusmetsad), 9080 (Soostuvad ja soo-lehtmetsad), 91D0 (Siirdesoo- ja rabametsad), 3140 (Vähe- kuni kesктоitelised kalgiveelised järved) ja 3160 (Huumustoitelised järved ja järvikud) (Natura elupaikade kaardikiht, mai 2019 seisuga) (Joonised 3.5 ja 3.6). Põhjaveest sõltuvaid või potentsiaalselt sõltuvaid maismaaökosüsteeme esindavate elupaigatüüpide (vastavalt projekti GroundEco tulemustele) pindala on järgnev: 7110 – 1664 ha, 7120 – 6 ha, 9080 – 22 ha ja 91D0 – 429 ha. Valdavalt on tegemist väga kõrge (A) või kõrge (B) looduskaitseliku väärtusega aladega. Keskmine looduskaitseiline väärtus on omistatud rikutud raba-aladele, 55%-le soostuvate ja soo-lehtmetsade alale ning 14%-le siirdesoo- ja rabametsade alale. Keskmise väärtusega elupaigad paiknevad soo äärealadel.

Eestimaa Looduse Fond (ELF) on inventeerinud Selisoos 1534 ha alasid, sh. 1245 ha rabasid, 279 ha siirde- ja õõtsiksoid, 6 ha kõdusoometsi, 2 ha madalsoometsi (soostuvad ja soo-lehtmetsad), 1 ha rabametsi, 1 ha rabastuvaid ja palumetsi (vanad loodusmetsad) ning 0,4 ha siirdesoometsi. Vastavalt GroundEco projekti tulemustele, on neist põhjaveest otseselt sõltuvad maismaaökosüsteemid siirde- ja õõtsiksoid ning soostuvad ja soo-lehtmetsad, paiknemise tõttu

Ida-Viru põlevkivibasseini alal on potentsiaalselt põhjaveest sõltuvad ökosüsteemid aga rabad ning siirdesoo ja rabametsad. Raba-alade looduskaitseline väärtus on 2006. ja 2009. aasta andmetel kõrge, siirde- ja õõtsiksoode väärtus samuti kõrge, aga ka väga kõrge ja keskmine, soostuvate ja soo-lehtmetsade väärtus kõrge või väga kõrge ning siirdesoo ja rabametsade väärtus kõrge ja keskmine. Valdavalt on nende alade inventuurid läbi viidud 2009–2014, aga mõne elupaiga puhul ka 1994. aastal. Sarnaselt loodusdirektiivi elupaikadele, paiknevad ka ELFi inventuuride alusel keskmise väärtusega kooslused soo äärealadel.



Joonis 3.5. Loodusdirektiivi elupaigatüübid Ratva rabas (EELiSe Natura elupaikade kaardikiht, mai 2019), kus: “A, B, C, D” tähistavad elupaiga vastavalt väga kõrget, kõrget, keskmist ja madalat looduskaitselist väärtust (Aluskaart: Maa-amet).



Joonis 3.6. Eestimaa Looduse Fondi inventeeritud elupaigad Ratva rabas. Püstkirjas on polügoonide kasvukohatüüpide koodid Paali (1997) järgi ja kaldkirjas elupaigatüüpide koodid loodusdirektiivi järgi. “A, B, C, D” tähistavad elupaiga vastavalt väga kõrget, kõrget, keskmist ja madalat looduskaitselist väärtust (Aluskaart: Maa-amet).

Seega on nii Selisoo kui ka Ratva raba degradeerunud serva-aladega (märedega) sood, kus on säilinud suhteliselt kõrgete looduskaitsete väärtustega rabadest koosnevad tuumikalad.

3.1.3. Häiringutega märealad

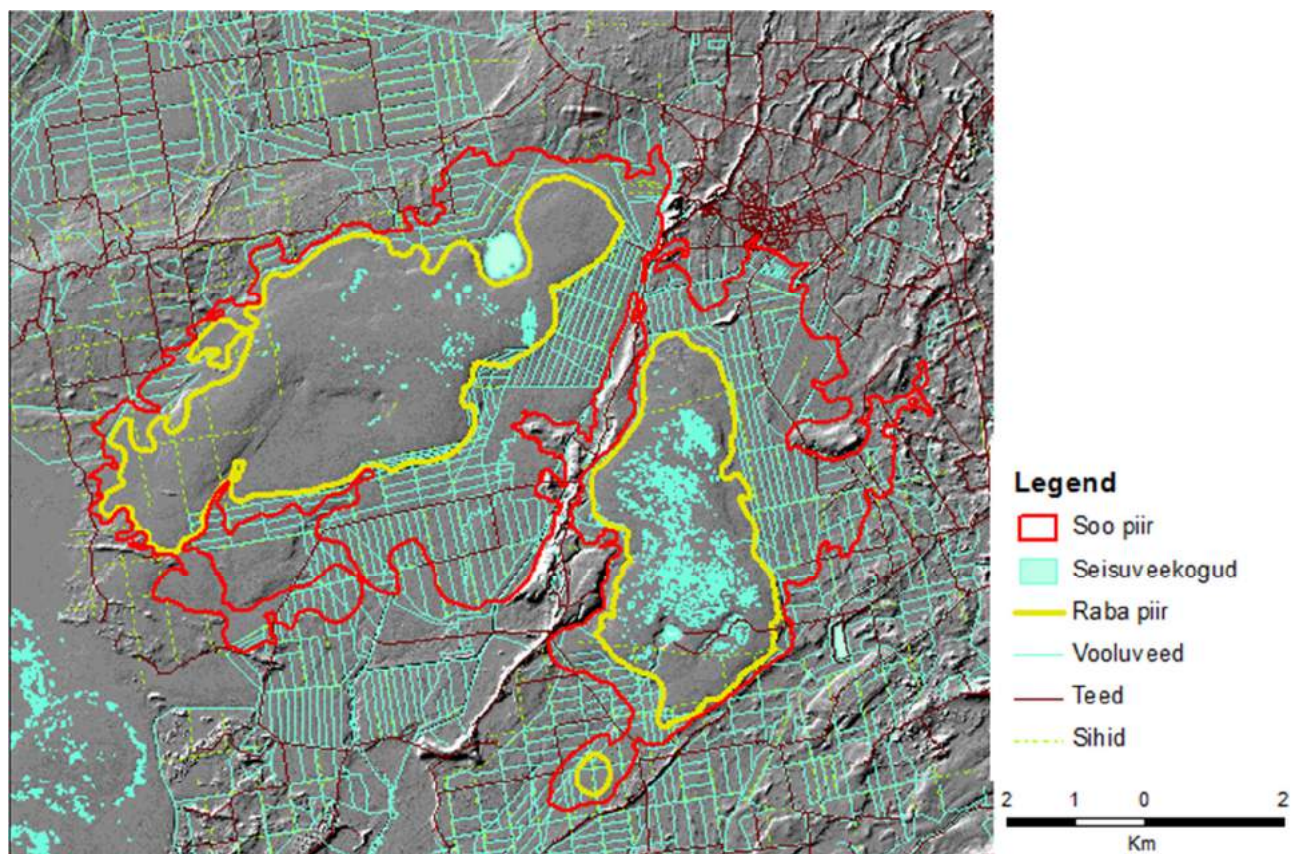
Turbalasundi „null-kontuuri“ piires on ca 54% Ratva rabast ning ca 46% Selisoost kaetud siirde- ja madaloolise turbalasundiga, valdava paksusega kuni 2,5 m (Tabel 3.1, Joonis 3.3). Tavapäraselt moodustavad need lasundid rabamassiive „lindina palistavad“ märealad, mis lisaks sademetele toituvad nii soolasid ümbritseva mineraalala kui ka soola keskosasse jääva raba-ala valgveest. Teatud tingimustel võivad märealad olla ka mineraalse põhjavee väljealadeks. Reeglina on looduslikes tingimustes lasuvate märealade turvas, sarnaselt raba-ala katotelmi turbalasundile, kõrge lagunemisastmega ning madala hüdraulilise juhtivusega, mistõttu on märealade ökosüsteemid eriti tundlikud alasid toitva veerežiimi ja maakatte muutustele (Howie & van Meerveld 2011).

Tuginedes infole turbalasundi paiknemisest Ratva-Selisoo aladel (Joonis 3.3) on võimalik eeldada, et enamuses looduslikust Selisoo märealast paiknes soola kirde-idaosas. Selisoo põhjaosas kujunenud märeala oli aga ühenduslülilik Ratva raba märealaga, mis siis Ratva raba ja Selisoo vahele jääva Mäetaguse oosijalami suunda järgides kulges Ratva raba idaosas kuni pindalaliselt suurima märeala katvuseni Ratva raba kaguosas. Teine suhteliselt ulatuslik märeala paiknes ilmselt Ratva raba põhjaosas olevast Ratva järvest loodes.

Käesoleval ajal on Ratva-Selisoo suurimaks häiringuks märealade kraavitus. Mõlemad soo-alad on väljaspool rabaturba lasundipiiri tugevalt mõjutatud nii metsakuivendusega, kus kraavidevaheline kaugus varieerub 100–175 m vahel, kui ka olemasolevate teede ja teekraavide vee ärajuhtimissüsteemidega. Ratva-Selisoo alade joonobjektide, valdavalt kraavide, kogupikkus on ca 280 km, kusjuures 29% kraavidest on laiusaga 1–2 m, 58% – laiusaga 2–4 m, 10% – laiusaga 4–6 m, 2% – laiusaga 6–8 m ning veidi alla 1% laiema kui 8 m (Joonis 3.7).

Ratva-Selisoo pinnakuivenduse mõju indikaatorina kasutatud taimkatte kõrguste jaotuselt on selgelt näha kõrgema kui 5 m taimestiku ehk puistu levik soolade tiheda kraavitusega piirkondades, väljaspool kummagi soo raba osa (Joonis 3.8): Ratva rabas moodustab kõrgema puistu levikuala väljaspool raba massiivi 78% ning Selisoos 83% (Tabel 3.2). Vastav näitaja mõlema soo rabalasundi piiridesse jääval soo-osal on see 19%. Samal ajal ligi pool mõlema soo raba-alast (st 47% Ratva rabas ja 50% Selisoos) on avatud, st taimestiku kõrgus ei ületa ühte meetrit. Seega koos veetaseme alandamisega (st kraavitusega) soode märealadel on turvast moodustav (siirde-/madalooline) soo-ökosüsteem muutunud metsaökosüsteemiks.

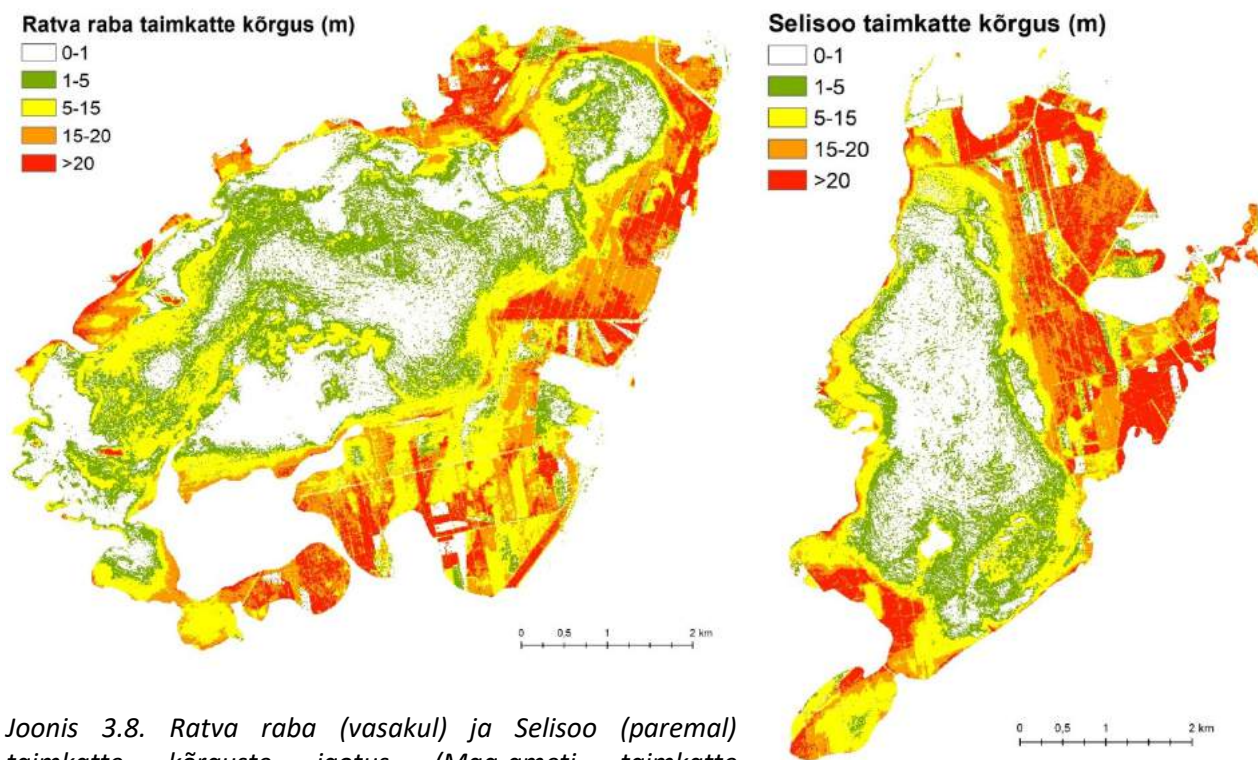
Kuivendamisega peaks olema kaasnenud ka märeala katnud turbalasundi hüdrofüüsikalise struktuuri muutused; läbi intensiivistunud mineraliseerumise on tõusnud mulla kompaktsus ning vähenenud hüdrauliline veejuhtivus (Päivänen & Hånell 2012). Tulemuseks peaks olema suurenenud pinnavee pindmine äravool, sirgenenud ja lühenenud pinnavee väljavooluteed, mis suubudes kaldega kraavidesse omandavad kõrgemad vee ja setete transpordi võime ja kiirused. Maastikuliselt on taolised alad madala veepeetuse koefitsiendiga, mille graafiliseks peegelduseks on piigilisuse tiheduse suurenemine ning baasäravoolude vähenemine äravoolude hüdrograafides. Nii puistu juurestik kui ka turbalasundisse rajatud kraavitus võib aga suurendada pinnavee infiltratsiooni soola lasumiks olevasse mineraalsesse pinnasesse.



Joonis 3.7. Ratva raba ja Selisoo turbalasundi „nullkontuuri” ning rabaturbalasundi piiride vahele jääv metsakuivenduskraavide, teede ja teekraavide võrgustik (Joonobjektid kaardil ja aluskaart: Maa-amet).

Tabel 3.2. Maa-ameti taimkatte kõrgusmudeli alusel klassifitseeritud taimekõrguste jaotus Ratva rabas ja Selisoos

Taimestiku kõrguse klassid, m	Ratva raba turbalasundi „null-kontuuri” piirides, ha				Selisoo turbalasundi „null- kontuuri” piirides, ha			
	raba lasundi piirides		väljaspool raba lasundit		raba lasundi piirides		väljaspool raba lasundit	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
0–1	776	46,6	237	13,8	486	50,1	124	11,5
1–5	580	34,9	137	8,0	301	31,0	60	5,5
5–10	297	17,8	579	33,6	178	18,4	290	26,8
10–15	10	0,6	489	28,3	5	0,5	300	27,8
15–31	1	0,1	281	16,3	0	0,0	307	28,4
Kokku	1664	100	1723	100	970	100	1081	100



Joonis 3.8. Ratva raba (vasakul) ja Selisoo (paremal) taimkatte kõrguste jaotus (Maa-ameti taimkatte kõrgusmudel).

3.1.4. Seisuveekogud soodes

Selisooga seotud seisuveekogudest on märkimisväärsamad Selisoo kirdeosas paiknev Seli raba laugas, veepeegli pindalaga – 1,1 ha (suurim laugas rabalaama kirdeosa laugas-peenar ökotobist) (VEE203462) ja Seli Suurlaugas rabalaama lõunaosas (VEE203460) – veepeegli pindalaga 3,3 ha. Mõlemad kuuluvad pehme- ja tumedaveeliste huumustoiteliste järvede hulka (VRD tüüp IV). Seli Suurlaugas (ka Selisoo suurlaugas, Suurlaugas, Suur Kõrve järv) on tugevalt mõjutatud selle lõunakaldale, juba 19. sajandi II poolel rajatud väljavoolu kraavist, mille tulemusena on järve veepeegel äärealadel suures osas asendunud õõtsikuga (Amos, 2016). Lode et al. (2011) andmetel on Selisoo raba-ala ca. 48,5 ha ulatuses kaetud erinevate seisuveekogudega (laukad, älved ja soojärved e suured laukad), kokku on seal loendatud ca 1700 erinevas seisundis olevat pinnavee veekogu.

Andmed Ratva raba seisuveekogude üldpindala või arvu kohta puuduvad, küll aga on ortofotodelt näha, et Ratva rabas on laukaid vähem, kui neid on Selisoos. Ratva raba olulisim seisuveekogu on selle loodeosas asuv Ratva järv (VEE2024200) – pindala 25 ha, loodusdirektiivi elupaigatüüp 3140 (vähe- kuni kesktoitelised kalgiveelised järved). Erinevalt Selisoos asuvates seisuveekogudest ei ole Ratva järv tüüpiline rabaveekogu. See on jäänuk kunagisest suuremast veekogust, “mille raba pealetung on surunud vastu mineraalmaad” (Mäemets, 1977). On avastatud, et järv toitub lisaks sademe ja sooveele ka põhjaallikaist. Samuti on järve põhjast leitud lisaks turbamudale ka järvelupja, mis samuti viitab allikate olemasolule. Mäemets (1977) andmetel on V. Masing kirjeldanud omapäraseid rabaallikaid ka järve lähedal asuvas rabas. Järve vesi oli 2009. a. andmete põhjal pruunikas ja põhjani (0,3 m) läbipaistev (Ott, 2009b). Rabajärvele ebatüüpiliselt oli vee pH suhteliselt kõrge 8,9. Võrreldes enamiku rabajärvedega oli ka selle vee aluselisus kõrgem – HCO_3^- 0,63 mg-ekv/l, kuid vesi oli siiski pehme (kareda vee piir on 1,3 mg-ekv/l). Varem on vee aluselisus olnud kõrgemgi – 1973. aastal 1,2 mg-ekv/l. Samas rabajärvele tüüpiliselt oli vee orgaanilise aine sisaldus suur – KHT_{Cr} 54 mgO/l ning suur oli ka humiainete sisaldust näitav kollase aine sisaldus – 19 mg/l. Järve litoraalis kasvasid karedale veele iseloomulikud kare mändvetikas ja punakas penikeel. Varasema suhteliselt kareda vee tõttu on järv EELISes liigitatud keskmise karedusega

kihistumata järvede hulka (VRD tüüp II), Ott et al. (2009b) paigutavad järve aga pigem pehme- ja tumedaveeliste järvede hulka (VRD tüüp IV).

Aluselisuse olulise languse tõttu tehti järeldus, et **põhjavee roll järve veetoites on vähenenud** ning järjest enam pääsevad mõjule rabajärvele iseloomulikud nii abiootilised kui biootilised tegurid, kuid kontakt mineraalse pinnase ja põhjaveega on kõrge pH väärtuse ja rabaveest kõrgema aluselisuse püsimise tõttu siiski säilinud (Ott, 2009b).

20. saj alguses rajati järvele väljavoolukraav, mis juhib vee Ojamaa jõkke. Väljavoolukraavile rajati teadmata ajal pais, mida rekonstrueeriti viimati 2010. aastal (Amos, 2015). Paisu olulisust Ratva järve ja seda ümbritsevate koosluste loodusliku veerežiimi tagamiseks rõhutasid nii Limnoloogiakeskuse läbi viidud Ratva järve limnoloogilised uuringud (Ott, 2009b) kui ka Eestimaa Looduse Fondi teostatud kraavide inventuur (2009). Aastatel 2015–2016 RMK teostatud Muraka raba servaalade taastamistöde käigus suleti ka Ratva järve väljavoolukraavi eesvoolukraav. Senised Ratva järve veetaseme seireandmed näitavad, et alates 2008. aastast on see olnud tänu kraavide sulgemisele tõusutrendis (Pachel & Roosalu, 2019). Vaatamata põuasele aastale, oli järve veetase 2018. aasta detsembris pool meetrit kõrgemal kui 2008. aasta kevadel.

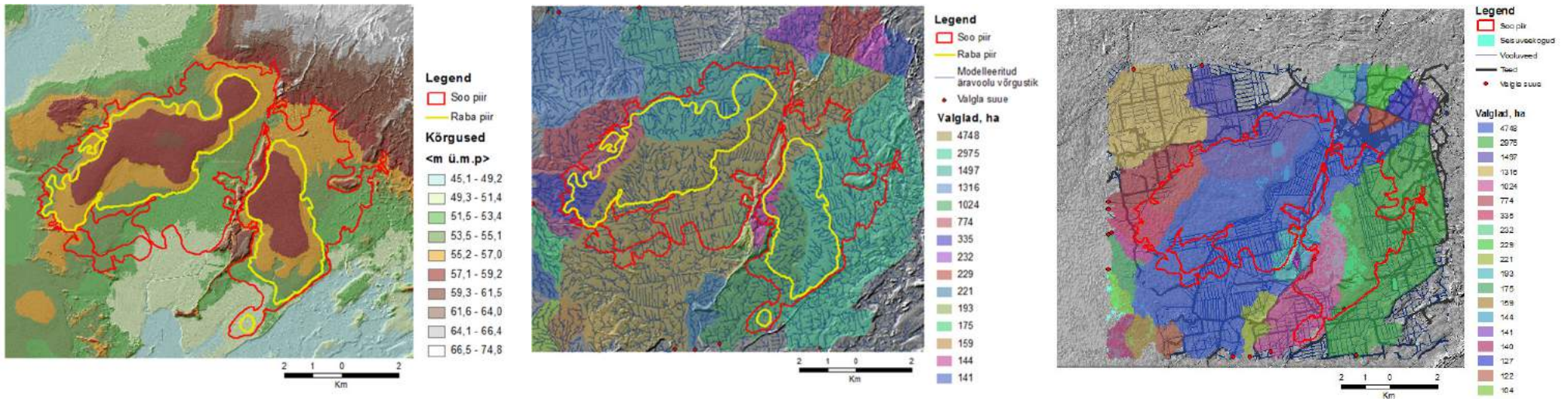
3.1.5. Kujunenud pinnavee hüdroloogia ja selle võimalik dünaamika

Piirkonna kõrgusmodelilt (Joonis 3.9) on näha, et Selisoo lähiümbruse maapinna üldine kallakus on lõunasuunaline. Ratva raba-alal on see aga raba telgjoonelt võetuna nii kagu- kui ka loodesuunaline. Üldistatult on pakutud, et Selisoo reljeefi lõunasuunaline kallakus on ca 1.7 m/km ning sooala laienemist piirab läänes paiknev Mäetaguse oos ning kirde-edelasuunaline seljak (Kalm & Kohv 2009). Põhjas, idas ja lõunas ääristavad Selisood väga lauged jääjärvetasandikud absoluutkõrgustega vastavalt 55–60, 55–58 ja 50–51 m ümp Kohati liigendavad jääjärvetasandikke reljeefis katkendlikud, kirde-edelasuunalised kuni 3 m suhtelise kõrguse ja laugete nõlvadega seljandikud. Ratva raba laienemist põhjasuunas takistab maapinna üldine kallakus Jõhvi kõrgendilt Ratva raba suunas ning edelasuunas – loode-kagu suunaline moreenist seljandik, mille tõttu toimub nii setetega seotud vee kui ka soovee valgumine raba lõunaosasse (Kalm & Kohv, 2012).

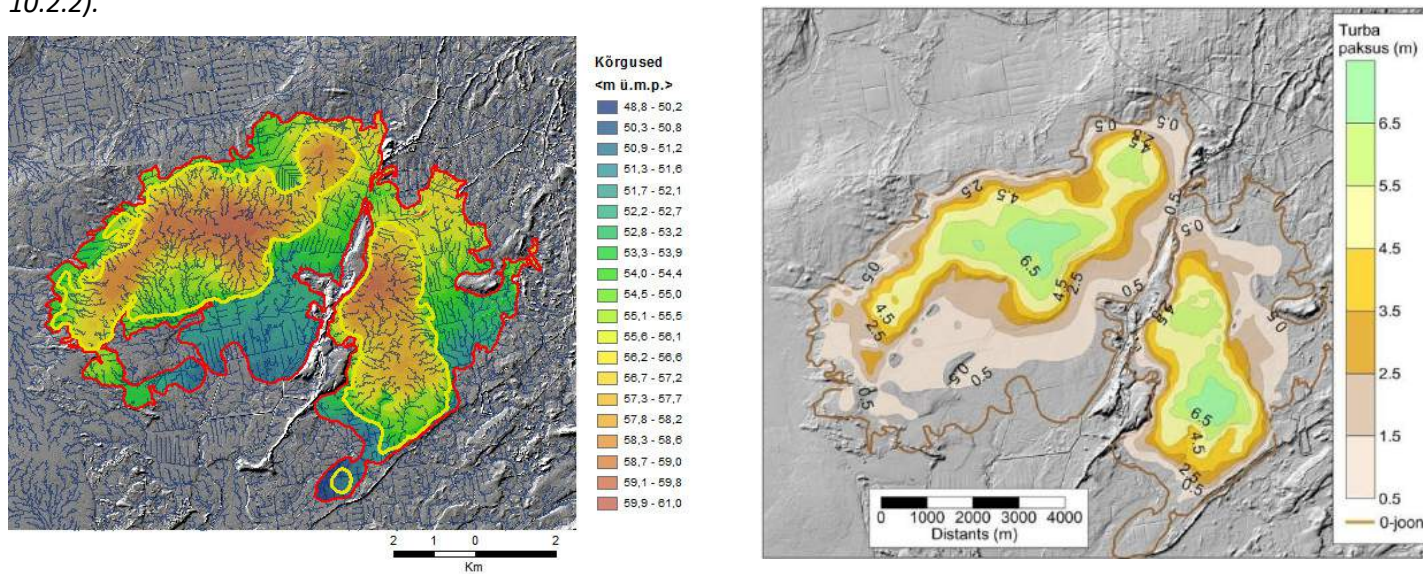
Ratva-Selisoo valglate modelleerimistulemused, koos mudeldatud pinnavee väljavoolu akumulatsiooni joontega, annavad võimaluse hinnata soomaastike pinnavee väljavoolude potentsiaali lähtudes alade topograafiast (Joonis 3.9).

Pinnavee valglate mudeltulemustest (Joonis 3.9) on näha, et soovee väljavoolu mõjutav veelahe järgib mõlemal soosalal rabalasundi polügooni pikitelge, st põhja-lõuna suunaliselt Selisoos ning kirde-edela suunaliselt Ratva rabas. Kuid Selisoo põhjaosas ja lõunaosas on veelahe kõverdunud lääne poole, koos suhteliselt pikemate idapoole suunduvate akumulatsioonijoontega. Nähtavalt kagusuunaline Ratva raba veelahkme kõverdumine leiab aset aga raba loode- ning kaguosas, koos vastavate pikemate akumulatsioonijoonte orienteeritusega loode ja kagu suunas.

Lisaks, võrreldes akumulatsiooniturbakihi paksuse jaotust alade kõrgusmodeliga (Joonis 3.10), on näha, et rabalasundi piiridesse jäävad kõrgeimad pinnakõrgused seostuvad turbalasundi suurimate sügavustega. Modelleeritud kõrgusmodelite põhjal visualiseeruvad selgelt mõlemal soosalal kaks nii kõrgeimaid pinnakõrgusi kui ka suurimaid turba sügavusi koondavat tsooni, mis põhimõtteliselt moodustavad lokaalsed veelahkmete tuumikalad rabalaamadel (Joonis 3.10).



Joonis 3.9. Ratva raba ja Selisoo pinnavee äravoolude valglad. Projektiala kõrgusmodel (vasakul), valglad koos modelleeritud pinnavee väljavoolu akumulatsiooni joontega (keskel), valglad koos ETAKi andmebaasi teede ja vooluveekogudega (paremal) (Aluskaart: Maa-ameti kõrgusmodel ja ETAKi andmebaas; töövahend: ArcMap 10.2.2).

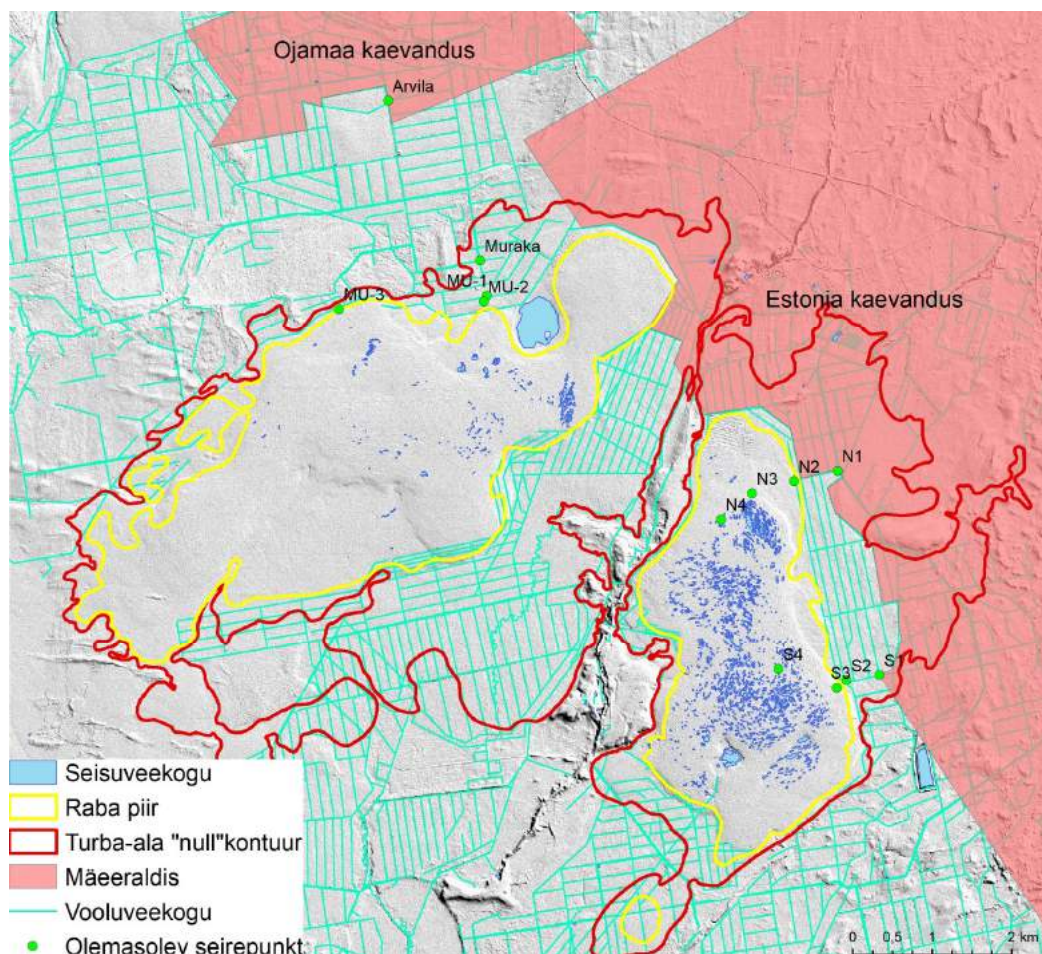


Joonis 3.10. Ratva raba ja Selisoo kõrgusmodeli (koos pinnavee äravoolude akumulatsioonijoontega) (vasakul) (Aluskaart: Maa-ameti kõrgusmodel; töövahend: ArcMap 10.2.2) võrdlus turbalasundi sügavuse jaotusega (paremal) (kopeeritud joonis Kalm & Kohv 2012).

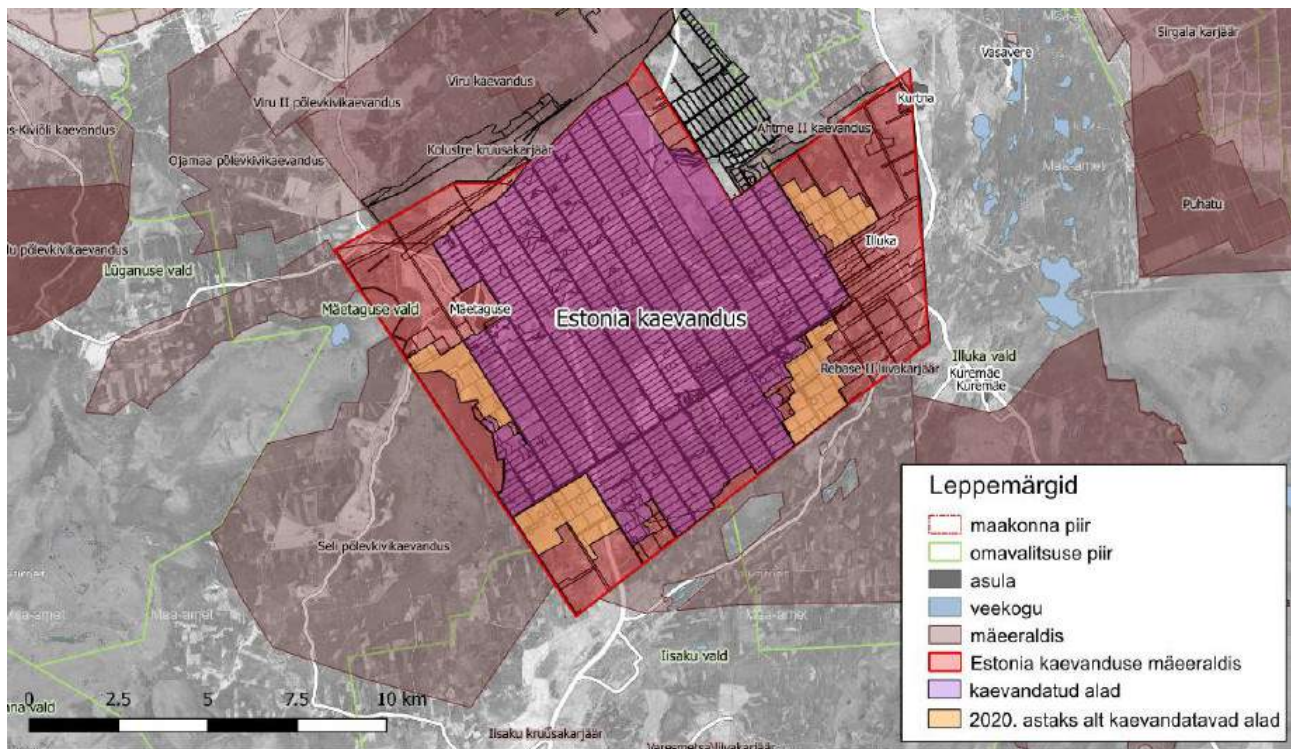
Veelahkmete kõverdumist raba-alal saab siduda rabalasundi pinnakõrguste jaotusega ning seda omakorda äravoolude formeerumise potentsiaaliga valgla pinnaühiku kohta. Teoreetiliselt omavad sarnaste ilmastikutingimuste juures suurema valgla soolad madalamat väljavoolumoodulit pinnaühiku kohta, kuid koguseliselt teatud ajaühiku kohta peaksid suuremate valglate väljavoolud olema suuremad – kui just suurema ajalise viibega suuremal valgla ei esine intensiivset veekadu nt suurenenud evapotranspiratsiooni või infiltratsiooni kaudu. Reeglina sõltuvad vooluveelised väljavoolud rabalaamadest olemasolevast vee kogusest turbamassiivis ehk veetaseme piirväärtusest, alates millest formeerub rabalaamal horisontaalne äravool. Kuid äravooluks kujuneva veetaseme piirväärtus omakorda sõltub nii õhutemperatuuri ja sademete koostmõjust, samaaegselt ala topograafia (sh mikrotopograafia) ning maakette koostmõjudega. Sellega ongi seletatav raba valglate äravoolumahtude nii aastasisene kui ka pikaajaline suur varieeruvus (vt nt Kalm & Kohv, 2009; 2012).

3.1.6. Põhjaveega seotud häiringud

Põhjaveekogumite mõju Selisoo ja Ratva rabale võib avalduda seoses Estonia ja Ojamaa põlevkivikaevanduste allmaakaevandusest tingitud põhjavee alanduslehtri levikuga “soode alla”. Kehtiv Estonia kaevanduse mäeeraldis ulatub kirdesuunalt sügavale Selisoo alla, mis projekteeritult maapinnale ühtib hinnanguliselt 40–50% ulatuses Selisoo siirde-madalsoolise turbalasundi katvusega (Joonis 3.11). Käesolevaks ajaks on kaevandatud ala Selisoo all jõudnud juba kohati mäeeraldisse piirini (Joonis 3.12). Ratva rabast hõlmab Estonia kaevanduse mäeeraldis maapinnale projekteeritult hinnanguliselt ca 10–15%. Ojamaa kaevanduse mäeeraldis ulatub Ratva rabast minimaalselt kahe kilomeetri kaugusele.

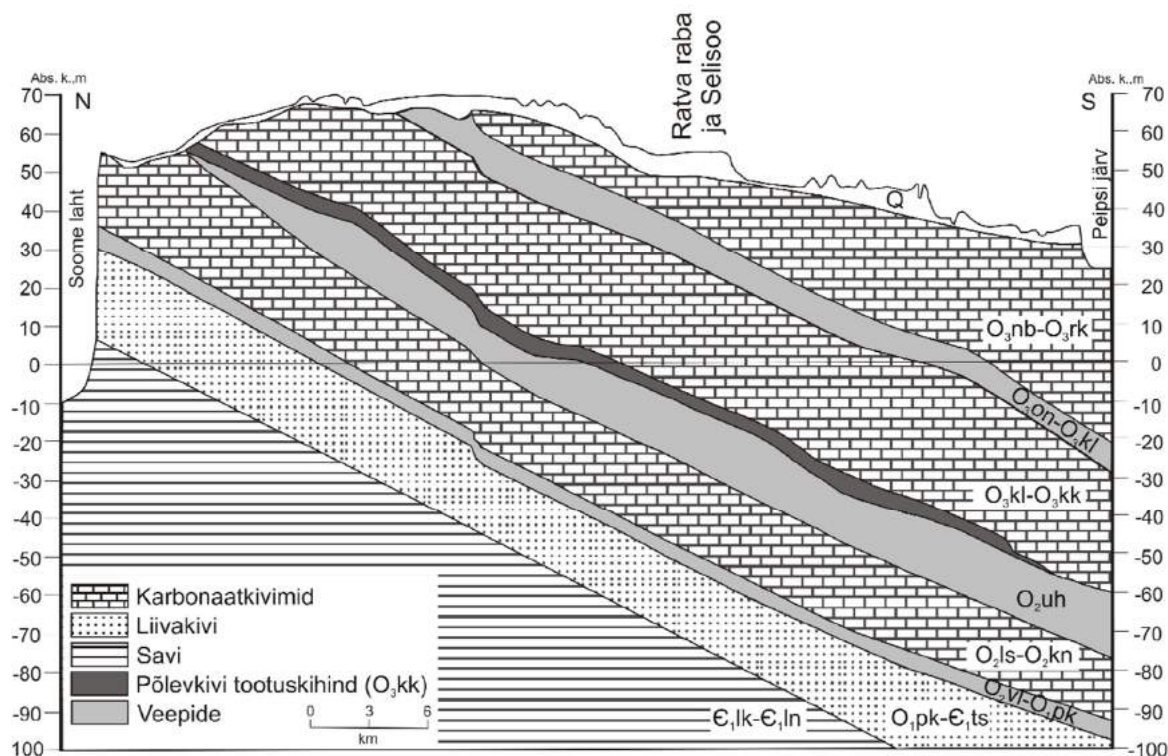


Joonis 3.11. Maa-ameti andmestikul põhinev põlevkivi kaevandamiseks kehtivad mäeeraldised, nende paiknevus Ratva raba ja Selisoo suhtes ning kaevandamise mõju seiramiseks rajatud veetaseme seirepunktid.



Joonis 3.12. Estonia kaevanduse mäeeraldis 2015. aasta piirides, 2015. aastaks alt kaevandatud ala ja 2020. aastaks alt kaevandatavad alad vastavalt Estonia kaevanduse arengukavale (kopeeritud joonis Kutsar, 2017 ref Estonia kaevandus. Mäetööde arengukava 2016–2020 majandusaastateks. Eesti Energia Kaevandused AS. 2015).

Kaevanduste kuivana hoidmiseks pumbatakse vett välja Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumist (nr 7), täpsemalt Keila-Kukruse veekihi (Kutsar, 2017). Seetõttu kannatab survetaseme languse all eelkõige Keila-Kukruse veekiht, mis lasub vahetult põlevkivi kihil (Joonis 3.13). Sellel lasuvast Nabala-Rakvere veekihi jõeab põhjavesi kaevandustesse läbi suhtelise veepideme (Oandu lademe savikas lubjakivi ja mergel), lokaalsete rikete või tehniliste puuraukude ja ventilatsiooni šurfide kaudu. Estonia kaevanduse piirkonnas, vahetult vahetult põlevkivi ladestu peal lasuvas Keila-Kukruse veekihi alanduslehtri raadiuseks on prognoositud 6–7 km, samal ajal kui Nabala-Rakvere veekihi on see keskmiselt 1 km (Kalm & Kohv, 2012). Kalm & Kohv (2009, 2012) on näidanud, et nii Selisoo kui Ratva raba all puudub ühtlane, piisava paksuse- ja madala veejuhtivusega mineraalsete setete kiht, mis kindlustaks soo veetaseme püsimiseks vajalike hüdroloogiliste tingimuste säilimise juhul, kui Nabala-Rakvere veekihi veetase langeb oluliselt. Kalm & Kohv (2012) ning Marandi et al. (2013) prognoosisid, et Estonia kaevanduse laienemine Selisoo alla tooks kaasa üle 2 m veetaseme languse turbakihi. Sarnase tulemuseni jõuti ka juhul kui kaevandus laieneks vaid Selisoo piirini ilma soo alla jõudmata. Samas uuringus lisatakse, et „Soo säilimiseks on oluline sooluse veepideme (savi) olemasolu või et turba veejuhtivus oleks väiksem kui 10^{-5} m/d; Ratva rabas ega Selisoo need tingimused täidetud ei ole.“ Ratva raba kirdeosas on sooluse mineraalse pinnakatte paksus eriti õhuke, ulatudes kohati vaid paarikümne sentimeetrit (Kalm & Kohv, 2012). Estonia kaevanduse alanduslehtri võimalikku mõju Ratva raba sooveetasemele seni modelleeritud ei ole.



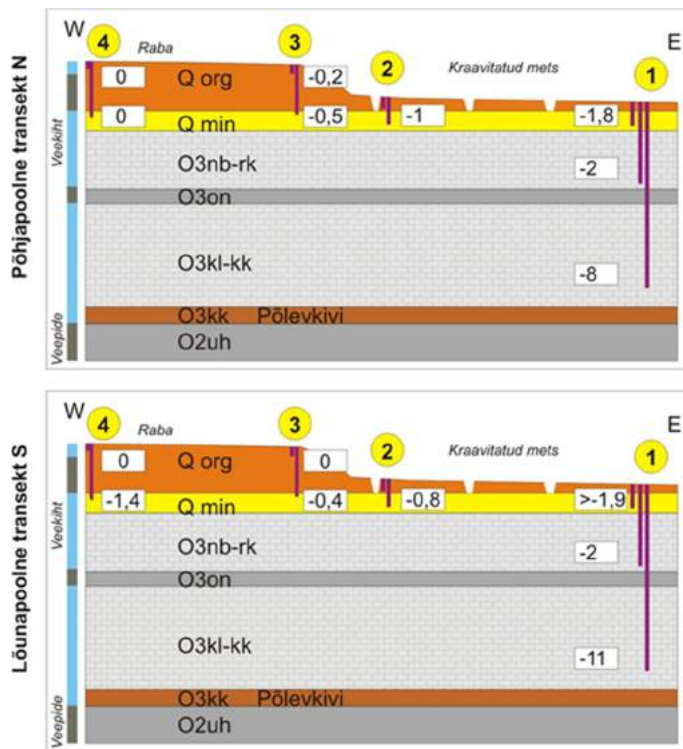
Joonis 3.13. Ratva raba ja Selisoo piirkonnaga seotud üldgeoloogiline ja hüdrogeoloogiline läbilõige koos Ratva raba ja Selisoo tingliku asukohaga (kopeeritud joonis Savitski, 2000). Lühendite seletused: Q – pinnakate (Kvaternaari setted); O_{3nb}-O_{3rk} – Nabala-Rakvere veekiht; O_{3on}-O_{3kl} – Oandu veepide; O_{3kl}-O_{3kk} – Keila-Kukruse veekiht; O_{2uh} – Uhaku veepide; O_{2ls}-O_{2kn} – Lasnamäe-Kunda veekiht; O_{2vl}-O_{1pk} – Alam-Ordoviitsiumi veepide; O_{1pk}-ε_{1ts} – Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekompleks; ε_{1lk}-ε_{1ln} – Lükati-Lontova veepide.

3.1.6.1. Selisoo

2019. aasta seisuga toimub Selisoo Estonia põlevkivikaevanduse põhjavee alanduslehti mõju jälgimiseks põhja- ning (pinna)/soovee tasemete seire vastavalt AS Enefit Kaevandustele väljastatud vee erikasutusloale L.VV/327879.

Allmaakaevandusega seotud põhjavee alanduslehti mõju seireks rajati 2011. aastal Tartu Ülikooli geoloogia osakonna poolt kaheksast mõõtejaamast koosnev automatiseeritud võrgustik. Mõõtejaamad paiknevad kahel, põhja ja lõuna transektil, kumbki algusega Selisoo raba lava-alal (jaam nr 4), rabalaama nõlva veerul (jaam nr 3) ning metsakuivendusega märedealal (jaamad nr 2 ja 1) (Joonised 3.11 ja 3.14). Jaamades nr 4, 3 ja 2 mõõdetakse veetasemeid turbalasundi ülemises kihis ja soo all lasuvas Kvaternaari veekihi. Mõlema transekti jaamades nr 1 mõõdetakse veetasemeid aga madal soo lasundi alla jäävas mineraalse pinnakatte veekihi ning Nabala-Rakvere ja Keila-Kukruse veekihtides (Joonis 3.14; Kohv, 2019).

2011. aastal rajati kummalegi veetaseme seiretransektil viiest seireruudust koosnevad taimkatte seiretransektid ning viidi läbi esmane seire (Ilomets et al., 2011). Seiremetoodikas tehti ettepanek korrata seiret iga kolme aasta tagant, kuid seda ei ole seniajani teostatud ning seda ei nõua ka Estonia kaevanduse kehtiv vee erikasutusloa L.VV/327879. Samas nähakse taimestiku seire elluviimist ette kehtivas Selisoo kaitsekorralduskavas (Amos, 2016).



Joonis 3.14. Soovee ja põhjavee taseme seirekaevude paiknemine Selisoos, kus: 1 ja 2 – seirekaevud metsakuivendusega märealal; 3 – seirekaevud rabanõlva veerul; 4 – seirekaevud raba lava-alal (kopeeritud joonis Kohv, 2019). Lühendite seletused: Qorg – orgaaniline pinnakate (turvas), Qmin – mineraalne pinnakate; O3nb-rk – Nabala-Rakvere veekiht; O3on – Oandu veepide; O3kl-kk – Keila-Kukruse veekiht; O3kk – põlevkivi lade; O2uh – Uhaku veepide.

Kohv (2019) andmed perioodi 2011–2015 kohta viitavad Selisoo pinna- ja põhjaveetasemete trendimuutustele rikutud märealadel: piesomeetrilise veetase oli turbalasundi lamamiks olevas mineraalses pinnakattes alanenud ca kuni 2 m, Nabala-Rakvere veekihi samuti 2 m ning Keila-Kukruse veekihi 8–11 m (Joonis 3.14; Kohv, 2019). Raba-laval sooveetaseme langustrendi ei olnud tuvastatud, küll aga oli see olemas rabamassiivi lõunapoolse osa all lasuvas mineraalses Kvaternaari settekihi (kuni 1,5 m) (Kohv, 2019).

Selisoo raba-laval asuvate jaamade (nr 4 joonisel 3.11 ja 3.14) seniste (2011–2018) veetaseme seireandmete omavaheline võrdlus näitab üldiselt väga väikest omavahelist erinevust. Statistiliselt oluline trend tekkis aegritta aga seoses 2018. aasta põuaga, kusjuures lahknemist ei täheldatud 2015. a põua ajal (Kohv, 2019). Erinevus näitab põhjapoolse transekti raba-lava punktis kuni 20 cm madalamat veetaset, kui saaks seletada vaid ilmastikust tingitud muutustega, kuid trendilangu kinnituseks vajatakse ka 2019. aasta andmestikku (Kohv, 2019). Ka Selisoo lõunaosas ilmnes 2018. aastal rabakupli serva sooveetasemetes esimest korra kaevanduse võimalik mõju. Soo märeala õhukese turbakihi all olevas mineraalses pinnakattes ulatus põhjaveetaseme langus põuasel 2015. ja 2018. aastal mõõteperioodi algusega võrreldes kuni 3 meetrini (Kohv 2019). Kuna looduslik põhjaveetaseme amplituud pinnakattes peaks olema maksimaalselt ca 0,5 m (Kohv, 2019), siis seda piirväärtust ületavate languste puhul on tegemist tõenäoliselt Estonia kaevanduse mõjuga. Senistel andmetel on kaevanduse tugevam mõju rabale väljendunud just Selisoo põhjaosas, eeldatavasti seetõttu, et kaevandus “paindub” ümber Selisoo raba-ala põhjaosa ning lisaks lõikab ära põhjapoolt Jõhvi kõrgustikult lähtuva põhjavee üldise voolusuuna (Kohv, 2019).

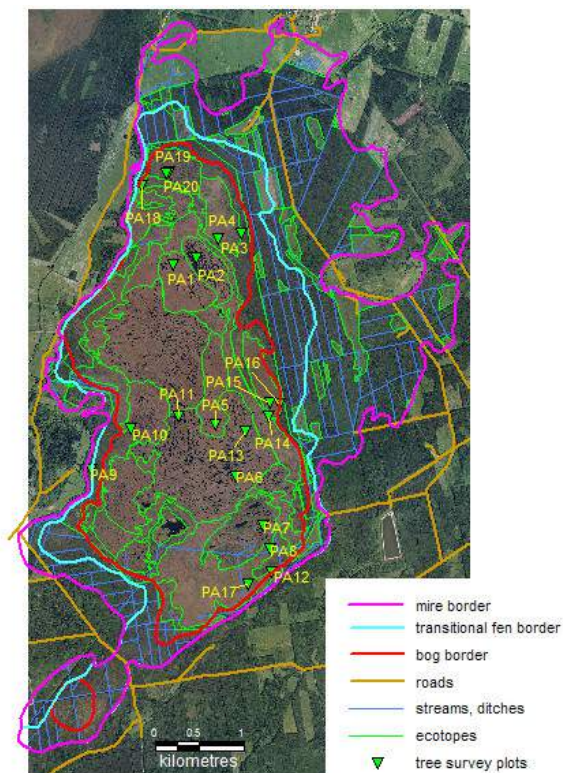
Siinkohal on aga oluline rõhutada, et tänu rabalaama suhteliselt õhukesele akrotelmi kihile, järgib lasundi vabaveeline veepind raba-laamadel rabapinna topograafiat ning tulenevalt ladestunud turba ülalt-alla hüdraulilise juhtivuse stratigraafiast, ei lange vabaveeline veetase Eesti raba-laamade erinevates mikrotopides alla 70 cm (Lode et al. 2017). Isegi kuivenduse mõjudega soometsa tingimustes ei lange veetase 120 cm-st sügavamale (Lode et al. 2017). Küll aga, kui turbamassiivis esinevad massiivisised vooluvee sooned või lõhed, mis veedefitsiidi tingimustes

võivad „sisse langeda“ ning sellega tekitada olulisi muudatusi pinna topograafias, on tulemuseks muutused nii alade pinnavee väljavoolu mustrites kui ka veelahkmete paiknemistes. Kirjanduse andmetel võib veedefitsiidi tingimustes paksu turbakihi turbamassiivi kokkuvajumise kiirus häiringu esimesel kümnel aastal ulatuda 0,5–1 m aastas, millele lisanduvad mineraliseerumisega seotud turbamahu/-koguste muutused. Sõltuvalt aga turbatüübist ja selle ruumilisest jaotusest rabalaamal võib soopinna allavajumine 10–20 aasta lõikes ulatuda kuni 2,5 m-ni ja rohkemgi, kusjuures sooveetasemetes, mõõdetuna soopinna suhtes, olulisi muudatusi ei toimu (vt nt Van der Schaaf 2002).

Ilomets et al. käsikirjalistel andmetel (in Pensa et al., 2007–2012) koosneb Selisoo raba-ala põhjaosa kuni 6 m sügavuse turbaga piirkonnas 3,5–4 m ulatuses rabaturbast (keskmise lagunemisastmega 9–12%; punktid PA1 ja PA2 Joonistel 3.15 ja 3.16), kuid märealal (punkt PA4 Joonistel 3.15 ja 3.16) on kuni 3 m paksusega turbakihi ladestunud rabaturba kihi paksus ainult 30 cm (lagunemisastmega 12–17%). Ülejäänud madalsooturba lagunemisastmeks on aga keskmiselt 20% (maksimaalselt kuni 30%).

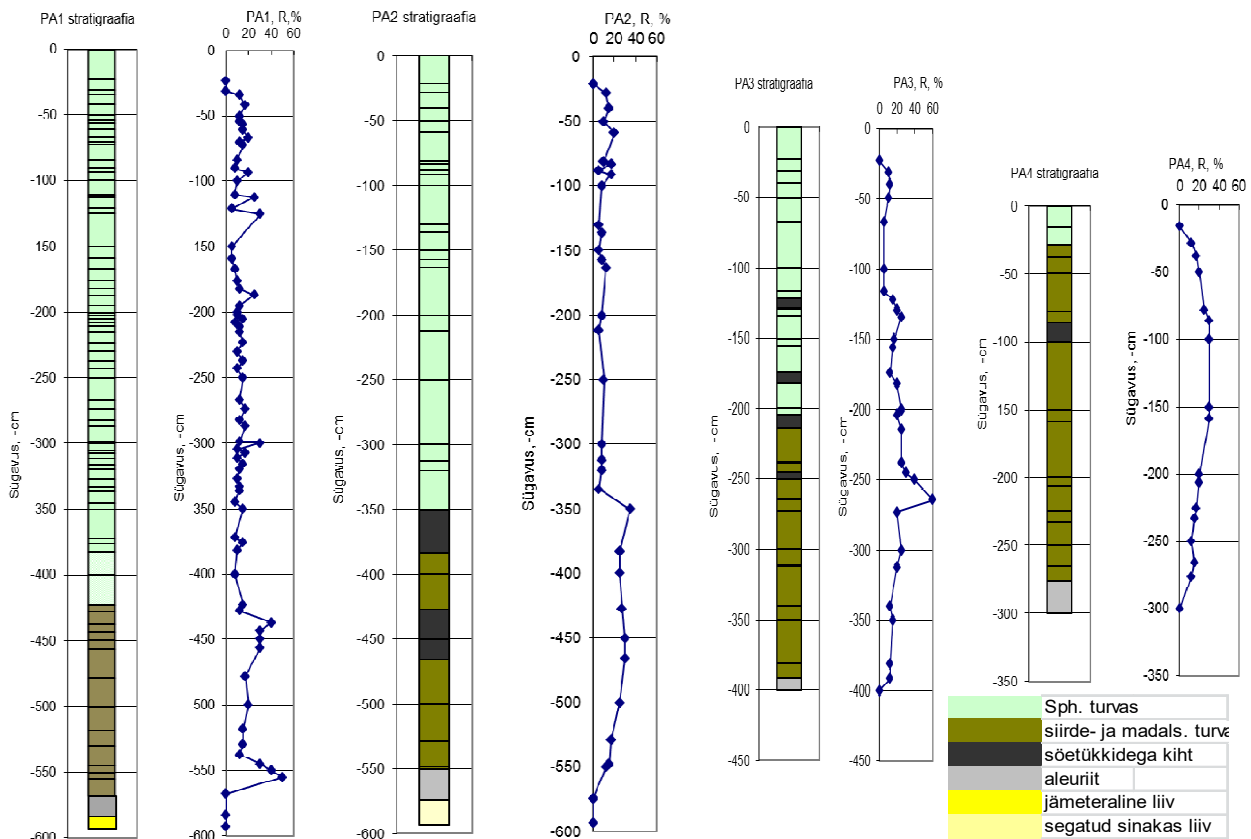
Nii käsipuurimise tulemused kui ka välitingimustes läbiviidud „pealtvalamise“ tulemused näitavad, et rabaturba sügavamates kihtides on säilinud vabavee imendumise potentsiaal turbalasundisse (hea korrelatsioon turba tüübi ja tema lagunemisastmega), kuid see potentsiaal formeerub tegelikkuseks juhul, kui vabaveel on takistuseta juurdepääs nendesse sügavustesse, vastasel juhul moodustab paks, ehkki suhteliselt madala lagunemisastmega ja kõrge imendumisvõimega turbakolonn ikkagi selle traditsioonilise, suhteliselt õhukese, soopinnalähedase akrotelmi kihi, mille piires toimub sademetest sõltuva sooveetaseme dünaamika.

Lähtudes Ilomets et al. (in Pensa et al., 2007–2012) turba stratigraafia uuringute tulemustest, esinevad Selisoo raba lõunapoolses raba massiivis puurimisega tuvastatud peaaegu vabaveelised, turbaga segunenud püdelad kihid, millede sügavus jaamas PA9 oli 214–217 cm, jaamas PA10 oli 363–373 cm, jaamas PA8 oli 83–100 cm ja jaamas PA12 oli 70–117 cm (Joonis 3.15).



Käsipuurimise koht		Turba paksus, m
Paiknevus rabalaamal	Tähis joonisel	
Puistuga rabalava	PA1	5,55
Peenar laugastikus	PA2	5,50
Puistunud turbavõtu koht	PA3	3,91
Metsakuivendusega raba-ala	PA4	2,76
Peenar-älves rabalaval	PA11	5,80
Puistuga rabalava	PA5	6,53
Peenar-älves rabalaval	PA13	5,79
Rabamets	PA14	6,36
Puistunud mätastik	PA15	4,71
Metsakuivendusega raba-ala	PA16	3,43
Puistunud peenar-älves rabalaval	PA6	6,89
Rabamets	PA7	4,69
Puistunud mätastik	PA8	4,10
Peenar-älves rabalaval	PA10	4,27
Metsakuivendusega raba-ala	PA9	2,87
Metsakuivendusega raba-ala	PA12	1,17

Joonis 3.15. Selisoo turbalasundi käsipuurimiskohtade paiknevus soo-alal (kopeeritud joonis Lode et al., 2011).



Joonis 3.16. Selisoo turba käsipuurimise tulemused (Pensa et al., 2007–2012 (Ilomets et al. käsikirjalised andmed 2007. aastast ja Lode et al. käsikirjalised andmed 2008. aastast), kus: R = turba lagunemise aste, %; puurimise kohtade paiknevus soo-alal vt Joonis 3.15.

3.1.6.2. Ratva raba

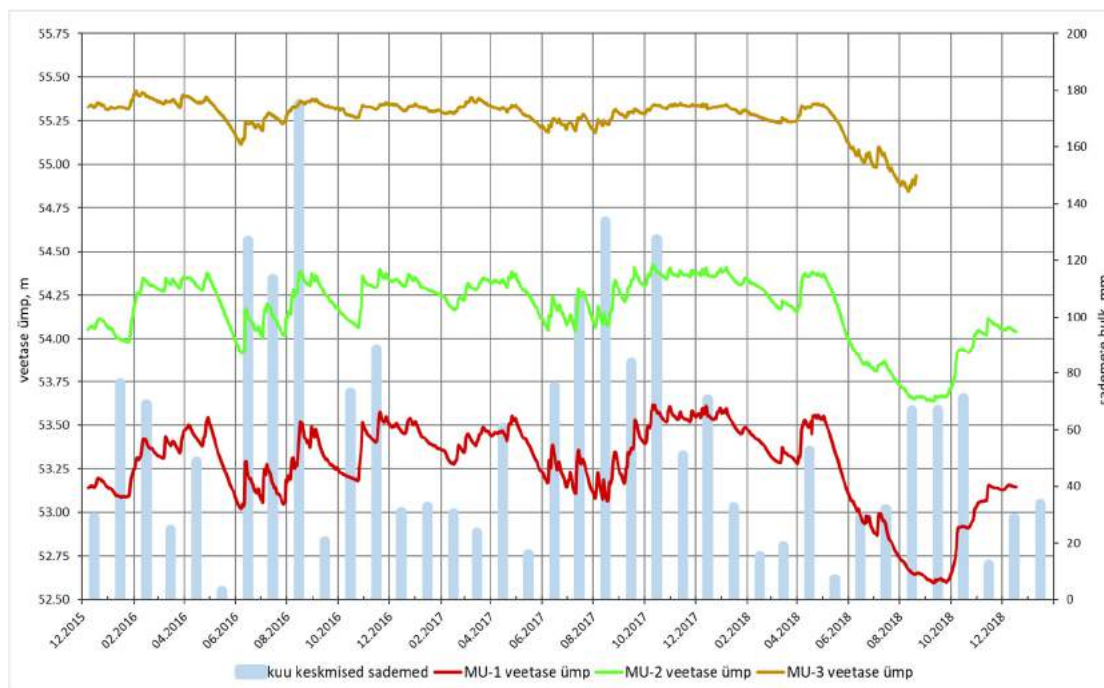
2019. aasta seisuga toimub Ratva raba põhjaosas Ojamaa kaevanduse mõju jälgimiseks põhja- ja pinnavee tasemete ning taimekoosluste seire. Seire tellimise kohustus on antud OÜ-le VKG Kaevandused vee erikasutusloaga L.VV/324788. Põhjavee ja soovee tasemete ning taimekoosluste seiret viib läbi Eesti Geoloogiateenistus. Ojamaa kaevanduse piirkonna pinnaveekogude pinnavee kvaliteedi seiret viib läbi Tallinna Tehnikaülikool. AS Enefit Kaevandused Estonia kaevanduse võimalikku mõju Ratva rabale seirama ei pea.

Põhjaveetaseme seiret on teostatud 2005. aastast kahes mõõtekohas Ratva raba ja Ojamaa kaevanduse vahel, alates 2008. aastast on seire automatiseeritud. Mõlemas mõõtekohas on rajatud kolm puurkaevu, kaks avavad Kvaternaari ja Keila-Kukruse veekihti ning kolmas avab ühes mõõtekohas Nabala-Rakvere ja teises mõõtekohas Lasnamäe-Kunda veekihti. 2015. aasta detsembris paigaldati kolm seirekaevu ka Ratva raba põhja piirkonda sooveetaseme mõõtmiseks (Pärn et al., 2019) (Joonis 3.11).

Ratva raba põhjaossa rajatud pinna- ja põhjaveetasemete seiresüsteemid on punktipõhised, erinevalt Selisoo transektipõhistest süsteemidest. Jooniselt 3.11 on näha, et sooveetaseme seirejaamad paiknevad Ratva raba turbalasundi “null-kontuuri” sees, kusjuures MU-1 ja MU-2 paiknevad kuivendatud märealal ning MU-3 kraavimõjutusega rabamassiivi serva/(nõlva?)alal.

Ratva raba sooveetaseme seireandmed (Joonis 3.17; Pärn et al., 2017) näitavad, et mõõteperioodi 2015–2018 jooksul oli raba servaala (MU-3) veetase vähima muutlikkusega, nii aastasiselt kui ka vaatusperioodi kohta. Suuremad kõikumised esinesid märealade (MU-2 ja MU-1) veetasemetes. Silmnähtavalt selge veetaseme langus aga toimus kõikides vaatlusjaamades perioodi 06.2018–10.2018 jooksul, hinnangulise langusega ca 50 cm raba serva-alal (MU-3), ca 70 cm kuivendatud puis-siirdesoo ning ca 90 cm kuivendatud puis-madalsoos (Joonis 3.17). Viimases aga nähti eelkõige sademetest sõltuva süsteemi veetasemete langust, mitte aga kaevandusest tulenevat

mõju (Pärn et al., 2019). Soo ja kaevanduse vahel asuvas kahes Kvaternaari veekihti avavas puurkaevus ei ole võrreldes 2005. aastaga olulisi muutusi täheldatud.



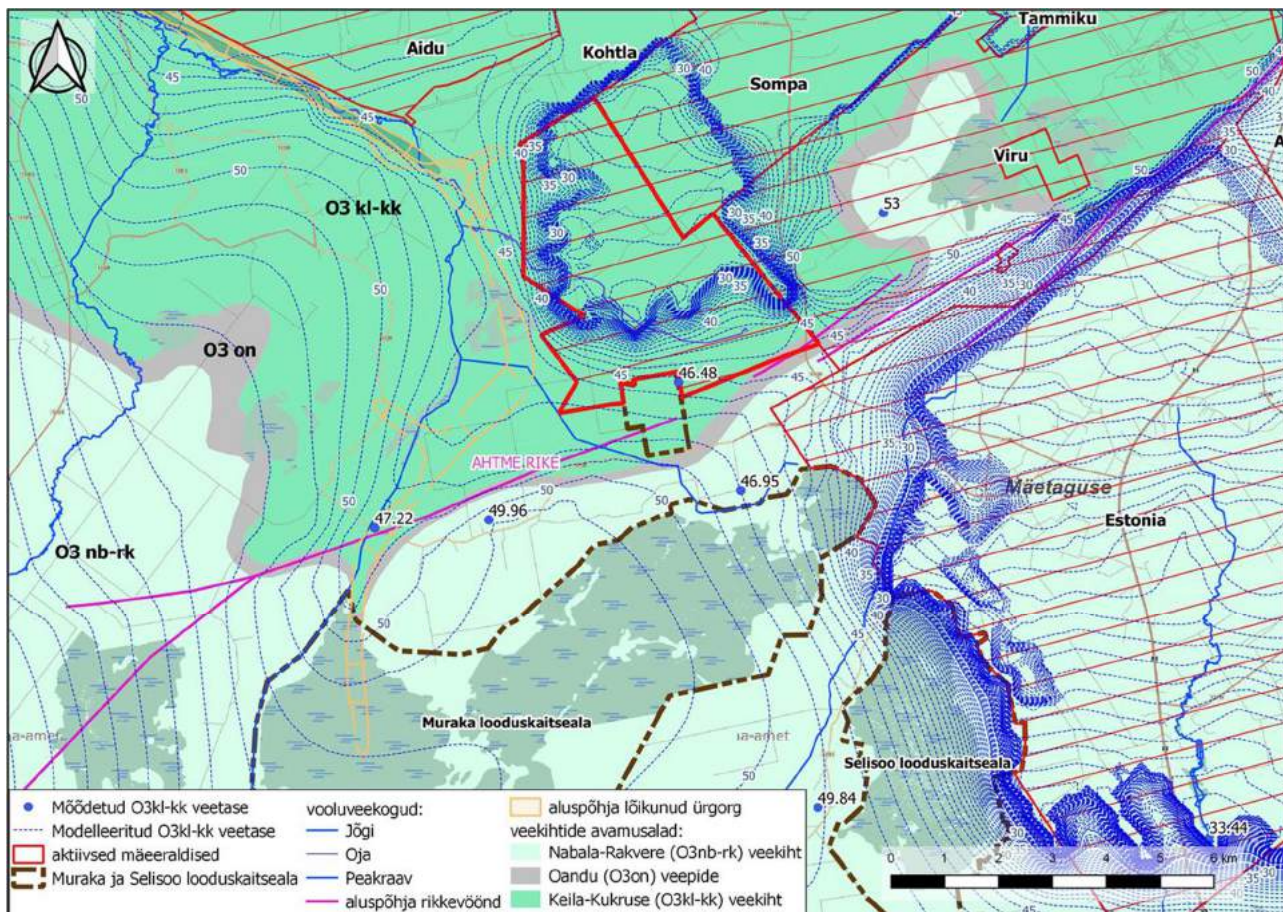
Joonis 3.17. Ratva raba erinevates sootüüpides paiknevate vaatluspunktide soovee veetasemete muutused perioodil 12.2015–01.2019 kohta, koos Jõhvi meteoroloogiajaama kuu keskmise sademete hulga, kus: MU1 – madalsooline mets kuivendatud märealal, MU2 – puis-siirdesoo kuivendatud märealal, MU3 – lageraba servaala (kopeeritud joonis Pärn et al., 2019).

Märkimisväärne veetaseme langus (ca 2,5 m) toimus 2017.–2018. aastal aga soole lähedases Keila-Kukruse veekihi Muraka seirekaevus ning väiksem veetaseme langus Nabala-Rakvere veekihi. Samal ajal Ojamaa kaevandusele lähemal asuvas Arvila seirekaevus sama veekihi veetasemetes anomaaliaid ei tuvastatud. Seega oletati, et tõenäoliselt on veekihile hakanud mõju avaldama hoopis ida poolt lähenev Estonia kaevandus. Nabala-Rakvere põhjaveekiht on vaatluskaevu piirkonnas muutunud vabapinnaliseks, mis viitab võimalusele, et ka Ratva raba alt on surveiline põhjaveekiht kadunud ja põhjavee toide soo servaaladele võib olla oluliselt vähenenud. Antud olukorras on tõenäoline, et vesi liigub peamiselt läbi soosetete sügavamale aluspõhjalisse veekihti (Pärn et al. 2019). Uuringu käigus läbiviidud hüdrokeoloogilise modelleerimise tulemused näitasid, et Estonia kaevanduse poolt tekitatud alanduslehtri mõju Muraka vaatlusposti Keila-Kukruse veekihile on võimalik (Joonis 3.18).

Taimekoosluste seiret teostatakse alates 2016. aastast kolmes seireruudus (Perens et al., 2016). Eesmärk on rakendada seiresagedust kord kolme aasta tagant. Seireruudud ühtivad sooveetaseme mõõtekohadega ning iseloomustavad madalsoo ja siirdesoo ökotoope kuivendatud märealal ning raba servaala ökotoopi.

Pinnavee veekvaliteedi seire raames määratakse neli korda aastas kaheksal Ojamaa kaevanduse piirkonna vooluveekogul vee kvaliteedinäitajaid ning käesoleva töö kontekstis on oluline, et alates 2004. aastast seiratakse neli korda aastas ka Ratva järve veetaset ning vee kvaliteeti (Pachel & Roosalu, 2019).

Ratva järve veetase on alates 2008. aastast olnud tugevas tõusutrendis (ca pool meetrit). Sellele on mõju avaldanud metsas paiknevate kuivenduskraavide sulgemine ja järve väljavoolupaisu rekonstrueerimine 2015.–2016. a (Pachel & Roosalu, 2019). Seega pole kaevandusega seotud veealandust Ratva järve veetasemes täheldatud. Samuti pole järve veekvaliteedis täheldatud kaevandustegevusega seostatavaid muutusi.



Joonis 3.18. Mõõdetud ja modelleeritud veetasemed Keila-Kukruse ja Nabala-Rakvere veekihi 2018. aastal (Pärn et al., 2019).

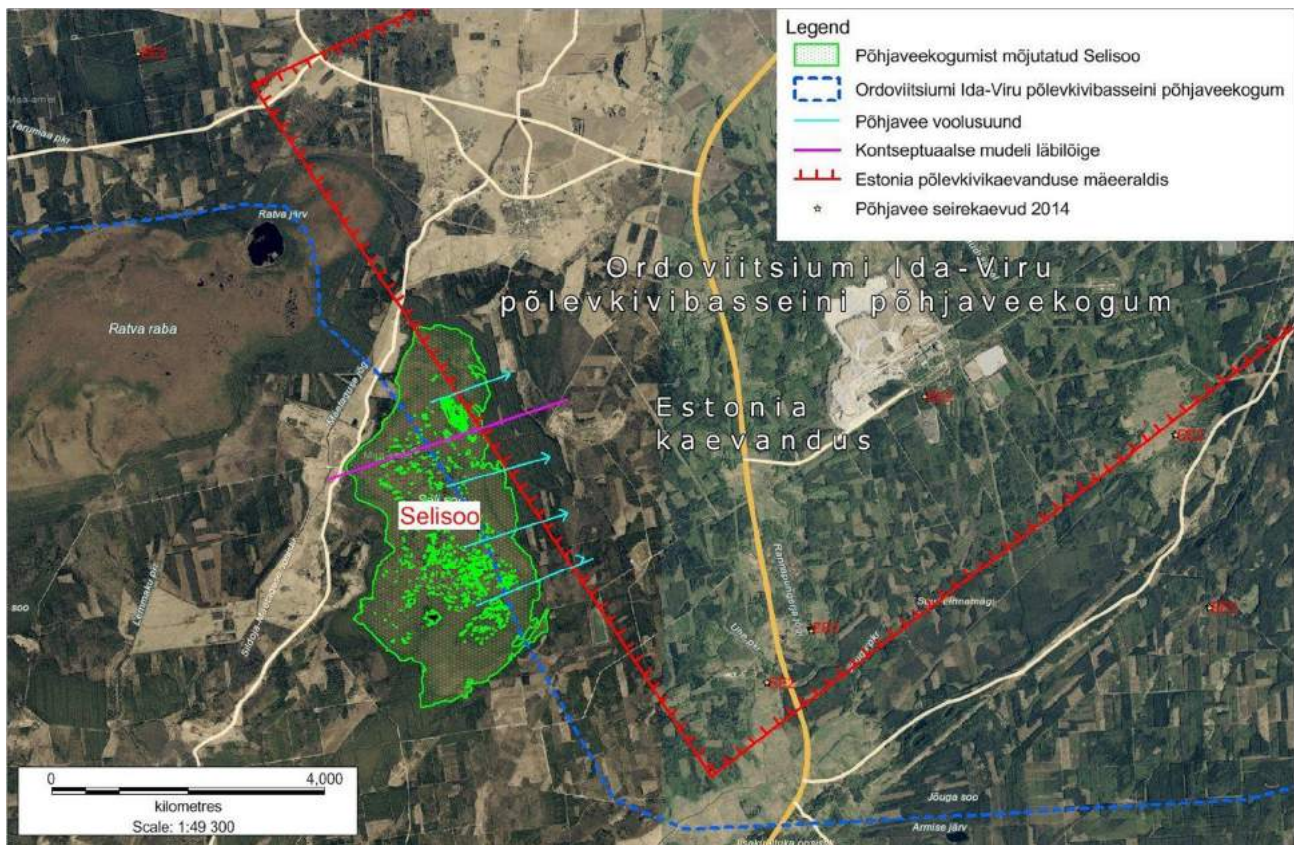
3.2. Kontseptuaalsed mudelid

3.2.1. Selisoo

Selisoo on tugevate mäeala häiringutega soo, mille tuumikalaks olev rabaosa on säilitanud suhteliselt kõrge looduskaitse väärtuse. Seoses sellega, et Selisool puudub looduslikult toimiv mäeala, on olemasolevate kuivenduskraavide ja allmaakaevanduse veealanduse koostöuna kumuleerunud äärealade degradeerunud soo-ökosüsteemide seisund potentsiaalseks ohuks eeskätt raba-ala nõlva ja kaugemas perspektiivis *võibolla ka* lava-ala serva ökosüsteemidele. Ehkki olemasolev kraavitus on osaliselt kinni kasvanud, siis praktikast on teada, et selliselt “täiskasvanud” kraavid ei ole piisava veepeetusega, minimeerimaks nii mäeala pinnavee antropogeenseid väljavoolusid ja/või ka infiltratsioonikadusid.

Seoses allmaakaevanduse veealandusega, satub “surve alla” ka Selisoo rabalasundi alumises kihistis olev kõrge lagunemisastmega madaloolise turba kiht ning selle alla jäävate mineraalse pinnakatte ja Oandu lademe savikatest lubjakividest ja merglitest koosneva Oandu-Keila veepideme veepidavusvõime.

Selisoo kohta Terasmaa et al. (2015) töös koostatud kontseptuaalse mudeli pealtvaade (Joonis 3.19) kehtib ka värskemate andmete valguses. Kaevanduse liikumisel Selisoolle lähemale on põhjaveetaseme alanduslehter jõudnud ka soo alustesse Kvaternaari setetesse ning jätkub põhjavee liikumine kaevanduse poole.



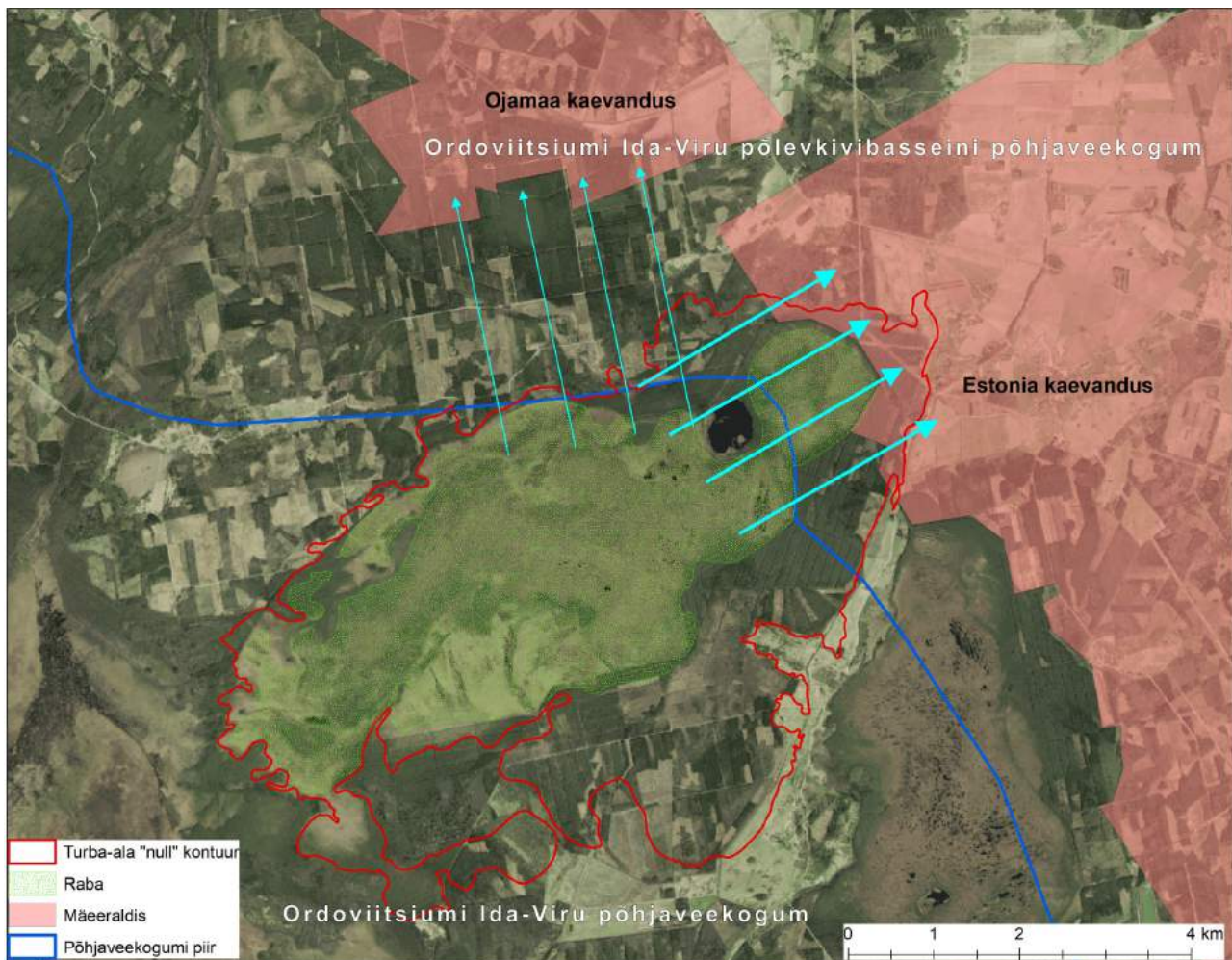
Joonis 3.19. Kontseptuaalne mudel Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini veekogumi põhjavee liikumise suundadega allmaakaevandusega seotud veealanduslehtri laienemisel idast läände. Mäeeraldis on kujutatud 2015. aasta seisuga (kopeeritud joonis Terasmaa et al. 2015).

3.2.2. Ratva raba

Ratva raba on tugevate mäeala häiringutega soo-ala, mille tuumikalaks olev rabaosa on säilitanud suhteliselt kõrge looduskaitsele väärtuse. Kogu Ratva raba, ja edelapiiril olev Lipu ja Ratva raba vaheline mineraalkünnis, on ümbritsetud metsakuivenduse kraavitusega. Metsastumine on toimunud kõikjal soo piirialadel, looduslikku siirde- ja madalsood praktiliselt enam ei ole, tuumikalaks olev raba-ala on kuivendusest vähem mõjutatud (Kalm & Kohv, 2012).

Pärn et al. (2019) mudeltulemused, põhjavee alanduslehtri kujunemisel Keila-Kukruse veekihi (Joonis 3.18), näitavad, et kirjeldatud Ratva raba põhjaosa jääb suuremas osas pigem Estonia allmaakaevanduse poolt tekitatud põhjavee depressioonilehtri levikuala raadiusesse ning vähemal määral Ojamaa kaevanduse levikuala piiridesse. Seoses allmaakaevanduse veealandusega satub analoogselt Selisoole “surve alla” ka Ratva raba turbalasundite alumiste kihistuste ning mineraalsete veepidemete veepidavusvõime.

Kuna eelkõige Ratva raba kirdeosas on turbakihi alune kvaternaarisetete kiht väga õhuke ning erinevates kirjandusallikates sisalduv osutab otsesele põhjaveelisele seosele või vähemalt minevikus toimunud põhjaveelisele seosele, siis allmaakaevandusega tekitatav pinna- ja pinnasevee defitsiidi kujunemise potentsiaalne oht, nii mäeala kui ka neist sõltuvates raba ökotopide ökosüsteemides, on kõrge. Kaevanduste tõttu võib hakata soolune põhjavesi voolama kaevanduskäikude poole (Joonis 3.20) ning kraavivõrgustiku kõrge infiltratsiooni juures või muudes madaloolistes või siirdesoolistes ökotopides, võib see kaasa tuua soovee taseme languse.



Joonis 3.20. Ratva raba kontseptuaalne mudel pealtvaates. Siniste nooltega on tähistatud soopinna aluse põhjavee võimalikku äravoolu kaevanduste suunas. Noolte paksus iseloomustab äravoolu potentsiaalset suurust.

3.2.3. Veebilansilised kontseptuaalsed mudelid

Pinnavee hüdroloogias mõistetakse veebilansi all teatud ajaühikus veesüsteemi siseneva ja väljuva veemahu tasakaalustatud väljenduse vormi, mille lihtsustatud vormiks on teatud ajaühiku kohta kehtiv veebilansi võrrand: $P = Q + E + \Delta S$ (valem 1), kus: P – süsteemi sisenevate atmosfäärsete sademe kogused (mm), Q – süsteemist väljuvate pinnavee äravoolude kogused (mm), E – süsteemi veekaod läbi evapotranspiratsiooni (mm) ning ΔS – veevaru muutus süsteemis (mm).

Vooluvee süsteemis, kus äravoolu formeerumisel on oluline roll ka põhjaveel lisandub veebilansi võrrandisse põhjavee sisse- ja väljavoolu iseloomustav parameeter ning teatud ajaühiku kohta kehtivaks veebilansi võrrandiks saab: $(P + G_{in}) - (Q + E + G_{out}) = \pm \Delta S$ (valem 2), kus: G_{in} ja G_{out} on vastavalt süsteemi sisenevad ja süsteemist väljuvad põhjavee kogused (mm). Juhul, kui veevaru muutus süsteemis on negatiivne, siis on süsteemis aset leidnud veevarude vähenemine ja positiivne veevaru muutus tähendab veevarude suurenemist süsteemis.

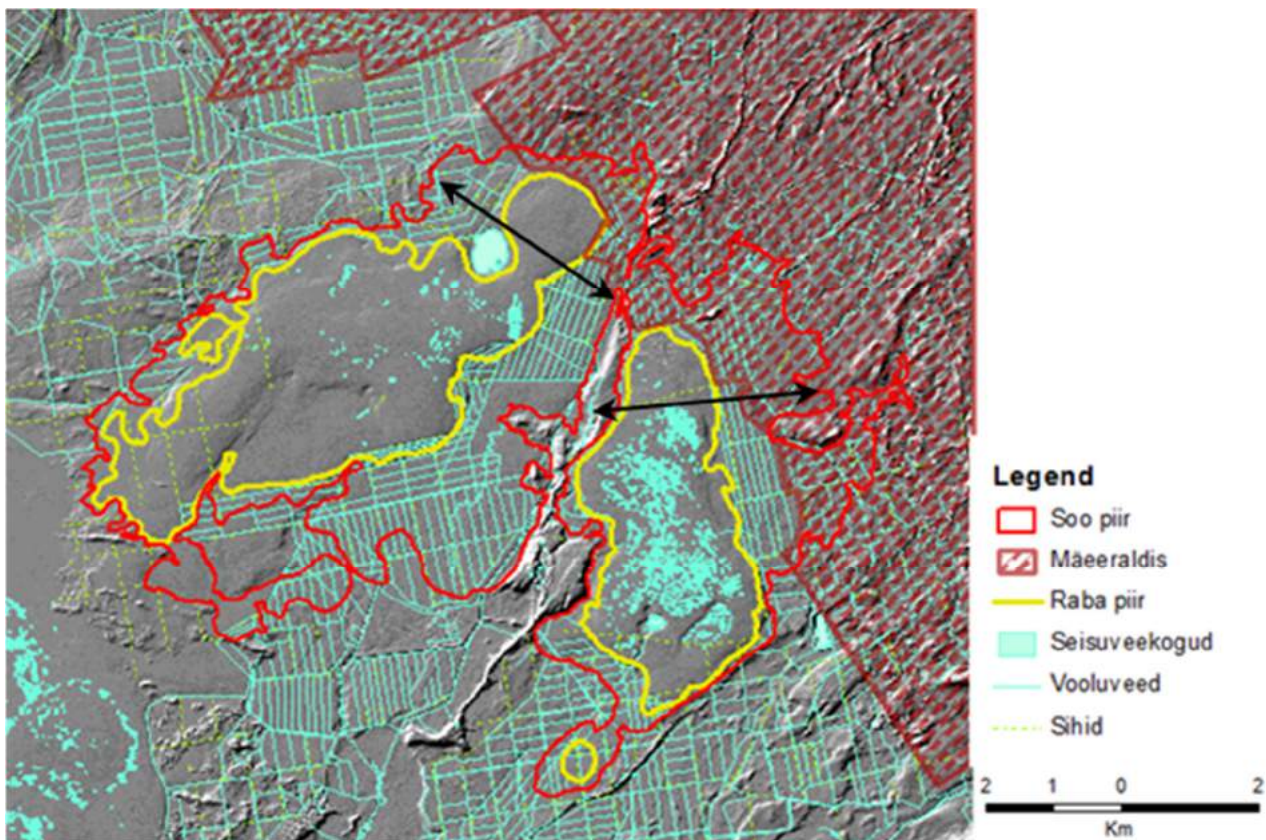
Veebilansiliste seoste graafiliste vormide ehk veebilansiliste kontseptuaalsete mudelite koostamise eesmärk on antud juhul markeerida Selisoo ja Ratva raba veekeskkonda kujundavad olulisemad tegurid, näidata nende omavahelisi seoseid valitud ristlõigete piires (Joonis 3.21) ning formuleerida pilootuuringute ja seiretegevuste ettepanekud.

Ratva raba ja Selisoo veebilansiliste kontseptuaalsete mudelite koostamise eeldusteks oli:

- 1) Lähtuvalt kirjandusallikates toodud kirjeldustest Ratva-Selisoo all lasuvate põhjavee kihistute ja allmaakaevandusest tingitud põhjavee alanduslehtrite leviku kohta on jõutud tõdemuseni, et "...alanduslehtri peamiseks ohuks on Kvaternaari pudedates setetes

olevate vabapinnaliste veekihtide vee intensiivsem liikumine vee kõrvaldamisest otseselt mõjutatud sügavamatesse aluspõhja veekihtidesse.” ning, et “see võib ebasoodsates hüdrogeoloogilistes oludes põhjustada pinnaseveetaseme langust, mis võib tundlikes ökosüsteemides” pikas perspektiivis põhjustada väljakujunenud taimestiku struktuurimuutusi (Kutsar, 2017).

- 2) Olemasolev, nii soovee kui ka põhjavee tasemete seireandmestik viitab allmaakaevandusega seotud põhjavee alanduslehtri mõju-ala laienemisele “soode alla”, seda eriti soode all lasuvates sügavamates veekihtides. Soode raba-laamadel soovee tasemetes sellist selget trendi (veel) ei täheldata (Kohv, 2019; Pärn et al., 2019)
- 3) Enamuses Ratva-Selisoo käsitlustes, seoses allmaakaevanduse poolt tekitatud põhjavee alanduslehtri levikuga “soode alla”, on eiratud soomaastike toime terviklikkuse põhimõtet, st eiratakse juba olemasoleva ning allmaakaevandamisega seotud häiringute potentsiaalset kumulatiivse negatiivse mõju kasvu soo märealade ökosüsteemidele ning märealadega seotud negatiivse mõju kasvu säilinud raba-alade ökotoopidele. Näiteks võiks tuua Selisoo ökotoopide seisundi põhjal hinnatud soo üldine hinnang, kus ainult ca 396 ha (so 19%) kogu soo-alast on looduslikus seisundis (Lode et al. 2011). Ratva raba kohta taoline detailne hinnang puudub.
- 4) Ühe soola ehk soola „null-kontuuri“ sisse jäävate rabamassiivide ja madalsooliste märealade veebilansilised seosed on erinevad.
- 5) Siirde ja madalsoolised märealad (sh rabalaamadevahelised) moodustavad **põhjaveest otseselt sõltuvad ökosüsteemid.**
- 6) Soode tuumikalasid moodustavad raba-alad moodustavad **põhjaveest kaudselt sõltuvad ökosüsteemid.**



Joonis 3.21. Ratva raba ja Selisoo veebilansiliste kontseptuaalsete mudelite aluseks võetud ristprofiilide asukohad.

Hüdroloogilis-maastikuliselt on raba-ala veebilansilised tingimused sarnased mõlemal pool raba-lava "pinnavee äravoolu veelahet" (Joonis 3.22 ja Joonis 3.23), st: a) raba-alale langevad sademete (P_r) ning evapotranspiratsiooni (E_r) kogused on sarnased, b) raba pinnani jõudnud sademete kogused (P_r) moodustavad raba massiivi ülemises ehk akrotlemikihis soovee vabaveelise veepeegli, mis üldjuhul järgib rabapinna topograafiat ning mille aasta keskmine sügavus rabapinnalt võetuna ei lange Eesti tingimustes allapoole 25–40 cm (Linnusaare ja Männikjärve raba 50 a andmestik Lode et al., 2017).

Akrotelmi kiht on ainuke vabaveeline veekiht raba-aladel, millest väljavoolude formeerumiseks piisab rabavee taseme tõusust 5–10 cm, st mida kõrgemal on sajueelne veetase raba-alal seda kiiremini moodustub raba-ala äravool, mis tegelikkuses on sademetega saadud veemahu ülejääk evapotranspiratsioonist ja äravoolu formeerumise piirkõrguseni täitunud veemahust rabamassiivis. Üldistatult saab äravoolu (Q) mahtu mõlemal pool raba-ala veelahet väljendada seose $Q = P - E$ kaudu (Joonis 3.22 ja 3.23).

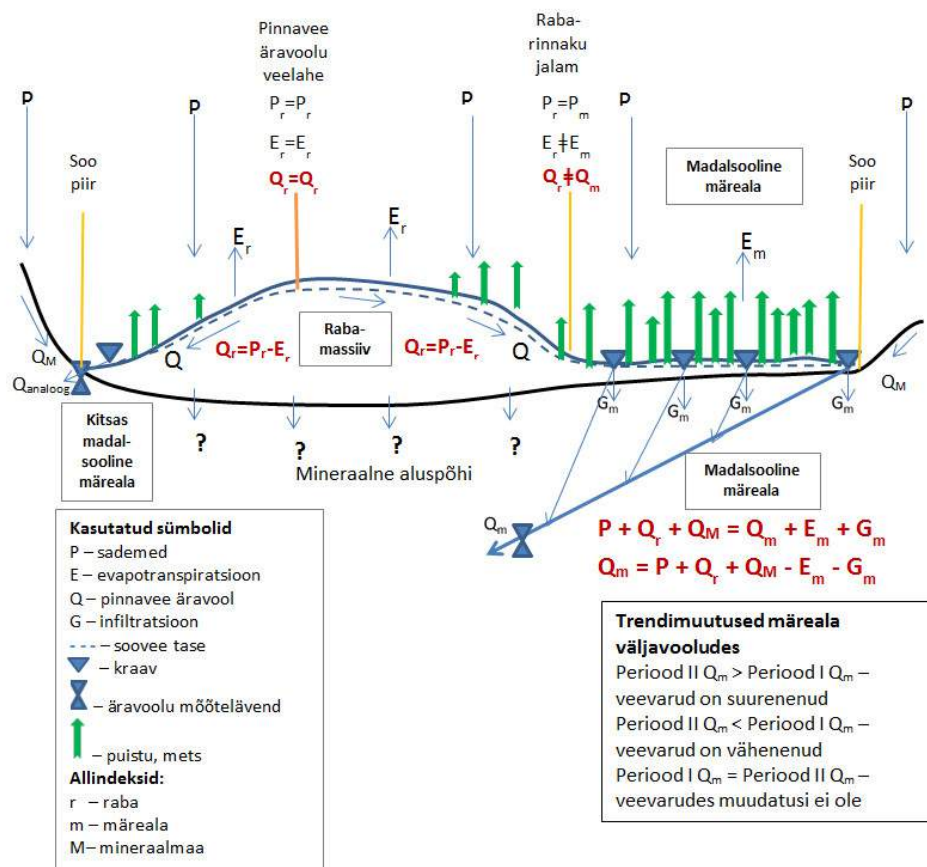
Metsakuivendusega märealal (sh rabamiisivide vahelistel siirde- ja madlasoo ökotoopidel) on veebilansi negatiivseteks komponentideks veekadu evapotranspiratsiooni (E_m) kaudu kraavitusega metsa alalt, ning infiltratsioon (G_m) mineraalsesse pinnasesse kraavipõhjade kaudu, mis veebilansi tasakaalu tingimustes ($P + Q_r + Q_m = Q_m + E_m + G_m$) peaks võrdsustuma raba-alalt (Q_r) ning ümbritsevalt mineraalmaalt (Q_m) formeeruva äravoolude sissevooluga märealale ning maapinnani jõudvate atmosfäärsete sademetega (P). Süsteemi pinnaveeline ülejääk aga formeerub märeala väljavooluks (Q_m). Juhul, kui võrreldavate perioodide (aasta, sesoon, kuu) äravooludes esineb erinevusi, st kui Periood II $Q_m >$ Periood I Q_m on süsteemi veevarud suurenenud ning kui Periood II $Q_m <$ Periood I Q_m on süsteemi veevarud vähenenud. Süsteemis pole aga muutusi toimunud, kui Periood I $Q_m =$ Periood II Q_m (Joonis 3.22 ja 3.23).

Sarnased veebilansilised seosed kehtivad ükskõik millise sama sooala piires toimivas pinnavee valgla. Seega, kui sama sooala kahe valgla võrdluses on samade perioodide väljavoolud kvantitatiivselt erinevad (st $Q_{\text{analoo}} \neq Q_m$), siis viitab see sarnastes sademete (P) ja evapotranspiratsiooni (E) tingimustes olevate valgla-süsteemide veemahu muutuste muudele komponentidele nagu näit. infiltratsioon (G_m) pinnasesse, st kui $Q_{\text{analoo}} > Q_m$ ning põhjaveelist juurdevoolu, juhul kui $Q_{\text{analoo}} < Q_m$ (Joonis 3.22 ja 3.23).

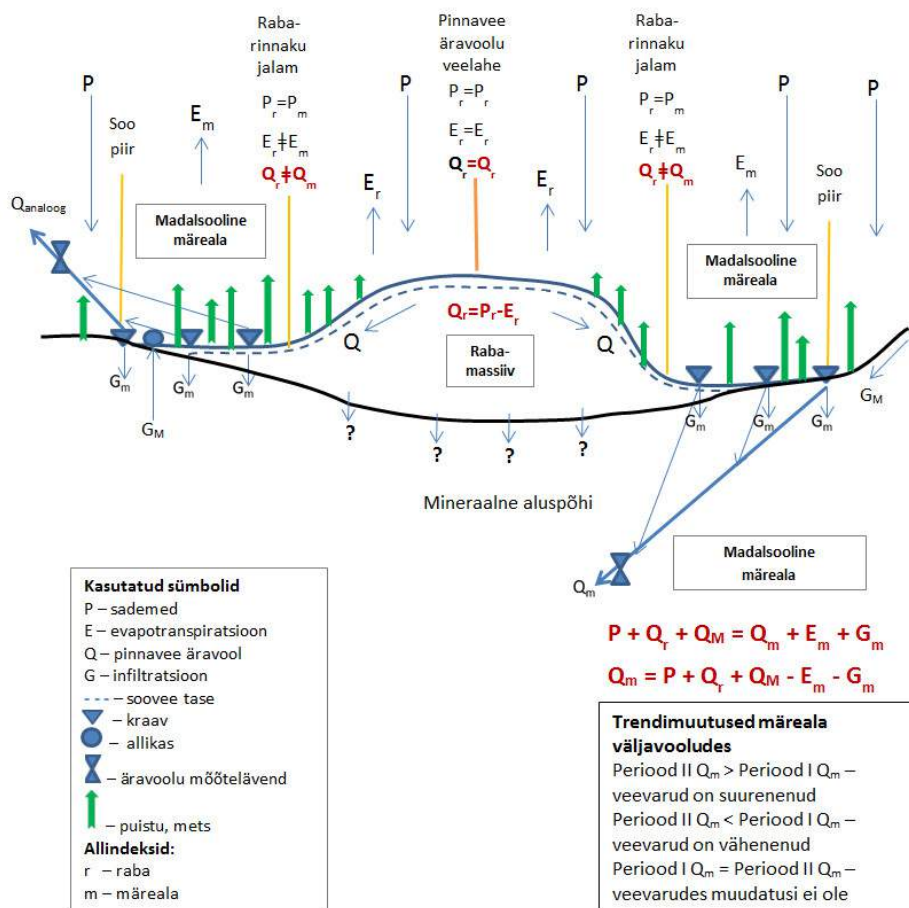
Allmaakaevandusega seotud põhjavee alanduslehtri mõju suurenemisega vaadeldavatel raba-alade märealadel peaks põhimõtteliselt kajastuma süstemaatilises $Q_{\text{analoo}} > Q_m$ seoses säilimises pikemalt kui viie aastase perioodi vältel.

Kui aga võrrelda Ratva raba ja Selisoo veebilansilisi konseptuaalseid mudeleid omavahel, siis ainukeseks erinevuseks on Selisoo idapoolse osa ilmselt kõrgem veekadude potentsiaal seoses Estonia allmaakaevandusest tingitud põhjavee alanduslehtri laienemisega "soo alla", samal ajal kui Ratva raba põhjaosas on see oht seotud nii Ojamaa kui ka Estonia kaevandusega, momendil ilmselt madalama potentsiaaliga, võrreldes Selisoo idapoolse osaga.

Koostatud kontseptuaalsetes mudelites ei kajastu ka valitud ristprofiilide piirkondadesse jäävate oluliste seisuveekogude veebilansilised seosed. Ratva raba puhul on selleks pinnavee väljavooluga Ratva järv ning Selisoo puhul on selleks soo kirde-osasse jääv peenar-laugas ökotoobist suurim laugas – Seli raba laugas. Põhjaveest sõltuvate ökosüsteemide kontekstis võivad seisuveekogud osutada põhjavee negatiivsete mõjude tundlikemaks indikaatoriteks, võrreldes rabalaamadega. Kuid vastav lähtematerjal momendil selleks puudub (Seli raba laugas) või pole see piisav (Ratva järv).



Joonis 3.22. Selisoo ristprofili veebilansiline kontseptuaalne mudel.

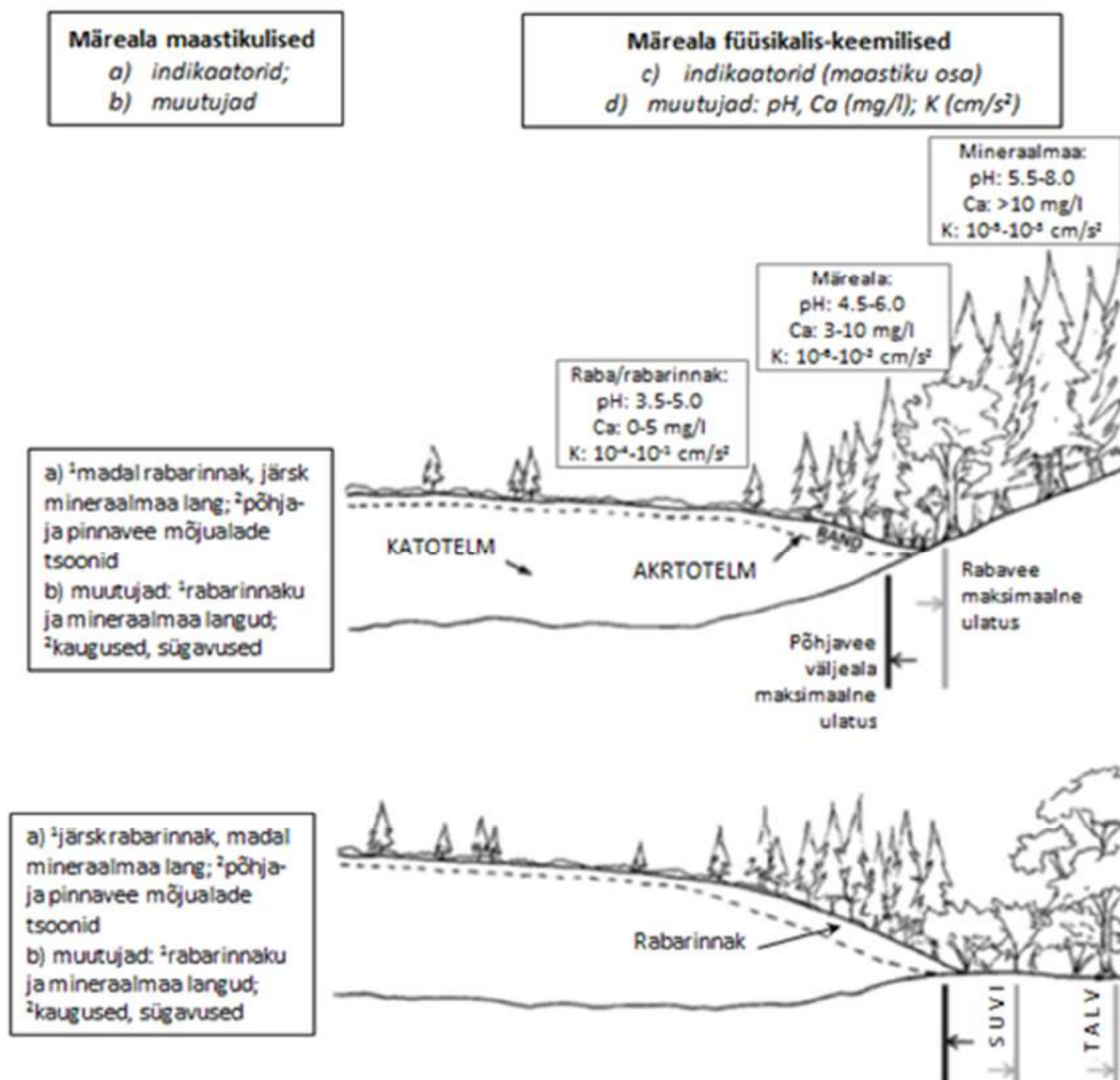


Joonis 3.23. Ratva raba ristprofili veebilansiline kontseptuaalne mudel.

3.3. Ettepanekud seireks

3.3.1. Põhimõtted rabatumikutega soode seireks

Klassikalisest definitsioonist lähtudes nimetatakse põhjaveest sõltuvateks ökosüsteemideks selliseid ökosüsteeme, mille olemasolu sõltub põhjaveest (Richardson et al., 2011). Seetõttu peaksid selliste süsteemide seisundi hindamise kriteeriumid olema seotud nii pinnavee kui ka põhjavee muutujatega. Tavapäraselt jaotuvad need kriteeriumid: a) füüsilisteks (näit kogused, asukohad, ajastus, esinemissagedus, põhjavee välje- või imbeaeg, vee temperatuur jt) ja b) keemilisteks ehk veekvaliteedilisteks (näit soolsus, toitelisus, vee temperatuur) (Richardson et al., 2011). Vastavalt Richardson et al. (2011) järgi kuuluvad ka pinnavee äravoolud põhjaveest sõltuvate ökosüsteemide struktuuri muutujate hulka ning seoses sooladega on Howie & van Meerveld (2011) järgi olulised indikaatorid ja muutujad seotud märealadega, milledeks on: a) rabarinnaku ja märeala ümbritseva mineraalmaa topograafilised ja veekeskonna morfoloogilised näitajad ning b) märeala füüsikalise-keemilised muutujad nagu nt vee pH ja Ca kontsentratsioon (mg/l) ning hüdraulilise juhtivuse (K) näitajad (Joonis 3.24). Süsteemis rabalaam-märeala-mineraalmaa kasutatakse tavapärase trendimuutuste näitajatena: a) taimestiku gradiente ja nende muutusi ajas, b) hüdroloogilisi ja hüdraulisi gradiente ja nende muutusi ajas, c) veekvaliteedi elementide gradiente ja nende muutusi ajas, d) pinnase veejuhtivuse gradiente ja nende muutusi ajas (vt nt Howie et al., 2009).



Joonis 3.24. Kontseptuaalne mudel indikaatoritest ja muutujatest põhjaveest sõltuvate ökosüsteemide seisundi määramiseks süsteemis rabalaam-märeala-mineraalmaa (kohandatult Howie & van Meerveld, 2011).

Fluviaalse vooluvee poolt formeerunud äravoolude dünaamika, selle seire ning seire tulemusel koostatud hüdrograafide analüüs on üks alustegevusi jälgimaks ja hindamaks süsteemis toimivaid veemahu muutusi. Reeglina sõltuvad vooluveelised väljavoolud rabalaamadest olemasolevast vee kogusest turbamassiivi akrotelmi kihindis, ehk veetaseme piirväärtusest, alates millest formeerub rabalaamal horisontaalne äravool. Kuid äravooluks kujuneva veetaseme piirväärtus omakorda sõltub nii õhutemperatuuri ja sademete koosmõjust, samaaegselt ala topograafiast (sh mikrotopograafia) ning maakattest. Kuna rabalaamade (soo)veemahu kihindiks on rabamassiivi kõige ülemine ning sademetest toituv akrotelmi kiht, siis on nende alade valgate hüdrograafid piigilise iseloomuga, neis puudub põhjaveest formeeruv baasäravool. Ajaline viive pinnale langevate sademete ja äravoolu formeerumise vahel viitab kaudsest veetaseme seisule äravoolu formeerumise alal ning ajaline vahe äravoolu piigi alguse ja lõpu vahel iseloomustab ala sademevee puhverdusvõimet. Raba-aladega võrreldes on looduslikes tingimustes olevate madalsooliste märealade hüdrograafidel võimalik eristada põhjavee poolt formeerunud baasäravoolusid ning üldjuhul on nende äravoolude moodulid kõrgemate väärtustega. Võrreldes sama alal toimivate erinevate valgate äravoolude dünaamikat, nende reaktsioone sademetele, mooduleid ning põhjaveelisi baasäravoolusid, on võimalik anda hinnang äravoolusid formeeruvate valgate seisundite kohta.

3.3.2 Selisoo

Seoses allmaakaevandamisega seotud põhjavee alanduslehtri laienemisega “Selisoo alla” tuleb jätkata juba toimivat sooveetaseme muutuste transektipõhist seiret Selisoo idaserval ning alustada taimkatte muutuste regulaarseiret rajatud transektidel vastavalt koostatud seiremetoodikale (ptk 3.1.6.1). Samas tuleb olemasolevat seirevõrgustikku täiendada allmaakaevandusest tingitud põhjavee alanduslehtri mõjualast väljapoole jääva analoog-valgla seirega. Seiratava analoog-valgla, sh analoog veetasemete-transekti olemasolu võimaldaks näiteks suurema kindlusega vaatlusandmetest „maha arvata“ ilmastikuga seotud sesoonsed või ekstreemsed mõjutused. Sellist põhimõtet pinnavee hüdroloogias nimetatakse pinnavee dünaamika jälgimise analoogmeetodiks. Sobilikuks piirkonnaks sellisele valgla Selisoo on mudeltulemuste põhjal valgla nr 22 jooniselt 3.25, millele tuleb luua **soovee- ja Kvaternaari põhjaveetaseme ning taimkatte analoog-transektid ning äravoolu registreerimise lävend**. Kõik valgetel registreeritud sooveetasemed tuleb lisaks absoluutsetele kõrgustele esitada ka suhtelistes kõrgustes, st allpool soopinda.

Joonisel 3.25 esitatud valglad nr 21 ja 30 kajastavad soo mõjutatud piirkondi ning katavad ka olemasolevaid soovee ja põhjavee jälgimise transekte, vastavalt põhja- ja lõunatransekti. Seepärast teeme ettepaneku **luua äravoolu registreerimise lävendid** ka valgetele nr 21 ja nr 30.

Valgla nr 30 ühtib Selisoo idaserva taastamisalaga, vastavalt Selisoo looduskaitseala kaitsekorralduskavale aastateks 2017–2026 (Amos, 2016). Seepärast oleks taastajal mõistlik kaaluda võimalust lisaks veetasemete seiramisele luua ka väljavoolude registreerimise lävend, mille olemasolu korral oleks võimalik näidata, kuidas sellistes rabanõlva-märeala taastamistingimustes muutub väljavoolu-dünaamika, ning kuidas reageerib taastumisele turbakihi all oleva mineraalpinna põhjaveetaseme.

Soovitatud transektide/valgate piirkonnad tuleb varustada ka mineraalsesse maapinda ankurdatud soopinna tasemete muutusi registreerivate mõõteriistadega/-vahenditega, mis on hädavajalikud kaugseire andmete sidumiseks ja kontrolliks soopinna tasemete muutuste interpreteerimisel. Lisaks laiendavad maapealsed mõõtmised oluliselt muutuste dünaamika jälgimist võrreldes kaugseire ülelendude tihedusega üle soolade. Topograafiline soopinna taseme langus absoluutkõrgustes on ka tõenduseks turbamassiivide, eriti rabamassiivide, “kokkuvajumise” ning ülevalt alla turbakoloni tihenemise kohta. Rabapinna kõrguste muutusi registreeriv riistvara tuleb paigaldada veetasemeid registreeritavate jaamade lähedusse, kuid väljaspool vaatlemisega tekitatavaid soopinna kõrguse mõjutusi. Empiirilisel on vastavaid vaatlusi võimalik läbi viia soopinna geodeetiliste mõõdistustega, paigaldatud püsipunktides, tihedusega vähemalt kaks korda

aastas, soovitavalt kevadisel suurvee ajal, pärast külmunud kihistute kadumist turbamassiivis ning vegetatsiooniperioodi veevaesel ajal, enne sügiseste vihmaperioodide algust.

Kuna Selisooga seotud projektid on enamuses tegelenud Selisoo raba-alaga, siis käesolevas töös pakutud seirevalgla nr 22 oleks enim looduslikus seisundis säilinud analoog-valglaks kogu Selisoo raba-alale. Selle valgla väljavoolude dünaamika oleks ka pidepunktiks jälgimaks võimalikku kliimast tulenevat raba-ala „kokkuvajumist“ ja samas oleks see ka taust-alaks sellele perioodile, kui allmaakaevandamine on lõppenud ning kaevanduse täitumisest veega loodetakse mõjutatud soo-osade veekeskkonna taastumist.

Seli raba laukas (VEE203462) tuleb alustada veetaseme seirega. Juhul, kui tuvastatakse veetaseme ebatavaline alanemine, tuleb läbi viia lauka põhja uuringud, et tuvastada võimalik seos põhjaveega. Põhjauuringuteks saab kohandada väikejärvede puhul kasutatavat settekihi kaardistamise metoodikat, mille puhul kombineeritakse georadari uuringut põhjasondeerimisega, et selgitada välja põhjasetete iseloom ning veekogu eraldatus/seotus mineraalse pinnakattega ning aluspõhjaliste veekihtidega. Põhjavee kaudu avaldub veetaseme languse mõju võib sõltuvalt lauka põhjasetete iseloomust hakata eelkõige mõju avaldama just suuremate laugaste veetasemele.

3.3.3 Ratva raba

Ratva raba olemasolev põhjaveetaseme langusest tingitud võimalikke seisundi muutusi registreeriv seirevõrk on erinevalt Selisoo transektipõhisest seirevõrgust punktipõhine ning oluliselt hõredam (vt ptk 3.1.6.2). Võrreldes aga Selisooga, viitavad Ratva rabaga seotud mitmed kirjandusallikad võimalikule otsesele põhjaveelisele seosele nii Ratva järves, järve ümbruses kui ka rabamassiivi väljavoolumäredel. Arvestades juba kogutud andmestikku, on otstarbekas olemasolevates sooveetaseme ja taimkatte seirekohtades seiret jätkata. Kindlasti on oluline jätkata ka Ratva järve veetaseme seiret, kuna tõenäolise seose tõttu aluspõhjalise või vähemalt mineraalse pinnakatte põhjaveekihi, võib järv olla võimalikule põhjaveetaseme langusele rabast tundlikum. Samas on soovitatav alustada olemasolevates sooveetaseme mõõtekohtades sarnaselt Selisoole **ka turba-aluse mineraalse pinnakatte põhjaveetaseme seiret ning rajada täiendav seirekoht rabalaamale olemasoleva madal soo ja siirdesoo seirepunktidega samale transektile, nagu on soovitanud ka Pärn et al. (2019).**

Oluline on **jälgida Estonia kaevanduse lähenemise võimalikku mõju Ratva rabale.** Kalm & Kohv (2012) ning Kutsar (2017) on teinud ettepanekud kahe seirekaevu rajamiseks Ratva raba kirdepiirile nii Nabala-Rakvere kui ka Keila-Kukruse veekihi veetasemete seiramiseks. Nimetatud seirekaevud tuleb kindlasti rajada ning lisaks tuleb alates sellest mõõtekohast raba keskosa suunas rajada Selisoole sarnane seirekaevude transekt, kus jälgitakse nii soovee taset kui ka soolust põhjavee taset. Väga õhukese mineraalse Kvaternaari sette kihindi tõttu turbalasundi all, võib osa Ratva rabast olla põhjaveetaseme languse suhtes tundlikum kui Ojamaa kaevanduse poole jääv rabaosa.

Sarnaselt Selisoole tuleb ka Ratva rabal luua vähimate häiringutega soo-osadele veetasemete, taimestiku ja soopinna analoog-transektid ning äravoolu registreerimise lävendid nii mõjutustega kui võimalikult vähimate mõjutustega valglate suudmealadele.

Ratva raba soovee- ja põhjaveetasemete, taimestiku ja soopinna analoog-transektiks sobilikud vähima häiringuga alad on mudeltulemuste põhjal saadud valglad nr 29 ja 33 (Joonis 3.25). Valgla nr 29 oleks eeldatavasti võrreldav Selisoo analoog-valglaga nr 22, mis jääb täielikult rabalaama alale. Valgla nr 29 esindaks mudeltulemuste põhjal aga raba-ala ja sellele vastava vähima häiringuga märeala integreeritud pinna-põhjavee toimet. Selline uuringu seireala oleks heaks analoog-alaks ka Selisoo idaserva taastatavele alale.

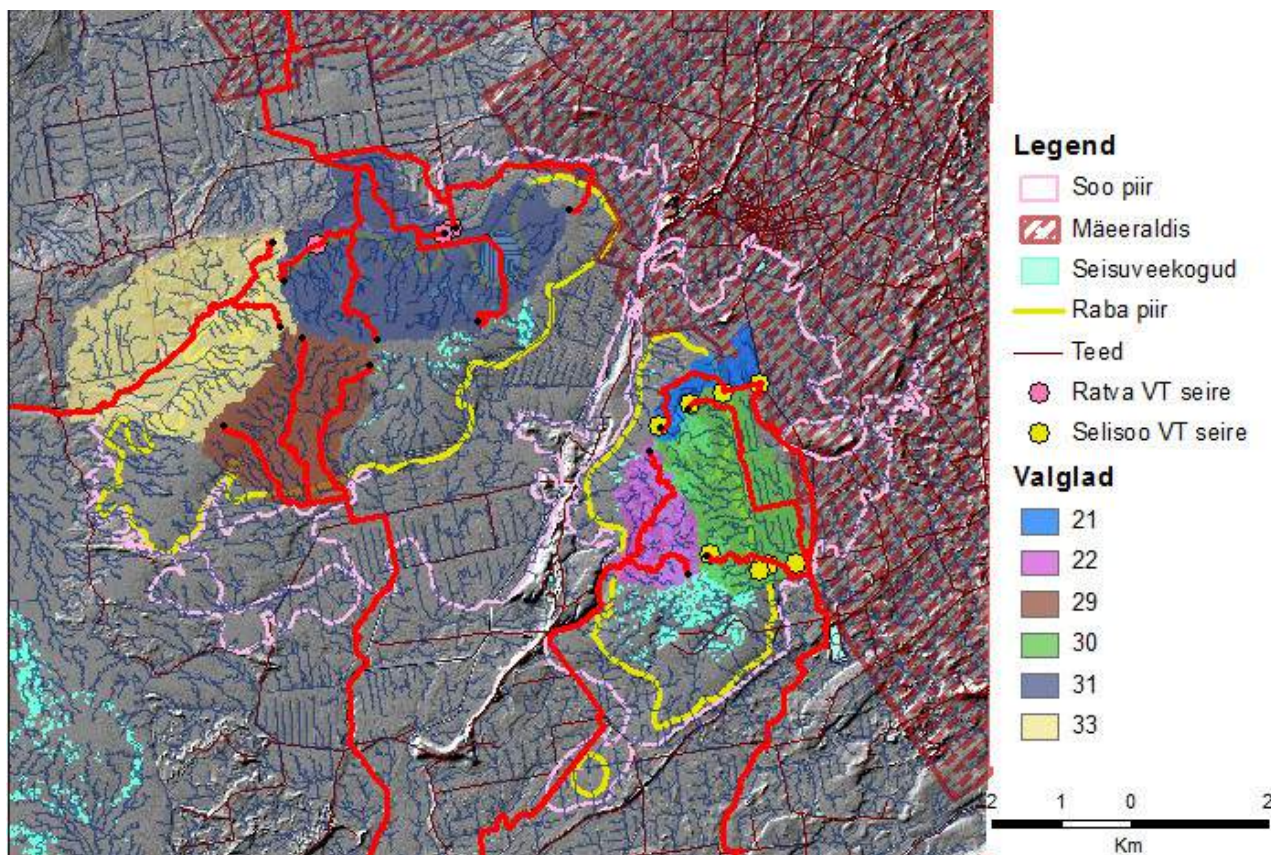
Kõik registreeritud sooveetasemed tuleb lisaks absoluutsetele kõrgustele esitada ka suhtelistes kõrgustes, st allpool soopinda.

Äravoolu mõõtmise lävendid tuleb rajada nii potentsiaalselt enim mõjutatud valgla nr 31 (Joonis 3.25) suudmealale, ning analoog-valglate (nr 29 ja nr 33) suudmealadele. Valgla nr 31 katab nii olemasolevad soovee ja põhjavee jälgimise mõõtekohad kui ka loodetavasti rajatava uue Ojamaa kaevanduse suunalise transekti.

Seirevalgla nr 29 väljavoolude dünaamika oleks ka taustavalglaks kogu Ratva raba raba-alale, jälgimaks võimalikku kliimast tulenevat raba-ala „kokkuvajumist“ ja samas oleks see ka taustalaks sellele perioodile, kui allmaakaevandamine on lõppenud ning kaevanduse täitumisest veega loodetakse mõjutatud soo-osade veekeskonna taastumist.

Analoogiliselt Selisoole, tuleb ka Ratva raba transektide/valglate piirkonnad varustada mineraalsesse maapinda ankurdatud soopinna tasemete muutusi registreerivate mõõteriistadega/-vahenditega.

Sarnaselt Selisoo raba laukale tuleb ka **Ratva järves läbi viia põhjauuringud**, selgitamaks välja võimalik seotus aluspõhjaliste veekihtidega.



Joonis 3.25. Soovituslikud seirevalglad jälgimaks väljavoolude dünaamikat Ratva rabast ja Selisoost, kus kaevandusest jms tulenevate mõjude jälgimiseks kuuluvad Selisoos valglad nr 21 (94 ha) ja 30 (408 ha) ning Ratva rabas valgla nr 31 (741 ha, sh Ratva järv); analoog-valglateks aga vastavalt nr 22 (184 ha) Selisoos ning 29 (408 ha) ja 33 (693 ha) Ratva rabas. Soovituslikud valglad nr 21, 30 ja 31 katavad ka olemasolevaid soovee ja põhjavee jälgimise transekte. Tugevad punased jooned joonisel on visualiseeritud „tilga“ teekond valgla soovituslike valglate kaugeimatest punktides suudmetesse. „Tilga“ teekonnad läbivad olemasolevaid seire transekte ja neid võib võtta ka tähisteks uute transektide loomisel.

4. Loobu ja Sõmeru jõe kontseptuaalsed mudelid ja uuringukavad

Lähteülesanne: Koostatada vabal valikul kolme põhjaveekogumi veest sõltuva ökosüsteemi kohta selle toimimist selgitavad joonised (kontseptuaalsed mudelid) soovitatavalt halvas või ohustatud põhjaveekogumites lisaks tegevuses 3.3 nimetatutele. Kontseptuaalsetel mudelitel peab olema näidatud vähemalt ökosüsteemi seosed põhjaveekogumi veetasemega, põhjaveekogumi sisse-ja väljavoolualad, ökosüsteemile avalduvad koormusallikad. Lisaks Ratva rabale valiti Loobu jõe ülemjooks (Loobu_1 veekogum) ja Sõmeru jõgi põhjaveekogumist sõltuvateks ökosüsteemideks, millele koostatakse kontseptuaalsed mudelid.

Koostada konkreetne uuringukava pinnaveekogumite Loobu_1 ja Sõmeru seisundi seoste uurimiseks halvas seisundis põhjaveekogumitega. 2015. aasta uuringu peatükis 7.2.2 on antud olemasoleva info põhjal hinnang, et Loobu_1 ja Sõmeru veekogumite seisund on seotud halvas seisundis olevate põhjaveekogumitega ja need veekogumid tuleks võtta lähitulevikus uuringualadeks.

4.1. Loobu jõgi

4.1.1. Taustainfo

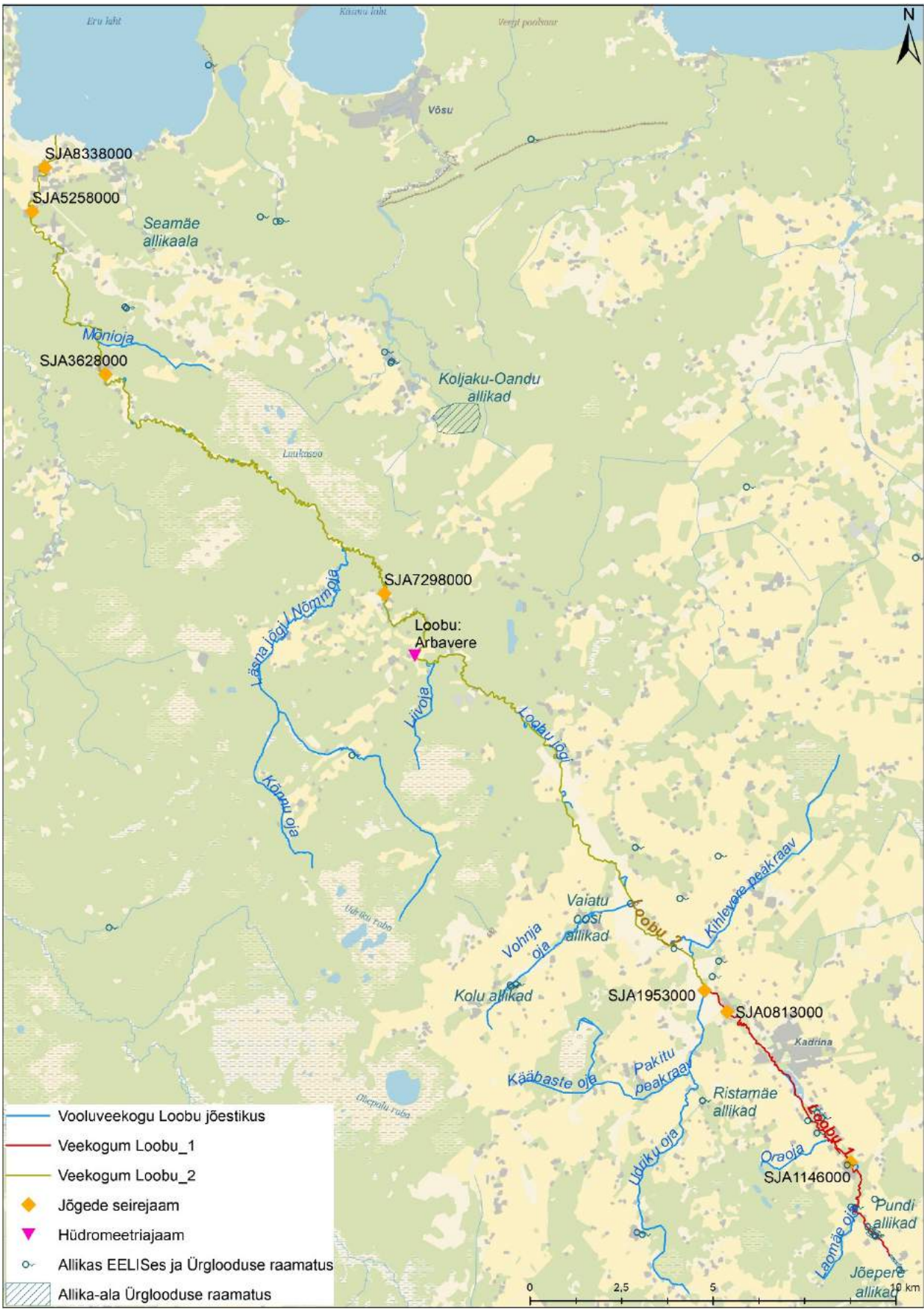
Loobu jõgi on Pandivere kõrgustiku põhjanõlvalt Jõepere allikatest alguse saav jõgi, mille pikkus EELISE andmetel on 61 km ja pinnaveevalgala 314 km². Jõe ülemjooks paikneb Pandivere kõrgustikul, keskjooks läbib Kõrvemaa kirdeosa ning alamjooks jääb Põhja-Eesti rannikumadalikule. Jõgi suubub Eru lahte. Lisajõgesid on vähe, olulisemad on Läsna jõgi (pikkus 17 km), Udriku oja (11 km) ja Vohnja oja (6 km) (Joonis 4.1).

Jõgi on jagatud kaheks veekogumiks Loobu_1 (Loobu Udriku ojani, 1077900_1) ja Loobu_2 (Loobu Udriku oja suudmeni 1077900_2) (Joonis 4.1). Loobu_1 veekogumi pikkus on 12 km ning Loobu_2 veekogumi pikkus 49 km. Terasmaa et al. (2015) töös on mõlemad veekogumid loetud olulisteks põhjaveest sõltuvateks vooluveeökosüsteemideks ning hinnatud sõltuvaks põhjaveekogumitest nr 13 S-O põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas ja nr 15 S-O Pandivere põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas. Viimane on värskeima põhjaveekogumite seisundi hindamise põhjal halvas keemilises seisundis pestitsiidide, naftasaaduste ja nitraadisalduse tõttu (Türk, 2014).

Loobu jõel Arbavere külas asub Loobu-Arbavere hüdromeetriaajaam, mis tegutses esmalt aastatel 1930–1964 ning taastati aastal 2007. Selle hüdromeetriaajama veebilansiliste arvutuste põhjal on leitud, et põhjavee äravool nimetatud lävendis moodustas jõe äravoolust aastatel 1947–1964 keskmiselt 62% (Печерский..., 1972). Jaama taastamise järgselt kogutud andmete põhjal ei ole meile teadaolevalt põhjavee osakaalu hinnanguid tehtud. Loobu-Arbavere hüdromeetriaajaam paikneb tänapäevase Loobu_2 veekogumi keskel, 16 km Loobu_1 veekogumi piirist allavoolu (Joonis 4.1). Lähtudes põhimõttest, et põhjaveest kriitiliselt sõltuvad vooluveekogud on sellised, mille äravoolust moodustab põhjavesi enamuse (Hinsby et al., 2015), on Loobu_2 veekogum poole sajandi vanuste andmete põhjal selgelt põhjaveest kriitiliselt sõltuv vooluveeökosüsteem. Kuigi Loobu-Arbavere hüdromeetriaajaam jääb Loobu_1 veekogumist suhteliselt kaugemale, mistõttu selle andmed ei iseloomusta üks-üheselt Loobu_1 toiteallikate osakaalu, saab Loobu jõgi ja seega ka Loobu_1 veekogum alguse Jõepere ja Pundi allikatest, mistõttu on ka Loobu_1 jõelõik kahtlusteta põhjaveest kriitiliselt sõltuv ökosüsteem.

Loobu jõe lähteks olevad Jõepere allikad asuvad Jõepere külas ja avanevad nende kohale rajatud paisjärve (Jõepere allikajärv) põhjas (Joonis 4.1). Esineb nii alalisi kui ajutisi allikaid. Alaliste allikate ala pikkus paisjärve põhjas ulatub 50 m-ni, ajutiste allikate front avaneb valdavalt oru parema veeru jalamil ja on umbes 100 m pikk (Ürglooduse objektid EELISEs, 2019). Kevadeti avanevad ajutised allikad ka paisjärvest kagu pool, moodustades mööda heinamaad voolava ja paisjärve suubuva ligi 500 m pikkuse ajutise oja. Allikad on kevadeti veerikkad ja suvel veevased. Vee

väljavool paisjärvest võib kuivematel perioodidel ka katkeda. Ürglooduse raamatus (Ürglooduse objektid EELISes, 2019) on Jõepeere allikate vooluhulgaks märgitud 10–100 l/s.



Joonis 4.1 Loobu jõestiku paiknemine maastikul, Loobu jõe jagunemine veekogumiteks, Loobu jõel paiknevad jõgede hüdrokeemilise, -bioloogilise ja hüdroloogilise seire jaamad ning allikate ja allika-alade asukohad EELISE andmebaasi põhjal seisuga aprill 2019 (Aluskaart Maa-amet, 2019).

Pundi allikate ala algab Jõepere allikajärvest mõnisada meetrit allavoolu (Joonis 4.1) vesiveski varemete juurest. Eristatud on neli rühma langeallikaid, millest kolm paiknevad jõe paremal ja üks vasakul kaldal (Ürglooduse objektid EELISes, 2019). Paremkalda allikaala on ca. 350 m pikkune ning nende tootlikkus on ca 100–200 l/s (Ürglooduse objektid EELISes, 2019). Vasakkalda allikate vooluhulgaks on seal samas hinnatud 10 l/s.

Aastatel 1967 ja 1968 toimunud mõõtmiste põhjal saadi Jõepere ja Pundi allikate aastakeskmisteks vooluhulkadeks vastavalt 310 ja 307 l/s. Registreeritud vooluhulkade varieeruvus oli suur – miinimaalsed (q_{min}) ja maksimaalsed (q_{max}) kuukeskmised vooluhulgad olid vastavalt 80 ja 1140 l/s (Ресурсы..., 1972). Sama väljaande andmetel on allikateala pinnaveevalgalaks märgitud 9,8 km². Mõõtmistulemustest tulenev allikate vooluhulkade dünaamilisuse koefitsient oli 1967. aastal $k=9$ ning 1968. aastal $k=11$. Dünaamilisuse koefitsient k iseloomustab põhjavee vooluhulkade varieeruvust valitud perioodi, näit aasta jooksul; $k = q_{max}/q_{min}$. Saadud dünaamilise koefitsiendi k järgi klassifitseeruvad Jõepere allikad II ja III allikate dünaamilisuse kategooria piirialale, st muutuvate vooluhulkadega allikateks (II kat.: $k = 2-10$; III kat.: $k = 10-30$), millede tootlikkus on suure varieeruvusega, kuid neil puudub põhjani kuivamise periood (Ресурсы..., 1972).

Loobu ürgorg, milles nii Jõepere kui Pundi allikad avanevad, on seotud Jõepere rikkega, mida on pikemalt kirjeldatud Assamalla karstiluhta käsitlevas peatükis 5.4. Allikate ala asub Nabala lademe Saunja ja Paekna kihistu karbonaatkivimite avamusalade piiril ja on seotud Nabala-Rakvere veekihi avamusalaga (Joonis 5.4. A1). Heinsalu (1986b) järgi on Jõepere ja Pundi allikate näol tegu kõrgustiku põhjanõlva ühe kõrgeimal absoluutkõrgusel paikneva alalise allikarühmaga (89,5 m ümp). Kink (2006) ja Aruja et al. (1976) järgi pärineb Jõepere ja Pundi allikate vesi kõrgustiku võlvi karstialadelt-karstijärvikutest. See väljendub allikate kõigest 10–30% väiksemas keskmises toodangus suvekuudel võrreldes pikaajalise keskmisega.

Eipre (1967) hinnangul võib Jõepere allikate toodang madalvee perioodil moodustada 15–20% Loobu-Arbavere vaatlusposti äravoolust. Kolme, aastatel 1959–1960 madalveeperioodil toimunud üksikmõõtmise põhjal saadi selleks osakaaluks ka 13–14% (Ресурсы..., 1972). Arvestades, et põhjaveest pärineva vee osakaaluks Arbavere vaatluspostis hinnati 62% (Ресурсы..., 1972), siis suurem osa Loobu jõe keskjooksule jõudnud põhjavee päritoluga veest peaks nende andmete põhjal tulema justkui kusagilt mujalt kui Jõepere ja Pundi allikatest.

Lisaks Jõepere ja Pundi allikatele on EELISes ürglooduse objektide, veekogude ja tundlike alade kaardikihtidele Loobu_1 veekogumi läheduses märgitud veel mõnede allikate olemasolu, sh. Neeruti pargis ja Jõetaguse külas vahetult Kadrina paisjärvest ülesvoolu, kuid nende tootlikkuse kohta andmed puuduvad. Loobu_2 veekogumisse lisandub allikalist toidet tõenäoliselt peamiselt Vohnja oja kaudu, millel asuvad Kolu allikad ja Vaiatu oosi allikad. EELISE andmebaasi järgi on Kolu allikate vooluhulgaks aastatel 1991–1993 märgitud 6–63 l/s ning Vaiatu oosi allikate vooluhulgaks 50 l/s (Ürglooduse objektid EELISes, 2019), kuid info allikate äravoolu dünaamika või aastasisese äravoolude jaotuse kohta on teadmata. Lisaks leidub EELISesse kantud teadmata vooluhulgaga allikaid Loobu_2 veekogumi põhitelje läheduses allavoolu kuni Hõbeda külani ning üks allikas ka selle lisajõgedel Läsna jõel ja Udriku ojal. Seda, kas on reaalne, et Jõepere ja Pundi allikatest allavoolu asuvad allikad lisavad Loobu jõe põhjaveetoitele sedavõrd suure osa, tuleks vastava uuringuga kinnitada või ümber lükata. Loobu_1 veekogumi veekoguse ja veekvaliteedi kujunemisel mängivad Jõepere ja Pundi allikad aga selgelt olulist rolli. Kui suurt täpselt, tuleks taaskord kontrollida vastava uuringuga.

Loobu_1 veekogumi seisundit on riikliku jõgede seire raames viimati hinnatud 2014. aastal (KESE, 2019). Loobu_2 veekogumi füüsikalise-keemilise seisundit hinnatakse suudme lähedal Jõekäärus (Vihasoo) seirejaamas (SJA5258000) igal aastal, veekogumi hüdrobioloogilist seisundit hinnati viimati 2014. aastal (Pall et al., 2015). Veemajanduskomisjonis kinnitatud värskeimate seisundihinnangute alusel (Andresson et al., 2018) on nii Loobu_1 kui Loobu_2 veekogumi koondseisund kesine. Mõlemal juhul on veekogumi madalam kui hea seisund tingitud kalastiku

kvaliteedielemendist, mis ei sõltu põhjavee mõjust. Loobu_1 kogumi puhul on kalastiku kesise seisundi põhjuseks oletatud paisutamise ja varasema pikaajalise reostuse mõju (reostuse päritolu ei ole täpsustatud ka seirearuandes) ning Loobu_2 kogumi puhul on soovitatud määrata kalastiku seireks parem seirekoht.

Põhjavee poolt otseselt mõjutatavad võivad olla veekogude füüsikalis-keemilise kvaliteedielemendi hindamisel kasutatavad toitainekoormuse näitajad ning vesikonnaspetsiifilised saasteained ja keemilist seisundit mõjutavad ohtlikud ained. Loobu_2 veekogumi füüsikalis-keemiline seisund oli 2018. aasta seiretulemuste (Hindrikson & Laht, 2019) alusel väga hea ning põhjaveelise toite poolt potentsiaalselt mõjutatavad veekvaliteedi näitajad ehk üldlämmastiku, üldfosfori ja ammooniumlämmastiku sisaldus vastasid heale või väga heale seisundiklassile. Samas vastab viimase kümne aasta keskmine üldlämmastiku sisaldus Loobu_2 veekogumis siiski kesisele seisundiklassile ehk >3 mgN/l. Vesikonnaspetsiifilisi saasteaineid, mis võivad samuti olla põhjavee poolt edasikantavad, norme ületavas koguses 2018. aastal ei tuvastatud.

Loobu_1 veekogumi füüsikalis-keemilist seisundit on jõgede seire raames hinnatud 2014. ja 2010. aastal (Hindrikson, 2010; 2015) Kuldnoka (Kadapiku) seirejaamas (SJA1953000), mis asub Keskonnaregistrisse kantud koordinaadi põhjal täpselt Udriku oja suubumiskohas Loobu jõkke ning kajastab seega ka Udriku oja vee seisundit. Mõlemal korral oli jõe füüsikalis-keemilise seisundi koondhinnang küll hea, kuid üldlämmastiku keskmine sisaldus oli kesisele seisundiklassile vastaval tasemel – 2014. aastal 3,2 mg/l ja 2010. aastal 3,6 mg/l. Hea klassi piirid on 1,5–3,0 mg/l (Pinnaveekogumite..., 2009). Nitraatlämmastiku keskmine sisaldus oli kummalgi aastal vastavalt 2,8 mg/l ja 3,1 mg/l. Seega, kuigi jõe ökoloogilise seisundi viimaste määramiste kohaselt pole lämmastikusisaldus veekogumi ökosüsteemile negatiivset mõju avaldanud, on selle sisaldus siiski liiga kõrge ning kõrge lämmastikusisalduse püsimisel säilib oht, et teatud hetkel hakkab sellele reageerima ka veekogu ökosüsteem.

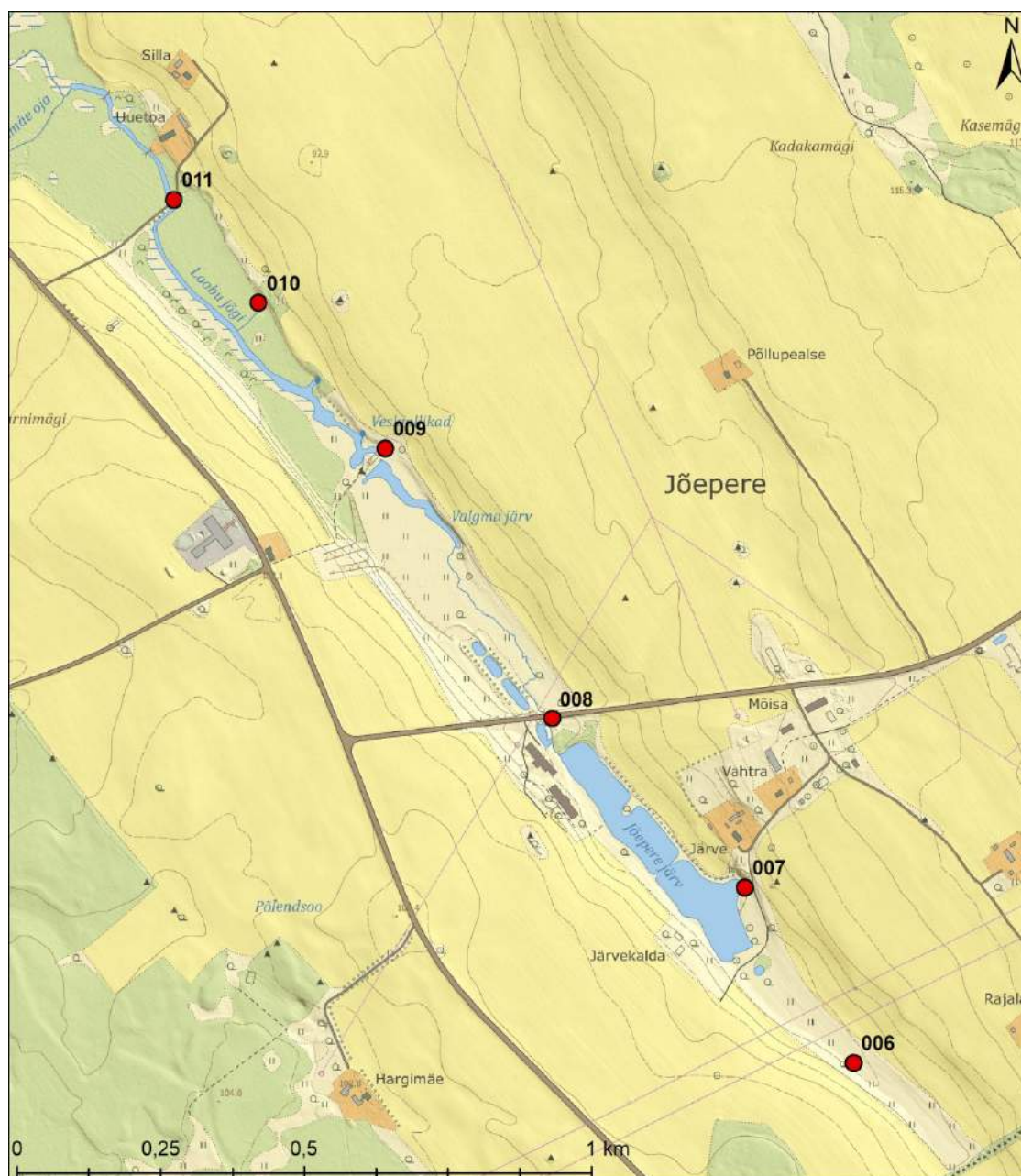
Terasmaa et al. (2015) töös tehti olemasolevate andmete põhjal järeldus, et väga hea põhjaveelise toituvuse tõttu võib vooluveekogumi Loobu_1 kesine seisund üldlämmastiku järgi olla tingitud põhjaveekogumi nr 15 halvast seisundist ning vaja oleks läbi viia täpsustavad uuringud. Käesoleva projekti lähteülesandes on ette nähtud uuringukava koostamine Loobu_1 veekogumi seisundi seoste uurimiseks halvast seisundis põhjaveekogumitega. Seetõttu koostati Loobu_1 veekogumile ka põhjaveekogumitest sõltuvuse kontseptuaalne mudel.

4.1.2. Väливаatluste tulemused

Loobu_1 veekogumi ülemjooksul toimusid 8.04.2019 väливаatlused, mille käigus mõõdeti multimeetriga *Hanna HI98195* kuues punktis (Joonised 4.2–4.5) jõe ja allikate vee erielektrijuhivust, temperatuuri, pH-d ning hapnikumõõtjaga *Marvet Junior 2000* lahustunud hapniku sisaldust. Samuti hinnati neljas lävendis vooluhulka pinnavee ujukite ja stopperi abil (Tabel 4.1). Mõõtmiste olulisim järeldus on, et erielektrijuhivus mõõtmispunktides 007–011 oli väga sarnane ja kõrge (>400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – kare vesi (Pinnaveekogumite..., 2009)), mis viitab selgelt aluspõhjalisele põhjaveetoitele. Ajutiste allikate alal oleva vee erielektrijuhivus oli veidi madalam, mis annab märku teatud lahjendusest meteoorse ja lumesulamisveega, kuid oli siiski üle karedaveelisuse piiri ehk selgelt aluspõhjalise põhjavee päritoluga.

Tabel 4.1. Loobu_1 veekogumi ülemjooksul 8.04.2019 toimunud välivaatluste käigus mõõdetud parameetrid, tegemist oli kohalike elanike info kohaselt maksimaalse veetaseme taandumise algusega

Mõõte- punkti nr	Mõõtepunkti nimi	Erielektri- juhtivus, μS/cm	Lahustunud ainete sisaldus, mg/l	Temperatuur, °C	pH	Lahustunud hapniku sisaldus, mg/l	Vooluhulk, l/s
006	Loobu ajutine ülemjooks, igritsevad allikad heinamaal	422	274	7,1	7,7	11,2	-
007	Jõepere allikajärve paremkalda tõusuallikad	599	389	6,2	6,9	9,7	-
008	Loobu jõgi, Jõepere allikajärve väljavool	595	387	7,1	7,5	11,6	50
009	Pundi Veski langeallikas	585	380	6,7	7,1	9,5	25
010	Pundi Madi tõusuallikas	601	391	6,0	7,2	8,8	4
011	Loobu jõgi, Uuetoa tee sild	583	379	6,9	7,4	10,9	1150



Joonis 4.2. Loobu_1 veekogumi ülemjooksul 8.04.2019 toimunud välivaatluste mõõtepunktid.



Joonis 4.3. Mõõtepunkt 006, Loobu ajutine ülemjooks, igritsevad allikad Jõepere allikajärvest ülesvoolu heinamaal (Fotod: Elve Lode).



Joonis 4.4. Mõõtepunkt 007, Jõepere allikajärve paremkalda tõusuallikad (vasakul). Mõõtepunkt 008. Loobu jõgi, Jõepere allikajärve väljavool Rakvere-Jõepere tee truubi kohal (paremal) (Fotod: Elve Lode).



Joonis 4.5. Mõõtepunkt 009. Pundi Veski langeallikas (vasakul). Mõõtepunkt 010. Pundi Madi tõusuallikas (keskel). Mõõtepunkt 011. Loobu jõgi, Uuetoa tee sild (paremal) (Fotod: Elve Lode).

4.1.3. Kontseptuaalne mudel

Loobu_1 veekogumi põhjaveega seotuse kontseptuaalse mudeli koostamiseks kasutati Eesti Geoloogilise baaskaardi viiemeetrise intervalliga S-O põhjaveekompleksi isohüpse (Maa-ameti geoportaal, 2019) ning nende põhjal ArcGIS tarkvaraga tuletatud põhjavee liikumissuundasid ja põhjaveevalgate piire, Maa-ameti 2018. aasta LiDAR kaardistamise kõrgusandmeid (Maa-ameti geoportaal, 2019), nitraaditundliku ala seire käigus perioodil 2009–2018 kogutud põhjavee nitraadi- ja fosfaadisalduse andmeid (KESE, 2019), PRIA andmebaasi loomakasvatushoonete ja põllumassiivide andmeid (PRIA, 2019) ning EELISE heitveelaskude ja jääkreostusobjektide asukohaandmeid (EELIS, 2019). Piiritletud põhjaveevalgate puhul tuleb arvestada, et kasutada olnud olemasolevad põhjaveetaseme sisendandmed on hõreda sammuga ning loodud käesoleva töö fookusest oluliselt suurema üldistustasemega. Seega tuleb esitatud põhjavee voolusuundadesse ja põhjaveevalgate piiridesse suhtuda teatud ettevaatlikusega. Ruumiandmete töötlemiseks kasutati tarkvara *ArcMap 10.5.1*. Pinnaveevalgate veelahkmete modelleerimisel lähtuti eeldusest, et suletud lohud toitealaga üle 1,0 ha ning sügavusega üle 1,0 m moodustavad iseseisvaid suletud valglaid.

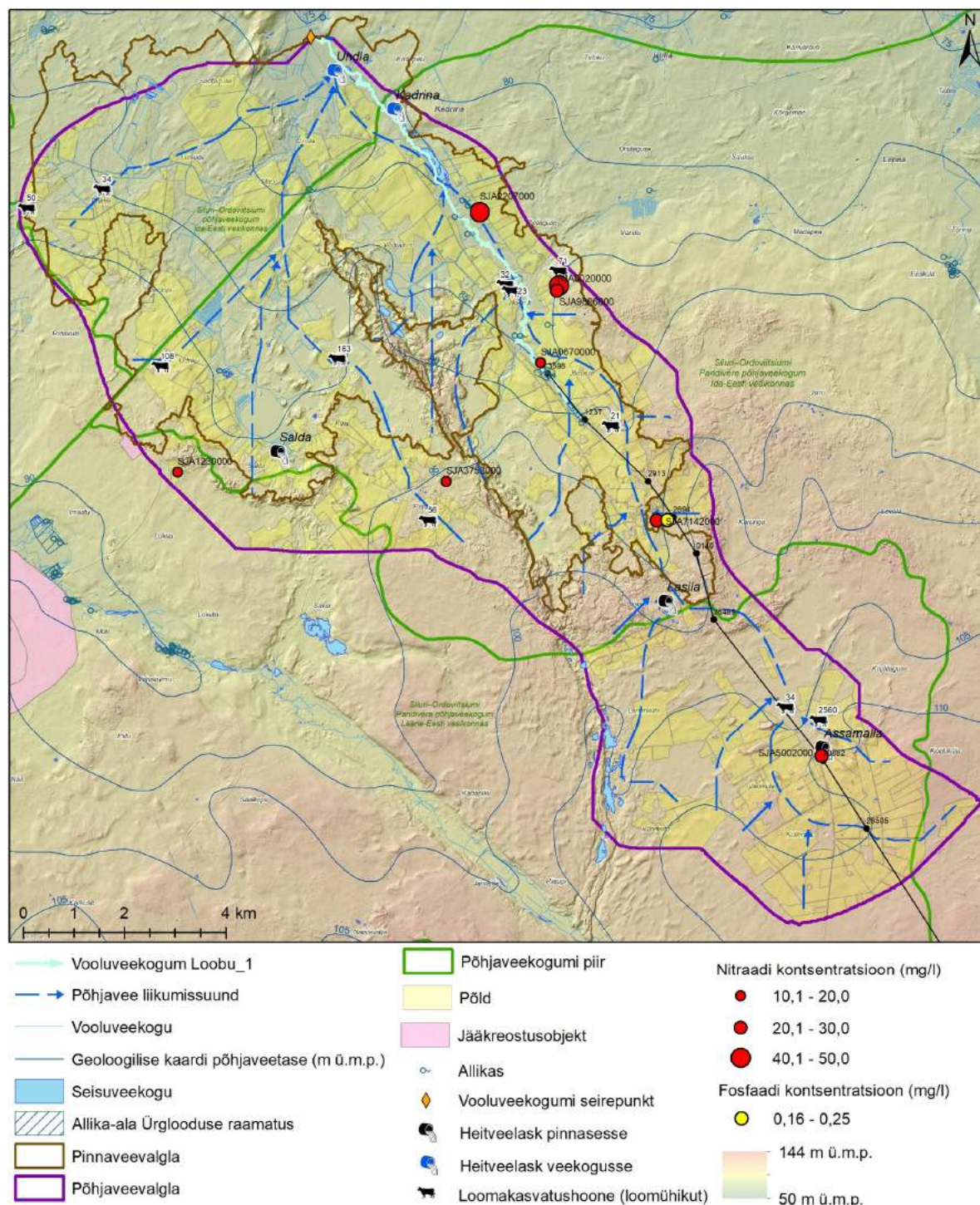
Kontseptuaalse mudeli koostamise fookuspunktiks valiti veekogumi füüsikalis-keemilise seisundi seirejaam SJA1953000 Kuldnoka (Kadapiku), mis asub kahe Loobu jõe veekogumi piiril. Põhjuseks asjaolu, et selles mõõtepunktis tuvastatud liigkõrge üldlämmastiku sisaldus kujuneb mõõtepunkti põhja- ja pinnaveevalglal toimuvate tegevuste summaarse tulemusena. Mudeltulemuste järgi ületab lävendi põhjaveeline toiteala ($F=132 \text{ km}^2$) pea kaks korda pinnaveelist toiteala ($F=74 \text{ km}^2$) (Joonis 4.6). Kuna seirejaam paikneb Loobu jõe ja Udriku oja ühinemiskohas, mistõttu kajastab ka oja seisundit, hõlmavad piiritletud valglad ka Udriku oja. Modelleeritud põhjaveevalgla hõlmab üldjoontes kogu modelleeritud pinnaveevalgla, kusjuures pinnaveevalgla ulatub mõnevõrra kaugemale põhja ning põhjaveevalgla kaugemale edelas, samas kui Neeruti oosiahelik jääb oma suletud nõgude tõttu pinnaveevalglast välja. Pinna- ja põhjaveevalgla veelahkmejoonte kulgemise suurim erinevus ilmneb kaguosas, kus pinnaveevalgla piir järgib Lasila-Aruküla mõhnastiku piiri, kuid põhjaveevalglasse on haaratud ka Assamalla luht oma toitealaga. Seega jõuab kontseptuaalse mudeli põhjal Loobu_1 veekogumisse põhjavesi nii Assamalla piirkonnas paiknevalt Kullenga kõvikult, Neeruti oosistiku alt kui ka Udriku piirkonnast. **Järelikult on veekogum eelkõige seotud põhjaveekogumiga nr 15 S-O Pandivere põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas, lisaks olulisel määral ka põhjaveekogumiga nr 14 S-O Pandivere põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas. Seos põhjaveekogumiga nr 13 S-O põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas on suhteliselt marginaalne, mistõttu neid põhjaveekogumite seisundi hindamisel seotuks lugeda ei ole tegelikult otstarbekas.**

Põllumaad katavad Loobu_1 veekogumi modelleeritud põhjaveevalglast 53 km^2 ehk 40% ning juhul, kui jõe liigne lämmastik pärineb põhjavette leostunud hajureostusest, on see ilmselt seotud põllumajandusega. Oletatava põhjaveevalgla piiresse jääb ka 11 enam kui kümne loomühikuga loomakasvatushoonet ja kolm heitvett pinnasesse suunavat reoveepuhastit, mis võivad samuti täiendavat toitaine koormust põhjavette lisada (Joonis 4.6). Kuldnoka seirejaamast ülesvoolu asub ka kaks heitveevelaset veekogusse, mis võivad samuti seirejaamas mõõdetava vee lämmastiksisaldust mõjutada.

Modelleeritud põhjaveevalglale jääb kaheksa põhjaveekogumite keemilise seire või nitraaditundliku ala põhjavee seirejaama, milles on viimase kümne aasta jooksul (2009–2018) määratud nitraat-, ammonium- ja mõnel juhul ka fosfaatioonide sisaldust (Joonis 4.6). Selle perioodi kõige suuremad nitraatiooni keskmised kontsentratsioonid on tuvastatud seirejaamades SJA2207000 ning SJA9806000, kus need on üle 40 mg/l . Nitraatlämmastikuna esitatult on see üle 9 mgN/l , samas kui jõgede üldlämmastiku sisalduse heale seisundiklassile vastav vahemik on $1,5\text{--}3,0 \text{ mgN/l}$ ning väga halvale seisundiklassile vastav piir $>8,0 \text{ mgN/l}$ (Pinnaveekogumite..., 2009). Need

kaks seirejaama asuvad küll jõe lähedal, aga allpool jõe eeldatavalt peamisi allika-alasid, mistõttu on võimalik, et selle ala roll jõe lämmastikuisalduse kujunemisel pole määrava tähtsusega.

Jõepere ja Pundi allikate, kui eeldatavalt jõe peamiste toiteallikate lämmastikuisaldust viimase kümne aasta jooksul sisuliselt määratud ei ole. Vaid Pundi allikate rühma kuuluvast Madi allikast on võetud 2010. aasta suvel üks proov, mille nitraatiooni sisaldus oli 15 mg/l ehk nitraatlämmastikuna 3,4 mgN/l (üle jõgede hea lämmastikuisalduse piiri). Varasemast ajast on seireandmeid ka Jõepere allikatest ning 2006. aasta suvel oli sealses vees nitraatiooni 16 mg/l. Heinsalu (1986b) mainib, et ka 1986. aasta seisuga oli Jõepere allikate vesi toitamineterikas, millele viitas paisjärve tugevalt eutroofne seisund. Jõepere allikate seisund hinnati halvaks ka 1998. aastal (Ürglooduse objektid EELISes, 2019) ning põhjendati seda haja- ja punktallikatest lähtuva vee reostusega.

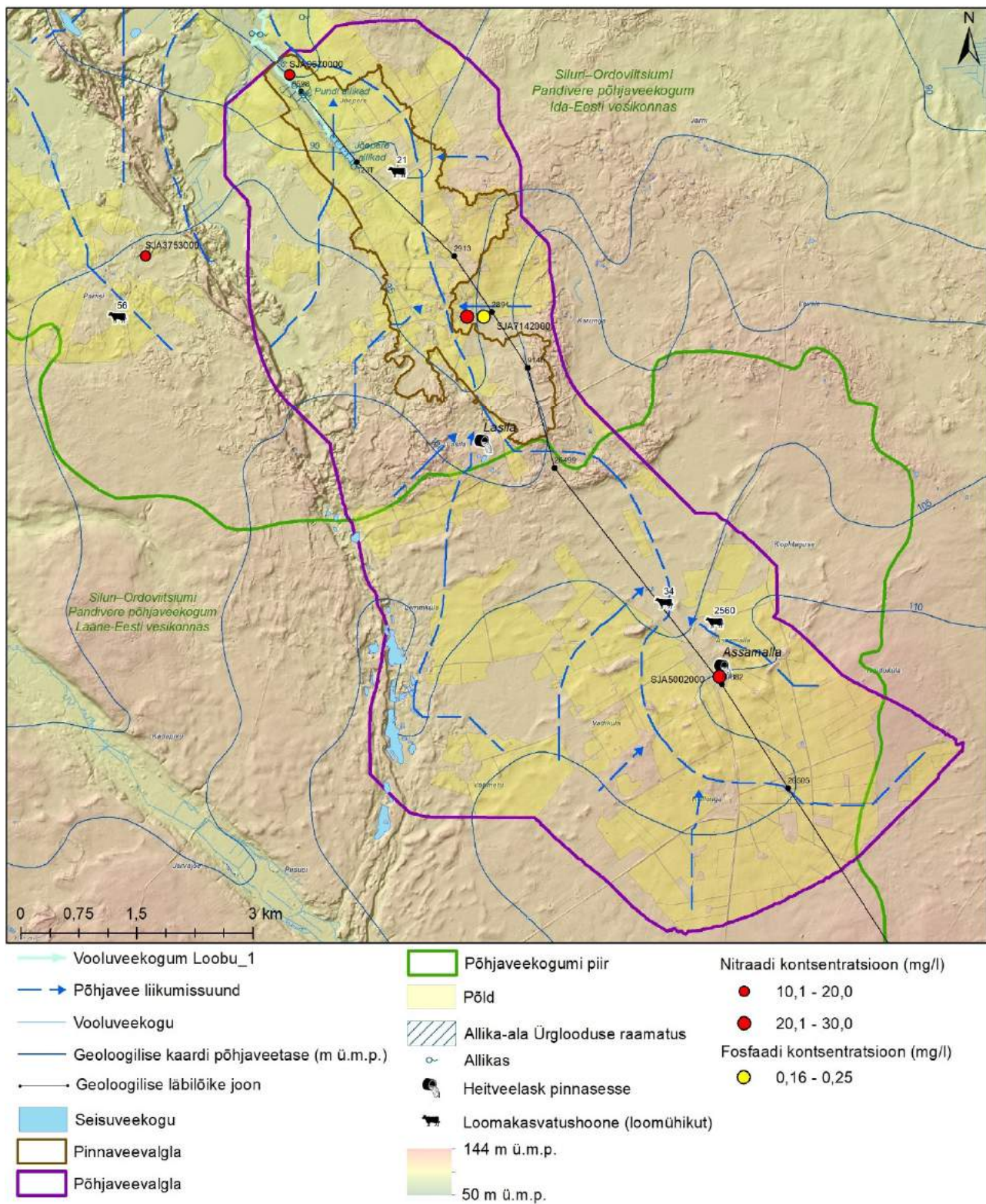


Joonis 4.6. Loobu_1 veekogumi põhjaveekogumiga seotuse kontseptuaalne mudel. Nitraat- ja fosfaatioonide kontsentratsioonide puhul on esitatud seirejaama keskmine väärtus perioodil 2009–2018.

Lähtudes eeldusest, et Jõepere ja Pundi allikad mängivad Loobu_1 veekoguse ja -kvaliteedi kujunemisel peamist rolli, piiritleti põhja- ja pinnaveevalgla ka Loobu jõe ülemjooksule allpool Pundi allikate ala (Joonis 4.7). Vooluveekogumi telgjoone algust arvestades on selle jõelõigu pikkus 1,3 km. Lisades juurde aga ka Jõepere allikajärve pikkuse ja kõrgveeperioodil ajutistest allikatest moodustuva allikajärve suubuva ajutise jõelõigu, oleks selle pikkus 2,3 km. Kontseptuaalse mudeli põhjal on vaadeldava jõelõigu oletatav põhjaveevalgala 51 km² ja pinnaveevalgala 6,8 km² (võrreldav suurusjärg teose "Ресцысы.." (1972) andmetega), omades seega nimetatud punktis pea kuus korda suuremat põhjaveelist toiteala võrreldes pinnaveelise toitealaga (Joonis 4.7). Kui pinnaveevalgla piirneb Lasila-Aruküla mõhnastikuga, siis oletatav põhjaveevalgla hõlmab endasse ka Assamalla karstiluha ja selle toiteala S-O Pandivere põhjaveekogumil Lääne-Eesti vesikonnas (Joonised 4.7 ja Joonis 5.4 A1). Põllumaad katavad allikate modelleeritud põhjaveevalglast 25 km² ehk 49%. Lisaks jääb põhjaveevalglasse kolm enam kui kümne loomühikuga loomakasvatushoonet ning kaks heitvett pinnasesse juhtivat reoveepuhastit (Joonis 4.7). Kui eeldada, et Loobu jõe ülemjooks saab oma põhjaveetoite eelkõige Jõepere ja Pundi allikatest ning suur lämmastikisisaldus tuleneb põhjaveest, siis tuleb suure lämmastikisisalduse põhjuseid otsida just sellelt alalt ning ilmselt on põhjuseks just suur põllumaade osakaal ülemjooksu põhjaveevalglal.

Nitraaditundliku ala seirejaamu, milles viimase kümne aasta jooksul põhjavee nitraatiooni sisaldust on määratud, jääb alale kaks (Joonis 4.7), mõlemas põhjaveekogumis üks, ning mõlemas oli keskmine nitraatiooni sisaldus 29 mg/l. Nitraatlämmastikuna tähendab see 6,6 mgN/l, seega oluliselt rohkem kui jõgede hea seisundi üldlämmastiku piirmäär.

Seega võib koostatud kontseptuaalse mudeli põhjal ja olemasolevaid andmeid arvesse võttes üsna suure usaldusväärsusega väita, et põhjavesi on Loobu jõe ülemjooksule oluline koormusallikas ning läbi põllumaadelt põhjavette kanduva suure nitraatlämmastiku koormuse põhjustavad nii **S-O Pandivere põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas (nr 15)** kui ka **S-O Pandivere põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas (nr 14)** Loobu jõe ülemjooksu ebasoodsalt kõrget lämmastikisisaldust.



Joonis 4.7. Pundi ja Jõepere allikate põhjaveekogumiga seotuse kontseptuaalne mudel. Nitraat- ja fosfaatiooni kontsentratsioonide puhul on esitatud seirejaama keskmine väärtus perioodil 2009–2018.

4.1.4. Uuringukava

Olemasolevate ja kättesaadavate andmete põhjal koostatud kontseptuaalse mudeli põhjal selgus, et Loobu_1 vooluveekogumi kesisele seisundile vastav üldläämmastiku sisaldus on ilmselt põhjustatud kahe põhjaveekogumi kõrgeist lämmastiksisaldusest. Vastavalt Euroopa Komisjoni juhendmaterjalile (European Commission, 2009), tuleb pinnaveekogudega seotud põhjaveekogumi keemiline seisund lugeda halvaks juhul, kui pinnaveekogumi ökoloogiline seisund ei ole hea mõne põhjavee poolt kantava ühendi pinnavee kvaliteedistandardi ületamise tõttu ning põhjaveest pärineb selle ühendi koormusest vähemalt 50%. Selle kinnitamiseks või ümberlükkamiseks eesmärgipäraselt ja üheaegselt kogutud andmete põhjal, tuleks läbi viia asjakohane uuring, mis peab vastama järgmistele küsimustele:

- 1) Kui suured on põhjaveetoite ja Jõepere-Pundi allikate osakaalud Loobu_1 vooluveekogumi vooluhulgast, ja milline on nende aastasisene dünaamika?
- 2) Milline on lämmastiksisalduse muutuse dünaamika piki Loobu_1 jõelõiku lähtest allavoolu, ning kas jõe peamine lämmastikukoormus tuleneb Jõepere-Pundi allikatest, muust põhjaveetitest, pinnaveetitest või heitveelaskudest?
- 3) Kas vastab tõele kontseptuaalse mudeli põhjal esitatud väide, et Loobu_1 veekogum sõltub mõlemast S-O Pandivere põhjaveekogumist?

Uuringukava koostamisel on lähtutud eeldusest, et Loobu_1 veekogumi ajakohane ökoloogiline seisund määratakse jõgede hüdrokeemilise ja -bioloogilise seire raames vastavalt kehtivale metoodikale enne käesoleva uuringukava elluviimist ning selle metoodikat käesolevas uuringukavas käsitletud ei ole. Küll on aga soovitatav Loobu_1 veekogumi füüsikalise-keemilisi näitajaid seirata erinevalt 2010. ja 2014. aastast, ülevaaltpool Udriku oja suubumist Loobu jõkke (Joonis 4.8). Kuna Udriku oja on iseseisev veekogum (1078200_1), siis sellisel viisil on võimalik paremini eristada Loobu_1 veekogumi veekvaliteeti Udriku oja veekvaliteedist. Eristamiseks seda uut soovituslikku seirejaama 2010. ja 2014. aastal kasutatud Kuldnoka (Kadapiku) seirejaamast, nimetatakse seda käesolevas töös edaspidi Kuldnoka1 seirejaamaks.

- Põhjavee osakaalu tuvastamiseks Loobu_1 veekogumi vees **tuleb rajada vooluhulkade mõõtmiseks automaatseirevõrk**. Lävendid peavad paiknema Loobu_1 veekogumil vähemalt allpool Pundi allikaid (Jõepere ja Pundi allikate vooluhulk), allpool Neeruti pargi allikaid (hindamaks Neeruti allikate osakaalu veekogumi koondvooluhulgast), Kadrina paisjärve väljavoolul (Jõetaguse allikate osakaalu veekogumi koondvooluhulgast), veekogumi lõpus enne Udriku oja suubumist (Kuldnoka 1), samuti lisajõgede Laomäe oja ja Oraoja suudmeosas (Joonis 4.8.). Lisajõgede vooluhulkade mõõtmise eesmärk on hinnata nende osakaalu Loobu_1 äravoolu formeerumisel, kuna tõenäoliselt on tegemist Loobu_1 peamiste pinnaveeallikatega. Nendel, **vähemalt kuuel lävendil**, tuleb vooluhulga mõõtmisi teostada vähemalt nelja järjestikuse aasta jooksul soovitatavalt 3 h intervalliga. Nelja aasta pikkune mõõteperiood on vajalik selleks, et katta suurema tõenäosusega nii madalamate kui kõrgemate vooluhulkadega aastaid. Automaatseirevõrk võib automaatsete vooluhulgamõõtjate asemel koosneda ka veetaseme automaatanduritest. Sellisel juhul tuleb esimese uuringuaasta jooksul jäävabal perioodil vähemalt kord kuus teha vooluhulkade kontrollmõõtmisi ning leida veetaseme ja vooluhulga funktsionaalsed seosed, nn. vooluhulga kõverad, iga mõõtelävendi kohta. Ülejäänud uuringuaastatel tuleb vooluhulkade kontrollmõõtmisi teha vastavalt vajadusele funktsionaalsete seoste täiendamiseks. Funktsionaalsete seoste põhjal tuleb leida automaatandurite mõõdetud veetasemetele vastavad vooluhulgad.

Vooluhulga seireandmete põhjal tuleb leida aastakeskmise põhjavee osakaal Kuldnoka1 lävendis. Põhjavee osakaalu leidmiseks võib kasutada konventsionaalseid meetodeid, millest kõige lihtsam on aritmeetiline meetod. Selle põhjal saab leida näiteks Jõepere-Pundi

allikate osakaalu Kuldnoka1 lävendis lihtsa protsentarvutusega. Kogu põhjavee äravoolu saab leida kasutades erinevaid baasaravoolu arvutamise meetodeid. Soovitav oleks ka rakendada trasseritel (nt. stabiilsed isotoobid) põhinevaid meetodeid, nt. Isokangas (2018).

- Leidmaks kinnitust, kas liigne lämmastik jõuab jõkke peamise teadaoleva allikaala ehk Jõepere-Pundi, seni vähetähtsateks peetud Neeruti ja Jõetaguse allikaalade, hajusa põhjaveetoite, tõenäoliselt pinnaveelise toitumisega lisajõgede kaudu, või hoopis heitveelaskude kaudu, tuleb **kõigil vooluhulga mõõtmise lävenditel sagedusega kord kuus võtta veeproovid üldlämmastiku, nitraatlämmastiku, nitritlämmastiku ja ammoniumlämmastiku sisalduse määramiseks**. Samaaegselt proovivõtuga tuleb taustaandmetena **mõõta ka vee põhiparameetrid** – pH, elektrijuhtivus, erielektrijuhtivus, lahustunud ainete sisaldus, oksüdatsiooni-reduktsiooni potentsiaal (Eh), temperatuur, lahustunud hapniku sisaldus. Kui vooluhulga mõõtmiste põhjal selgub, et põhjavesi ning just Jõepere-Pundi allikate vesi moodustab Kuldnoka1 lävendi vooluhulgast üle poole ning üldlämmastiku lämmastiku sisaldus Pundi lävendis on suurem kui $\frac{0,5 \cdot \text{Nüld Kuldnoka1 lävendis (mg/l)}}{\text{põhjavee osakaal Kuldnoka1 lävendis}}$ ehk põhjaveest tuleb enam kui 50% veekogumi üldlämmastiku sisaldusest, on põhimõtteliselt tõestatud, et S-O Pandivere põhjaveekogumil Ida-Eesti vesikonnas on Loobu_1 veekogumi lämmastiksisaldusele negatiivne mõju. Teistsugune tulemuste kombinatsioon eeldab kindlate järelduste tegemiseks põhjalikumat, ka teiste lävendite põhjavee osakaalusid ja lämmastiksisaldusi hõlmavat analüüsi.
- Kontrollimaks, kas Loobu_1 veekogumit toidab lisaks Pandivere Ida-Eesti põhjaveekogumile ka Pandivere Lääne-Eesti põhjaveekogum, tuleb kontseptuaalse mudeli põhjal (Joonised 4.6 ja 4.7) Loobu_1 veekogumi põhjaveevalglasse piiritletud Pandivere Lääne-Eesti põhjaveekogumi alal **viia läbi piisaval hulgal põhjaveetaseme mõõtmisi ja põhjavee liikumise trasseerimiskatseid**, et kinnitada või ümber lükata sealse põhjavee liikumine Loobu_1 veekogumisse.

Põhjavee lämmastiksisalduse määramist uuritavatest allikatest eemal eraldi ette ei nähta, kuna eeldatakse, et nitraaditundliku ala põhjavee seire jätkub uuringualal olemasolevates seirejaamades vähemalt 2018. aasta mahus.



Joonis 4.8. Uuringukavas nimetatud Loobu_1 veekogumi vooluhulga ja veekvaliteedi seirepunktid.

4.2. Sõmeru jõgi

4.2.1. Taustainfo

Sõmeru jõgi on Pandivere kõrgustiku kirdenõlvalt Mõdriku allikatest alguse saav jõgi, mille pikkus EELISE andmetel on 16 km ja pinnaveevalgala 66 km². Jõgi suubub Arkna mõisa lähisel Selja jõkke 27 km enne selle suubumist Kunda lahte. Olulisim lisajõgi on Vetiku oja (pikkus 3 km) (Joonis 4.9).

Jõgi moodustab ühe veekogumi Sõmeru (107560_1). Terasmaa et al. (2015) töös on veekogum loetud oluliseks põhjaveest sõltuvaks vooluveekosüsteemiks ning hinnatud sõltuvaks põhjaveekogumist nr 15 S-O Pandivere põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas. See on värseima põhjaveekogumite seisundi hindamise põhjal halvas keemilises seisundis nitraadi-, pestitsiidide ja naftasaaduste sisalduse tõttu (Türk, 2014).

Sõmeru jõel pole hüdromeetriaajaamu kunagi olnud. Aastatel 1931–1960 töötas Selja jõel Selgejõgi-Arkna (tänapäevaseks: Seljajõgi-Arkna) hüdromeetriaaam, asukohaga vahetult allpool Sõmeru jõe suubumist Selja jõkke (Joonis 4.9). selle hüdromeetriaaama veebilansiliste arvutuste põhjal on leitud, et põhjavee äravool nimetatud lävendis moodustas jõe äravoolust aastatel 1932–1959 keskmiselt 47% (Ресурсы..., 1972). Ehkki, saadud põhjaveelise toite osakaalu tõttu, mis oli madalam kui 50%, ei saa Selja jõe keskjooksu tolleaegsete andmete alusel lugeda põhjaveest kriitiliselt sõltuvaks vooluveekoguks, saab seda siiski pidada põhjaveega tugevalt seotud vooluveekogu piirkonnaks (Hinsby et al. 2015).

Aastate 1958 ja 1959 allikate äravoolude mõõtmiste alusel leiti, et 1958. aasta miinimumperioodil (14.–28.07.1958) moodustas põhjavee osakaal Selgejõgi-Arkna mõõtejaamas 75%, 1959. aasta suurvee ajal (15.–17.04.1959) 20% ning kuival sügisperioodil (30.10–2.11.1959) 51% (Ресурсы..., 1972). Põhjavee osakaal Selgejõgi-Arkna mõõtejaamas oli küll suhteliselt suur, kuid mõõtejaamaga seotud pinnaveevalgla keskmine äravoolumoodul seevastu suhteliselt madal (7,25 l/s km²), mille alusel tehti järeldus, et osa Selja jõe pinnaveevalglal (sh. Sõmeru jõe valgla) infiltreerunud sademetest ei jõua Selgejõgi-Arkna mõõtelävendisse, vaid toidab tektooniliste riketega seotud karstilõhede kaudu suure tõenäosusega Kunda jõe allikaid (Ресурсы..., 1972).

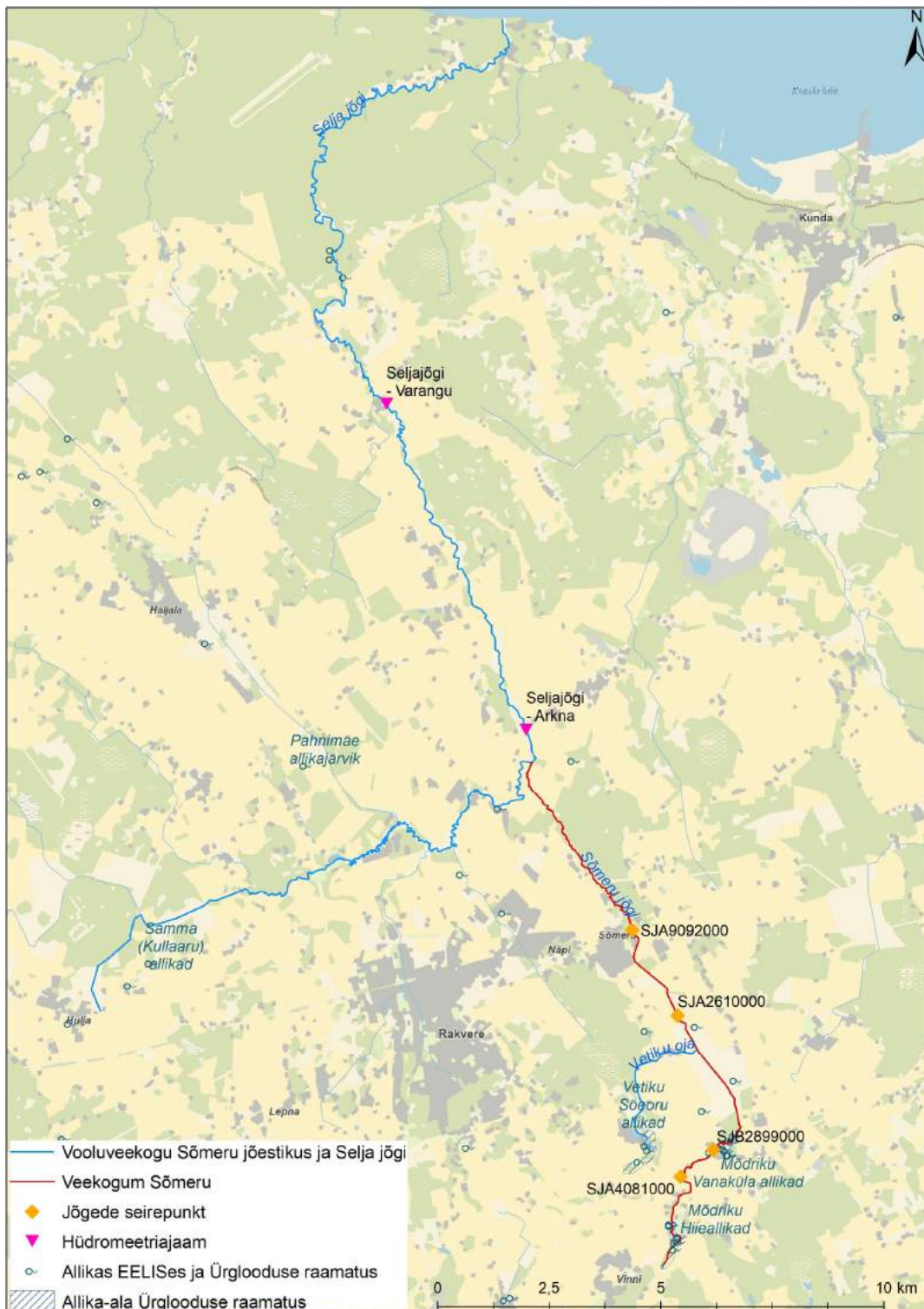
2010. aastal loodi Selja jõel uus Seljajõgi-Varangu (Karepa) hüdromeetriaaam. Jaam asub Varangu külas kunagisest Arkna jaamast 8 km loodes (Joonis 4.9). Selle andmestik peegeldab Sõmeru jõe äravoolu aga veel halvemini kui vana Selgejõgi-Arkna mõõtejaam.

Järvekülg (2001) on eksperthinnangu baasil sedastanud, et enamuse Sõmeru jõe vooluhulgast moodustab põhjavesi. Sõmeru jõe ülemjooksul asub kolm olulist allikaala: jõe lähteks olevad Mõdriku Hiieallikad (Mõdriku mõisa allikad), neist c. 3 km allavoolu asuvad Mõdriku Veski allikad (Mõdriku Vanaküla allikad) ning Vetiku oja lähteks olevad Vetiku Sõeoru allikad. Seega võib Sõmeru jõe tõepoolest ka ilma otseste mõõtmisandmeteta lugeda üsna kindlalt põhjaveest kriitiliselt sõltuvaks ökosüsteemiks.

Sõmeru jõe lähteks olevad Mõdriku Hiieallikad (Mõdriku mõisa allikad) asuvad Mõdriku mõisapargist lõunas ja ulatuvad kuni mõisapargi tiikideni (Joonis 4.9). Piirkonnas on maapinna lähedale ulatuv aluspõhi kaetud õhukese moreenikihiga. Suuremaid allika-alasid on kilomeetri pikkusel lõigul eristatud neli, neist kolm alaliste allikate ja üks ajutiste allikate ala. Suur, ca 7 ha hõlmav ajutiste allikate ala, mis on ka Sõmeru jõe ajutine lähteala, asub Mõdriku mõisa peahoonest 800–1200 m lõunas põllul ning töötab vaid kevadeti. Kevadeti kujuneb põllule ka ajutisi allikajärvikuid. Alaliselt toimivate allikate ala algab mõisa peahoonest ca 500 m lõunas ning moodustab kaks eristatavat järvikut ning ühe jõe kaldavööndis asuva allika-ala. Allikaid on ka mõisapargi tiikide paisutuse mõju all olevas jõelõigus. Aastatel 1991–1993 ulatus Hiieallikate koguvooluhulk 150 l/s (Ürglooduse objektid EELISes, 2019).

Mõdriku Vanaküla (Veskijärve) allikad asuvad Sõmeru jõele paisutamise tulemusena rajatud Mõdriku järvest lõunas ja edelas, Hiieallikatest ca 3 km allavoolu (Joonis 4.9). Aluspõhjast avanema

allika-ala pikkus on ca 350 m ning seda iseloomustab suur põhjavee väljavoolukohtade hulk, ~30 (Kink, 2006). Üksikute allikate vooluhulgaks on märgitud 0,1–10 l/s (Ürglooduse objektid EELISes, 2019), kuid on saadud ka tulemusi 12–32 l/s (Allese, 1969). Allikate vesi voolab kas otse järve või Sõmeru jõkke järvest ülesvoolu. 1967. aasta augustis miinimumveetaseme ajal tehtud üksikmõõtmise põhjal saadi Sõmeru jõe vooluhulgaks ülevalpool Vanaküla (Veskijärve) allikaid 143 l/s, seda võib nimetada Hiieallikate vooluhulgaks. Allpool Mõdriku veskipaisu oli jõe vooluhulk samal päeval 308 l/s. Seega Vanaküla (Veskijärve) allikatest lisandus 165 l/s (Allese, 1969). Tegemist on küll üksikmõõtmisega, kuid selle põhjal oli Mõdriku Hiie- ja Vanaküla allikate tootlikkus sarnane.



Joonis 4.9. Sõmeru jõe, Vetiku oja ja Selja jõe paiknemine maastikul, Sõmeru jõel paiknevad jõgede hüdrokeemilise ja -bioloogilise seire jaamad, Selja jõel asunud/asuvad hüdroloogilise seire jaamad ning allikate ja allika-alade asukohad EELISE andmebaasi põhjal seisuga aprill 2019 (Aluskaart Maa-amet, 2019).

Aastatel 1959, 1966–1968 toimunud mõõtmiste põhjal saadi Mõdriku Hiie- ja Vanaküla allikate aastakeskmiseks vooluhulgaks (ehk Sõmeru jõgi allpool Mõdriku veski lävendit) 275 l/s, miinimaalsete ja maksimaalsete kuukeskmistega vastavalt 40 ja 993 l/s (Ресурсы..., 1972). Mõõtmistulemustest tulenev allikate dünaamilisuse koefitsient oli 1959. aastal $k=25$, 1967. aastal $k=8$ ning 1968. aastal $k=9$. Mõdriku allikate toitealaks on peetud allikatest kagu poole jäävat piirkonda ja Mõdriku-Saueaugu karstijärvikuid (Heinsalu, 1988). Suuroja et al. (2015) andmetel on tegemist aga Mõdriku salajõgede süsteemi ühe väljavooluga. Süsteemi toitealaks on pakutud Kakumäe külast veidi ida pool paiknevat ala kuni kõrgusel 100 m ü.m.p, kust kulgeb looklev ja aluspõhja reljeefis raskesti jälgitav orund põhja suunas kuni Mõdriku allikateni.

Vetiku Sõeoru allikad asuvad Vetiku külas Vetiku Suurjärve (paisjärv) põhjas ja järvest edelas aluspõhjalises orus (Joonis 4.9). Allikate ala algab aluspõhjalises orus vahetult Rakvere-Tudu maanteest idas. Alalistest allikatest moodustub Vetiku oja, mille põhjas avaneb veel allikaid ning mis suubub edelast Vetiku Suurjärve. Tõenäoliselt ajutisi allikaid asub ka maanteest lääne pool, kuid nende äravool Vetiku oja on katkestatud maantee tammiga (paigaldatud truup on suletud täitematerjaliga). Suurjärvest 200 m allavoolu läbib Vetiku oja Vetiku Väikejärve (paisjärv), mille põhjas on samuti allikaid (Ott, 2008). Vetiku oja suubub selle keskjooksul Sõmeru jõkke. Vetiku allikate aastakeskmiseks vooluhulgaks saadi 1959, 1966–1968 mõõtmiste põhjal 313 l/s, miinimaalsete ja maksimaalsete kuukeskmistega vastavalt 25 ja 1250 l/s (Ресурсы..., 1972). Mõõtmistulemustest tulenev allikate dünaamilisuse koefitsient oli 1959. aastal $k=50$, 1967. aastal $k=11$ ning 1968. aastal $k=14$. Suuroja et al. (2015) on pidanud Vetiku allikaid Vetiku karstisüsteemi ehk viie kilomeetri pikkuse nn. Vetiku salajõe väljavooluks. Salajõe toitealaks on pakutud Kakumäe-Pajusti ümbrust umbes tasemel 100 m ümp

Lisaks neile kolmele peamisele allika-alale on EELISesse nii veekogude kui ka tundlike alade kaardikihtidele Sõmeru ja Vetiku oja lähedusse kantud vaid üksikud teadmata tootlikkusega allikat.

Ресурсы... (1972) andmete alusel omavad Mõdriku ja Vetiku allikad suhteliselt suurt pinnaveelist valglat (st $F=42 \text{ km}^2$ Mõdrikul, $F=20 \text{ km}^2$ Vetikul). Nende alade äravoolumoodulite võrdlusest naabruses paiknevate Lavi allikate (Kunda jõgi) tootlikkusega leiti, et kuna kahekordselt suurema pinnaveevalglaga Mõdriku allikate äravoolumoodul moodustas ainult poole Vetiku allikate äravoolumoodulist, siis toidab Mõdriku allikate pinnaveevalgla lisaks Sõmeru jõele ka Kunda jõe Lavi allikaid. Sellega seoses liideti 70 km^2 Selja jõe pinnaveevalglast Kunda jõe valgla (Ресурсы..., 1972).

Sõmeru veekogumi füüsikalise-keemilise seisundi ja mõningate vesikonnaspetsiifiliste saasteainete sisaldust on riikliku jõgede seire raames viimati hinnatud 2013. aastal (KESE, 2019), seda jõe keskjooksul asuvas Narva mnt seirejaamas (SJA9092000). Jõe hüdrobioloogilist seisundit seirati viimati 2010. aastal ja siis vaadeldi ainult kalastikku (KESE, 2019). Veemajanduskomisjonis kinnitatud värskeima seisundihinnangu alusel (Andresson et al., 2018) on veekogumi seisund halb. Halvema kui hea seisundi tingisid nii põhjaveest otseselt sõltumatu kalastiku kvaliteedielement kui ka vesikonnaspetsiifiliste saasteainete kvaliteedielement. Kalastiku mittehea seisundi põhjuseks on oletatud paisude mõju. Vesikonnaspetsiifilistest saasteainetest tuvastati 2013. aastal 1-aluseliste fenoolide tolaegset piirväärtust (Pinnavee keskkonna kvaliteedi..., 2010) ületav sisaldus – kõigis neljas proovis $2\text{--}2,1 \text{ } \mu\text{g/l}$ vs. $1 \text{ } \mu\text{g/l}$. Kehtivate vesikonnaspetsiifiliste saasteainete piirväärtuste alusel (Prioriteetsete ainete..., 2015) jäi jõevee 1-aluseliste fenoolide sisaldus aga 2013. aastal allapoole piirväärtust ($7 \text{ } \mu\text{g/l}$). 2-aluseliste fenoolide sisaldus oli ainsas määratud proovis $10 \text{ } \mu\text{g/l}$, mis oli nii siis, kui on ka praegu täpselt kehtiva piirnormi peal. Kehtiva veemajanduskava meetmeprogrammis, mis töötati välja varasemate piirväärtuste ajal, on fenoolse reostuse võimalike põhjustena nimetatud Vinni reoveepuhastit, muud suublasse suunatavat heitvett ja ebaselget koormust (Keskkonnaministeerium, 2016b). Fenoolid võivad veekogudesse kanduda ka põhjaveega ning juhul, kui fenoolide piirväärtus oleks jões endiselt ületatud ning kindlat punktallikat pole tuvastatud, tuleks jõe põhjaveetoitealal määrata fenoolide sisaldust, et välja

selgitada, kas need võivad jökke jõuda põhjavee kaudu. Sõmeru jõel pole see kehtivate piirmäärade valguses aga vajalik.

Lisaks vesikonnaspetsiifilistele saasteainetele võivad põhjavee poolt otseselt mõjutatavad olla ka veekogude füüsikalise-keemilise kvaliteedielemendi hindamisel kasutatavad toitainekoormuse näitajad ning keemilist seisundit mõjutavad ohtlikud ained. Keemilist seisundit Sõmeru jõel seni määratud ei ole, küll aga hinnati 2013. ja 2010. aastal jõe füüsikalise-keemilist seisundit. Füüsikalise-keemilise seisundi koondhinnang oli 2013. aastal hea, kuid üldlämmastiku keskmine sisaldus vastas kesisele seisundiklassile – 4,8 mg/l (KESE, 2019). 2010. aastal oli ka füüsikalise-keemilise seisundi koondhinnang kesine ning üldlämmastiku sisaldus vastas halvale seisundiklassile – 6,3 mg/l (Hindrikson, 2010). Hea klassi piirid on 1,5–3,0 mg/l, kesise klassi piirid >3,0–6,0 mg/l (Pinnaveekogumite..., 2009). Nitraatlämmastiku keskmine sisaldus kummalgi seireaastal oli vastavalt 4,5 mgN/l ja 5,2 mgN/l. Kuna viimase kümne aasta jooksul jõe elustikurühmade (peale kalade) seisundi kohta andmed puuduvad, ei saa hinnata, kas ja kuidas kõrge lämmastikuühendite sisaldus jõe ökosüsteemile mõju avaldab.

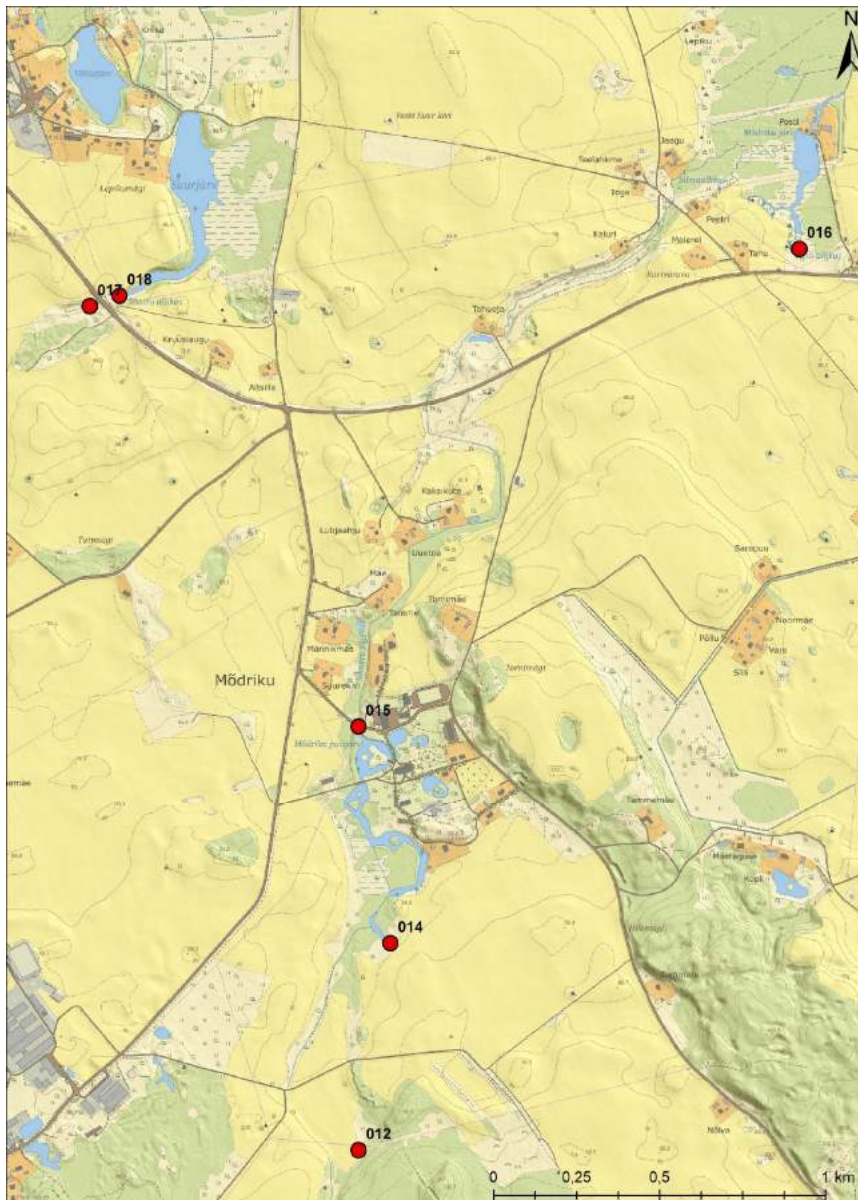
Terasmaa et al. (2015) töös tehti tol hetkel kättesaadavate andmete põhjal järeldus, et halvas seisundiklassis Sõmeru jõgi on tõenäoliselt suure põhjaveelise toituvusega, kuid kuna Sõmeru veekvaliteedi näitajad seirearuannetes puuduvad, siis ei ole võimalik põhjavee mõju kohta jõe seisundile midagi öelda ning vaja on täiendavaid uuringud. Käesoleva aruande koostamisel kättesaadavaks saanud andmetest (Keskkonnaseire Infosüsteem) ilmneb, et sarnaselt Loobu jõele on Sõmeru jõel probleeme kõrge lämmastiku sisaldusega ning lämmastik võib jökke jõuda põhjavee kaudu. Käesoleva projekti lähteülesandes on ette nähtud uuringukava koostamine Sõmeru veekogumi seisundi seoste uurimiseks halvas seisundis põhjaveekogumitega. Seetõttu koostati Sõmeru veekogumile ka põhjaveekogumitest sõltuvuse kontseptuaalne mudel.

4.2.2. Välivaatluste tulemused

Sõmeru jõe (kui ka veekogumi) ülemjooksul toimusid 8.04.2019 välivaatlused, mille käigus mõõdeti multimeetriga *Hanna HI98195* viies punktis (Joonised 4.10–4.12) jõe ja allikate vee erielektrijuhtivust, temperatuuri, pH-d ning hapnikumõõtmisega *Marvet Junior 2000* lahustunud hapniku sisaldust. Samuti hinnati ühes lüvendis vooluhulka pinnavee ujukite ja stopperi abil (Tabel 4.2). Mõõtmiste olulisim järeldus on, et erielektrijuhtivus kõigis mõõtmispunktides oli kõrge >400 µS/cm (>400 µS/cm – kare vesi (Pinnaveekogumite..., 2009)), mis viitab selgelt aluspõhjalisele põhjaveetoitele. Kõrge oli erielektrijuhtivus ka Vetiku allikatest teetammiga eraldatud ajutises veekogus, mis viitab samuti selle põhjaveelisele mitte aga pinnaveelisele toitele.

Tabel 4.2. Sõmeru veekogumi ülemjooksul ja Vetiku allikatel 8.04.2019 toimunud välivaatluste käigus mõõdetud parameetrid, tegemist oli kohalike elanike info kohaselt maksimaalse veetaseme taandumise algusega

Mõõtepunkti nr	Mõõtepunkti nimi	Erielektrijuhtivus, µS/cm	Lahustunud ainete sisaldus, mg/l	Temperatuur, °C	pH	Lahustunud hapniku sisaldus, mg/l	Vooluhulk, l/s
012	Sõmeru ajutine ülemjooks, igritsevad allikad põllul	492	320	6,1	7,3	8,9	-
014	Mõdriku Hiieallikate esimene alaline allikas	644	419	5,6	7,1	9,4	-
015	Sõmeru jõgi Mõdriku mõisapargi tiikide väljavool	-	-	-	-	-	250
016	Lõunapoolseim Mõdriku Vanaküla allikas	560	364	5,5	7,0	5,9	-
017	Vetiku soonik maanteest läänes	602	391	7,6	7,7	13,1	-
018	Vetiku Sõeoru allikaoja lähe	666	433	5,7	7,2	9,7	-



Joonis 4.10. Sõmeru veekogumi ülemjooksul ja Vetiku allikatel 8.04.2019 toimunud välivaatluste mõõtepunktid.



Joonis 4.11. Mõõtepunkt 012. Sõmeru ajutine ülemjooks Hiieallikatest ülesvoolu põllu peal (vasakul). Mõõtepunkt 014. Mõdriku Hiieallikate (Mõdriku mõisa allikate) esimene alaline allikas (keskel). Mõõtepunkt 015. Sõmeru jõgi Mõdriku mõisapargi tiikide väljavoolu kohal (paremal) (Fotod: Elve Lode).



Joonis 4.12. Mõõtepunkt 018. Vetiku Sõeoru allikaoja lähe (Foto: Rauno Talussaar).

4.2.3. Kontseptuaalne mudel

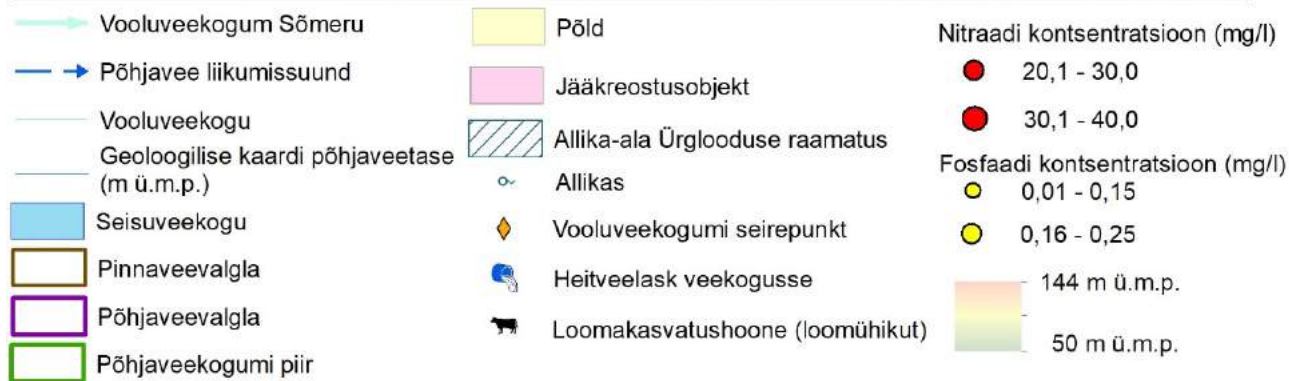
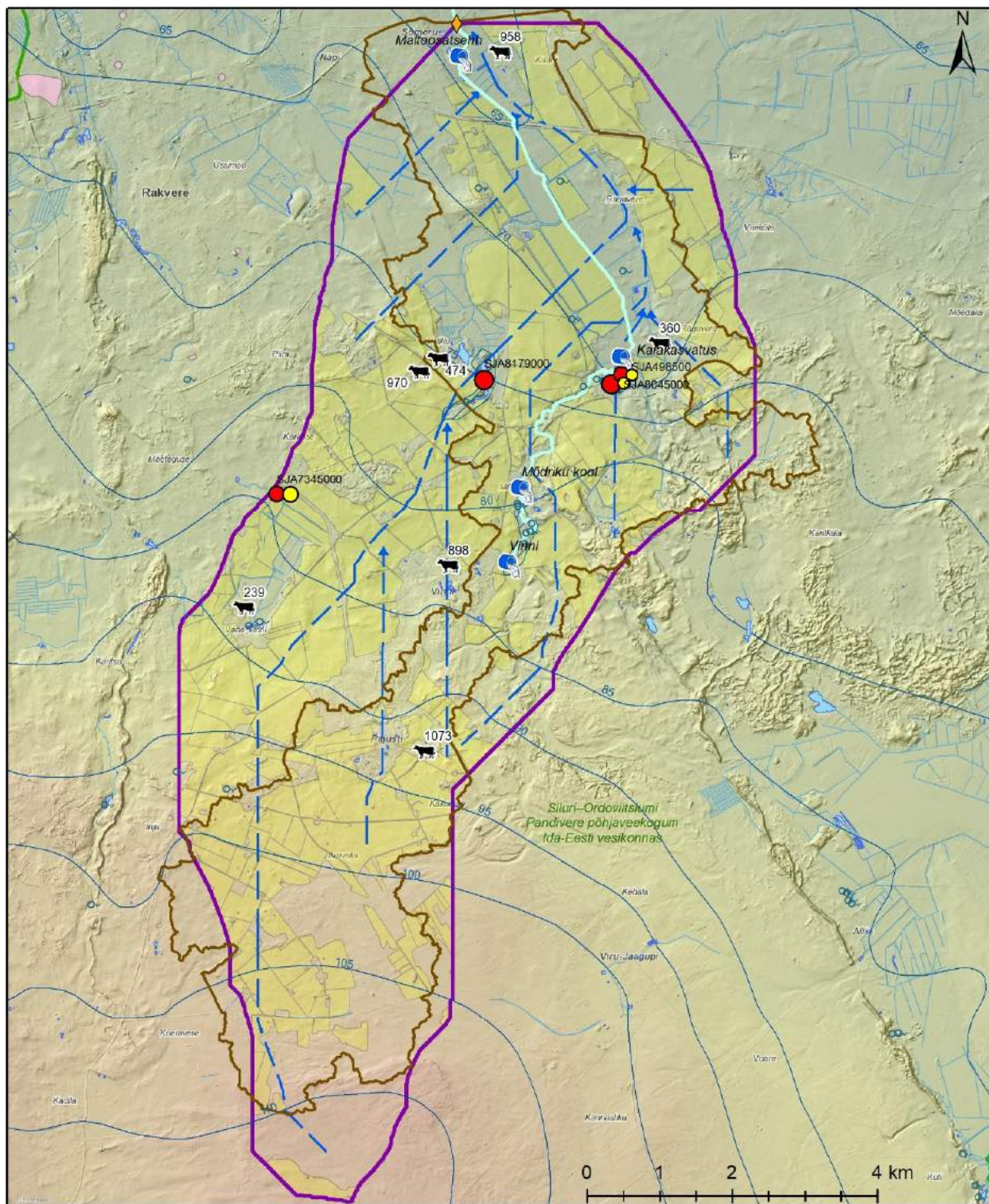
Sõmeru veekogumi põhjaveega seotuse kontseptuaalse mudeli koostamiseks kasutati Eesti Geoloogilise baaskaardi viiemeetrise intervalliga S-O põhjaveekompleksi isohüpse (Maa-ameti geoportaal, 2019) ning nende põhjal ArcGIS tarkvaraga tuletatud põhjavee liikumissuundasid ja põhjaveevalgate piire, Maa-ameti 2018. aasta LiDAR kaardistamise kõrgusandmeid (Maa-ameti geoportaal, 2019), nitraaditundliku ala seire käigus perioodil 2009–2018 kogutud põhjavee nitraadi- ja fosfaadisisalduse andmeid (KESE, 2019), PRIA andmebaasi loomakasvatushoonete ja põllumassiivide andmeid (PRIA, 2019) ning EELISE heitveelaskude ja jääkreostusobjektide asukohaandmeid (EELIS, 2019). Piiritletud põhjaveevalgate puhul tuleb arvestada, et kasutada olnud olemasolevad põhjaveetaseme sisendandmed on hõreda sammuga ning loodud käesoleva töö fookusest oluliselt suurema üldistustasemega. Seega tuleb esitatud põhjavee voolusuundadesse ja põhjaveevalgate piiridesse suhtuda teatud ettevaatlikusega. Pinnaveevalgate veelahkmete modelleerimisel lähtuti eeldusest, et suletud lohud toitealaga üle 1,0 ha ning sügavusega üle 1,0 m moodustavad iseseisvaid suletud valglaid. Ruumiandmete töötlemiseks kasutati tarkvara *ArcMap 10.5.1*. Geoloogilise läbilõike koostamiseks kasutati lisaks veel ka Geoloogilise baaskaardi aluspõhja reljeefi ja puuraukude kirjelduste andmeid (Maa-ameti geoportaal, 2019).

Kontseptuaalse mudeli koostamise fookuspunktiks valiti veekogumi füüsikalise-keemilise seisundi seirejaamas SJA9092000 (Narva mnt), mis asub veekogumi keskjooksul. Osa jõest jäi selle tõttu küll kontseptuaalsest mudelist välja, kuid kuna jõe peamised eeldatavad põhjavee väljealad asuvad seirejaamast ülesvoolu ning kõrge lämmastiksisaldus on tuvastatud just seirejaamas SJA9092000, siis hindamaks võimalikku põhjavee mõju jõele just seirejaama lävendis, oli selline fookuspunkti valik kõige otstarbekam. Mudeltulemuste järgi ületab lävendi põhjaveeline toiteala ($F=70 \text{ km}^2$) poolteist korda pinnaveelist toiteala ($F=44 \text{ km}^2$). Modelleeritud põhjaveevalgla hõlmab peaaegu täielikult modelleeritud pinnaveevalgla (Joonis 4.13). Suurim erinevus ilmneb lääneosa veelahkmepiiride kulgemises, kus põhjaveevalgla veelahkmejoone maksimaalseim kaugus pinnavee veelahkmest on ca 3,5 km. Seega hõlmab Sõmeru veekogumi oletatav põhjavee toiteala kontseptuaalse mudeli põhjal Raudvere, Mõdriku ja Vinni-Pajusti piirkonna ning ulatub lõunas kuni Koeravere küla ja Kannistiku kõvikuni ehk kaugemale lõunasse kui seda pakkusid Heinsalu (1988) ja Suuroja et al (2015). Kontseptuaalne mudel ei näita ka teoses “Ресурсы...” kirjeldatud Kunda jõe osalist toitmist Selja jõe pinnaveevalga (kuhu kuulub ka Sõmeru jõgi) poolt, kuna modelleeritud Sõmeru jõe lõigus langeb pinna- ja põhjaveevalgla idapiir suures osas kokku. Kontseptuaalse mudeli põhjal leidis aga kinnitust Terasmaa et al. (2015) töös tehtud järeldus, et **Sõmeru**

vooluveekogum on seotud põhjaveekogumiga nr 15 S-O Pandivere põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas.

Põllumaad katavad Sõmeru veekogumi modelleeritud põhjaveevalglast 38 km² ehk 54% ning juhul, kui jõe liigne lämmastik pärineb põhjavette leostunud hajureostusest, on see ilmselt seotud põllumajandusega. Põhjaveevalgla piiresse jääb ka seitse enam kui kümne loomühikuga loomakasvatushoonet (Joonis 4.13), mis võivad samuti täiendavalt toitainekoormust põhjavette lisada. Ühtegi jääkreostusobjekti ega heitveelasku pinnasesse piiritletud põhjaveevalglasse ei jää. Samas suunavad oma heitvee Sõmeru jõkke nii Vinni reoveepuhasti, Mõdriku kool ja kalakasvatus kui ka Sõmeru maltoosatsehh.

Põhjaveevalglale jääb neli nitraaditundliku ala põhjavee seirejaama, milles on viimase kümne aasta jooksul (2009–2018) määratud nitraat-, ammonium- ja mõnel juhul ka fosfaatioone (Joonis 4.13). Kolm nendest seirejaamadest paiknevad just Sõmeru jõge toitvatel allikaaladel, st seirejaam SJA8179000 Vetiku Sõeoru allikatel ja seirejaamad SJA8045000 ning SJA498500 Mõdriku Vanaküla (Veskijärve) allikatel. Neljas seirejaam asub piiritletud põhjaveevalgla äärealal Saueaugu karstialal. Allikajärvedest võetud proovide viimase kümne aasta keskmised nitraatiooni sisaldused on suured 29–36 mg/l. Nitraatlämmastikuna esitatult on see 6,6–8,1 mgN/l. Vetiku allikajärvede seisundit hindas 2008. aastal EMÜ Limnoloogiakeskus ning siis järeldati, et järvede äärmuslikult kõrged lämmastiksisaldused viitavad selle sissekandele allikate kaudu ning mõlema järve ökoloogiline seisund oli kesine või halb (Ott, 2008). Allikate peamiselt toitealalt viimase kümne aasta jooksul põhjavee toitainesisaldust analüüsitud ei ole, samuti ei ole sellel perioodil analüüsitud Mõdriku Hiieallikate (Mõdriku mõisa allikate) vee toitainesisaldust. Värskeim analüüsitulemus Hiieallikatest pärineb 2008. aasta suvest ning siis oli sealne nitraatiooni sisaldus 27 mg/l.



Joonis 4.13. Sõmeru veekogumi põhjaveekogumiga seotuse kontseptuaalne mudel. Nitraat- ja fosfaatiooni kontsentratsioonide puhul on esitatud seirepunkti keskmine väärtus perioodil 2009–2018.

Arvestades Mõdriku ja Vetiku allikate eeldatavat suurt rolli Sõmeru jõe põhjaveetoites, piiritleti põhja- ja pinnaveevalgla ka Vetiku Suurjärvele ja Sõmeru jõe ülemjooksule vahetult allpool Mõdriku Vanaküla (Veskijärve) allikate ala (Joonised 4.14 ja 4.15). Viimane hõlmab nii Hiie- kui Vanaküla allikate toiteala. Kontseptuaalse mudeli põhjal on Vetiku Suurjärve oletatav põhjaveevalgala 33 km² ja Mõdriku allikate oletatav põhjaveevalgala 7 km². Pinnaveevalgalad on vastavalt 0,7 km² ja 22 km². Seega on Vetiku Suurjärve oletatav põhjaveeline toiteala pinnaveelisest toitealast 47 korda suurem ning Mõdriku allikatel kolm korda suurem. Mõdriku allikate oletatav toiteala asub allikatest lõuna pool ning ulatub kuni Pajusti alevikuni. Vetiku allikate oletatav toiteala ulatub aga Kannistiku kõvikust kaugemale lõunasse.

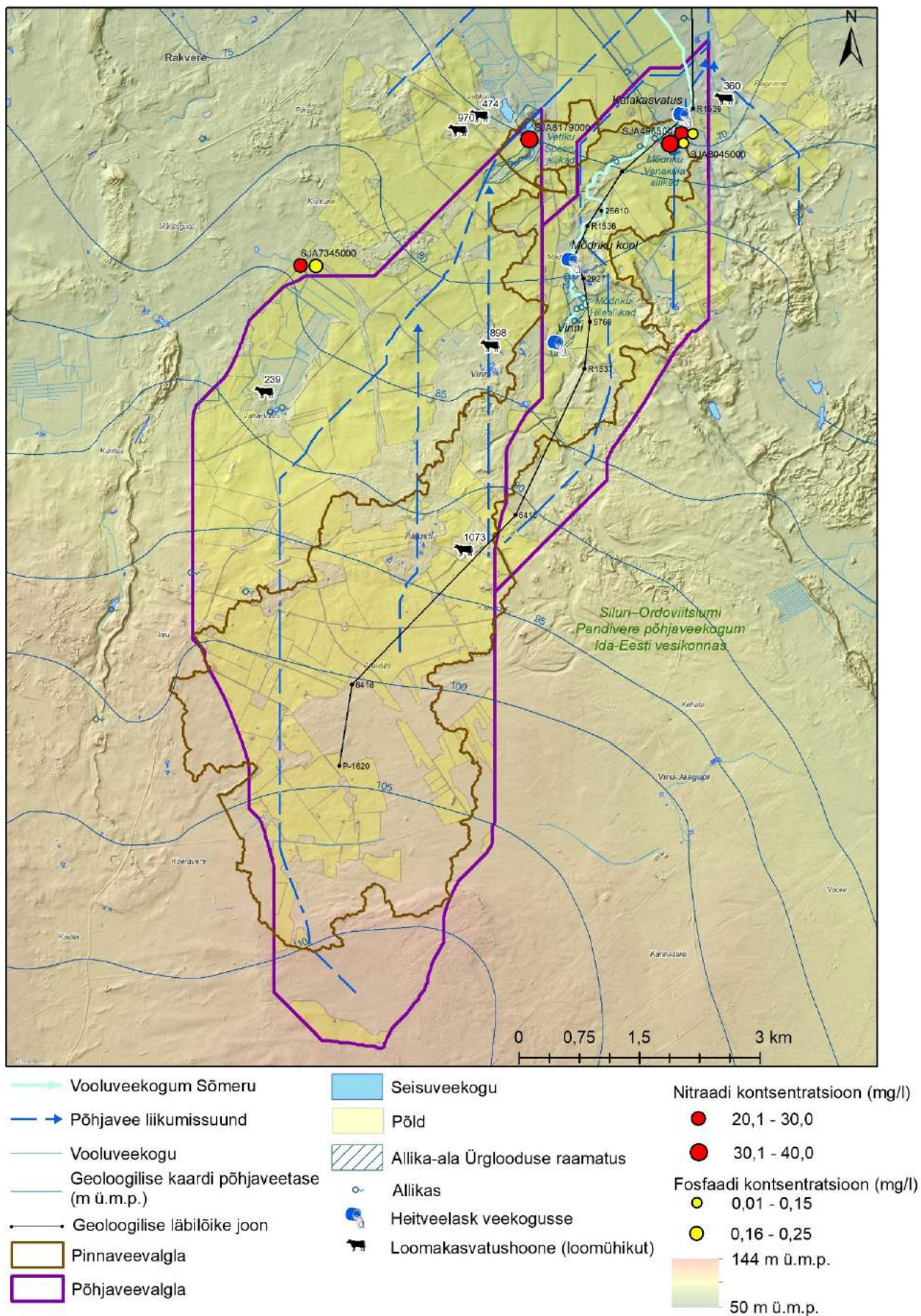
Vetiku allikate modelleeritud pinnaveevalgla on 29 korda ja Mõdriku allikate pinnaveevalgla 1,9 korda väiksem võrreldes Песцы... (1972) andmetega. Vetiku Suurjärve modelleeritud pinnaveevalgla on sedavõrd väike, kuna selle lõikab ära Rakvere-Tudu maantee. Maantee all on küll truup, kuid selle väljavool on pinnasega täidetud, mistõttu maanteest edela ja lõuna pool paiknevad alad Vetiku Suurjärvega enam pinnaveevalgla kaudu ühendatud ei ole. Mõdriku allikate pinnaveevalglate kahekordse erinevuse põhjused tulenevad asjaolust, et teoses “Песцы...” (1972) kulgeb allikate pinnaveevalgla piir kaugemal ida ja kagu pool. Seega erinevalt “Песцы...” (1972) andmetest, käesolevas töös modelleeritud pinna- ja põhjaveevalglate piirides Mõdriku allikate pinnaveevalgla Kunda jõge ei toida, sest allikate pinnaveevalgla ei ulatu põhjaveevalglast kaugemale itta.

Kuna põhjavee voolusuundade ja põhjaveevalglate piiritlemisel oli võimalik kasutada vaid üldise Eesti Geoloogilise baaskaardi viiemeetrise intervalliga S-O põhjaveekompleksi isohüpse, siis tuleb sedavõrd spetsiifilisse üksikute allikaalade toitealade piiritlemise tulemustesse suhtuda suure ettevaatlikkusega. Üldistatud põhjaveetaseme andmete kasutamine on ka põhjus, miks Mõdriku allikate ala põhjaveevalgla piiritleti ca. 1 km kaugemale allavoolu kui pinnaveevalgla (Joonis 4.14.). Nimelt toimus interpoleeritud põhjaveetaseme kaardikihi voolusuundade koondumine ca. 1 km Mõdriku Vanaküla (Veskijärve) allikatest põhja pool. Vetiku ja Mõdriku allikate modelleeritud põhjaveevalglate lahkmejoone tõepära seab kahtluse alla ka nende mitmekordne pindalaline erinevus, arvestades allikate suhteliselt sarnast tootlikkust pool sajandit vanade andmete põhjal. Seega tuleks allikate toitealade usaldusväärsemaks piiritlemiseks läbi viia suure tihedusega põhjaveetasemete mõõtmisi ja trasseerimiskatseid hõlmav uuring.

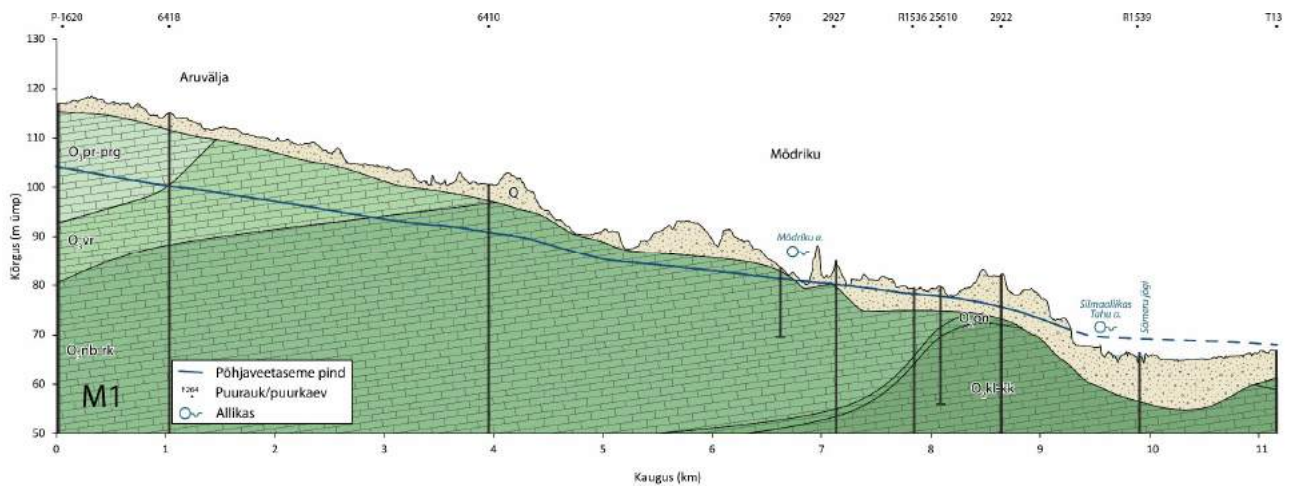
Vetiku Suurjärve modelleeritud põhjaveevalglast katavad põllumaad 19 km² ehk 58% ning Mõdriku allikate puhul on vastavad näitajad 4,8 km² ehk 69%. Vetiku allikate oletatavale põhjaveevalglale jääb kolm enam kui kümne loomühikuga loomakasvatushoonet ning Mõdriku allikate oletatavale põhjaveevalglale mitte ühtegi (Joonis 4.14). Seega olenemata nende toiteala lahkmejoone täpsest kulgemisest, tuleb mõlema allika-ala suure lämmastikusisalduse põhjuseid otsida ilmselt just suurest põllumaade osakaalust mõlema toitealal.

Nitraaditundliku ala seirejaamu, kus viimase kümne aasta jooksul põhjavee nitraatiooni sisaldust määratud oleks, kummagi allikaala oletatavasse põhjaveevalglasse ei jää. Nagu varem mainitud, on toitaineid määratud ainult allikatest endist ning nende kontsetratsioonid on jõe ökosüsteemi taluvuspiiri arvestades liiga suured (Joonis 4.14).

Seega võib koostatud kontseptuaalse mudeli põhjal ja olemasolevaid andmeid arvesse võttes üsna suure usaldusväärsusega väita, et põhjavesi on Sõmeru jõe oluline koormusallikas ning läbi põllumaadelt põhjavette kanduva suure nitraatlämmastiku koormuse **põhjustab S-O Pandivere põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas (nr 15) Sõmeru jõe ebasoodsalt kõrget lämmastiksisaldust.**



Joonis 4.14. Mõdriku ja Vetiku allikate põhjaveekogumiga seotuse kontseptuaalne mudel. Nitraat- ja fosfaatioonide kontsentratsioonide puhul on esitatud seirepunkti keskmine väärtus perioodil 2009–2018.



Joonis 4.15. Mõdriku allikate oletatava põhjaveetooteala geoloogilis-hüdrogeoloogiline läbilõige. Läbilõike M1 paiknemine maastikul on näidatud joonisel 4.14. Veekihtide liigestus ja lühendid Jõelett & Polikarpus (2019) järgi. Q – Kvaternaari veekiht; O_{3pg-prg} – Porkuni-Pirgu veekiht; O_{3vr} – Vormsi veekiht/nõrk veepide; O_{3nb-rk} – Nabala-Rakvere veekiht; O_{2on} – Oandu veepide; O_{2kl-kk} – Keila-Kukruse veekiht.

4.2.4. Uuringukava

Olemasolevate ja kättesaadavate andmete põhjal koostatud kontseptuaalse mudeli põhjal selgus, et Sõmeru vooluveekogumi kesisele seisundile vastav üldlammastiku sisaldus on ilmselt põhjustatud põhjaveekogumite kõrgest lammastikuisaldusest. Vastavalt Euroopa Komisjoni juhendmaterjalile (European Commission, 2009), tuleb pinnaveekogudega seotud põhjaveekogumi keemiline seisund lugeda halvaks juhul, kui pinnaveekogumi ökoloogiline seisund ei ole hea mõne põhjavee poolt kantava ühendi pinnavee kvaliteedistandardi ületamise tõttu ning põhjaveest pärineb selle ühendi koormusest vähemalt 50%. Selle kinnitamiseks või ümberlükkamiseks eesmärgipäraselt ja üheaegselt kogutud andmete põhjal, tuleks läbi viia asjakohane uuring, mis peab vastama järgmistele küsimustele:

- 1) Kui suured on põhjavee ning Mõdriku ja Vetiku allikate osakaalud Sõmeru jõe vooluhulgast ja millised on nende aastasisesed dünaamikad?
- 2) Milline on lammastikuisalduse muutuste dünaamika piki Sõmeru jõe lähtest allavoolu ning kas jõe peamine lammastikukoormus tuleneb Mõdriku ja/või Vetiku allikatest?
- 3) Kas kontseptuaalse mudeli koostamisel piiritletud Vetiku ja Mõdriku allikate põhjaveevalglate lahkmejooned on tõesed?

Uuringukava koostamisel on lähtutud eeldusest, et Sõmeru veekogumi ajakohane ökoloogiline seisund määratakse jõgede hüdrokeemilise ja -bioloogilise seire raames vastavalt kehtivale metoodikale enne käesoleva uuringukava elluviimist ning selle läbiviimist käesolevas uuringukavas käsitletud ei ole. Sõmeru veekogumile avalduva põhjavee mõju hindamiseks sobib seni füüsikalisk-keemiliste näitajate seiramiseks kasutatud seirejaam SJA9092000 (Narva mnt).

- Põhjavee osakaalu tuvastamiseks Sõmeru veekogumi vees **tuleb rajada vooluhulkade mõõtmiseks automaatseirevõrk**. Lävendid peavad Sõmeru jõel paiknema vähemalt Mõdriku mõisapargi paisjärve väljavoolul (Mõdriku Hiieallikate (Mõdriku mõisa allikate) vooluhulk), ülevalpool Mõdriku Vanaküla (Veskijärve) allikaid, Mõdriku (Veski)järve väljavoolul allpool kalapääsu (Mõdriku Vanaküla allikate vooluhulk), ülevalpool Vetiku oja suubumist ja SJA9092000 (Narva mnt.) seirepunktis (Joonis 4.16). Vetiku ojal peavad lävendid paiknema vähemalt Vetiku Väikejärve väljavoolul (Vetiku allikate vooluhulk) ja ülevalpool suubumist Sõmeru jõkke (kogu Vetiku oja vooluhulk) (Joonis 4.16). Nendel, **vähemalt seitsmel lävendil**, tuleb vooluhulga mõõtmisi teostada vähemalt nelja järjestikuse aasta jooksul, soovitatavalt 3 h intervalliga. Nelja aasta pikkune mõõteperiood on vajalik selleks, et katta suurema tõenäosusega nii madalama kui kõrgema

vooluhulkadega aastaid. Automaatseirevõrk võib automaatsete vooluhulgamõõtjate asemel koosneda ka veetaseme automaatanduritest. Sellisel juhul tuleb esimese uuringuaasta jooksul jäävabal perioodil vähemalt kord kuus teha vooluhulkade kontrollmõõtmisi ning leida veetaseme ja vooluhulga funktsionaalsed seosed, nn. vooluhulga kõverad, iga mõõtelävendi kohta. Ülejäänud uuringuaastatel tuleb vooluhulkade kontrollmõõtmisi teha vastavalt vajadusele funktsionaalsete seoste täiendamiseks. Funktsionaalsete seoste põhjal tuleb leida automaatandurite mõõdetud veetasemetele vastavad vooluhulgad.

Jõe lähtes, ülevalpool Hiieallikate alalist allika-ala suubub jõkke Vinni heitveepuhasti väljalask. See tähendab, et Mõdriku mõisapargi paisjärve väljavoolu lävendi vooluhulk kajastab lisaks Hiieallikatele ka Vinni heitveelasu vooluhulka. Selle vooluhulga mahaarvestamiseks on võimalik kasutada heitveelasu veearvestuse andmeid. Jõe ülemjooksul lisaks asuvate Mõdriku kooli ja Mõdriku kalakasvatuse heitveelaskude vooluhulkade mõju tulemustele puudub, kuna esimesel juhul on lubatud aastane heitveekogus kõigest 4000 m³ ehk 0,13 l/s ja teisel juhul lastakse heitveelasust jõkke sealt varem võetud vett.

Vooluhulga seireandmete põhjal tuleb leida aastakeskmise põhjavee osakaal SJA9092000 (Narva mnt) lävendis. Põhjavee osakaalu leidmiseks võib kasutada konventsionaalseid meetodeid, millest kõige lihtsam on aritmeetiline meetod. Selle põhjal saab leida Mõdriku Hiieallikate (Mõdriku mõisa allikate), Vanaküla (Veskijärve) allikate ja Vetiku allikate osakaalud SJA9092000 (Narva mnt) lävendis lihtsa protsentarvutusega. Kogu põhjavee äravoolu saab leida kasutades erinevaid baasaravoolu arvutamise meetodeid. Soovitav oleks ka rakendada trasseritel (stabiilsed isotoobid, temperatuur) põhinevaid meetodeid, nt. Isokangas (2018).

- Leidmaks kinnitust, kas liigne lämmastik jõuab jõkke peamiste allika-alade kaudu ning selgitamaks välja, kas erinevatel allika-aladel on lämmastikukoormuse kujunemises erinev roll, tuleb **kõigil vooluhulga mõõtmise lävenditel sagedusega kord kuus võtta veeproovid üldlämmastiku, nitraatlämmastiku, nitritlämmastiku ja ammooniumlämmastiku sisalduse määramiseks**. Samaaegselt proovivõtuga tuleb taustaandmetena **mõõta ka vee põhiparameetrid** – pH, elektrijuhtivus, erielektrijuhtivus, oksüdatsiooni-reduktsiooni potentsiaal (Eh), temperatuur, lahustunud hapniku sisaldus. Kuna Mõdriku mõisapargi paisjärve väljavoolu lävendi lämmastikuisaldus kajastab lisaks Hiieallikatele ka Vinni heitveelasu vee kvaliteeti, tuleb selle mahaarvestamiseks võtta teiste proovidega samaaegselt ka proov Vinni heitveelasu väljavoolust (Joonis 4.16). Mõdriku (Veski)järve väljavoolu lävendi vooluhulk kajastab aga lisaks Mõdriku Vanaküla (Veskijärve) allikatele ka Mõdriku kalakasvatuse heitvett. Kalakasvatuse tiikidest ülesvoolu pole võimalik kogu Vanaküla (Veskijärve) allikate vooluhulka ega kvaliteeti hinnata, kuna Mõdriku paisu möödaviik-kalapääs suubub Sõmeru jõkke kalakasvatuse tiikidest ülesvoolu. Seega eraldamaks kalakasvatusest lisanduvat lämmastikukogust allikatest lisanduvast lämmastikukogusest, tuleb veekvaliteedi proovid võtta lisaks möödaviik-kalapääsust ning vahetult Mõdriku (Veski)järve paisu alt (Joonis 4.16).

Kui vooluhulga mõõtmiste põhjal selgub, et põhjavesi ning just Mõdriku ja Vetiku allikate vesi moodustab SJA9092000 (Narva mnt) lävendi vooluhulgast summaarselt üle poole ning allikate kaudu jõkke lisanduv üldlämmastiku sisaldus on suurem kui
$$\frac{0,5 \cdot N_{\text{üld Narva mnt.lävendis}} (mg/l)}{p_{\text{põhjavee osakaal Narva mnt.lävendis}}}$$
 ehk põhjaveest tuleb enam kui 50% jõgede heale seisundile vastavast üldlämmastiku sisaldusest, on põhimõtteliselt tõestatud, et S-O Pandivere põhjaveekogumil Ida-Eesti vesikonnas on Sõmeru veekogumi lämmastikuisaldusele negatiivne mõju. Teistsugune tulemuste kombinatsioon eeldab

kindlate järelduste tegemiseks põhjalikumalt, ka teiste lävendite põhjavee osakaalusid ja lämmastiksisaldusi hõlmavat analüüsi.

- Kontseptuaalse mudeli koostamisel piiritleti küll Vetiku ja Mõdriku allikate põhjaveevalgla lahkmejoon, kuid kuna selle alusena kasutati Eesti Geoloogilise baaskaardi viiemeetrise intervalliga S-O põhjaveekompleksi isohüpse, võivad tegelikud valglate jaotused suuremal või vähemal määral erineda konseptuaalsete mudelitega pakutust. Allikate põhjaveevalglate kontrollimiseks ja vajadusel korrigeerimiseks tuleb kontseptuaalse mudeli põhjal piiritletud allikate põhjaveevalglatel ja nende piiritsoonidel viia läbi piisaval hulgal põhjaveetaseme mõõtmisi ja põhjavee trasseerimiskatseid.



Joonis 4.16. Uuringukavas nimetatud Sõmeru veekogumi vooluhulga ja veekvaliteedi seirepunktid.

5. Karstijärvikud

Kohandatud lähteülesanne: Koostada 7 karstijärviku: Assamalla karstiluht, Einjärve ja Aniste karstijärved, Kuksema karstihäil, Paistevälja–Jalgsema karstinõod, Savalduma karstijärv, Tudre karstiorg, Saksi karstijärv (Neanurme karstijärviku asemel) kohta nende kirjeldused ja kontseptuaalsed mudelid. Koostada seirekava vabal valikul ühele karstijärvikule põhjaveekogumis nr 14 (soovitavalt Natura elupaigatüüp 3180) ja kirjeldada selle näite abil seire metoodikat. Seejuures koostada ka karsti elustiku uurimise kava, mille abil oleks võimalik hinnata seoseid põhjaveega. Karstijärvikuks, millele koostatakse seirekava valiti Assamalla karstiluht.

5.1. Karstijärviku definitsioon

Karstijärvikut võib defineerida kui ajutist seisuveekogu, mis kujuneb karstilise tekke, toite ja/või äravooluga aluspõhjalisse nõkku. Heinsalu (1979) on Eestis leiduvaid karstijärvikuid vastavalt toitumistingimustele, järvenõo geomorfoloogilisele ehitusele ja karsti iseärasustele klassifitseerinud järgmiselt:

1) Pinnaveetoitelised karstijärvikud

1.1. Järvikud kurisutes – kui kurisusse valguv vesi ületab selle pugemete neelamisvõime ning moodustub ajutine järvik.

1.2. Ajutised järvikud karsti umblehtrites ja lohkudes – karstilehtrites ja -lohkudes puuduvad vett neelavad pugemed või on need ummistunud, mistõttu moodustuvad sinna peamiselt sademetest toituvad järvikud. Nende veerežiim sõltub sademete hulgast, aurumisest, pinnasevee tasemest ja pinnase infiltratsioonitingimustest. Enamik sellistest järvikutest kaob suvel vee aurumise ning aeglase infiltratsiooni tõttu.

2) Põhjaveetoitelised karstijärvikud

2.1. Järvikud maa-aluste aluste jõgede langatusvormides, mis tekivad, kui karstivee tase tõuseb langatusvormide põhjast kõrgemale.

2.2. Ajutised karstijärvikud kulumisnõgudes – nõgu täitub veega, kui karstivee tase tõuseb nõo ümbruskonnas nõo põhjast kõrgemale; karstivee taseme alanedes alaneb ka järvi veetase.

2.3. Karstiallikajärved – allikaaladel asuvad karstijärvikud, mis paiknevad enamasti sootandasandikel või nende serval ja on sageli seotud maa-aluste jõgedega.

Käesoleva töö üheks eesmärgiks oli seitsme olulise Eesti karstijärviku (soovitavalt Natura elupaigatüüp 3180*) kirjelduste ja kontseptuaalsete mudelite koostamine. Loodusdirektiivi elupaigatüüpide käsiraamatu (Paal, 2007) järgi olid elupaigatüüp 3180* ehk karstijärvede ja -järvikute elupaigatüübi etaloniks turlokid (ingl k. *turlough*), ehk põhjaveetoitelised, muutuva veetasemega, ajutised veekogud lirimaal. Waldren (2015) kirjeldab, et kuigi lokaalne pindmine äravool võib turlokite puhul olla oluliseks toiteallikaks, peetakse nende peamiseks üleujutajaks siiski nõo põhjast kõrgemale tõusevat põhjavett. Eelnevale tuginedes, oleksid turlokite lähimaks Eesti analoogiks Heinsalu (1979) eristatud kulumisnõgude karstijärvikud.

Kulumisnõgude karstijärvikud on üldjuhul teistest tüüpidest suurema pindala ja ruumalaga, ning kestvuselt pikemaajalised, mistõttu omavad elupaiga ja ökosüsteemina suuremat kaalu. Samuti on kulumisnõgude karstijärvikud üldjuhul vastakuti seotud maapinnalähedase aluspõhjalise põhjaveekihi, mis teeb need nende hea seisundi tagamise ühtviisi oluliseks nii pinna- kui ka põhjavee jätkusuutlikul majandamisel. Euroopa Liidu loodusdirektiivi (92/43/EMÜ) järgi on karstijärvikud ehk turlokid loetletud kui esmatähtsad elupaigad, ning liikmesriigid on kohustatud tagama nende hea seisundi.

Valdav osa teadaolevatest Eesti karstijärvikutest asub Pandivere kõrgustikul (Mäemets, 1969; Joonuks, 1974; Heinsalu, 1979), vähem on uuritud Lääne-Eesti karstijärvikuid (Ploompuu, 2013).

Seetõttu oli igati asjakohane, et Joonuks (1974) kõrgustikku ajutiste järvede maaks nimetas. Heinsalu (1967) järgi paiknevad Pandivere kõrgustiku tänapäevased reljeefi nõgusad vormid sageli jääajaeelsete ja nüüd osaliselt või täielikult mattunud karstivormide ning denudatsiooni tagajärjel moodustunud nõgude ja orgude kohal. Samuti on tema arvates üleujutused ja ajutised vooluveed soodustanud karsti arengut nõgudes, orundites ja väikestes orgudes. Käesoleva töö raames kirjeldatakse põhjalikumalt tähelepanuväärsemaid Pandivere karstijärvikud: Assamalla, Saksi, Savalduma, Aniste, Einjärve, Jalgsema, Kuksema ja Tudre. Teatavate toiteliste erisustega võib kõiki käesolevas töös käsitletavaid järvikud pidada kulumisnõgude karstijärvikuteks.

5.2. Pandivere kõrgustik

Pandivere aluspõhjaline kõrgustik on üks enim karstunud piirkond Eestis (Heinsalu, 1967; 1977a). Kõrgustikul on dokumenteeritud enam kui 350 karstiobjekti (AS Maves, 2002). Tugevalt lõhelistatud aluspõhjakiivid, valdavalt õhuke pinnakate ja kõrgustiku suur suhteline kõrgus ümbritsevate alade suhtes, millega kaasneb suur aeratsioonivöö paksus ja põhjavee gradient, võimaldavad sademetel kiiresti aluspõhja infiltreeruda. Soodsate infiltratsioonitingimuste tõttu puudub kõrgustiku võlvil umbes 1300 km² ulatuses alaline pinnaveevõrgustik (Eipre, 1987; Pandivere piirkonna..., 1975; AS Maves, 2006). Seevastu toimib ühtekokku pea 5440 km² hõlmav Pandivere kõrgustik tervikuna kui oluline regionaalne pinna- ja põhjavee lahe (Eipre, 1987). Kõrgustiku võlvil infiltrerunud sade- ja pinnavesi voolab karstunud põhjaveekihtide kaudu kiiresti kõrgustiku nõlva ja jalamit piiravatesse lange- ja tõusuallikate vöödesse. On teada umbkaudu 200 veerikast allikat või allikate rühma, mis on jagunenud kolme allikavöösse kõrgustiku nõlva erinevatel kõrgusvahemikel (Heinsalu, 1977b). Aruja et al. (1976a) ja Eipre (1987) andmetel väljavad Pandivere allikad ühtekokku keskmiselt 220–250 miljonit m³ aastas, pannes nii aluse mitmetele Soome ja Riia lahe ning Peipsi järve suubuvatele jõgedele. Sealjuures umbes 174 miljonit m³ põhjavett nõrgub sügavamale ja toidab jõgedevõrku kõrgustiku piiridest väljaspool. Kõrgustiku jalamit markeerib soode vöönd, mida toidab nõlvadel ja jalamil avanev põhjavesi (Karukäpp, 1987a).

Pandivere kõrgustiku Siluri ja Ordoviitsium ladestu karbonaatkivimitest koosnev aluspõhjaline tuumik on läbistatud arvukate tektooniliste rikke- ja lõhelistusvööndite poolt. Need on kõrgustikul laialt levinud karstinähtuste arengu oluliseks eelduseks. On teada vähemalt kuus olulisemat loodekagusuunalist tektoonilist rikkevööndit, mis jagavad kõrgustiku ala eraldiseisvateks plokkideks, mille vastastikune amplituud võib olla 10–20 m (Miidel & Vaher, 1997). Tallinn (1968; 1974; 1981) järgi on näiteks Pandivere kõrgustiku edelanõlval selliste aluspõhjakiivimite plokkide nihkumise tagajärjel kujunenud mitmesugused tektoonilised struktuurid. Plokkide nihkumine on tingitud aluspõhja reljeefi astmelisuse, mis koosmõjul pinnakatte topograafiaga (sulgnõod), võib luua eeldused „kaskaadidena“ esinevate karstijärvikute süsteemide kujunemiseks nagu näeme järgnevalt ka Jalgsema ja Kuksema karstijärvikute näitel. Sealjuures võiksid tektoonilised rikke- ja lõhelistusvööndid luua eeldused erinevatel absoluutkõrgustel paiknevate karstijärvikute hüdrauliliseks seotuseks. Teataval määral mängib karstijärvikute paiknemise osas veel rolli ka kihistangute ja –nõgude vaheldumine ehk kuesta-laadne reljeef, mille kompleksst suurendavad lõikuvad, osaliselt mattunud, aluspõhjalised orud.

Teisalt on soodsad infiltratsioonitingimused Pandivere kõrgustikul kaasa toonud ka intensiivse põllumajandusliku tegevuse. Kõrgustiku aluspõhja karstumuse ja laialdase väetiste ning taimekaitsevahendite kasutamise tagajärjeks on sagedased põllumajanduslike saasteainete piirmäärade ületused joogiveena kasutatavas maapinnalähedases põhjavees (Aruja et al., 1976b; Leisk, 2017; Leisk & Rebane, 2018). Selleks, et Pandivere kõrgustiku põhjavett mõjutava põllumajandusliku reostuskoormuse ohjamisel rakendada erimeetmeid, loodi 2003. aastal Pandivere ja Adavere-Põltsmaa Nitraaditundlik ala (AS Maves, 2006). Kuigi heitveekäitluse olukord kõrgustikul on viimastel aastakümnetel oluliselt paranenud, on see tulenevalt keerulistest hüdroteoloogilistest oludest endiselt problemaatiline (Koit & Vainu, 2017).

5.3. Karstijärvikute kontseptuaalsete mudelite koostamise põhimõtted ja materjal

Karstijärvikute kontseptuaalsete mudelite ja nende läbilõigete koostamisel tugineti olemasolevale andmestikule. Karstijärvikute kontseptuaalsete mudelite alusena ja läbilõigete koostamisel kasutati Maa-ameti 2009. ja 2013. aastal kogutud LiDAR andmetest koostatud maapinna kõrgusmudeleid (5x5 m). Geoloogiliste ja hüdrogeoloogiliste tingimuste kirjeldamisel kasutati Maa-ameti Geoloogilise baaskaardi kaardikihte, puursüdame andmebaasi (Maa-ameti geoportaal, 2019) ja VEKA puurakude andmebaasi (VEKA, 2019). Ruumiandmete töötlemiseks kasutati tarkvara *ArcMap 10.5.1*.

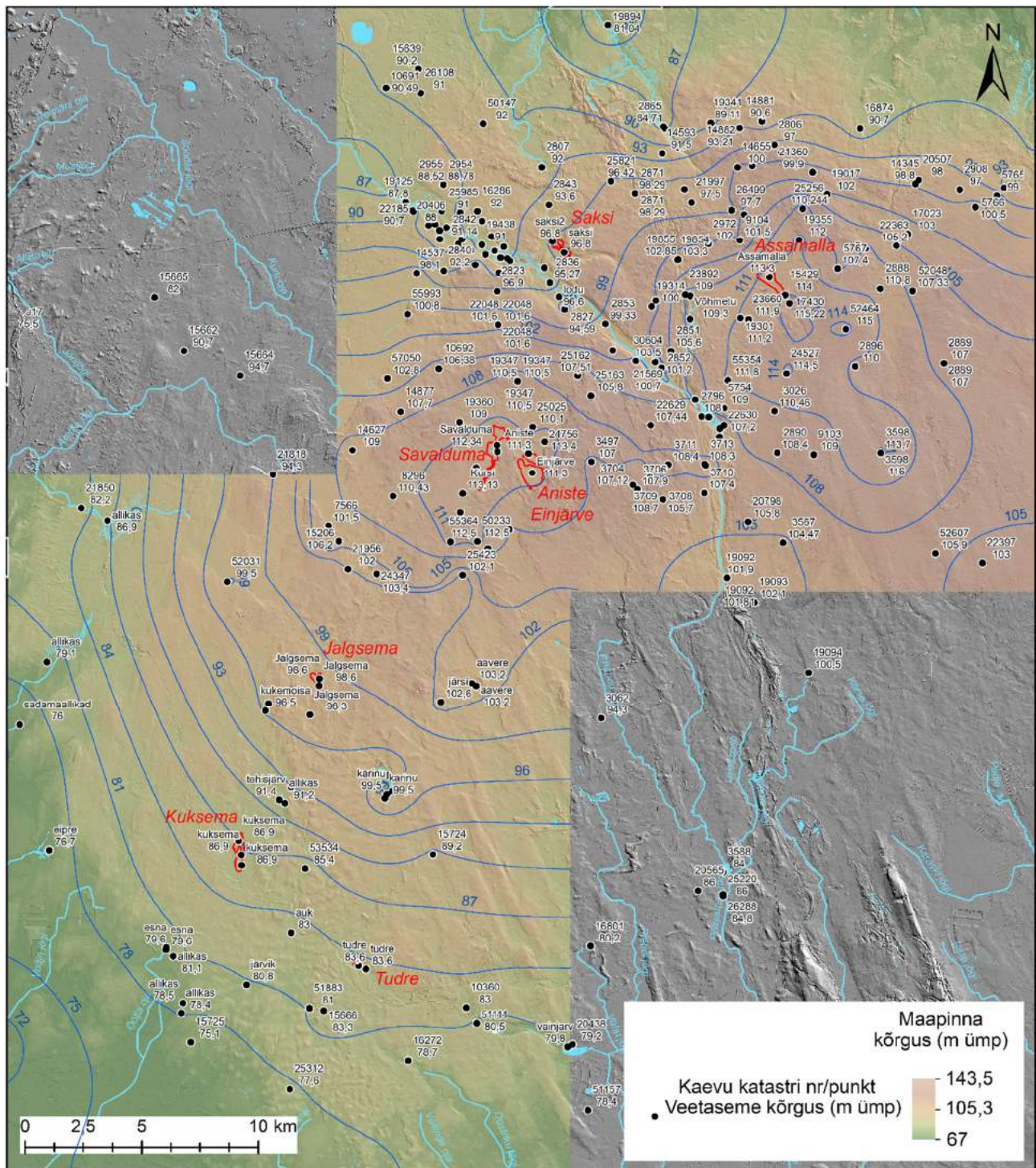
Geoloogilise baaskaardi S-O põhjaveekompleksi hüdroisohüpside põhjal modelleeriti kirjeldatavate karstijärvikute piirkondadele oletatavad põhjaveevalglad. Tulenevalt hüdroisohüpsidest interpoleeritud kõrgumudeli suhtelisest "siledusest", ei andnud akumulatsioonipunktile (*pour point*) ehk karstijärvikute nõgudele individuaalsete valgate modelleerimine häid tulemusi. Seetõttu jagati kogu põhjaveetasemete kõrgusmudel tervikuna põhjaveevalgateks. Kuna geoloogilise baaskaardi hüdroisohüpsid kirjeldavad pigem madala põhjaveetaseme tingimusi, aga karstijärvikut täitumine leiab üldjuhul aset suurveeperioodidel, oli järvikute võimaliku hüdrodünaamika kirjeldamiseks vaja koostada oletatav kõrge põhjaveetaseme pind. Tuginedes maapinna kõrgusmudelilt tuvastatud pinnaveekogude (olulisemad jõed, järved/järvikud, allikad) veetasemetele, ning VEKA puuraukude andmebaasist saadud põhjaveetasemetele (Joonis 5.1), koostati karstijärvikute kontseptuaalsetele mudelitele nn oletatav kõrge põhjaveetaseme pind (Joonis 5.1).

Kõrge põhjaveetaseme kõrgusmudeli loomisel kasutati kuni 60 m sügavustes S-O põhjaveekompleksi veekihte avavates puurkaevudes mõõdetud põhjaveetasemeid. Sageli puudus puurkaevude puurimisjärgsete põhjaveetasemete mõõtmise aeg, mistõttu tugineti kõrgusmudelisse kantavate punktide/põhjaveetasemete valikul visuaalsele hinnangule (võrreldi näiteks naabruses asuvate punktidega). Seirekaevude puhul, kui aegrida seda võimaldas, arvutati teise kvartali keskmine põhjaveetase, millele liideti standardhälve, et saada tulemus, mis kirjeldaks enam keskpärast kõrgveeperioodi. Tulenevalt kasutatud toorandmestiku kvaliteedilistest nüanssidest (puurimisjärgsed põhjaveetasemed, mõõtmisaegade erinevus jne), ei saa tuletatud kõrge põhjaveetaseme hüdroisohüpse käsitleda kui absoluutset tõde, vaid pigem ühte sünteetilist stsenaariumit, hindamaks kirjeldatavate karstijärvikute põhjaveega täitumise võimalikkust.

Kontseptuaalsetele mudelitele kanti punktobjektidena (skaala) vastavalt nitraaditundliku ala (NTA) seire raames (ajavahemikul 2009–2018) seirejaamadest kogutud veeproovide NO_3^- (punasega) ja PO_4^{3-} (kollasega) iooni keskmised kontsentratsioonid. Andmed loomakasvatushoonete kohta saadi PRIA Veebikaardi rakendusest (PRIA, 2019). Kontseptuaalsete mudelite kaardile kanti loomakasvatushooned, milles oli pidamisel 10 ja enam loomühikut (LÜ). Kui lähestikku sattus mitu väiksemat loomakasvatushoonet, summeeriti nende LÜ-d. Kontseptuaalsetele mudelitele on lisatud ka PRIA põllumassiivide kaardikiht, millelt on kuvatud kultuurpõllumaad.

Karstijärvikute kontseptuaalsete mudelite juurde kuuluvad ka geoloogilis-hüdrogeoloogilised läbilõiked, mille paigutati üldjuhul karstijärviku hüdrodünaamilise toimimise kontekstis olulisele trajektoorile. Kuna läbilõikejooned läbivad ka kirjeldatavat karstijärvikut, tuli parema puudumisel sageli läbilõigete koostamiseks kasutada ka tarbepuurkaevude andmeid. Geoloogilis-hüdrogeoloogiliste läbilõigete eesmärgiks ei saanud seetõttu seada võimalikult täpse ülevaate andmist kirjeldatava ala geoloogilisest ehitusest, kuivõrd käsitletud karstijärviku võimaliku tekkestsenaariumi. Geoloogilis-hüdrogeoloogiliste läbilõigete koostamisel lähtuti Jõelet & Polikarpus (2019) poolt Virumaade mudeli puhul kasutatud põhjaveekihtide liigestusest. Läbilõigete kujutatud aluspõhja pind on interpoleeritud Maa-ameti geoloogilise baaskaardi aluspõhja reljeefi isojoonte kihi põhjal. Sellest tulenevalt esines mõnel juhul möödarääkivusi läbilõigetes kasutatud puuraukude/puurkaevude andmete ja interpoleeritu pinna vahel (näiteks

Porkuni järve läbilõige P1 Joonis 2.2). Väiksemad ebatasasused siluti puuraukude/puurkaevude andmetele tuginedes.

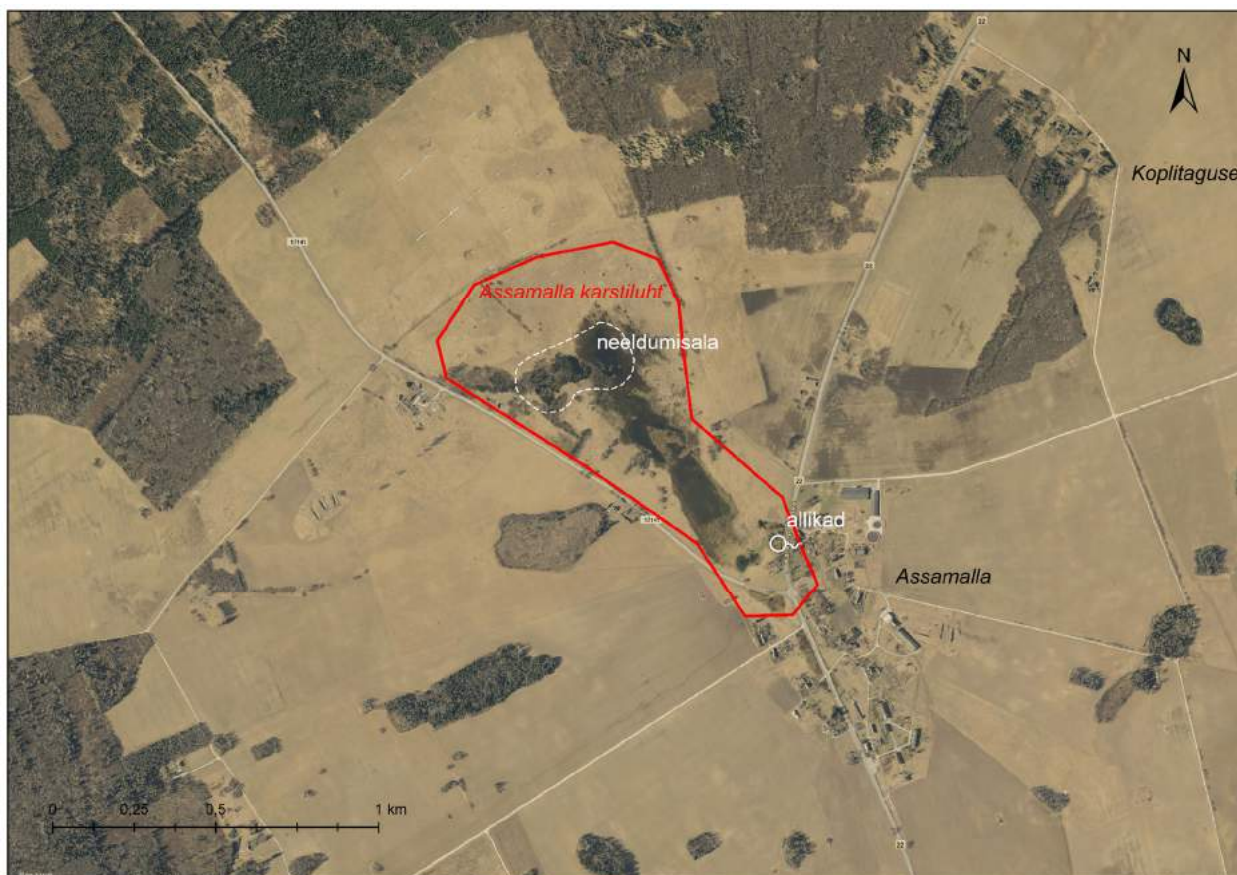


Joonis 5.1. Karstijärvikute kontseptuaalsete mudelite S-O põhjaveekompleksi kõrge põhjaveetaseme hüdroisohüpsid ja selle koostamiseks kasutatud andmed.

5.4. Assamalla karstiluht

Assamalla karstiluht asub Pandivere kõrgustiku võlvi keskosas, Assamalla külas Tapa vallas, absoluutkõrgusel ligikaudu 113 m ümp (Joonis 5.2). Assamalla karstiluht on Terasmaa et al. (2015) põhjal seotud põhjaveekogumiga nr 14 (S–O Pandivere põhjaveekogum Lääne-Eestis). Karstiluht on kujunenud Porkuni lademe avamust jälgiva Assamalla kõviku kihistangu esises, kerge lõunasuunalise kallakusega kihinõos (Joonis 5.3) (Heinsalu, 1963; Suuroja et al., 2015). Topograafiliselt piirab karstiluha nõgu põhjas ja loodes Lasila glatsiofluviaalse mõhnastiku ja künkliku moreeni alla mattunud järgmine kihistang ning läänes Neeruti-Porkuni oosistik. Karstiluhale ja selle lähiümbruses avanevad Pirgu lademe Moe kihistu karbonaatkivimid, mida katavad Võrtsjärve alamkihistu glatsiaalsed ja limnoglatsiaalsed kvaternaarisetted paksusega 3,5–5 m (geoloogilise baaskaardi Q paksuse profiili järgi) või 0,5–3 m (LiDAR maapind miinus aluspõhi). Heinsalu (1979) järgi võib luha keskel pinnakate paksus ulatuda isegi kuni 8 m, servades aga kohati alla 2 m. Karstiluha nõo lõunapoolses osas levib jääjärveline savi ning põhjapoolses osas aleuriit, ümbritseval alal ja jääjärveliste setete all (tõenäoliselt) moreen. Suuroja et al. (2015) andmetel kulgeb karstiluha all loode-kagusuunaline Jõepere rikkevöönd (Joonis 5.3). Karstiluha joonel, Jõepere rikkevööndist vahetult läänes on kindlaks tehtud ka Assamalla kerge (Suuroja et al., 2015).

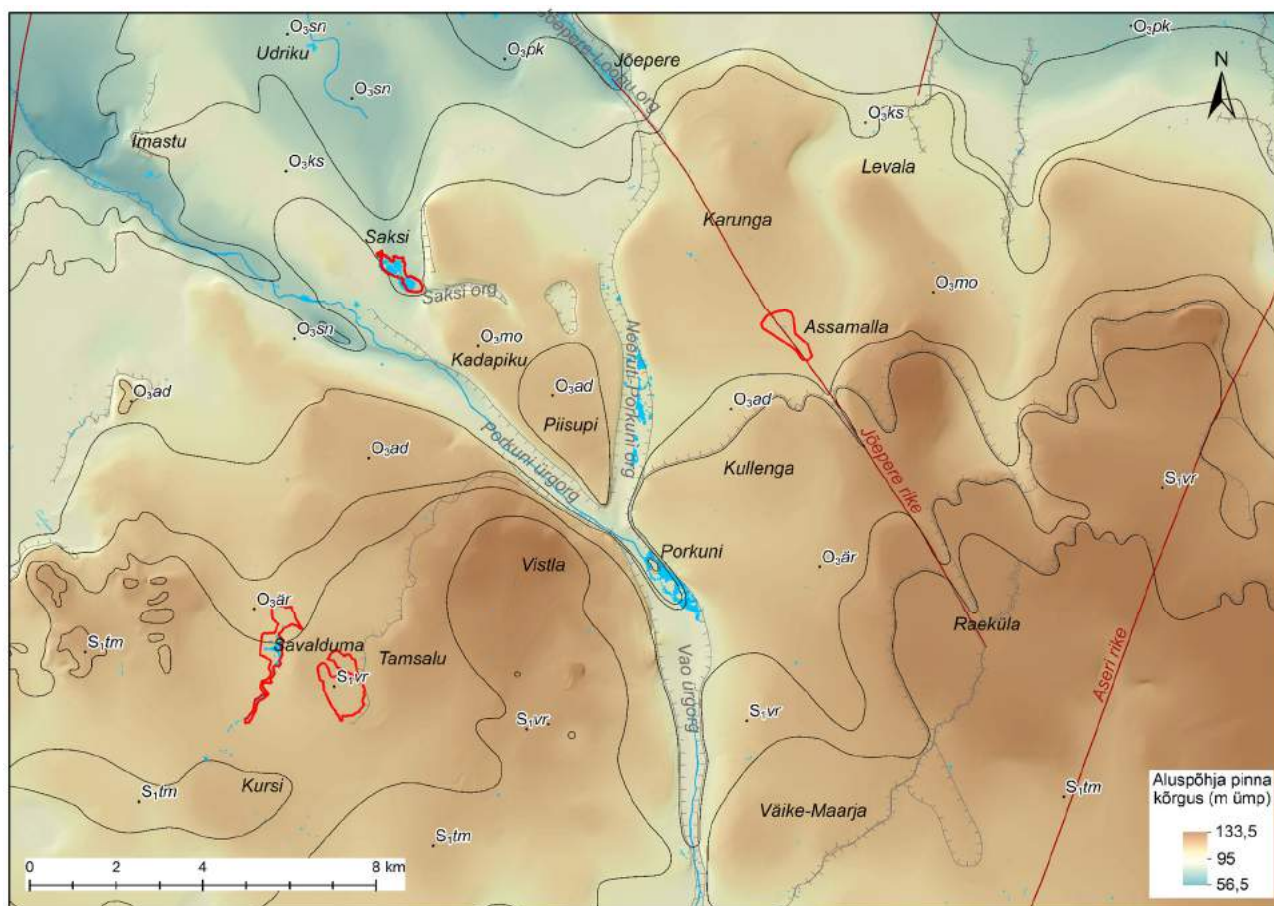
Karstiluht kuulub lahustükina Porkuni maastikukaitseala ja Porkuni loodusala koosseisu ning on määratud kuuluvaks loodusdirektiivi elupaigatüüpi 3180* (karstijärved ja -järvikud). Elupaigapolügooni pindalaga EELISE elupaikade kaardikihil on 53,6 ha. Selle seisundile on antud vaid üldise looduskaitse väärtuse hinnang (kõrge – B). Elupaiga esinduslikkust, struktuuri ega ka funktsiooni säilimist ei ole hinnatud. Samas on Porkuni loodusala elupaikade hindamisel antud summaarne hinnang ka sellel paiknevale elupaigatüübile 3180* ning kuna Porkuni loodusala piiresse jääb ainsa elupaigatüübi 3180* esindajana Assamalla karstiluht, siis võib seda hinnangut käsitleda kitsamalt karstiluhale antud hinnanguna. Selle järgi on karstiluha esinduslikkus “hea” (B), looduskaitse seisund “hästi säilinud” (B) ning üldine looduskaitse väärtus “kõrge” (B).



Joonis 5.2. Assamalla karstiluht Maa-ameti ortofoto 2013. aasta mais.

Porkuni maastikukaitsealale on koostatud kaitsekorralduskava perioodiks 2015–2024 (Kotter & Namm, 2015). Kaitsekorralduskavaga nähakse Assamalla karstiluhale ette kaitsealuste taimede andmestiku täpsustamine ning veelindude ja kurvitsaliste seire. Maastikukaitsealal on 2007. aastal läbi viidud mudakonna ja harivesiliku inventuur. Inventuuri käigus leiti karstiluhalt üks ohustatud mudakonna kudemisala ning harivesiliku vastseid.

Umbes 1 km² suuruse pindalaga Assamalla karstiluhale on loetletud ligikaudu 50 kuni 1,5 m sügavust karstilehtrit (Kink, 2005). Nõo Assamalla-poolsel serval on ajutiste allikate ala (Joonis 5.2), kust välja voolav põhjavesi valgub nõo keskossa ja moodustab ajapikku enam kui 10 ha suuruse ja kuni 2 m sügava karstijärviku (Kink, 2005) (Joonis 5.2). Kui põhjaveetase ümbritsevatel aladel alaneb, neeldub vesi ka luhale (AS Maves, 2002). Kohalike tähelepanekutele tuginedes on arvatud (Mäemets, 1969; Joonuks, 1974; Pandivere piirkonna..., 1975; AS Maves, 2002; Kink, 2005; Suuroja et al., 2015), et Assamalla karstiluht on toitealaks 3 km edela pool, Neeruti-Porkuni oosistikus asuvatele, Võhmetu-Lemküla karstijärvikutele (Joonis 5.4), viimased omakorda aga Porkuni järvele. Suuroja et al. (2015) kirjeldab võimalikku Assamalla (Raeküla-Assamalla-Jõepere) salajõe, mis saab alguse Raeküla orundist (Joonised 5.3 ja 5.4) ja kulgeb Jõepere tektoonilist rikkevööndit (Joonis 5.4) järgides lineaarselt loodesse, Jõepere allikate ehk Loobu jõe lähteni. Ka Heinsalu (1986a; 1987) mainib Eesti Looduse 1987. aasta maikuises Pandivere kõrgustikule pühendatud numbris ning aasta varem ilmunud Horisondis Assamalla luha ja Jõepere allikate võimalikku seotust. Sealjuures juhtis Heinsalu (1986a) tähelepanu Assamalla piirkonna tugevale tektoonilisele purustatusele seoses Assamalla kerkega. Aluskord on piirkonnas geoloogilise ajaloo vältel 80 m võrra kerkinud, mistõttu sealsed sügavamal asuvad karbonaatkivimite kihid moodustavad 7x2 km² suuruse antiklinaali (Heinsalu, 1986a). Assamalla luha ja Jõepere allikate vahel ühtib Jõepere rikkevööndi levialaga mitmeid karstialasid/-väljasid (Järtu, Sepa ja Karunga ning hulgaliselt üksikvorme).



Joonis 5.3. Saksi, Assamalla ja Savalduma karstijärvikute piirkonna aluspõhja reljeefikaart. Aluspõhja pealispinna kõrgusmudel on saadud Maa-ameti geoloogilise baaskaardi aluspõhja reljeefi isojoonte interpoleerimisel.

Assamalla karstiluht asub S-O põhjaveekompleksi Porkuni-Pirgu veekihi avamuslal. Geoloogilise baaskaardi hüdrogeoloogilise teemakaardi S-O veekompleksi isohüpside järgi (Joonis 5.4) oli karstiluha alal keskmine põhjaveetaseme umbkaudu 104 m ümp. Maapinnalt esimese efektiivse veepideme moodustab Oandu lademe Hirmuse kihistu (Vallner, 1996), mis luha piirkonnas on eeldatavasti umbkaudu 20–30 m ümp kõrgusvahemikus Suuroja et al. (2015). Assamalla karstiluhale ja mujal Pandivere võlvil mängib S-O veekompleksi veejuhtivuse vertikaalse jaotuse kontekstis Hirmuse kihistust olulisemat rolli tektooniliste lõhede võrgustiku vähene areng või litostaatiline sulgumine sügavamal kui 70–75 m ümp (Vallner, 1996; Perens & Vallner, 1997). Sealjuures enim karstunud on karbonaatse lasundi ülemine 30 m paksune intervall (Vallner, 1996; Perens & Vallner, 1997).

Assamalla karstiluha veega täitumist on seostatud üldjoontes lume sulamise ja/või sademerohkete perioodidega (Mäemets, 1969; Joonuks, 1974; Pandivere piirkonna..., 1975; Heinsalu, 1979). Heinsalu (1979; 1986a; 1987) täpsustas, et sulavesi ei voola nõkku pindmise äravooluna, vaid juba põhjaveena nõo idaveerul (Joonised 5.4 ja 5.5) aktiveeruvate ajutiste allikate kaudu, kust see voolab nõo loodeserva suunas ja neeldub sealsetes kurisutes (Joonis 5.2). Eelmainitud allikad olid aktiivsed ka 2019. aasta 15. aprillil läbi viidud välivaatluse ajal. Mõned allikad asuvad karstijärviku idaserva piiravast Kalevipoja teest ida pool ning on järvikuga ühenduses truubi kaudu. Sealjuures viitas eelmainitud allikate suhteliselt kõrge erijuhtivus (885 $\mu\text{S}/\text{cm}$) vee võimalikule reostatusele. Kui nõo loodeosas asuvate kurisute neelamisvõime ületatakse, hakkab nõgu veega täituma. Veetaseme alaneb üldise põhjaveetaseme alanemise järel. Heinsalu (1963) kirjeldas Assamallas Kadrina tee käänu juures aluspõhja ulatuvat salvkaevu, mis vastavalt hüdrogeoloogilisele seisule, võis üle voolata või hoopis vett neelata. Võib eeldada, et neelatava vee all pidas ta silmas karstiluhta täitvat vett. Olukord, kus aluspõhja ulatuv salvkaev, või ka järvikuga põhjas olevad, kakspeidisel töötavad karstivormid, neelaks järvikuga vett, saaks kujuneda juhul, kui maapinnalähedases aluspõhja veekihi oleks põhjavee survetase langeb karstijärviku veetasemest madalamale. Seda soodustab ka karstiluha nõo põhja kattev limnoglatsiaalsete setete kiht, mistõttu on nõos kujunenud järvikuga kestvus ja väljavool sõltuv setteid läbistavate karstivormide neelamisvõimest.

Maapinnalähedase veekihi aeratsioonivööndi paksus alal on madala põhjaveetaseme juures (Geoloogilise baaskaardi S-O hüdroisohüpsid) ligikaudu 10 m. Karstiluha põhjaveega täitumine eeldaks seega põhjaveetaseme tõusu Geoloogilise baaskaardi S-O põhjaveekompleksi hüdroisohüpsidel märgitust ligikaudu 10 m kõrgemale ehk kõrgusele 113,4 m ümp (Maa-ameti 2013. aasta LiDAR andmete järgi Assamalla karstiluha järvikuga ligikaudne veetaseme). Tuginedes karstiluha lähiümbruse puurkaevudes 2808 (118,5 m ümp.), 17430 (117,4 m ümp) ja 15429 (114 m ümp) vähestele mõõdetud staatilistele põhjaveetasemetele, võiks karstiluha täitumine, tingituna põhjaveetaseme maapinnast kõrgemale kerkimisest, olla teoorias võimalik (Joonis 5.5).

Assamalla karstiluha lähiümbruses põhjaveetasemete aegridasid seiratud ei ole, mistõttu tugineb sealne „kõrge“ põhjaveetaseme pind peamiselt puurkaevudes puurimise järgselt mõõdetud tulemustele. Täpse põhjaveevalgla piiritlemise teeb veelgi keerukamaks andmete puudumine võimalike karstisüsteemide hüdrauliliste ühenduste kohta. Seda kõike peaksid selgitama tulevased pühendatud uuringud. Seetõttu, tuleb geoloogilise baaskaardi hüdroisohüpside järgi koostatud oletatavaid põhjaveevalglaid ja kõrge veetaseme hüdroisohüpside käsitleda pigem interpretatsiooni toetava informatsioonina.

Geoloogilise baaskaardi S-O veekompleksi madala põhjaveetaseme hüdroisohüpside järgi (Joonis 5.4), asub karstiluha oletatava põhjavee toiteala sellest kagu ja lõuna pool (Assamalla kõrviku läänenõlv), kus maapinna ja aluspõhja absoluutkõrgused ulatuvad vastavalt 130–136 ja 133 m ümp. Geoloogilise baaskaardi hüdroisohüpside põhjal koostatud oletatava põhjavee valgla üldine voolusuund on Loobu-Jõepere oru suunas, jälgides Jõepere rikkevööndit. Topograafiline pinnaveevalga on aga oletatavast põhjaveevalglast mõnevõrra väiksem (Joonis 5.4). On ilmne, et põhjaveekogumite nr 14 ja 15 piir on määratud pinnaveevalglade veelahkmega, mis aga läheb

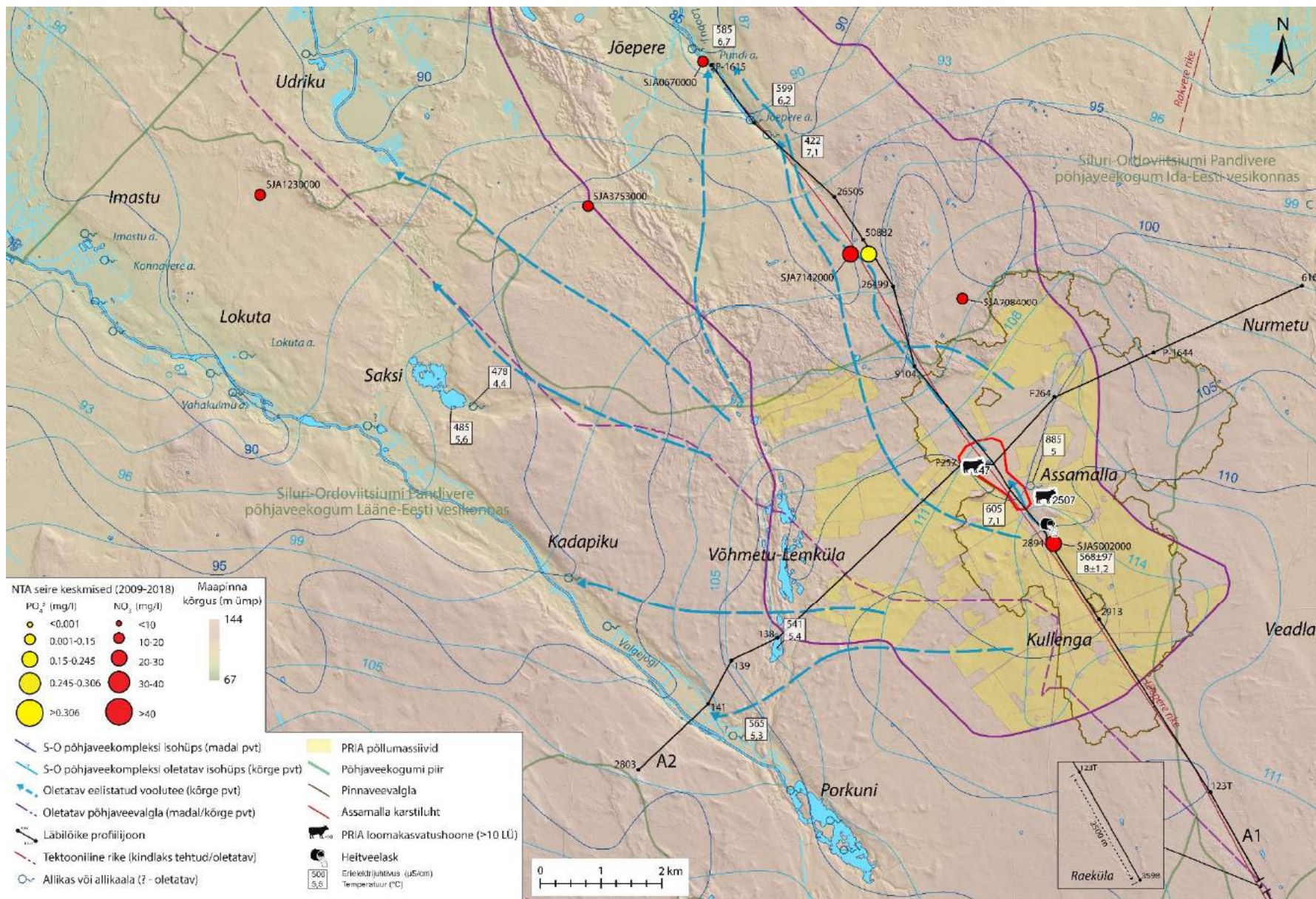
geoloogilise baaskaardi hüdroisohüpside järgi modelleeritud põhjaveevalgatega vastuollu (Joonis 5.4). Tulenevalt Assamalla karstiluha paiknemisest kõrgustiku võlviosas, on selle põhjavee toiteala tõenäoliselt pigem väike (geokaardi hüpside järgi hinnanguliselt 20 km²), mida osaliselt toetaks ka sealse järvi väidetav suhteliselt lühike, umbes paari kuni mõne nädala pikkune, kestvus (Joonuks, 1974; Heinsalu, 1987; Kask, 1994; Suuroja et al., 2015). On tõenäoline, tulenevalt karstiluha asendist kõrgustiku võlvil, suhteliselt suurest aeratsioonivöö paksusest ning põhjaveetasemete amplituudist, et karstiluha tegelik põhjaveevalgla ulatus võib hüdrooloogilistest tingimustest sõltuvalt olulisel määral muutuda.

Geoloogilise baaskaardi hüdroisohüpside järgi nähtub, et mitmete autorite (Mäemets, 1969; Joonuks, 1974) poolt kirjeldatud seos Assamalla karstiluha ja Võhmetu-Lemküla karstijärvede (Joonised 5.4 ja 5.6) vahel madala põhjaveetaseme tingimuste juures näib pigem ebatõenäoline (Joonis 5.4). Seevastu, kõrge põhjaveetaseme hüdroisohüpside järgi nähtub, et eelnevalt põhjaveelahkmelisel positsioonil olnud Võhmetu-Lemküla karstijärvede oletatava põhjaveevalgla piir nihkub Assamalla karstiluhale lähemale. Ka profiili A2 (Joonis 5.5) põhjal võib oletada, et põhjavee Assamallast Võhmetu-Lemküla karstijärvikute suunas voolamiseks on teatav gradient olemas. Samuti on eeldused nende seotuseks, kui tugineda teadaolevale aluspõhja reljeefile (Joonis 5.3), mille kõrgus langeb Assamalla karstiluhast mööda kihiastangu esist nõgu Võhmetu-Lemküla karstijärvikute suunas. Assamalla karstiluha kontseptuaalse mudeli järgi hakkab kõrge põhjaveetaseme tingimustes osa eelnevalt Assamalla karstiluha suunas voolanud põhjavett liikuma Võhmetu-Lemküla karstijärvikute poole, peamiselt edela (Valgejõe oru), lääne (Saksi järve), aga ka loode suunas (Udriku) (Joonis 5.4).

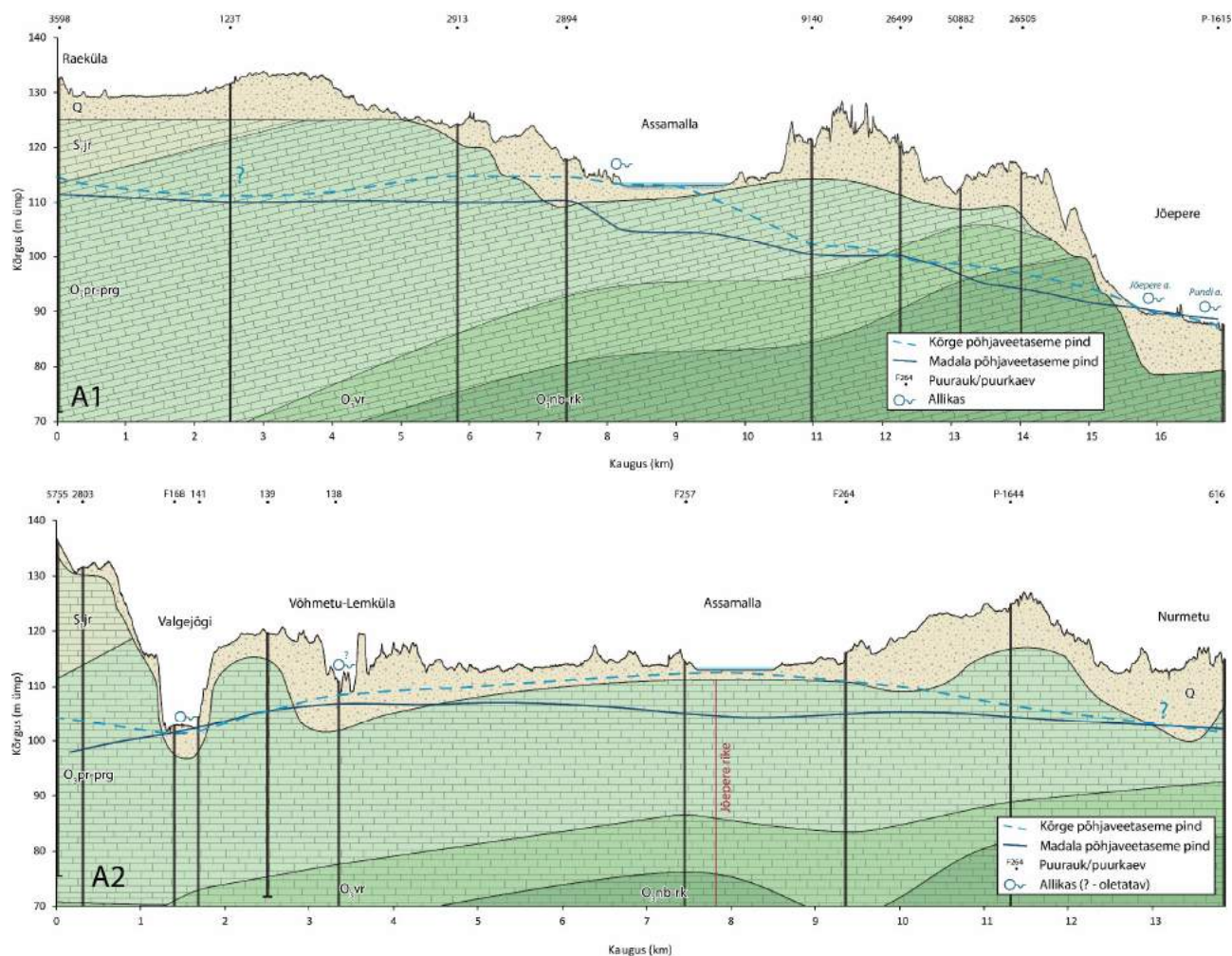
Lisaks aluspõhja reljeefile ja üldisele põhjavee voolusuunale, on karstijärvikute seotuse tuvastamise kontekstis määravad võimalikud hüdrautilised ühendused karstisüsteemide kaudu, mille kohta käesoleval juhul täpsed andmed puuduvad. Kuigi kontseptuaalse mudeli järgi on Assamalla karstiluhast ja Võhmetu-Lemküla karstijärvikute/Valgejõe oru vahel põhjaveelahkmeala, jääb detailsemate andmete puudumisel püsima oletus, et kõrge hüdrooloogilise seisuga tingimustes on Assamalla ja Võhmetu-Lemküla karstijärvikute seotus võimalik. Assamalla karstiluha, Jõepere allikate, Võhmetu-Lemküla karstijärvikute ja ka Porkuni järve hüdrautilise seotuse põhjapanevaks kinnitamiseks või ümberlükkamiseks on vaja aga läbi viia põhjalik uuring.

Eelpool Heinsalu (1963) poolt mainitud Assamalla karstiluha veerul paiknevat salvkaevu kirjeldatakse ka Pandivere piirkonna... (1975) aruandes. Salvkaevust 1974. aasta oktoobris võetud veeproovis tuvastati põllumajandusreostusele viitavate ühendite kõrgeid kontsentratsioone (NH₄⁺ 0,7 mg/l; NO₃⁻ 132 mg/l; NO₂⁻ 2 mg/l; Cl⁻ 144 mg/l; SO₄²⁻ 92,2 mg/l). Reostuse üheks allikaks arvati olevat karstiluhast vahetult idas-kagus asuv Assamalla farm, mis paikneb lokaalses põhjavee voolusüsteemis karstiluhast ülesvoolu (Joonis 5.4). Sama uuringu raames võeti 1975. aasta aprillis veeproov ka Assamalla karstiluha järvikust. Võrreldes varem salvkaevust võetud prooviga, oli kevadine järvi veeproov oluliselt lahjem (NH₄⁺ 0,8 mg/l; NO₃⁻ 0,5 mg/l; Cl⁻ 6,39 mg/l; SO₄²⁻ 9,46 mg/l).

Assamalla farm, mida 1970 aastatel peeti Assamalla karstiluha üheks tõenäoliseks surveteguriks (Pandivere piirkonna..., 1975), tegutseb ka tänapäeval. 2000. aastate lõpus põhjalikult renoveeritud farmis on PRIA veebikaardi andmetel pidamisel 2507 loomühikut (LÜ). Renoveerimistöde käigus rajati ühtlasi ka moodne sõnnikuhoidla ning võeti sõnniku käitlemisel kasutusele heitkoguste vähendamisele suunatud tehnoloogiad, eesmärgiga vältida pinnase ja põhjavee reostamist ning üleväetamist (Mäe & Raigna, 2009). Seetõttu võiks eeldada, et farmi surve avaldub karstiluhale ja põhjaveele seetõttu pigem hajukoormusena sõnnikulaotuse kaudu karstiluha ümbruses olevatel põllumajandusmaadel. Lisaks Assamalla farmile võib üheks karstiluha surveteguriks olla ka



Joonis 5.4. Assamalla karstiluha kontseptuaalne mudel.



Joonis 5.5. Assamalla karstiluha geoloogilis-hüdrogeoloogilised läbilõiked A1 ja A2. Läbilõigete paiknemine maastikul on näidatud joonisel 5.4. Veekihtide liigestus ja lühendid Jõelett & Polikarpus (2019) järgi. Q – Kvaternaari veekiht; S_{1jr} – Juuru veekiht; O_{3pg-prg} – Porkuni-Pirgu veekiht; O_{3vr} – Vormsi veekiht/nõrk veepide; O_{3nb-rk} – Nabala-Rakvere veekiht.

Assamalla reoveepuhasti, mille heitvesi juhitakse pinnasesse karstiluhast ülesvoolu, (Joonis 5.4) aga ka teised olulisemaid (üle 10 LÜ) loomapidamise kompleksid lähinaabruses (Joonis 5.4).

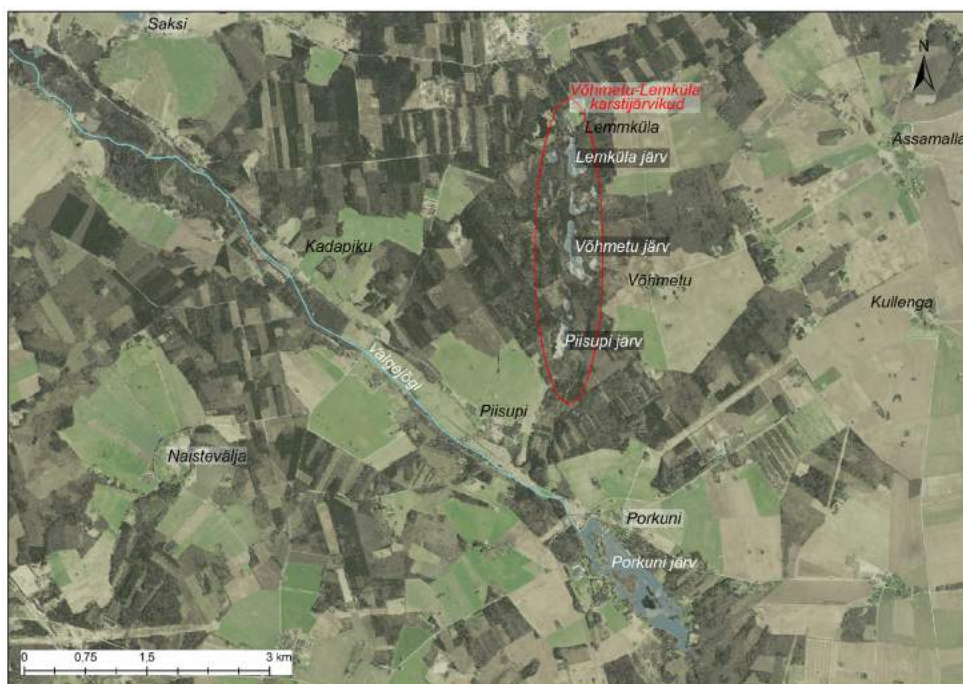
1992. aastal alustati nitraaditundliku ala (NTA) põhjavee seireprogrammi raames seiret ka Assamalla elamute puurkaevus (seirejaam SJA5002000), mis asub eelpoolkirjeldatud objektidest põhjavee voolusuuna suhtes ülesvoolu. Pikaajaline NO₃⁻iooni keskmine kontsentratsioon (perioodil 1992–2012) seirejaamas SJA5002000 on 22,4±14 mg/l, sealjuures kõrgeimad tuvastatud kontsentratsioonid ületasid 70 mg/l taseme. Viimati mõõdeti NO₃⁻iooni 50 mg/l piiri ületavaid väärtuseid 2008. aastal. Teisalt on seirejaama NO₃⁻iooni kontsentratsioonid näidanud kogu seireperioodi vältel kasvutrendi, ajavahemikul 2009–2018 on seirejaama SJA5002000 keskmineiooni NO₃⁻ kontsentratsioon 29,3 mg/l. Sarnane keskmine (29 mg/l) (perioodil 2009–2018) NO₃⁻iooni kontsentratsioon on ka Assamalla karstiluhast loode suunas (põhjavee voolusuunas allavoolu) asuvas seirejaamas SJA7142000. Sealjuures on samas jaamas tuvastatud ka keskmiselt 0,2 mg/l PO₄³⁻iooni, mis on suhteliselt kõrge näitaja.

5.4. Võhmetu-Lemküla karstijärvikud

Tulenevalt Võhmetu-Lemküla karstijärvikute oletatavast olulisest rollist (Mäemets, 1969; Joonuks, 1974; Pandivere piirkonna..., 1975; AS Maves, 2002; Kink, 2005) Assamalla karstiluha ja Porkuni järve põhjavee voolusüsteemis, on siinkohal toodud ka eelmainitud karstijärvikute üldkirjeldus. On arvatud (Mäemets, 1969; Joonuks, 1974; Pandivere piirkonna..., 1975; AS Maves, 2002; Kink, 2005), et Assamalla karstiluht on toitealaks sellest 3 km edela pool, Neeruti-Porkuni oosistikus asuval, Võhmetu-Lemküla karstijärvikute rühmale.

Võhmetu-Lemküla karstijärvikud kuuluvad Porkuni maastikukaitseala ja neli järve ka Porkuni loodusala koosseisu ning on Terasmaa et al. (2015) põhjal seotud põhjaveekogumiga nr 14 (S–O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas). Kaheksa järvestiku järve on liigitatud loodusdirektiivi elupaikade hulka, kuid seitse neist kuulub elupaigatüüpi 3140 ehk vähe- kuni kesktoitelised kalgiveelised järved. Vaid üks, Mardihansu järv Võhmetu järvest põhja pool (Joonis 5.6), on liigitatud elupaigatüüpi 3180* ehk karstijärved ja -järvikud. Mardihansu järvele loodusdirektiivi elupaigana EELISE andmetel hinnanguid antud ei ole.

Neeruti-Porkuni oosistik on osaks ligikaudu 50 km pikkusest Neeruti-Vägeva-Rakke oosisüsteemist (Karukäpp, 2005). Neeruti-Porkuni oosistiku kõnealune lõik, mis jääb Lasila ja Porkuni vahele, asub valdavalt Pirgu lademe Moe kihistu avamusel, lõunaosas on see lõikunud läbi Adila kihistu avamuse (Joonis 5.3). Enam kui 125 m ümp kõrguvate harjade ning 35 m ulatuva suhtelise nõlvakõrgusega oosistik koosneb valdavalt jämedateralisest karbonaatses materjalist. Muutliku lõimisega materjalis vahelduvad munakad, kruus, veeristik ja liiv, mida omakorda võib katta moreenikiht, mis viitab oosistiku jääalusele tekkele (Rähni, 1973). Rähni (1973; 1984) kirjeldas Neeruti-Porkuni oosistiku tekke ja arengu seotust ebatasase aluspõhja reljeefiga. Oosistik järgib umbes 400 m laia ja 10 m sügavat Porkuni-Neeruti aluspõhjalist orgu (või Porkuni-Lemmküla org), mis ühineb põhjas Jõepere-Loobu aluspõhjalise oruga ja lõunas Porkuni ürgoruga (Suuroja et al., 2015). Rähni (1973; 1984) järgi kujunes Neeruti-Porkuni oosistik liustiku jäälõhedes. Sealjuures juhtis Rähni (1973) tähelepanu oosistiku all oleva aluspõhjalise oru ebatasasusele – esineb aluspõhjalisi kõrgendikke, orundeid ja ka ulatuslikke karstivorme. Aluspõhjalise oru ebatasasuse osas annab aimu ka Porkuni järve geoloogilis-hüdrogeoloogiline läbilõige P1 (Joonis 2.2), kus ilmnes mitmeid olulisi lahknevusi interpoleeritud aluspõhja pinna ja puuraukude/-kaevude andmete vahel.



Joonis 5.6. Võhmetu-Lemküla karstijärvikud Maa-ameti ortofotol.

Eelnevale tuginedes, on suur tõenäosus, et oosistiku alla mattunud aluspõhjaline orund oli olemas juba enne viimast jäätumist ja oli oma varasemas geoloogilises ajaloos kokku puutunud karstumisega. Ford & Williams (2007) andmetel on võimalik karstinähtuste areng oludes, kus liustiku all, suure rõhu ja nullilähedase temperatuuri tingimustes jää osaliselt sulab, ning hakkab surve all voolama. Karukäpp (2005) pakub samuti välja üldisema teooria, kuidas oosistikus paiknevad järved võivad olla seotud karstinähtustega. Selle teooria järgi algas oosi areng liustiku all piki aluspõhjas olnud tektoonilist karstunud rikkevööndit, milles oli liustikualuse survele veevoolu tingimustes aktiivne tsirkulatsioon. Karstunud rikkevööndis voolanud survele vesi sulatas liustikku altpoolt ja tegi seeläbi ruumi fluvioglaatsiaalsete setete settimiseks. Liustiku taandumisel kujuneb settinud materjalist karstunud rikkevööndi kohal olnud orgu oosistik, ning selles sulanud irdjääpankade kohale sõlled. Sõlled põhjas võib pinnakatte paksus olla suhteliselt väike. Nagu võib näha puuraugu 138 (vt Joonis 2.2) läbilõike kirjeldusele tuginedes on Piisupi karstijärviku põhjas pinnakatet 2 m. Lemküla järviku põhjaosas on puuraugu 153 järgi pinnakatte paksus aga 7,3 m. Suuroja et al. (2015) järgi moodustusid Porkuni-Neeruti oosistiku lõunaosas ooside vahelistes nõgudes pärast Porkuni jääpaisjärve alanemist alalised järved, mis karstinähtuste aktiveerudes ja arenedes aegamisi ajutiseks muutusid.

Mäemets (1969) loetles oosistikus ühtekokku 15 järvikut, mille seas suuremad on Piisupi, Võhmetu, Mardihansu ja Lemküla. Mäemets (1969) kirjeldab kuidas Võhmetu-Lemküla järvikud täituvad kevadel, kui nõgude põhjas olevatest allikad aktiveeruvad. Mäemetsa arvates on teatav roll ka lumesulaveel, kuid järved täituvad kohalike tähelepanekute järgi samal ajal kui Assamalla luha karstijärviku veetase alaneb. Järvikud kaovad aurustumise ja põhjaveetaseme alanemise järel üldjuhul augustiks-septembriks. Mäemetsa (1969) arvates viitas Võhmetu-Lemküla karstijärvikute vee heleroheline värvus, suur läbipaistvus, aluseline reaktsioon, madal orgaaniliste ainete ning kõrge lahustunud tahkiste kontsentratsioon sellele, et tegemist ei ole lumesulavee, vaid pigem põhjaveega (karstiallikate veega). Ka 2019. aasta 15. aprillil välivaatluse käigus Piisupi järve vees mõõdetud erijuhtivus (541 $\mu\text{S}/\text{cm}$) viitas samuti selle pigem põhjaveelisele päritolule (Joonis 5.4).

Arvestades ligikaudset Assamalla karstiluha nõo ja Porkuni-Neeruti aluspõhjalise orundi põhja kõrgust (vastavalt 113 ja 100 m ümp) (Joonis 5.3) ja 2013. aasta LiDAR andmete põhjal tuletatud Assamalla ja Piisupi karstijärvikute veetasemeid (vastavalt 113,4 ja 109,2 m ümp), on vähemalt teoreetiline võimalus, et Assamalla karstiluha vesi võiks Võhmetu-Lemküla suunas voolata, nagu mitmed autorid (Mäemets, 1969; Joonuks, 1974; Pandivere piirkonna..., 1975; AS Maves, 2002; Kink, 2005) on arvanud (vt Assamalla karstiluha läbilõike A2 joonisel 5.5). Teoreetilist seotust toetab ka Assamalla karstiluha põhjaveevalgla piiride nihkumine Võhmetu-Lemküla järvikute piirkonnas (Joonis 5.4). Eelnimetatud seose saab kinnitada uuringu käigus. Võhmetu-Lemküla karstijärved on eeldatavasti seotud S-O põhjaveekompleksi Porkuni-Pirgu veekihiiga.

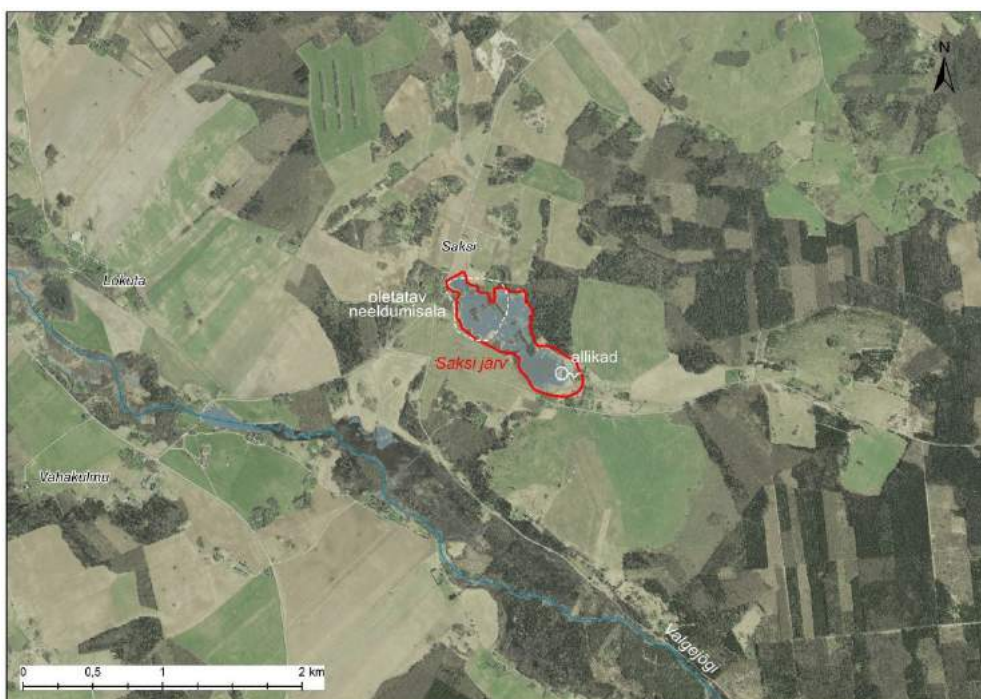
On arvatud (Pandivere piirkonna..., 1975; Suuroja et al., 2015), et Võhmetu-Lemküla karstijärvikute vesi avaneb Porkuni järves ja Valgejõe alguse allikates. Pandivere piirkonna... (1975) aruandes seostati 1975. aasta aprillis Porkuni järvest võetud veeproovi oodatust kõrgemat NO_3^- iooni sisaldust (16,6 mg/L) just Assamalla luha piirkonna põllumajandusreostusega, mis läbi Võhmetu-Lemküla järvikute Porkuni järve jõudis. Maa-ameti 2013. aasta maikuu LiDAR andmete põhjal olid kolme suurema järviku: Lemküla (VEE2033540), Võhmetu (VEE2033520) ja Piisupi (VEE2033510) ligikaudsed veetasemed vastavalt 109,5, 109,3 ja 109,2 m ümp. 2009. aasta maikuu andmete põhjal on vastavad veetasemed 110, 109,7 ja 109,3 m ümp. Mõlemal juhul langes järvikute veetasemete gradient Valgejõe oru (Porkuni ürgoru) suunas, mistõttu on Võhmetu-Lemküla järvikute vee jõudmine Valgejõe orgu pigem tõenäoline. Kuid sealjuures tuleb võtta arvesse ka tõenäolist põhjavee voolusuunda Assamalla karstiluha ja Võhmetu-Lemküla karstijärvikute piirkonnas (Joonised 5.4, 5.8 ja 2.2.). Olemasolevatele andmete tuginedes on pigem tõenäoline, et Võhmetu-Lemküla karstijärvikute põhjaveearavool jõuab osaliselt Valgejõe orgu seni uurimata allikate kaudu Porkuni järve ja Saksi vahelisel alal (Joonis 5.4) (vt ka ptk 2.1) Heinsalu (1963) andmetel on Porkuni ja Saksi järve vahelisel lõigul Porkuni ürgorus arvukalt allikaid, mis on näiteks

geoloogilise baaskaardi hüdrokeoloogilisel teemakaardil märkimata. Eelmainitud allikate olemasolu sai kinnitust ka 2019. aasta 15. aprilli välivaatluse käigus (vt Joonis 5.4). Sealjuures sarnanes Piisupi külas, Hautimäe jalamil avanenud allika vee erijuhtivus ja temperatuur Piisupi järvi vee parameetritega (vt Joonised 5.4 ja 5.8). Võhmetu-Lemküla põhjapoolsetest karstijärvikutest võib kõrge põhjaveetasemete isohüpside järgi põhjavesi voolata Udriku ja Jõepere allikate suunas (Joonised 5.4 ja 5.8).

5.5. Saksi järv

Saksi järv (VEE2022300) asub Saksi külas, Tapa vallas, Valgejõe oru (Porkuni ürgoru) kirdeveerul, absoluutkõrgusel ligikaudu 96,5 m ümp (Joonis 5.7). Terasmaa et al. (2015) järgi ei olnud Saksi järv kantud põhjaveekogumi veest sõltuvate oluliste seisuveekogude ja põhjaveekogumi veest sõltuvate oluliste karstiobjektide nimekirja, kuna ei vastanud seal rakendatud oluliste ja karstiobjektide valikukriteeriumitele, mille seotust põhjaveekogumiga hinnati. Terasmaa et al. (2015) töös lähtuti oluliste karstiobjektide valikul Ürglooduse raamatu (Kink, 2006) tähtsuskategooriatest ning oluliseks peeti vaid rahvusvahelise, riikliku ja regionaalse tähtsusega karstijärvikuid. Saksi karstijärvik on Kink (2006) järgi liigitatud aga kohaliku tähtsusega objektiks. Autorite hinnangul on käesoleva töö raames läbi töötatud materjalide põhjal alust väita, et Saksi järve näol tegu vähemalt regionaalse tähtsusega objektiga. Seetõttu on põhjendatud lisada ka see põhjaveekogumist nr 14 (S–O Pandivere põhjaveekogumi Lääne-Eesti vesikonnas) sõltuvate oluliste karstiobjektide nimekirja. Saavutamaks käesoleva töö raames etalonala käsitletava Assamalla karstiluha ümbruse osas esinduslikumat ülevaadet, tegid autorid tellijale ettepaneku asendada lähteülesandes algselt ette nähtud, autorite hinnangul vähem esinduslik, Neanurme karstijärvik Saksi järvega.

Kuigi Saksi järv on seisuveekogude registriobjekt (pindala 23,9 ha), on mitmete autorite väitel (Mäemets, 1969; Joonuks, 1974; Suuroja et al., 2015) tegu ajutise karstijärvikuga, mille pindala sõltuvalt hüdrokeoloogilistest tingimustest olulisel määral varieerub, ning suviti sootuks kuivab. Suurvee ajal on järve pindala ligikaudu 0,3 km² ja sügavus enam kui 2 m. Veetaseme alanedes võib järv jaguneda eraldiseisvateks osadeks. Järv ei ole loetud loodusdirektiivi elupaigaks ega asu ka kaitstaval alal. Saksi järv asub Vormsi lademe Kõrgessaare kihistu karbonaatkivimite avamusalal. Järvenõo idaserv ühtib Moe kihistu kivimite avamusalaga. Aluspõhjakeivimeid katab järve alal puuraugu 266 järgi 10,6 m paksune pinnakatte kiht.



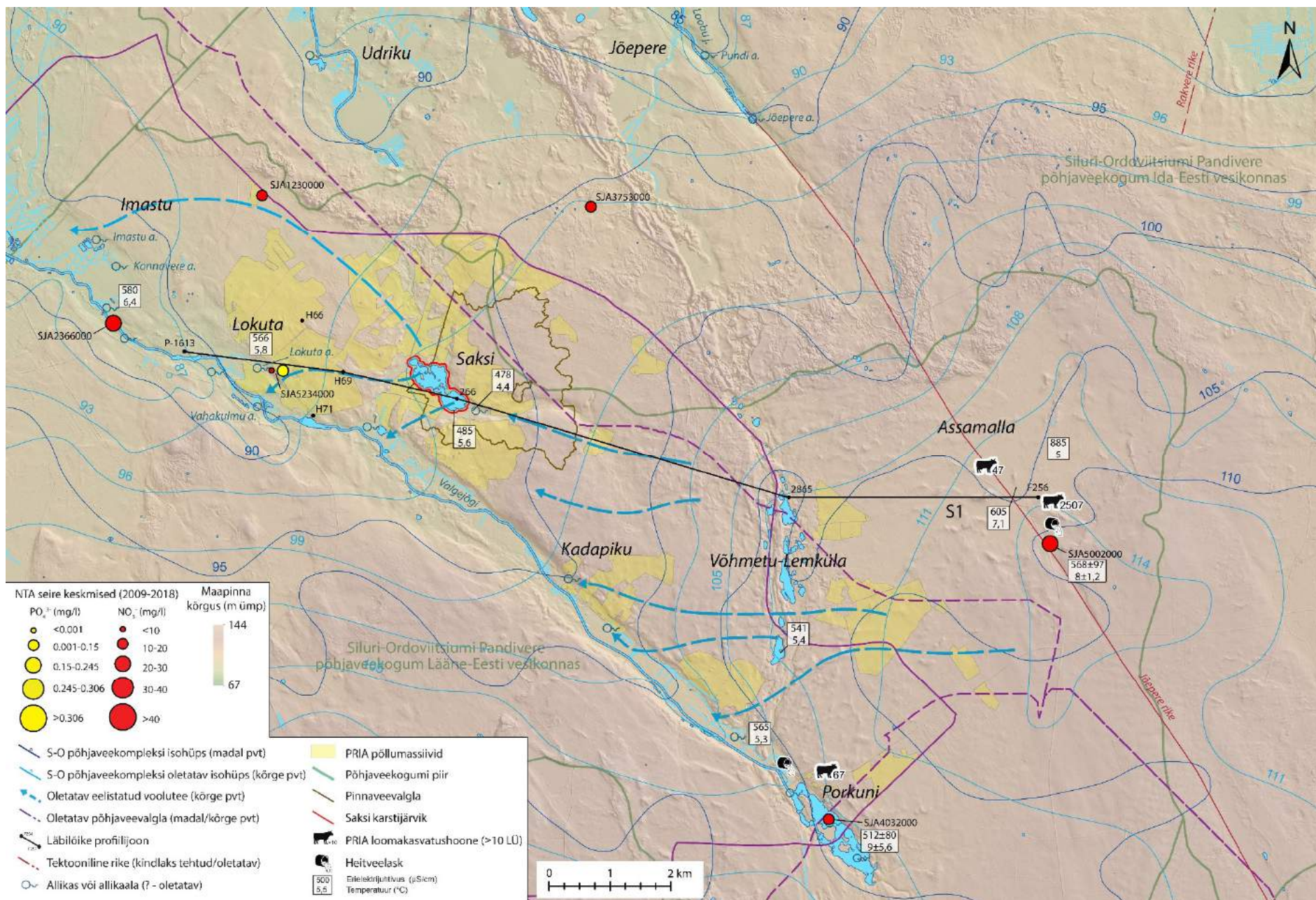
Joonis 5.7. Saksi järv Maa-ameti ortofotol.

Suuroja et al. (2015) järgi on Saksi järv kujunenud kuni 15 m sügavuselt, kuni 400 m laiuselt ja 4 km pikkuselt Kadapiku kõvikusse lõikunud Saksi „karstiorgu“ (Suuroja et al., 2015). Eelnimetatud Saksi karstiorg lõikub lääne suunal teise, põhja-lõunasuunaliselt Kadapiku kõvikut lõikava mattunud aluspõhjalise oruga, mis eraldab Kadapiku kõvikust läänepoolse Imastu kõviku (Joonis 5.3). Eelmainitud põhja-lõunasuunalise oru aluspõhja pealispinna kallakus on geoloogilise baaskaardi järgi põhja poole, lõunas eraldab seda Porkuni ürgorust 5 m kõrgune aluspõhjaline „põndak“, mille kohal on pinnakatte paksus hinnanguliselt 15 m. Põhjapoolsest otsas on eelnimetatud põhja-lõunasuunaline aluspõhjaline org mattunud Saksi mõhnastiku alla. Kohas, kus põhja-lõunasuunaline ja Saksi karstiorg lõikuvad, asub Saksi järve nõgu (Joonis 5.3).

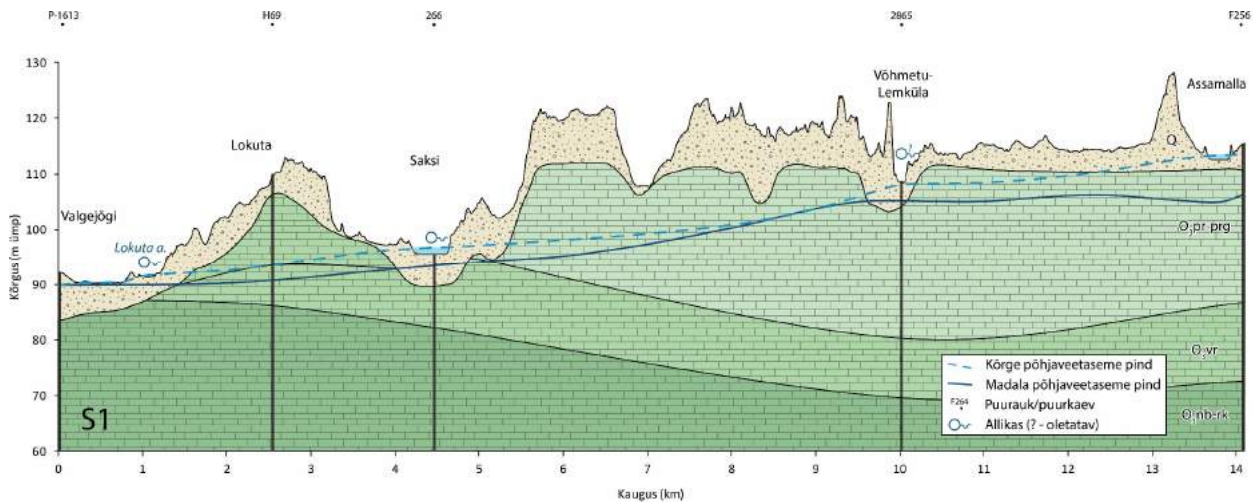
Saksi karstioru täpne idasuunaline ulatus on teadmata, ja selle seotuse üle Neeruti-Porkuni oruga võib spekulatsioonida. Küll on aga teada, et Saksi järve olulisemad allikad asuvad järvenõo kirde- ja idapoolsel serval (Heinsalu, 1963), mis võiks viidata järve võimalikule seotusele ida poole jääva Saksi „karstioruga“. Eelmainitud allikad olid aktiivsed ka 2019. aasta 15. aprilli välivaatluse ajal (Joonis 5.8). Lisaks võis täheldada vahetult järviku kagunurga kaldavees salvkaevu, mis üle voolas. Järviku vee neeldumine võiks eelduse kohaselt toimuda järve lääneosas. Suuroja et al. (2015) järgi avab Saksi järvest ligikaudu 2 km lääne pool asuv puurauk H66 (Joonis 5.8) ilmselt uurimata karstisüsteemi. Mardim et al. (1977) andmetel saadi puurkaevu H66 puhul kahe puuraugu samaaegsel pumpamisel deebitiks 25,2 l/s, sealjuures puuraugu H71 erideebitiks 17 l/s*m. Sedavõrd suurt tootlikkust seostas Suuroja et al. (2015) oletatava Saksi karstioruga.

Saksi järv on S-O põhjaveekompleksi Porkuni-Pirgu ja Vormsi veekihtide avamusalal. Geoloogilise baaskaardi hüdroisohüpside järgi kulgeb Saksi järve oletatava põhjavee valgla idapiir piki Neeruti-Porkuni oosistikku (Joonis 5.8), hõlmates osa Kadapiku kõvikust (Joonis 5.3). Kõrge põhjaveetaseme tingimustes võiks oletatava põhjaveevalgla piir nihkuda Valgejõe oru poole. Kas põhjaveetoide jõuab Saksi järve ka Võhmetu-Lemküla karstijärvedest või vaid Kadapiku kõvikult, on täpsemate andmete puudumisel keeruline oletada. Saksi järve kontseptuaalse mudeli järgi on tõenäoline põhjavee väljavool Saksi järvest Valgejõe orgu (Porkuni ürgorgu) Lokuta ja Kalle järve piirkonnas (Joonised 5.8 ja 5.9). Lokuta allikate suunale jääb ka eelpool mainitud puurauk H66 (Joonis 5.8). Kuigi nii kõrge kui madala hüdroloogilise seisjuures oleks võimalik ka põhjavee jõudmine Konnavere ja Imastu allikatesse, tuleks selles veenduda vastava uuringu läbiviimisega. Ei ole ka välistatud, et kõrge põhjaveetaseme tingimustes, kui oletatava põhjaveevalgla piir on nihkunud järvele lähemale (Joonis 5.8), võib Saksi järves neeldunud põhjavesi voolata ka põhja suunas. Selleks looks teatavad eeldused ka mattunud aluspõhjalise oru põhjasuunaline kallak Saksi järve alal (Joonis 5.3).

EELISE Ürglooduse objektide andmebaasi Saksi järve sissekandes on järve kirjeldatud kui läbipaistva veega alkalitroofset tüüpi, kõva põhja ja kaldaga seisuveekogu. Järve vees leidis (tõenäoliselt 1991.–1993. aastal) üsna palju lämmastikku (üld N 1089 mg/mü). 1991.–1993. aastal oli vesi nõrgalt aluseline pH=7,5–7,8, keemiliselt koostiselt Ca-HCO₃-SO₄ tüüpi. Käesoleval ajal võib Saksi järve olulisimaks surveteguriks pidada selle pinnaveevalglal ja oletataval põhjaveevalglal asuvatelt põllumaadelt lähtuvat hajukoormust (Joonis 5.8). PRIA veebikaardi andmetel Saksi järve pinnaveevalglal ja oletataval põhjaveevalglal üle 10 LÜ-ga loomapidamishooneid ei ole. Järve oletataval toitealal puuduvad ka nitraaditundliku ala seirejaamad, millest oleks viimase kümne aasta jooksul määratud põhjavee nitraat- ja/või fosfaatioonide sisaldust.



Joonis 5.8. Saksi järve kontseptuaalne mudel.



Joonis 5.9. Saksi järve geoloogilis-hüdrogeoloogiline läbilõige S1. Läbilõike paiknemine maastikul on näidatud joonisel 5.8. Veekihtide liigestus ja lühendid Jõelett & Polikarpus (2019) järgi. Q – Kvaternaari veekiht; O_{3pg-prg} – Porkuni-Pirgu veekiht; O_{3vr} – Vormsi veekiht/nõrk veepide; O_{3nb-rk} – Nabala-Rakvere veekiht.

5.6. Savalduma, Aniste ja Einjärve karstijärvikud

Savalduma, Aniste ja Einjärve karstijärvikud (sanimelistel karstiväljadel), mis kuuluvad Savalduma karstiala kaitseala (KLO1000028) koosseisu, asuvad Savalduma külas Tapa vallas. Savalduma karstijärvik on Keskkonnaregistris arvel ka Savalduma järvena (VEE2033410). Keskkonnaamet on välja töötanud uuendamata kaitsekorraga Savalduma karstiala kaitseala baasil Savalduma maastikukaitseala loomise kavatsuse. Savalduma karstijärviku(te) ala on jaotatud EELISE elupaikade kaardikihil mitmeks loodusdirektiivi elupaigaks 3180* (karstijärved ja -järvikud). Polügoonide kogupindala on 67,5 ha (EELIS, 2019). Nelja elupaigapolügooni seisundit on ka hinnatud, kuid nende üldist looduskaitse väärtust ei saanud anda, kuna nende säilimine ja/või funktsioneerimine oli hinnatud keskmisele või ebasoodsale tasemele. Elupaigatüüpi 3180* on loetud ka Aniste karstijärvik, pindalaga 21,7 ha. Selle üldiseks looduskaitse väärtuseks on hinnatud C (keskmine) (EELIS, 2019). Savalduma, Aniste ja Einjärve karstijärvikud on Terasmaa et al. (2015) põhjal seotud põhjaveekogumiga nr 14 (S–O Pandivere põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas).

Savalduma, Aniste ja Einjärve karstiväljad (sanimelised karstijärvikud Joonis 5.10) paiknevad Tamsalu otsamoreeni esisel kulutustasandikul, kunagise Porkuni jääpaisjärve levialal (Öpik, 1937). Savalduma karstiväli (Joonis 5.10) hõlmab ligikaudu 4 km pikkuse kirde-edelasuunalise karstijärvikute ja kurisute võõndi, mis paikneb Savalduma soo idakülje ja seda piirava kirde-edelasuunalise põikmoreeni vahel, Savalduma küla loodenurgast kuni Jaama-Halja järveni. Savalduma karstiväljal avanevad Ärina, Varbola ja Tamsalu kihistu aluspõhjakiivid (Joonis 5.3), mida katab enamasti moreen. Savalduma karstiväli on kujunenud kohati suhteliselt järsu, kuni 4–5 m kõrguse põikmoreeni astangu esisel kulutustasandikul, kus pinnakatte paksus on 0,1–1 m. Mineraalse pinnakatte paksus on suurem Savalduma soo levialal, kus moreeni katab Veber (1961) ja Kink (1998) andmetel kuni 1,65 m paksune jääjärveline savi ja hilisema soo algeks olnud järvedes settinud sapropeel. Paiguti leidub sapropeeli ka Ülemise järvi all (Kink, 1998). Aja jooksul laienes soo ka karbonaatse moreeni ja kaltsiumirikka põhjaveega mineraalmaale, kus levivad peamiselt madalsoo taimekooslused ja vastavad turbad. Keskmine turbakihi paksus soos on 5,5 m, maksimaalselt kuni 6,5 m (Kink, 2005).

Savalduma karstiväljale on iseloomulik äärmiselt suur ruumiline heterogeensus – paljanduva aluspõhjaga, karstunud alad vahelduvad osaliselt vettpidavate soiste lohukeste ja järvenõgudega. Selle põhjuseks on tõenäoliselt kvaternaarisetete ja nende infiltratsioonitingimuste suur vaheldumine, ning biohermsetele kivimitele iseloomulik kühmuline aluspõhjareleef.

Vettpidavamate setete settimist Savalduma ja ka Aniste-Einjärve kulutusnõgudes võib seletada viimase mandriliustiku taandumise järel neis esinenud jääpaisjärvedega (Öpik, 1937; Amon et al., 2016). Ka Kildema ja Valler (1959) juhtisid tähelepanu maastiku ja mullastiku suurele muutlikkusele karstiväljal. Eelmainitud kühmud-seljandikud on biohermsete aluspõhjajakivimite kulutusele vastupidavamad osad, mille laed paiguti vettpidavamate setetest välja ulatuvad ja nii karstunud lõhede kaudu põhjavee väljavoolu ning pinnavee infiltratsiooni võimaldavad. Heinsalu (1963) andmetel on biohermsete seljandike laius kuni 20 m ja kõrgus keskmiselt 1,5 m.

Savalduma karstivälja võib üldjoontes jagada kaheks: karstivälja tuumikuks olev Ülemine järvik (tuntud ka kui Savalduma järv) (Joonis 5.10), mille veepeegli pindala võib hüdroloogilistest oludest sõltuvalt suurel määral muutuda (kõrge veetaseme korral üle 100 ha), ja eelmainitud edela pool asuv, ajutisema iseloomuga, Alumine järvik (Joonis 5.10). Alumisest järvikust edela pool leidub väiksemaid karstijärvikuid veelgi (Joonis 5.10). Varem suviti kuivanud Ülemine järvik on osaliselt muutunud püsiveekoguks (Kask, 1994; Mäemets, 1988). Ühtlasi on Ülemine järvik Tamsalu reoveepuhasti heitvee suublaks, mis on tinginud järviku ja lähiümbruse põhjavee reostumise (Joonuks, 1974; Salu, 2009).



Joonis. 5.10. Savalduma, Aniste ja Einjärve karstijärvikute levialad (punasega) samanimelistel karstiväljadel. Maa-ameti ortofoto.

Savalduma karstiväljal esineb kõiki tüüpilisi lookarstivorme: karre, avalõhesid ja lehtreid-kurisuid, mida Heinsalu (1963) andmetel on väljal ühtekokku umbes 50–60, nende seas enam kui kümme suuremat. Kõige suurem on karstivormide esinemise tihedus karstivälja põhja- ja kirdeosas, kus Ülemise järviku vesi mitmete kurisute-pugemite kaudu põhjaveekihti neeldub. Karstivorme esineb ka kõrgepingeliinist põhja pool. Karstivormid on üldjuhul ovaalse kujuga ja järsunõlvälised. Paljudel juhtudel on karstivormid täitunud viimase jäätumise moreeniga, millest Heinsalu (1963) järeldas, et tegu võib olla viimase jäätumise eelsete vormidega. Karstivormide paiknemine on üldjuhul

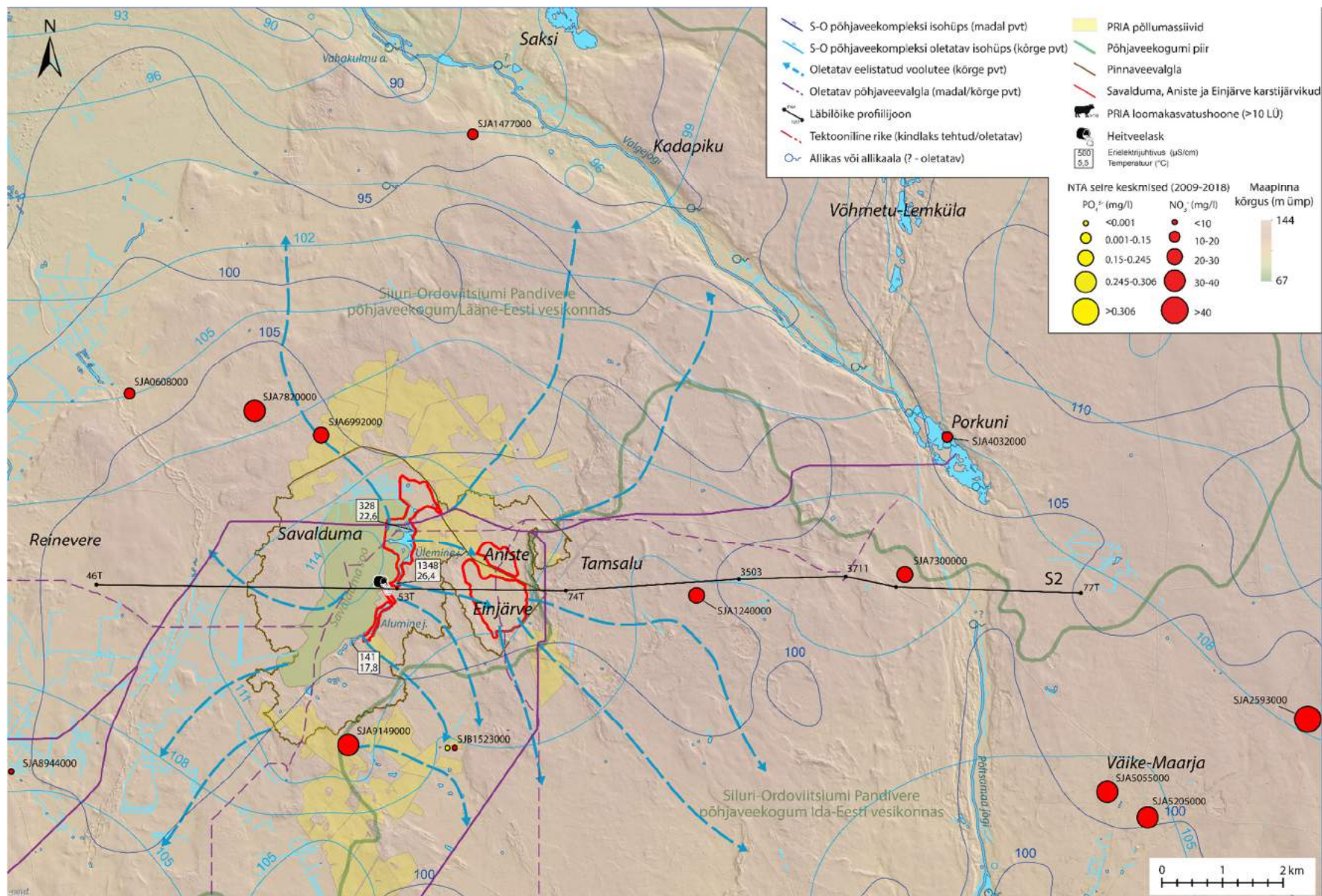
korrapäratu, esineb kõikide enamlevinud tektooniliste suundade järgi orienteeritud vorme. Karstivälja põhjaosas on kohati tajutav karstivormide üksteise suhtes loode-kagusuunaline paiknemine. Ülemisest järvikust edela pool lahutab madal seljandik Ülemist ja Alumist järvikut. Alumine järvik täitub suurveeperioodidel, liitudes lõunapoolsete, kuival ajal eraldatud nõgudega. Piki karstivälja ääristavat astangut edela suuna liikudes, võib näha veel mitmed astangusse lõikunud kurisuid või selle lael olevaid eraldiseisvaid karstinõgusid.

Aniste (18 ha) ja Einjärve (115 ha) karstiväljad asuvad Savalduma küla ja Tamsalu linna vahelisel alal, ligikaudu 1,8 km pikas ja 1,1 km laias kulutusnõos, mis sarnaselt Savalduma karstiväljale, oli kunagi Porkuni ja Kursi jääpaisjärvede levialal. Nõgu piirab idas ja lõunas Vistla-Tamsalu mattunud aluspõhjaastang ning läänes põikmoreen. Aniste ja Einjärve karstiväljasid lahutab loode-kagusuunaline, tõenäoliselt aluspõhjalise tuumaga lauge seljandik, millel kulgeb Ambla-Tamsalu kõrvalmaantee, mistõttu käsitletakse neid üldjuhul eraldiseisvatena. Sarnane geoloogiline ehitus ja karstivormid (Heinsalu, 1963) ning maapinna absoluutkõrgused annavad alust arvata, et kahe karstivälja puhul on tegemist geomorfoloogiliselt ja hüdrogeoloogiliselt ühtse süsteemiga. Karstiväljal avanevad Juuru lademe hallid biomorfed lubjakivid (Joonis 5.3), milles esineb arvukalt, ümbritsevast kivimist vastupidavamaid, enamasti 40–50 m läbimõõduga biohermseid kühmukesti. Pinnakatte, mille paksus on 0,1–1 m (Heinsalu, 1963) või kuni 1–2 m (Suuroja et al., 2011), moodustab enamasti moreen, Einjärve nõo ida-kaguosas ka jääjärveline peenliiv.

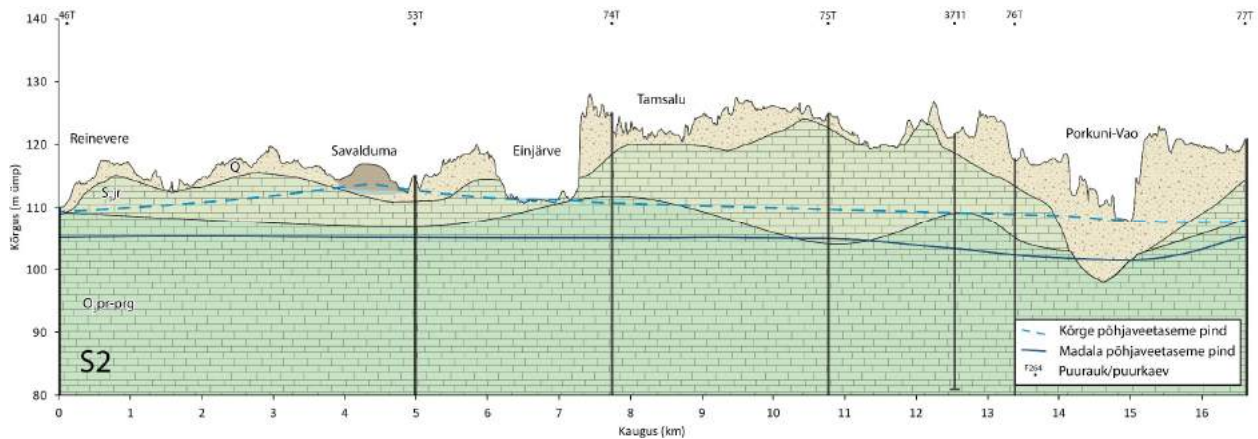
Aniste-Einjärve nõo puhul on tegu Eesti kontekstis tähelepanuväärse karsti suurvormiga, mis oma mõõtmete, karstilise toitumise/väljavoolu, lameda põhja ja topograafilise suletuse poolest vastab igati karstipolje (suur tasase põhjaga karstinõgu ehk karstihäil) klassifikatsiooni tingimustele. Aniste-Einjärve nõo üldiselt lamedat pinnamoodi ilmestab biohermseid kühmude ja nendevaheliste, madalamate, pinnakattega alade vaheldumine. Kühmuline reljeef on kontrastsem Aniste karstiväljal, mõnevõrra paksem pinnakate Einjärve lõunaosas tasandab ilmselt sealset üldilmet. Kuna eelmainitud biohermseid kühmukeste lael ja nõlvadel pinnakate puudub või on õhuke, mistõttu lõheline kivimikeha on karstumisele enam avatud, on karstivormid sageli koondunud kühmukeste jalami lähedale.

Aniste-Einjärve karstiväljadel on valdavateks karstivormideks väikese kuni keskmise läbimõõdu (kuni 25 m) ja sügavusega (kuni 2 m) karstilehtrid, mida leidub kahel väljal kokku umbes poolsada (Heinsalu, 1963), Kink (2005) andmetel koguni rohkem kui 140. Heinsalu (1963) andmetel leidub õhukese pinnakattega aladele omaselt mitmel pool karre ja avalõhesid. Sarnaselt Savalduma karstiväljale, ei tundu ka Aniste-Einjärve karstivormide paiknemises, vähemate eranditega, olevat tugevat korrapära. Üldjuhul on karstivormid kujunenud kirde-edela ja loode-kagusuunalistel tektoonilistel lõhedel ja paiknevad kogu nõos suhteliselt ühtlaselt.

Heinsalu (1979) hinnangul on Savalduma karstivälja karstijärvikud peamiselt pinnaveetoitelised. Vesi valgub järvikutesse lääne pool asuvast Savalduma soost. Viimastel aastakümnetel on järviku toitumises olulist rolli mänginud ka Tamsalu heitvesi. Savalduma soo veelahkmelist rolli kinnitavad nii geoloogilise baaskaardi põhjaveetaseme hüdroisohüpsid (Joonis 5.11), kui ka kõrget veetaset kujutavad hüdroisohüpsid (Joonis 5.11). Ülo Heinsalu käsikirjalistele materjalide (arhiveerimata materjal TTÜ Geoloogia instituudi teaduskogus (GIT)) järgi mõõdeti 1977. aasta kevad-suvel Savalduma karstijärvikus ja sellest umbes 50 m kaugusel asuvas kaevus (täpne asukoht teadmata), ning Einjärve karstijärvikus veetasemeid. 1977. aasta kevadise suurvee tingimustes oli Savalduma karstijärvikute (kaev asus tõenäoliselt Ülemise järviku idakaldal) lähedal asuvas kaevus mõõdetud põhjaveetaseme dünaamika analoogne järvikute veetasemete omaga, mille põhjal võis oletada järvikute seotust ümbruskonna maapinnalähedase põhjaveega. Veetaseme tõus Savalduma karstijärvikutes algas ajal, mil põhjaveetaseme absoluutkõrgus kaevus tõusis kõrgemale karstinõgude põhjast. Ka järvikute tühjenemine toimus sünkroonselt põhjaveetaseme alanemisega.



Joonis 5.11. Savalduma, Aniste ja Einjärve karstijärvikute kontseptuaalne mudel.



Joonis 5.12. Savalduma ja Einjärve karstiväljade geoloogilis-hüdrogeoloogiline läbilõige S2. Läbilõike paiknemine maastikul on näidatud joonisel 5.11. Veekihtide liigestus ja lühendid Jõelett & Polikarpus (2019) järgi. Q – Kvaternaari veekiht; S_{1jr} – Juuru veekiht; O_{3pr-prg} – Porkuni-Pirgu veekiht.

Ka Aniste-Einjärve nõo puhul arvatakse, et suurveeperioodidel tõuseb põhjaveetaseme nõgude põhjast kõrgemale ning moodustuvad ajutised järvikud (Kildema ja Valler, 1959; Heinsalu, 1963). On täheldatud, et vesi voolab Aniste ja Einjärve nõgudesse, ja veetaseme alanedes neeldub karstilehtrite kaudu (Heinsalu, 1963). Heinsalu (1979) andmetel on põhjaveetaseme tõus Aniste-Einjärve nõgudes otseselt seotud hüdroloogiliste tingimustega lääne pool asuvas Savalduma soos ja Savalduma karstiväljal. Einjärve karstijärviku veetaseme tõus 1977. aasta kevadel algas Savalduma karstijärvikuga võrreldes mõni päev hiljem, ning maksimumtase saabus Savalduma karstijärvikust üheksa päeva hiljem. Sealjuures on nii LiDAR andmete ja Ülo Heinsalu käsikirjaliste materjalide järgi Aniste-Einjärve karstijärviku veetaseme Savalduma omast umbkaudu 0,9–1 m madalamal. Eelmainitu viitab, et Savalduma soo ja Tamsalu linna vahelisel alal võiks põhjavesi voolata ida, kagu ja kirde suunas. Võib oletada, et Savalduma soo ja karstijärvikud on Aniste-Einjärve karstijärvikute toitealaks, kuna nende täitumise alguse vahel esineb ajaline viive, mida võib tõlgendada ajana, mille vältel levib Savalduma soos tekkinud suurveevall Einjärvele.

Geoloogilise baaskaardi hüdrisohüpside järgi (Joonis 5.11) on Savalduma karstivälja täpset rolli lokaalses põhjaveevoolusüsteemis keeruline hinnata, kuna kogu Savalduma-Aniste-Einjärve piirkond on kaetud 105 m hüdroisohüpsiga. Kõrge põhjaveetaseme hüdroisohüpsid ja vastavad põhjaveevalgate lahkmejooned (Joonis 5.11) viitavad aga võimalusele, et kõrge veetaseme korral võib Savalduma soo ja karstijärviku vesi ka Aniste-Einjärve suunas voolata. Aniste-Einjärve nõo täitumisel võib sellest omakorda kujuneda ajutiselt lokaalne põhjavee toite- ja lahkmeala põhja, kirde ja kagu suunas. Joonuks (1974) andmetel on Aniste-Einjärve nõod peaaegu igal kevadel veega täitunud ning vesi on kadunud juuli alguseks.

Tulenevalt Savalduma, Aniste ja Einjärve karstijärvikute põhjaveelahkmelisest asendist, võib eeldada, et põhjavee kvaliteedi kujunemisel on olulisim looduslik tegur Savalduma soo. Uuringud on näidanud (Salu, 2009; Vainu et al., 2016), et karstijärvikute veekvaliteedi kujunemist mõjutavatest antropogeensetest teguritest on vaieldamatult olulisim Savalduma Alumisest karstijärvikusse juhitud Tamsalu linna heitvesi, mis järviku enda, ja karstivormide kaudu ümbruskonna põhjavee on reostanud. Heitvee reostav mõju väljendub eeskätt kõrgetes lämmastiku- ja fosforiühendite kontsentratsioonides, mis on tingitud selle hüpertroofse seisundi Samal ajal on pigem tõenäoline, et põllumajanduse mõju veekvaliteedile on tagasihoidlik, kuna suuremad kultuurpõllumaad jäävad üldjuhul soo ja järvikute suhtes põhjavee voolusüsteemis allavoolu. Samuti puuduvad järvikute oletataval toitealal suuremad loomapidamishooned (suuremad kui 10 LÜ).

5.7. Jalgsema karstijärvik

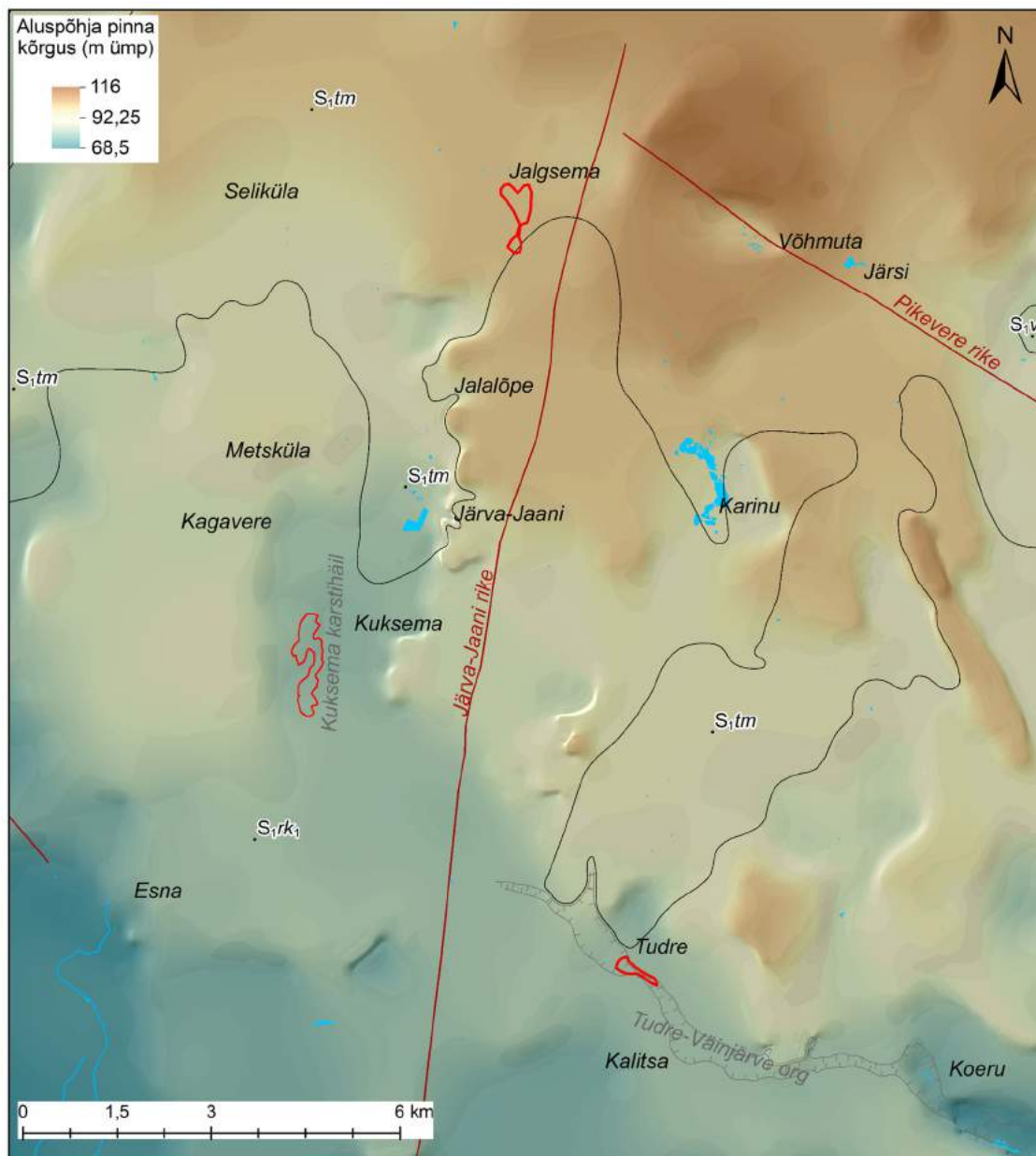
Pandivere kõrgustiku edelanõlval, Järva vallas, Jalgsema külas esineb künkliku moreenreljeefiga alal ühtekokku neli suletud kulutusnõgu, mida tuntakse Paistevälja-Jalgsema karstinõgudena (Joonis 5.13). Kõrge põhjaveetasemega perioodidel kujunevad nõgudesse karstijärvikud (Joonuks, 1974). Kolm nõgu paiknevad põhja-lõunasuunalise ahelana Jalgsema külakeskusest vahetult lõuna pool. Üks eraldiseisev, sarnase üldilmega nõgu on veel eelmainitute umbes 500 m kagu pool. AS Maves (2002) järgi võib veel ühe sulglohuna ära mainida Jalgsema külast umbes 1 km lõuna pool, Sammeli ja Jaska kinnistute alal asuvat nõgu. Edasises tekstis käsitletakse nõgusid üldiselt Paistevälja-Jalgsema karstinõgudena (eristamata) ja neis moodustuvaid ajutisi seisuveekogusid Jalgsema karstijärvikuna. Jalgsema karstijärvik on Terasmaa et al. (2015) põhjal sõltuv põhjaveekogumist nr 14 (S–O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas).

Järviku kaitseks on loodud Jalgsema hoiuala ja Jalgsema loodusala. Järvik on liigitatud kahe lahustükina elupaigatüüpi 3180* (karstijärved ja -järvikud). Elupaigapolügoonide kogupindala EELISE elupaikade kaardikihil on 19,2 ha ning nende üldine looduskaitse väärtus A (väga kõrge).



Joonis 5.13. Jalgsema karstijärvikud Paistevälja-Jalgsema karstinõgudes Maa-ameti 2013. aasta ortofotol. Punase katkendjoonega on tähistatud tuumikalast eraldi seisvad, väiksemad karstinõod.

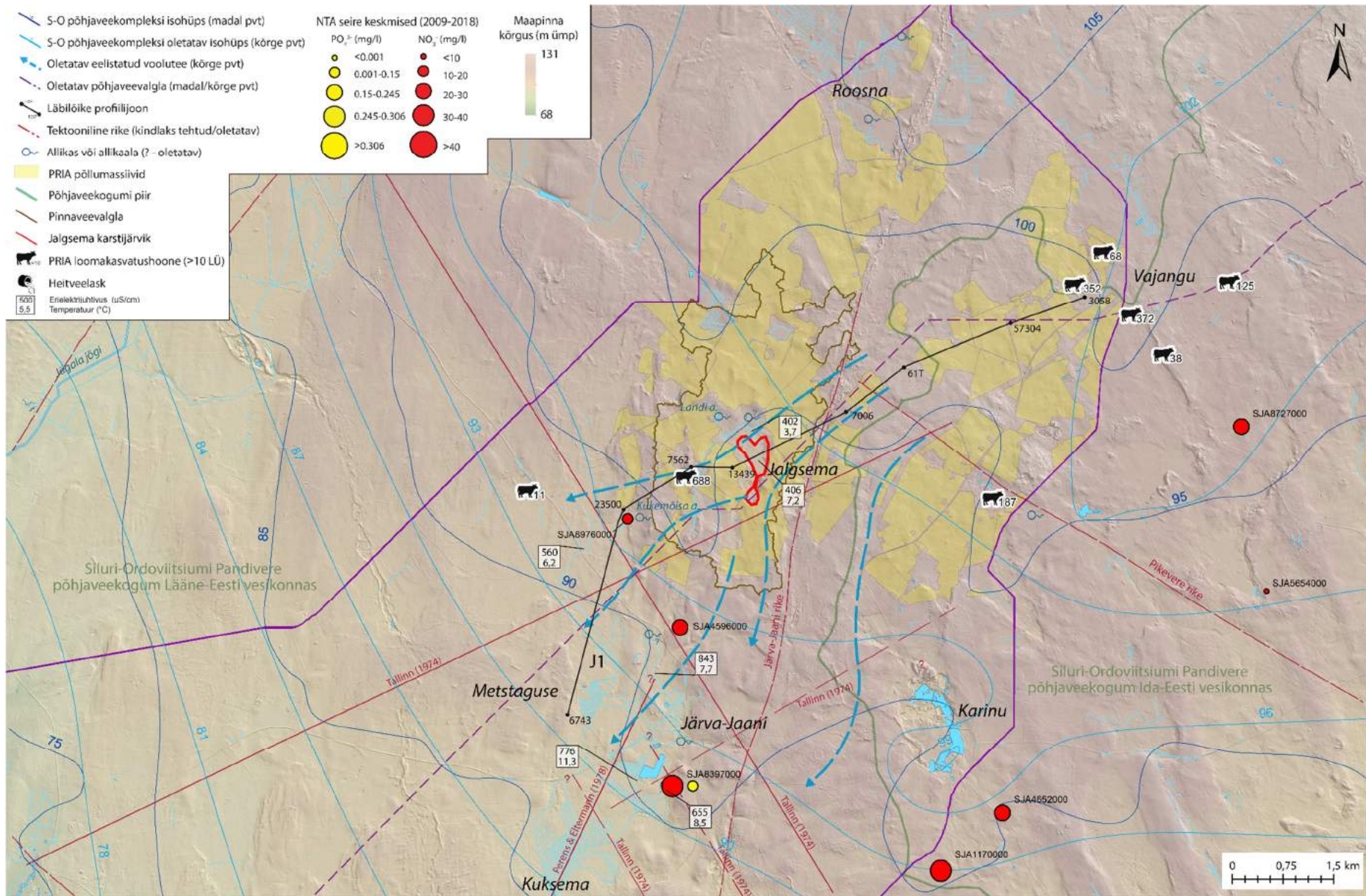
Paistevälja-Jalgsema karstinõod asuvad Juuru lademe Tamsalu kihistu aluspõhjakiivimite avamusalal (Joonis 5.14). Karstinõod jälgivad üldjoontes mõnisada meetrit ida pool kulgeva, Suuroja et al. (2017) poolt kirjeldatud kirde-edelasuunalise Järva-Jaani oletatava rikke orientatsiooni (Joonis 5.14). Järva-Jaani riket markeerib Jalgsemalt kuni Tapani kulgev madal oosiahelik (Suuroja et al., 2011). Paistevälja-Jalgsema nõgudest pisut kirde pool ristub oletatava Järva-Jaani rikkega oletatav Pikevere rike (Suuroja et al., 2017). Erinevalt oletatavast Järva-Jaani rikkest, on oletatav Pikevere rike läbilõikel selgemini aimatav (Joonised 5.14, 5.15 ja 5.16). K. Tallinna (1974; 1981) järgi esineb Pandivere kõrgustiku edelanõlval mitmesuguseid tektoonilisi struktuure oluliselt arvukamalt kui Geoloogilisel baaskaardil on välja toodud. Jalgsema, Karinu ja Järva-Jaani piirkond on läbistatud loode-kagusuunaliste ja kirde-edelasuunaliste tektooniliste lõhevööndite võrgustiku poolt, mis jagab piirkonna aluspõhjakiivimid plokkideks. Eelmainitud lõhesüsteemid omavad tõenäoliselt Paistevälja-Jalgsema karstinõgude arengul ja suurveeperioodidel neis esinevate Jalgsema karstijärvikute funktsioneerimisel olulist rolli (Joonis 5.15).



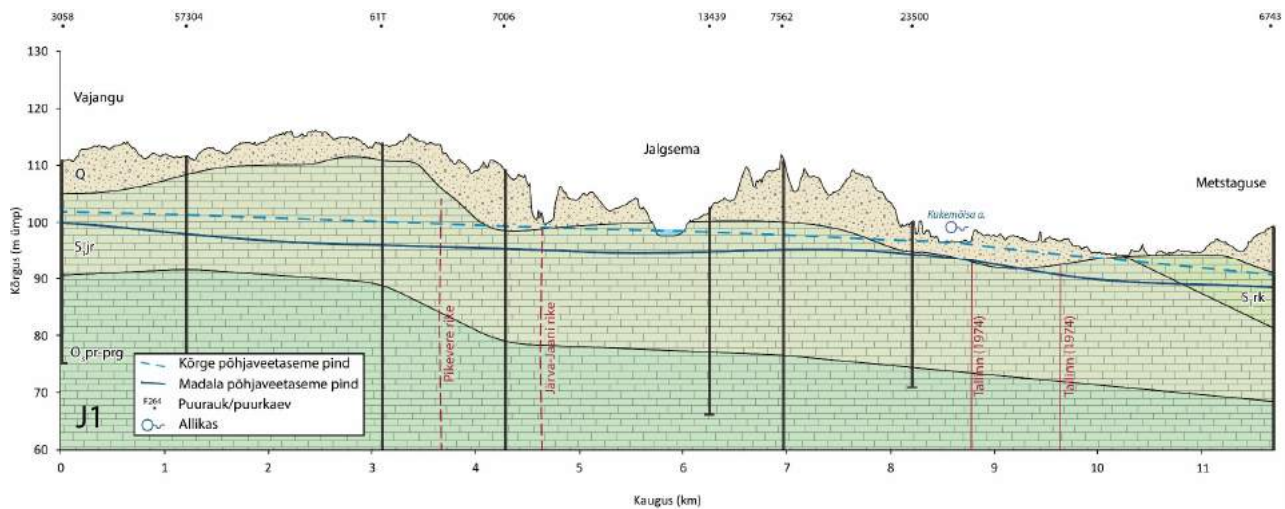
Joonis 5.14. Jalgsema, Kuksema ja Tudre piirkonna aluspõhja reljeefi ja aluspõhja avamuse kaart.

Aluspõhjakeivimeid katva pinnakatte paksus nõgude ümbruses on vahemikus 5–10 m, nõgudes aga 1–2 m (AS Maves (2002) järgi on pinnakatet 3–4 m). Nõgude põhjas võib mulla või turbakihi all esineda saviliiva ja moreeni. Tingituna õhukesest pinnakatte paksusest nõgudes, võib Perens & Eltermann (1978) järgi oletada, et Paistevälja-Jalgsema nõgude näol võib olla tegemist surnud jääpankade sulamise tagajärjel tekkinud nõgudega.

Paistevälja-Jalgsema karstinõod asuvad S-O põhjaveekompleksi Juuru veekihi (S1jr) levialal. Karstinõgude alal on geoloogilise baaskaardi hüdroisohüpside järgi madal põhjaveetaseme kõrgusel 94,6–95,0 m ümp (Joonis 5.15). Madala põhjaveetaseme hüdroisohüpside järgi jääb Paistevälja-Jalgsema karstinõgude ala oletatav põhjaveetoiteala nõgudest vastavalt põhja ja kirde poole (Joonis 5.15) Roosna ja Vajangu piirkonda. Paistevälja-Jalgsema karstinõgudest põhja pool, Roosna ja Vajangu piirkonnas, esineb AS Maves (2002) järgi laialdaselt karsti. On võimalik, et Jalgsema karstijärvikute põhjavee toiteala võib osaliselt jääda põhjaveekogum nr 15 (S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas) alale. Maa-ameti poolt 2013. aasta mais kogutud LiDAR andmete järgi olid Jalgsema karstijärvikute veetasemed vahemikus 98,4–98,6 m ümp. Veetase oli kõrgeim põhjapoolses järvikus, ja madalaim lõunapoolses eraldiseisvas nõos olnud järvikus. Seega eeldaks karstinõgude põhjaveega täitumine põhjaveetaseme tõusu vähemalt 4 m ulatuses.



Joonis 5.15. Jalgsema karstijärviku kontseptuaalne mudel.



Joonis 5.16. Jalgsema-Paistevälja karstinõgude ja Jalgsema karstijärviku geoloogilis-hüdrogeoloogiline läbilõike J1. Läbilõike paiknemine maastikul on näidatud joonisel 5.15. Veekihtide liigestus ja lühendid Jõelett & Polikarpus (2019) järgi. Q – Kvaternaari veekiht; S_{1jr} – Juuru veekiht; O_{3pg-prg} – Porkuni-Pirgu veekiht.

Joonuks (1974) järgi täituvad Paistevälja-Jalgsema karstinõod kurisutest välja tulvavast veest, kuhu see järviku veetaseme alanedes uuesti tagasi neeldub. Maa-ameti 2018. aasta ortofotol on põhjapoolse, suurema nõo põhjas ja selle lääneveerul näha osaliselt veega täidetud, isoleeritud väiksemaid negatiivseid pinnavorme, mida võib interpreteerida karstilehtrite/kurisutena. Samuti viitavad nõo ümber asuvate kinnistute nimed (Allikahansu, Allika, Allika-Jüri ja Kuristiku) allikate ja kurisute olemasolule. 1976. aastal juunis-juulis mõõdeti Ülo Heinsalu juhendamisel Jalgsema karstijärviku ja sellest 100 m kaugusel asuvas kaevus veetasemeid (arhiveerimata GIT TalTech Geoloogia instituudi teaduskogus). Paraku saadi andmeid vaid järviku- ja põhjaveetaseme retsessiooniperioodi kohta. Samal ajal näitasid mõõtmised järviku ja kaevus mõõdetud põhjaveetaseme sünkroonset langemist, millest võis järeldada järviku seotust põhjaveega. Ka järviku ja kaevuvee üldmineralisatsioon oli sarnane (vastavalt 0,32 ja 0,37 g/l). Järvik kuivas 1976. aastal 23.–24. juunil.

Hindamaks Jalgsema karstijärvikute võimalikku suurveeaegset hüdrodünaamikat, koostati ka kõrge põhjaveetaseme hüdroisohüpsid (Joonised 5.15 ja 5.16). Kõrge veetaseme hüdroisohüpsidest nähtub, et põhjavee üldine voolusuund on kirdest edelas. Suurveeperioodil võib kujuneda uus põhjaveelahkmeala, mis jagab Jalgsema karstijärviku oletatava madala põhjaveetaseme põhjaveevalgla kirde-edelesuunaliselt kaheks (Joonis 5.15). Võimalik põhjaveelahkmeala läbib Jalgsema karstijärvikuid. Suurema detailsuse saavutamist lokaalse voolusüsteemi kirjeldamisel takistab andmete vähesus. Kuigi läbilõike J1 profiiljoon (Joonis 5.16) ei ole kõrge põhjaveetaseme voolusuuna suhtes paralleelne, nähtub, et olukord, kus põhjaveetase on karstinõgude põhjas maapinnast kõrgemal, on vähemalt teoreetiliselt võimalik.

Maa-ameti 2013. aasta mais tehtud ortofotol on näha suurimast nõost vahetult põhja ja loode pool asuvaid märgasid alasid Landi (sh Landi allikas (VEE4311504), Matsi ja Allikahansu kinnistutest vahetult lõunas (Joonis 5.13), mida võiks topograafilise asendi ning reljeefkaardil ja ortofotol nähtavate kraavide põhjal interpreteerida kui võimalikke põhjavee väljealasid.

Matsi ja Allikahansu vaheline ala (kõrgusel umbkaudu 101,5–102,0 m ümp) on kraavide kaudu drenenitud Jalgsema karstijärvikusse, mille veetase Maa-ameti 2013. aasta LIDAR andmete järgi oli umbkaudu 98,6 m ümp. AS Maves (2002) järgi juhitakse kraavidega karstinõkku kuivendusvett umbkaudu 7 ha-lt eelmainitud alalt. 2019. aasta 15. aprilli välivaatluse ajal oli vooluhulk eelmainitud Paistevälja-Jalgsema karstinõkku suunatud kraavis langenud hinnanguliselt tasemele ~1 l/s. Vaatluse põhjal võis oletada, et veel hiljuti oli veetase ja vooluhulk kraavis olnud oluliselt kõrgem. Kraavivee ja Jalgsema karstijärviku vee erielektrijuhitus ning temperatuur viitasid, et

tegu on pigem värskelt formeerunud maapinnalähedase põhjavee kui lumesula/pinnaveega. Kuna eelmainitud aladel puudub ortofotode ja LiDAR andmete tuginedes pindmine kontsentreeritud vooluveetoide, annab see alust oletada, et Landi, Matsi ja Allikahansu vahelise ala näol on tegemist ajutise allikavöötmega, mis suurveeperioodidel Jalgsema karstijärvikut toidab. See omakorda viitab asjaolule, et Paistevälja-Jalgsema karstinõgusid täitev vesi on tõenäoliselt dominantsetl põhjaveelist päritolu, ning pärineb nõgudest vastavalt põhja ja kirde poole jäävatelt aladelt, nagu ka eraldatud pinna- ning oletatavad põhjaveevalglad näitavad (Joonis 5.15). Sellele viitavad ka valdavalt nõgude kirde- ja idaveerul olevate kinnistute nimed (Allikahansu, Allika ja Allika-Jüri). Karstinõo veergude allikalisusele viitab ka AS Maves (2002). Tuginedes põhjavee oletatavatele voolusuundadele (Joonis 5.15) karstinõgude piirkonnas, võib oletada, et põhjaveetaseme alanedes nõgudes neeldunud karstijärviku vesi voolab põhjaveena edasi edela- ja lõuna suunas, millele võiks vihjata ka näiteks karstijärviku lääneveerul olev „Kuristiku“ nimeline kinnistu.

Põhjavee oletatavate voolusuundade (Joonis 5.15) ja maapinna/aluspõhja topograafia (Joonis 5.16) järgi võiks Jalgsema karstinõgudes neelduv vesi maapinnale voolata Kukemõisa allikas (Kuksema kraavi algus) ja tõenäoliselt maapinnalähedast põhjaveekihti dreenivates Järva-Jaani kraavi kogujakraavides Jalalõpe küla lääneserval (Joonis 5.13). Jalgsema karstijärvikus neeldunud vesi võib vähemal määral avaneda ka Järva-Jaani asula allikates (ei saa ilma pühendatud uuringuta lõplikult välistada). 2019. aasta 15. aprilli välivaatluse ajal oli Kukemõisa allikate vesi (Joonis 5.15) Jalgsema karstijärviku veest mõnevõrra kõrgema erielektri juhtivusega (vastavalt 560 ja 406 $\mu\text{S}/\text{cm}$), mis ei välista kahe objekti seotust, samas viitab, et tõenäoliselt võib Jalgsema karstijärvikus neeldunud vesi väljealade suunas voolates seguneda kõrgema mineralisatsiooniga põhjaveega. Kukemõisa allikatest algava oja vooluhulk Kohila kinnistu läänepiiril võis välivaatluse ajal olla hinnanguliselt kuni sadakond liitrit sekundis. Samal ajal oli välivaatluse ajal vooluhulk Järva-Jaani kraavi alguses (Joonis 5.15) kahanenud tasemeni ~ 1 l/s. Kraavivee suhteliselt kõrge erijuhtivus (843 $\mu\text{S}/\text{cm}$) viitas pigem põhjaveelisele päritolule, sealjuures ka võimalikule põllumajandusreostuse mõjule. Kuksema ja Järva-Jaani kraavi veed voolavad edasi Paistevälja-Jalgsema karstinõgudest lõuna pool asuva Kuksema karstihäilu suunas.

Jalgsema karstijärviku veekvaliteedi ja seisundi kohta ei ole ajakohaseid andmeid. Ürglooduse raamatu andmebaasi järgi mõjutas karstijärviku seisundit hajukoormus ja lähedalasuvad farmid. PRIA põllumassiivide kaardikihi andmete tuginedes jääb Jalgsema karstijärviku põhjaveetoitealale hinnanguliselt umbkaudu 3000 ha kultuurpõllumaad. AS Maves (2002) järgi oli varem karstinõgude ääres sigala ja väetisekuur, mis tänase päeva seisuga on likvideeritud. Ühtegi nitraaditundliku ala seirejaama, kus viimase kümne aasta jooksul oleks määratud põhjavee nitraat- ja/või fosfaatiooni sisaldust järviku oletataval toitealal ei ole. Võib oletada, et ilmselt mõjutab karstijärviku seisundit põllumajanduslik tegevus ümbruskonnas ja sealt lähtuv põllumajanduslik hajukoormus.

5.8. Kuksema karstijärvik

Pandivere kõrgustiku edelanõlval, Järva vallas, Järva-Jaani alevist edela pool Kuksema ja Kagavere küla aladel asub enam kui 4,5 km² pindalaga loodusliku väljavooluta põhjakirde-lõunaedelasuunalises nõos (edaspidi Kuksema karstihäil) Kuksema karstiala/karstiväli (Joonis 5.17). Kevadeti, kui pinnavee sissevool nõkku ületab kurisute neelamisvõime, ujutatakse nõo lõunapoolne osa üle (vt Joonis 5.17) (AS Maves, 2002), misjärel kujuneb mitmesaja hektari suurune Kuksema karstijärvik. Järvik ei ole loetud loodusdirektiivi elupaigaks ega asu ka kaitstaval alal. Kuksema karstihäil on Terasmaa et al. (2015) põhjal sõltuv põhjaveekogumist nr 14 (S–O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas).



Joonis 5.17. Kuksema karstijärvik samanimelises karstihäilus Maa-ameti 2013. aasta ortofotol.

Kuksema karstihäilu alal avanevad vastavalt Siluri ladestu Raikküla lademe, ja Järva-Jaani alevi piirkonnas Juuru lademe mudajas-detriitsed ja biomorfed karbonaatkivimid (Perens & Eltermann, 1978) (Joonis 5.14). Heinsalu (1963) järgi on karstihäilus paljanduvad karbonaatkivimid dolomiidistunud, seetõttu kohati ka kavernoossed ja porsunud. Aluspõhja pealispind on ebatasane, selles esineb rohkesti vanu mattunud karstivorme. Aluspõhjakivimeid läbib Kuksema karstihäilu alal kirde-edelasuunaline rikkevöönd (Joonis 5.18), Järva-Jaanist vahetult lõunas on kindlaks tehtud loode-kagusuunaline rikkevöönd amplituudiga 5–6 m (Perens & Eltermann, 1978) (Joonised 5.18 ja 5.19). K. Tallinna (1974; 1981) järgi on Jalasema, Karinu ja Järva-Jaani piirkond läbistatud loode-kagusuunaliste ja kirde-edelasuunaliste tektooniliste lõhevööndide võrgustiku poolt, mis on kantud ka kontseptuaalsele mudelile (Joonis 5.18). Heinsalu (1963) andmetel on valdav osa karstihäilu karstivorme kirde-edelasuunalise orientatsiooniga, millest võib eeldada eelmainitud suunaga tektooniliste lineamentide domineerimist. Suuroja et al. (2017) järgi kulgeb Kuksema karstihäilus ligikaudu 2 km ida pool põhjakirde-lõunaedelasuunaline oletatav Järva-Jaani rike (Joonis 5.18). Aluspõhjakivimeid katab pinnakate, mis ala põhjaosas on valdavalt 3–5 m ja

lõunaosas 5–10 m paks (Joonis 5.19). Pinnakatte moodustab valdavalt kerge liivsavi ja moreen, mida kohati katab limnoglatsiaalne saviliiv või turvas, ala lõunaosas aga ka liiv ja kruus (Perens & Eltermann, 1978).

Kuksema karstihäilu alal on maapinnalt esimeseks aluspõhjaliseks veekihiks S-O põhjaveekompleksi Raikküla veekiht (S1rk) (Joonis 5.19). Järva-Jaani piirkond on juba vastavalt Juuru veekihi (S1jr) levialal. Perens & Eltermann (1978) andmetel on Siluri veekihid Kuksema piirkonnas üldiselt vabapinnalised, nende lamamis olevad Ordoviitiumi veekihid (O3pr ja O3prg) aga survelised. K. Tallinn (1974) andmetel aga loovad piirkonnas levivad ulatuslikud aluspõhja rikked koos lõhede ja karstinähtustega eeldused Siluri ja Ordoviitiumi veekihtide hüdrauliliseks seotuseks. Geoloogilise baaskaardi hüdroisohüpside järgi on madalveeperioodi maapinnalähedane põhjaveetas Kuksema karstihäilu alal vahemikus 90,5–84,0 m ümp (vastavalt karstihäilu kirde- ja edelaosas) (Joonised 5.18 ja 5.19). See tähendab, et madala põhjaveetaseme tingimustes on maapinnalähedase põhjavee oletatav voolusuund üldjoontes kirdest edelasse. Kuksema karstihäilu oletatav põhjaveetoiteala (Joonis 5.18) jääb sellest vastavalt põhja ja kirde poole, hõlmates ka Paistevälja-Jalgsema karstinõgusid ja nende oletatavat põhjaveetoiteala. Kuksema karstihäilu suurveeaegse hüdrodünaamika hindamiseks koostati kõrge põhjaveetaseme hüdroisohüpsid (Joonis 5.18). Nendest nähtub, et üldjoontes jääb põhjavee voolusuund suurveeperioodil sarnaseks madalveeperioodi tingimustega. Suurveeperioodil jäävad maapinnalähedased põhjaveetasemed karstihäilu kirdeosas madalveeperioodiga sarnaseks, häilu edelaosas aga tõuseb see umbkaudu kaks meetrit kõrgemale (86,5 m ümp) (Joonis 5.19).

Heinsalu (1963) seostas karstijärviku teket Kuksema karstihäilu kurisute neelamisvõime ületamisega. Kuna nõo põhjas levivad madala veejuhtivusega limnoglatsiaalsed setted, võib eeldada, et pinnavesi saab põhjaveekihti infiltreeruda eeskätt pinnakatet perforerivate kurisute kaudu. Ajutise ülavee esinemise seotusele kvaternaarisetetga viitavad ka Perens & Eltermann (1978). Eelmainitud toetab ka läbilõige K1 (Joonis 5.19), millest nähtub, et kõrge põhjaveetaseme tingimustes lõikub maapinnalise põhjavee pind häilu edelaosas selle põhjaga. Maa-ameti poolt 2013. aasta mais kogutud LiDAR andmete järgi oli Kuksema karstijärviku veetaseme ligikaudu 86,9 m ümp.

Kõrge põhjaveetaseme tingimustes jaguneb oletatav Kuksema karstihäilu oletatav põhjaveevalgla kirde-edelasuunaliselt kaheks, mis läbi eraldub selgemalt välja Roosna-Alliku ja Esna allikate toiteala. Tuginedes kontseptuaalsele mudelile (Joonis 5.18), võib oletada, et Kuksema karstihäilu põhjaveevaljealaks võib olla pigem Esna allikate piirkond (Joonis 5.18).

Heinsalu (1963) andmetel on ligikaudu 100 ha suurusel karstiväljal dokumenteeritud enam kui 100 karstivormi (lehtrid, kurisud jne). Karstivälja keskossa, umbes 4 ha suurusel alal, on koondunud vähemalt dokumenteeritustest 80 karstivormi, mis hõlmavad 10% pindalast. Karstivälja keskosas neelduvad Kuksema ja Järva-Jaani kraavides karstihäilu voolavad veed (vt Joonis 5.17). Kuksema karstijärviku topograafiline pinnaveevalgla ulatub põhjasuunas Rava ja Orgmetsani (vt Joonis 5.18), kuid pinnavete koondumist võib täheldada alles Selikülalt lõuna pool, Kuksema kraavi alguses. Kuksema kraavi kaudu jõuavad karstialale Kukemõisa allikate ja karstihäilu loodeosa kuivendusveed. Järva-Jaani kraav saab alguse Jalalõpe küla lähisel, Järva-Jaani asulas suubub sellesse kohaliku piimatööstuse ja asula reoveepuhasti heitvesi, ning asula lääneserval avanevate allikate (Orina, Õpetaja/Järva-Jaani jne) vesi. Tuginedes Jalgsema ja Kuksema karstijärvikute kontseptuaalsetele mudelitele (Joonised 5.15 ja 5.18), on tõenäoline, et osa Kuksema ja Järva-Jaani kraavides suurveeperioodil voolavast veest pärineb Jalgsema karstijärvikust (Joonis 5.13). Karstihäilu kagunurgas, Kaiakurve kinnistu juures, läbib Kuksema kraav karstihäilu veergu, misjärel suubub mõnekümne meetri järele nimetusse kurisusse. Siia voolab liigvesi, mis ei neeldu karstihäilu põhiosa kurisutes.

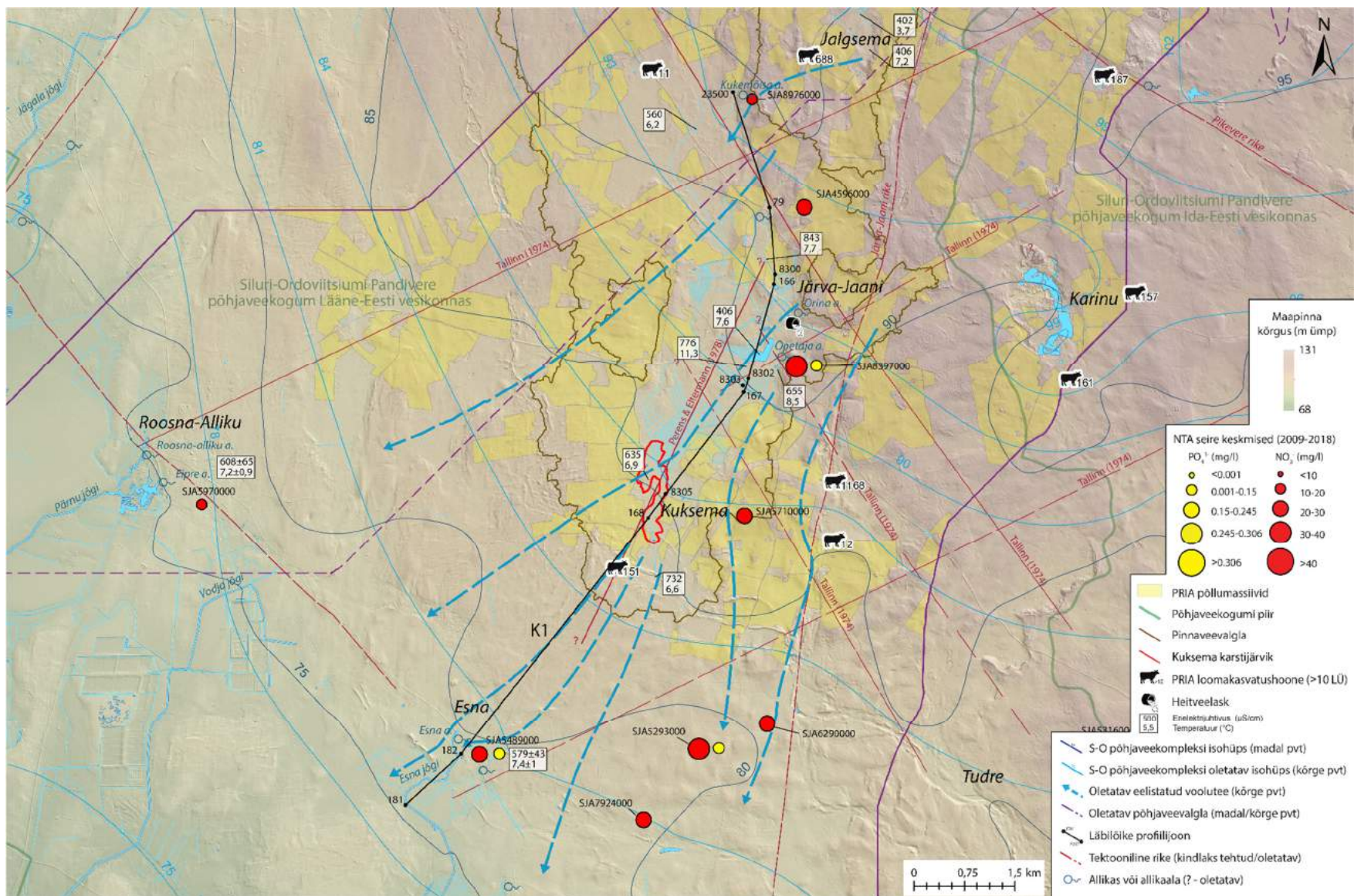
Perens & Eltermann (1978) juhtisid tähelepanu olulisele reostuskoormusele, mis tulenes Kuksema kraavi juhitavast piimatööstuse ja asula heitveest. Nende andmetel oli Kuksema kraavi kevadine

vooluhulk karstialal 350 l/s. Madalveeperioodil, mil kraavivee voluuhulk võis olla vahemikus 15–20 l/s, formeeruski see põhiliselt ainult heitveest. Toona viitas Perens & Eltermann (1978) andmetel kraavivee reostatusele kõrge lämmastikuühendite (ammoonium) sisaldus, ammoniaagi ja väävelvesiniku esinemisele viitav lõhn, valkjas värvus, suur orgaanilise aine ja vaba CO₂ sisaldus. Perens & Eltermann (1978) arvasid, et kvaternaarisetted ja aluspõhja pindmisi kihte läbides muutus kraavivee koostis märgatavalt lahjemaks. Kolme proovikampaania raames seitsmest seirepunktist võetud proovide analüüsitulemuste interpreteerimisele tuginedes leiti, et peamiselt mõjutas kraavivee reostuskoormus madalaid Siluri veekihti avavaid salv- ja puurkaevusid. Heitvee mõju Ordoviitsiumi veekihtidele ei täheldatud. Kindlasti sõltusid Perens & Eltermann (1978) uuringu tulemused seirekaevude täpsest paiknemisest ja avatusest (kas kaevud avasid karstisüsteemi). Siinkohal võib võrdleva näitena ära mainida AS Maves poolt läbi viidud uuringu (Salu, 2009) Savalduma karstialal, kus tuvastati, et heitveest tulenev reostus oli levinud ka 60 m sügavusele Ordoviitsiumi veekihtidesse.

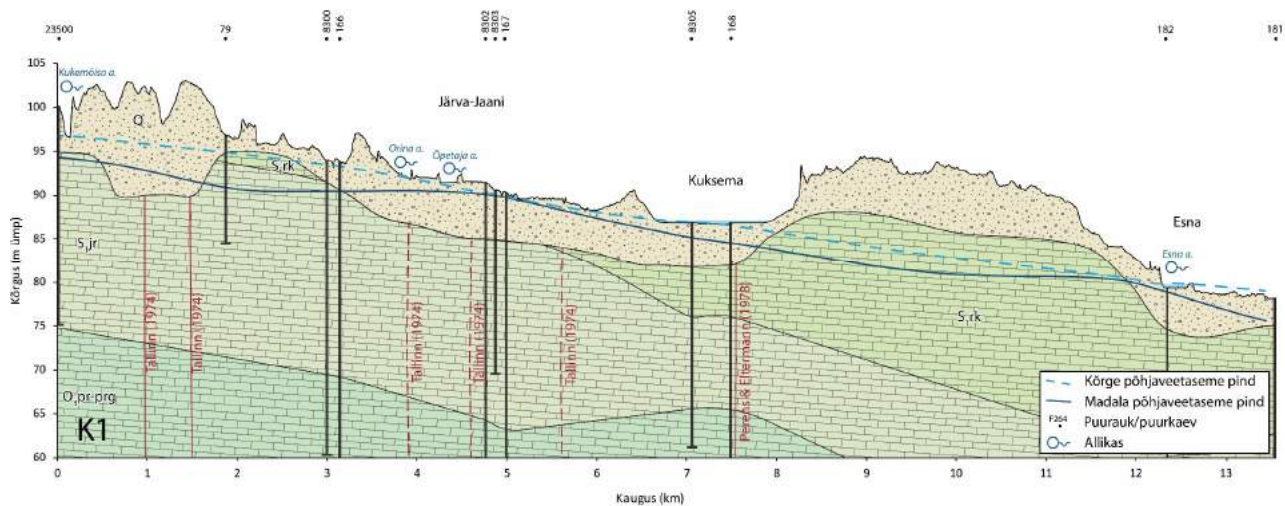
Ka tänapäeval juhitakse Kuksema kraavi kohaliku piimatööstuse ja Järva-Jaani heitvett (vt Joonis 5.18), kuid võiks eeldada, et varasemaga võrreldes on selle puhastamise efektiivsus mõnevõrra tõusnud. Samuti võib eeldada, et Kuksema karstijärviku seisundit võib mõjutada toitainete hajukoormus pinna- ja oletatavale põhjaveevalglale jäävatelt põllumaadelt, millele võis kaudselt viidata ka näiteks suhteliselt kõrge vee elektrijuhtivus (843 µS/cm) Järva-Jaani kraavi alguses (Joonis 5.18). Lisaks otseselt Kuksema ja Järva-Jaani kraavide valglal olevatelt põllumaadelt ning kuivendatud aladelt lähtuvale võimalikule toitainekoormusele, võib oluline osa koormusest tulla ka Õpetaja/Järva-Jaani allika (SJA8397000) oletatavalt põhjaveevalglalt, mis on üks NTA seirejaamadest. Õpetaja allika vee keskmine NO₃⁻ iooni kontsentratsioon ajavahemikul 2009–2018 oli 30,11 mg/l, sealjuures on aastakeskmised kontsentratsioonid eelmainitud perioodil näidanud ühtlast tõusutrendi. Keskmine fosfaadi kontsentratsioon Õpetaja allika vees ajavahemikul 2014–2018 oli 0,12 mg/l, mis on samuti NTA seirejaamade kõrgemate näitajate seas.

Tulenevalt Kuksema karstihäilu rajatud ulatuslikust kuivendusvõrgustikust, ning sinna suurveeperioodidel kujuneva karstijärviku suhteliselt intensiivsest reostuskoormuses, on tulevikus oluline välja selgitada, kas Kuksema karstijärvik on piisavalt esinduslik, et see klassifitseerida elupaigatüübiks

*3180.



Joonis 5.18. Kuksema karstijärviku kontseptuaalne mudel.



Joonis 5.19. Kuksema karstihäilu geoloogilis-hüdrogeoloogiline läbilõige K1. Läbilõike paiknemine maastikul on näidatud joonisel 5.18. Veekihtide liigestus ja lühendid Jõelett & Polikarpus (2019) järgi. Q – Kvaternaari veekiht; S_{1rk} – Raikküla veekiht; S_{1jr} – Juuru veekiht; $O_{3pg-prg}$ – Porkuni-Pirgu veekiht.

5.9. Tudre karstijärvik

Pandivere kõrgustiku lõunanõlval, Järva vallas, Salutaguse ja Koeru vahelisel alal, kulgeb loode-kagusuunaliselt umbes 10–15 m sügavuselt aluspõhja lõikuv, 200–500 m laiune Tudre-Väinjärve org (Suuroja et al., 2017) (Joonis 5.14). Suuroja et al. (2017) järgi saab ligikaudu 12 km pikkune org alguse Salutaguse küla kihistangu esisest kihinõost, ligikaudsel absoluutkõrgusel 85 m ümp ja selle väljavool on Väinjärve piirkonnas, absoluutkõrgusel 65 m ümp. Maa-ameti reljeefkaardi põhjal võib aimata, et Tudre-Väinjärve org oli tõenäoliselt osa suuremast mandriliustiku sulavett drenivast süsteemist, seotud ka näiteks Kuksema karstihäilu ja seda lääne ning ida poolt ääristavate oosiahelikega. Tudre-Väinjärve aluspõhjaline org läbib ka Tudre küla, kus selles väljasopistuvasse Tudre karstiorgu tekib suurveeperioodidel Tudre karstijärvik (Joonis 5.20) (Joonuks, 1974; Kink, 2006; Suuroja et al., 2017). Tudre karstijärvik on Terasmaa et al. (2015) põhjal sõltuv põhjaveekogumist nr 14 (S–O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas). Tudre-Väinjärve orgu ja Tudre küla lähiümbrust kujutavatelt Maa-ameti ortofotodelt võib sarnase ilmega seisuveekogusid veel leida (Ammutal, Kalitsas, Ämbras, Arukülas ja mujal). Tudre karstiorg ja selle lähiümbrus on Tudre hoiuala ja Tudre loodusalana kaitse all. Karstijärvik on kahe lahustükina liigitatud elupaigatüüpi 3180* (karstijärved ja -järvikud), mõlema looduskaitse väärtus on B (kõrge).

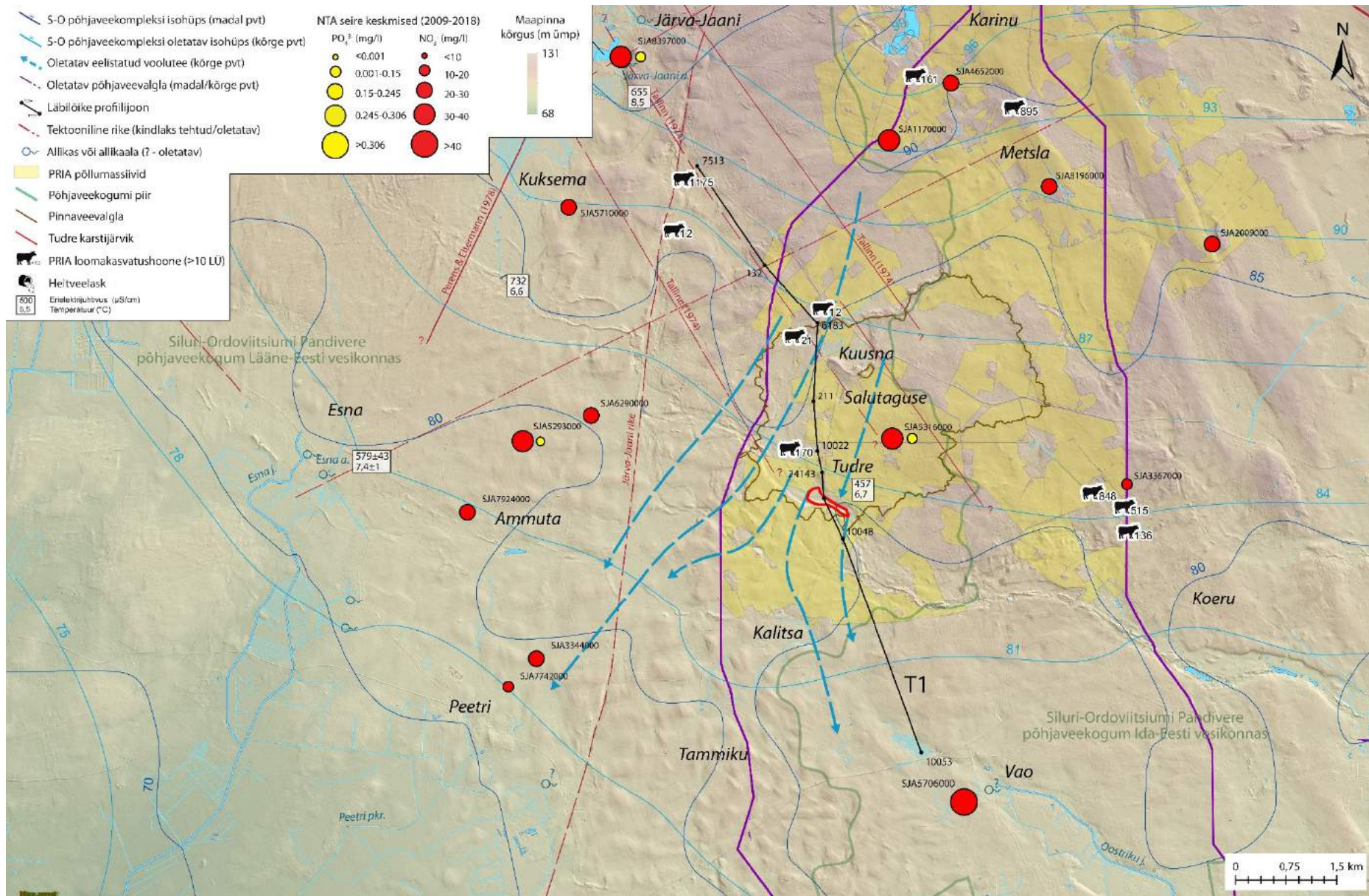
Tudre karstioru piirkonnas avanevad Siluri ladestu Raikküla lademe karbonaatkivimid (Joonis 5.14), mida katab valdavalt 2–5 m paksune, üldjuhul moreenist, mujal Tudre-Väinjärve orus ka glatsiofluviaalsetest setetest koosnev, pinnakatte kiht. Karinu, Metsla ja Kuusna piirkonna aluspõhja tektoonikat on põhjalikult uuritud Tallinna (1968; 1974) juhtimisel. Kuigi kaardistustööde uuringuala piir ulatus Kuusna jooneni, võib kogutud andmetele tuginedes oletada, et Tudre karstioru piirkonnas võiksid domineerivad aluspõhjas loode-kagusuunalised rikked (Joonis 5.21). Siinkohal või olla ka seos karstioru loode-kagusuunalise orientatsiooniga. Tudre karstioru alal on maapinnalt esimeseks aluspõhjaliseks veekihtiks S-O põhjaveekompleksi Raikküla veekiht. Tudre karstioru piirkonnas on S-O veekompleks enamasti survetu (Suuroja et al., 2017), sõltuvalt madal-suurveetingimustest, on aeratsioonivööndi paksuseks 5–10 m. Nii madala kui ka kõrge põhjaveetaseme tingimustes on põhjavee voolusuund üldjoontes põhjakirdest lõunaedela suunas (Joonis 5.21).



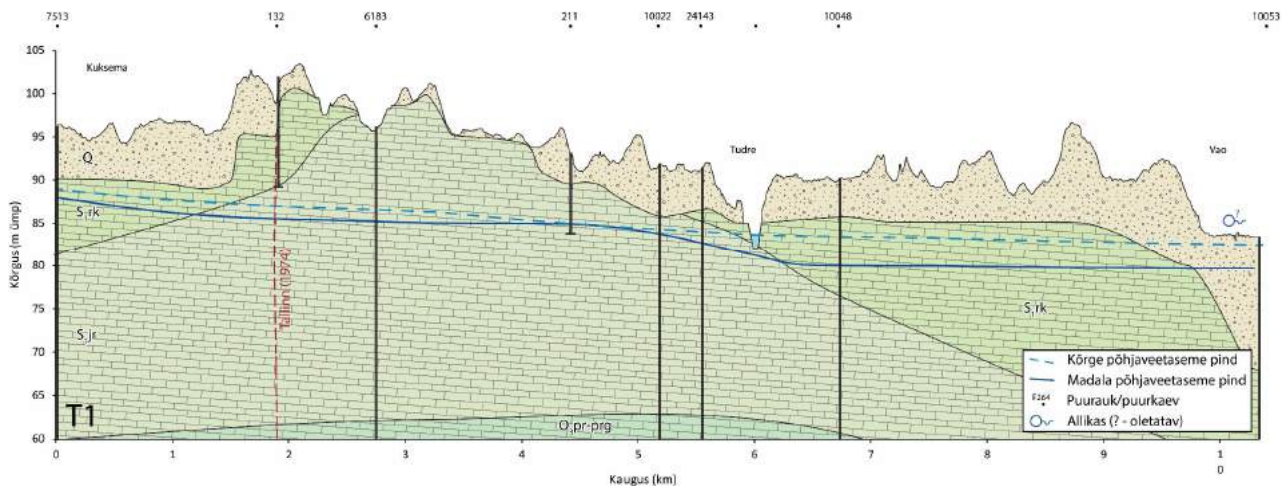
Joonis 5.20. Tudre karstijärvik Maa-ameti 2010. aasta ortofotol.

Tudre karstiorgu kujunev Tudre karstijärvik võib olla ligikaudu 0,7–1 km pikk, pea 100–300 m lai ja 2–4 m sügav, veetasemega 83–84 m ümp (Kink, 2006; Suuroja et al., 2017). Tudre karstijärvik esineb suurveeperioodidel 1–2 kuu vältel. Vesi ilmub ja kaob oru põhjas olevate karstilehtrite kaudu. Kontseptuaalse mudeli tarvis koostatud kõrge põhjaveetaseme hüdroisohüpside järgi (Joonised 5.21 ja 5.22) võib oletada, et Tudre karstiorg täitub suurveeperioodidel oletatavasti Karinu-Metsla-Kuusna piirkonnast lähtuva põhjaveega. Kõrge põhjaveetaseme tingimustest nihkub läänepoolne oletatav põhjaveelahkmejoon veelgi lääne poole, mis tähendab, et teoreetiliselt võib Tudre karstijärviku veetaseme alanemisel neeldunud põhjavesi voolata valdavalt Vao ja Peetri suunas (Joonis 5.21). AS Maves (2002) järgi võib osa Tudre karstijärviku neeldunud veest avaneda Kalitsa karstinõos. Siinkohal võiks karstijärvikus infiltreerunud vee edasise teekonna määramisel rolli mängida K. Tallinna (1974) välja pakutud oletatav loode-kagusuunaline rike, mis kulgeb Kuksema-Vao suunal (Joonis 5.21). Nagu karstisüsteemide puhul laiemalt (Ford & Williams, 2007), on tektooniliste rikete paiknemisest ja omapärast tulenevalt (Tallinn (1974) järgi joonis 5.21), siiski võimalikud ka teatavad kõrvalekalded oletatavatest üldistest põhjavee voolusuundadest. Tudre karstijärviku oletatava põhjaveevalgla/toiteala täpne määramine eeldab pühendatud uuringu läbiviimist.

Tudre karstijärviku seisundi ja selle veekvaliteedi kohta on vähe teada. Kontseptuaalse mudeli põhjal võib eeldada Tudre karstijärviku peamiseks oletatavaks surveteguriteks on toiteala põllumajandusmaadelt lähtuv hajukoormus (Joonis 5.21). Sellele viitavad ka suhteliselt kõrged keskmised NO_3^- iooni kontsentratsioonid lähiümbruse (Salutaguse, Peetri, Vao jne) NTA seirejaamades (Joonis 5.21). Karstijärviku oletataval toitealal on ka mitmeid loomakasvatushooneid (Joonis 5.21) Hajukoormuse mõju on mainitud ka EELIS Ürglooduse objektide andmebaasi sissekandes.



Joonis 5.21. Tudre karstijärviku kontseptuaalne mudel.



Joonis 5.22. Tudre karstijärviku geoloogilis-hüdrogeoloogiline läbilõige T1. Läbilõike paiknemine maastikul on näidatud joonisel 5.21. Veekihtide liigestus ja lühendid Jõelett & Polikarpus (2019) järgi. Q – Kvaternaari veekiht; S_{1rk} – Raikküla veekiht; S_{1jr} – Juuru veekiht; $O_{3pg-prg}$ – Porkuni-Pirgu veekiht.

5.10. Ülevaade Eesti karstielustikust

Eestis on karsti elustiku puhul uuritud vaid karstijärvede elustikku ning maa-alustes karstisüsteemides elutsevatele organismidele pole tähelepanu pööratud. Karstijärvede elustikust omakorda on peamiselt pööratud tähelepanu taimestikule ning vähem loomastikule.

Esimesi andmeid karstijärvede elustikust avaldas A. Mäemets 1969. aastal Eesti Looduses (Mäemets, 1969), seal kajastati Võhmetu-Lemküla karstijärvi. Samasse järvestikku kuuluvate Võhmetu, Piisupi ja Lemküla karstijärvede elustikku on käsitletud ka kogumikus Eesti NSV järved ja nende kaitse (Mäemets, 1977). Võhmetu järve elustikku on uuritud ka väikejärvede seire raames 2010. aastal (Ott, 2010). Loomastiku osas sellega andmed Eesti karstijärvikutes piirduvad. Loodusdirektiivi elupaikade käsiraamatus (Paal, 2007) on elupaigatüübi 3180* Karstijärved ja -järvikud elustiku kirjeldamisel lähtunud Mäemetsa 1969. ja 1977. aasta kirjutistest ning elupaigatüübi tunnustaimede ja -loomade loetelu on koostatud nende põhjal.

Karstijärvede ja -järvikute elupaigatüübi kirjeldus Loodusdirektiivi elupaigatüüpide käsiraamatus (Paal, 2007):

„Eestis leidub ajutisi järvikuid või muutuva veetasemega järvi karstunud lubjakivialadel. Kevaditi täituvad need karstiõõnte kaudu veega; siis võib vee sügavus olla kaks meetrit ja rohkemgi; vesi on hästi läbipaistev, hele ja kalk (HCO_3^- – sisaldus $>200 \text{ mg l}^{-1}$). Suveks jäävad karstijärved tavaliselt kuivale ja nende põhja katab enamasti niiskuslembene taimestik, kuid leidub ka üksikuid veetaimedega või lagedaid lompe. Kalad ajutistes järvikutes puuduvad, neis elab aga haruldasi selgrootuid (eelkõige zooplanktereid), keda püsijärvedes pole.

Kõige rohkem karstijärvi on meil Pandivere kõrgustikul, tuntumad neist on Võhmetu, Lemküla, Piisupi, Mardihansu jt. Karstijärved paiknevad tavaliselt rühmiti üksteise lähedal ning võivad veerikkail aastail omavahel liituda.

Tunnustaimed:

Harilik päideroog *Phalaris arundinacea*, tarnad (*Carex spp.*), varsakabi (*Calla palustris*), vesikerss (*Rorippa amphibia*), harilik konnarohi (*Alisma plantago-aquatica*), vesi-kirburohi (*Polygonum amphibium*), hein-penikeel (*Potamogeton gramineus*).

Tunnusloomad:

Loomhõljumis (zooplanktonis) on mitmeid hormikulisi (*Calanoida*), nende seas meil haruldane arktilise levilaga sega-aerik (*Mixodiaptomus theeli*); põhjaloomastik ei erine oluliselt teiste ajutiste veekogude omast; kahepaiksed – mudakonn (*Pelobates fuscus*); linnud – hallpösk-pütt (*Podiceps grisegena*).“

Ka Loodusdirektiivi järvede inventeerimise juhises (Mäemets, 2013) on tuginetud sellele samale kirjeldusele ning viidatud, et karstijärved ja -järvikud on meil liiga vähe uuritud selleks, et anda elupaigatüübi seisundi hindamisskaala kõikide esinduslikkuse, säilimise, funktsioneerimise, taastatavuse ja üldise väärtuse tasemete jaoks. Seetõttu on ka hetkel kehtiv karstijärvikute

elupaigatüübi seisundi hindamise juhend lihtsustatud ning iga kriteeriumi all on antud vaid kaks (mitte neli) seisunditaset (Tabel 5.1). Kui vähesed avaldatud kirjandusallikad tuginevad Pandiveres asuvalle Võhmetu-Lemküla järvestikule, siis mujal asuvad väikesed karstiveekogud on inventeerimise juhise koostaja kogemuslikul hinnangul Pandivere karstijärvikutest taimestiku poolest oluliselt erinevad. Paradoksaalsel kombel ei kuulu aga enamik Võhmetu-Lemküla järvi (peale ühe) hetkel kehtiva elupaigatüüpide määrangu järgi elupaigatüüpi 3180, vaid tüüpi 3140 (vähe- kuni kesktoitelised kalgiveelised järved) või on üldse tüüpi liigitamata.

Tabel 5.1. Elupaigatüübi 3180 karstijärved ja -järvikud inventeerimise juhend (Mäemets, 2013)*

1. ESINDUSLIKKUS	
Tase	Kirjeldus
A, B	Ida-Eestis – püsivama veerohkuse perioodidel läik-penikeel ja vesi-kirburohi; suviti (vaid) niiske pinnase korral varsakabja-päideroo domineerimisega rohustu, kus sagedased ka harilik jõgiputk, vesikerss, männasmünt, kukesaba, harilik konnarohi, alsid jt. Lääne-Eestis – tarnasood või hanijala domineerimisega liigirikkad kooslused. Mõlemal pool sageli hundipaju ning vinav tarinõges.
C, D	Seni uuritud vaid Ida-Eestis: hariliku konnarohu, suure partheina ja ujulehtedega taimede (vesilääts ja väike lemmel) valitsemine; A, B liigid teisejärgulised.
2. LOODUSKAITSELINE SEISUND	
2.1. Struktuuri säilimine	
Tase	Kirjeldus
I, II	Vesi hele, kaldad ilma nõgesepadrikuta, põhjas ja äärtel puudub märgatav kõdu või mudakiht
III	Vesi pruun, põhjas silmatorkav kõdukiht, kõikjal lämmastikulembene taimestik
2.2. Funktsioneerimine. Väärtuse andmiseks piisab ühe „täрни“ tunnusest.	
I, II	Puudub põhja- ja pinnavee reostus ning veerežiimi ei muudeta
III, IV	Veekogumisalal * asulad, * farmid * intensiivpõllundus * maaparanduse mõju
2.3. Taastamise võimalused. Väärtuse andmiseks piisab ühe „täрни“ tunnusest.	
I, II	Kui taimestiku koosseis pole lõppenud reostuse mõjul veel kardinaalselt muutunud ja veerežiim on muutmata
III, IV	* reostuse jätkumisel * veerežiimi muutuse korral * tunnusliigid juba kadunud
3. ÜLDINE LOODUSKAITSELINE VÄÄRTUS	
Väärtus	Tasemete kombinatsioon
A, B	Esinduslikkus A ja B säilimise ja funktsioneerimise I ja II tasemetel
C, D	Esinduslikkus C ja D funktsioneerimise I ja II tasemetel

Karstijärvede elustikku mõjutab järvede muutlik veerežiim, mis toob kaasa muutlikke elutingimusi. Seetõttu on nende taimestik ja loomastik erinev nii alaliste järvede elustikust kui ka maismaakoosluste elustikust. Samas on elupaikade inventuurides Eestis seda elupaika määratletud ka mitmete teiste kooslustena – enamasti looniitudena, aga ka liigirikaste arurohumaadena (nt Einjärve karstijärvik), sinihelmikaniitudena, soostunud niitudena ja madalsoodena.

5.10.1. Karstijärvikute fauna

Mäemets (1969 ja 1977) järgi oli Võhmetu-Lemküla karstijärvede vesi 1960ndatel ja 1970ndatel väga fütoplanktonivaene, kuid väga omapärase zooplanktoniga. Nende kooslused erinesid olulisel määral nii alaliste järvede kui ka ajutiste lompide omast. Omane oli rikkalik aerjalaliste hulka kuuluvate hormikuliste fauna. Järvedest leiti 1960ndatel ja 1970ndatel suuri hiidaerikuid (*Hemidiaptomus amblyodon*), mis on iseloomulikud ajutistele veesilmadele. Ajutiste veesilmadele omastest liikidest leiti ka liht-pärisaerikuid (*Eudiaptomus vulgaris*) ning külmalembeseid haruldasi sega-aerikuid (*Mixodiaptomus theeli*), kes elutsevad peamiselt polaaraladel. Ebatavalisena leiti ka mineraalainetevastele vetele iseloomulikke raba-jämekoodikuid (*Heterocope saliens*). Eesti järvedes sagedastest liikidest leiti saledat (*Eudiaptomus graciloides*) ja järve-pärisaerikut (*Eudiaptomus gracilis*). Suve jooksul asendus enamik hormikuliste liike vesikirbulistega. Mõlemad rühmad elavad kuivaperioodi üle püsistaadiumina. Ootamatuna märgiti ära lõpusjalgsete (v.a. vesikirbuliste) fauna vaesust, leiti ainult karp-lehtjalga (*Lynceus brachyurus*), kuigi see loomarühm on ajutistele veekogudele iseloomulik.

2010. aastal leiti väikejärvede seire raames Võhmetu järvest 10 zooplanktoni taksonit, sh. 5 liiki koorikloomi (Ott, 2010). Aerjalalised olid esindatud kahe Eesti väikejärvedes sagedasti esineva liigiga – sõudikuline suvine hõljursõudik (*Mesocyclops leuckarti*) ja hormikuline järve-pärisaerik (*Eudiaptomus gracilis*). 1960ndatel ja 1970ndatel kirjeldatud rikkaliku hormikuliste faunat enam ei tuvastatud. Keriloomade hulgas domineeris 2010. aastal ajutistele veekogudele iseloomulik liik *Conochilus unicornis*. Vesikirbulisi leiti kolm taksonit. Arvukuselt domineerisid nii mais kui juulis keriloomad ning biomassilt aerjalalised. Erinevalt Mäemetsa (1969) kirjeldusest vesikirbulised 2010. aasta suve teises pooles domineerima ei hakanud. Seirearuandes nenditi, et periooditi ära kuivavale veekogule tüüpiliselt oli zooplankton liigivaene ja vähearukas.

Mäemets (1969 ja 1977) järgi oli Võhmetu-Lemküla järvedes põhjaloomastikku isendiliselt vähe, kuid erinevaid liike suhteliselt palju. Palju leitud limuseid, nt. keraskarp, sootigu ja keeristigu. Vähe oli surusääsklaste vastseid ja väheharjasusse. Põhjasetetel leitud veel ka 1,2 m sügavusel vihmauslasi, kes muidu järvesetetel ei ela. 2010. aastal moodustasid suurselgrootute üldarvukusest ligi kaks kolmandikku liidriklaste vastsed (Ott, 2010). Palju oli ka järvevanalaste vastseid ja labatigusid.

Kalu 1960ndatel ja 1970ndatel ei leitud, kuigi nenditi, et toitu neile hormikuliste ja limuste tõttu oleks. Palju oli aga konnakulleseid, sealhulgas haruldase mudakonna kulleseid. Lindudest registreeriti hallpõsk-püttide pesitsemine.

Sellega olemasolev teave Eesti karstijärvikute vee-elustiku kohta ka piirdub. Teabe nappuse tõttu oleks Eesti karstijärvikute vee-elustikku vaja kindlasti põhjalikumalt uurida.

5.10.2. Karstijärvikute floora

Karstijärvikute taimestiku kohta on andmeid mõnevõrra pikema ajaperioodi ja ka mõnevõrra enamate objektide kohta. Mäemets (1969 ja 1977) on kirjeldanud, et Võhmetu-Lemküla järvedes kasvas niidu- ja sootaimede seas ka mõningaid päris-veetaimi. Põhiosa taimedest moodustasid kõrrelised, millest silmatorkavam on päideroog. Palju leidus ka tarnu. Mitmetes järvedes õitsesid kevaditi veepinna kohal varsakabjad. Veetaimedest esines enim kaldavee-liike, sagedamini esinevad olid soo-alss ja vesikress, leidus ka jõgiputke ja järvkaislat. Ujulehtedega ja veesisesid taimi oli vähe. Ujulehtedega taimedest leidus vesi-kirburohtu ja hein-penikeelt. Veesisestest taimedest läik-penikeelt ja samblaid, kohati ka mändvetikaid. Kuna kuivaperioodil ujulehtedega ja veesiseste taimede võsud surid, siis suviti kattis osaliselt järvede põhja penikeelte jäänustega lubjarikas sete.

Helle Mäemets (2013) toob isiklike tähelepanekute põhjal välja, et Lääne-Eesti karstijärvikutes on Pandiverele iseloomulik varsakabja-päideroo koosluse asemel tooniandvaks hanijala-roomava marana või tarnade kooslus. Seega on Lääne-Eesti karstijärvedel suurem sarnasus Lääne-Euroopa *Lolio-Potentillion anserinae* või *Caricion davallianae* koosluste liitkondadele, kusjuures raiheina (*Lolium*) asemel on meil ilmselt sinihelmikas (*Molinia caerulea*) või päideroog (*Phalaris arundinacea*).

Mitmete karstijärvikute taimkatet on aastate jooksul vaadelnud Tõnu Ploompuu ja tema juhendatud üliõpilased (Ploompuu et al., avaldamiseks vastu võetud; Reinloo, 2005; Ausmeel, 2012; Ploompuu, 2013; Lindret, 2015). Järgnev üldistus Eesti karstijärvikute floorast põhinebki Ploompuu seni veel avaldamata 15 karstijärvikugruppi hõlmaval käsikirjal ja käsikirjast välja jäänud täiendavatel vaatlustel.

Karstijärvikute kuivfaasi ajal valitsevaid taimekooslusi mõjutab järvikute geoloogiline ehitus ehk eelkõige pinnakate. Eesti karstijärvikutes võib eristada nelja peamist pinnakatte tüüpi: a) katmata ja väga õhukese pinnakattega pael asuvad alad, b) klibul ja klibuvallide vahel asuvad alad, c) savil ja savirähksel pinnasel asuvad alad ja d) liivakamatel setetel asuvad alad. Samuti on taimekoosluste kujunemisel oluline keskmine üleujutuse pikkus ning nõgudesse koguneva vee omadused – eelkõige vee eutrofeerumine põldudel väljauhutavate väetisainete arvel.

Kui vee päritolu poolest on võimalik karstijärvikuid jagada põhjaveest ja pinnaveest toituvateks järvikuteks, siis taimestiku alusel neid omavahel eristada pole võimalik. Taimestikule on määrav pikemaajaline üleujutus ja kasvupinnase hea õhustatus veetaseme taandudes. Viimane välistab turba tekke (suurel osal) karstijärviku põhjast.

Vee taandudes karstunud nõgudes arenevad niidukooslused on mitmekesised, peale ainuomasema taimkatte (karstunud niit *s.str.*) võib esineda nii looniite, aruniite, lamminiite, soostunud niite kui ka sookooslusi meenutavaid piirkondi, aga sageli on ka enam-vähem lagedat karstijärviku ala ümbritsev mets tugevasti kujundatud üleujutusest, erinedes nii naabruse üleujutamata arumetsast kui ka soostunud metsast – selline mets on siinkohal defineeritud kui „karsti-lammimets“ (Tabel 5.2).

Tabel 5.2. Mõnede karstijärvikute ülejutusvaba perioodi taimekoosluste lähendtüübid. Sulgudes on vähesel alal või vähetüüpilisena esindatud taimkatte lähend-tüübirühm.

Ala / Kooslus	Jalase Sõnajaala Aburu	Märjamaa Järvikud	Vedra Kingu järvik	Kirimäe-Alba järv	Aavere Mängu-pealne	Järsi alumine järvik	Assamalla luht	Võhmetu-Lemküla järved	Üügu loo-karjamaade sulglohud
Karstunud niit s.str.	x	x	x	x	(x)			(x)	x (x)
Soostunud niit	x	x	x	x	x	(x)	x	(x)	
Madal-soo niit	(x)			x				(x)	
Aruniit		x		x					
Looniit	(x)								x
Karsti-lamminiit						x	(x)	x	
„Karsti-lammimets“	(x)			x				(x)	

Karstijärvede ja -järvikute karstunud niidud on omased ilmselt aladele, kus mulla all puudub vettpidav kiht. Sealjuures võib aluspõhjakevimeid katta ka savirähk, klibu või muu pinnakate, millest vesi saab kergesti läbi infiltreeruda.

Karstunud niitude puhul võib olemasolevate andmete puhul eristada kahte peamist eriomast taimekooslust:

Kannikese-hanijala kooslus – Põõsarinne puudub, vahel esineb pajusid ja paakspuud. Rohurinne on madal, kohati väga tihe ja monodominantne, kohati hõre: roomav maran (*Potentilla reptans*), hanijalg (*Potentilla anserina*), pisikannike (*Viola pumila*), mülgaskannike (*Viola persicifolia*), servaaladel kõrge kannike (*Viola elatior*), harilik sinihelmikas (*Molinia caerulea*), pajuvaak (*Inula salicina*), hirsstarn (*Carex panicea*), villtarn (*Carex tomentosa*), harilik lubikas (*Sesleria caerulea*), harilik palderjan (*Valeriana officinalis*), harilik angervaks (*Filipendula ulmaria* s.l.), angerpist (*Filipendula vulgaris*), harilik nõiahammas (*Lotus corniculatus* coll.), niit-kõrveköömen (*Cnidium dubium*), värvmadar (*Galium boreale*), soomadar (*Galium palustre*), soo-piimalill (*Euphorbia palustris*). Samblarinne on vähene või puudub.

Kooslus esineb kolme variandina – **hanijala kooslus** (hanijalg, pisikannike ja tema hübriidid või mülgaskannike ja tema hübriidid, harilik nõiahammas, villtarn ja niit-kõrveköömen ja värvmadar või soomadar); **roomava marana kooslus** (roomav maran, pajuvaak, hirsstarn, hanijalg, harilik palderjan, harilik angervaks, harilik sinihelmikas ja pisikannike ja tema hübriidid või mülgaskannike ja tema hübriidid) ja **pajuvaagu-villtarna kooslus** (pajuvaak, angerpist, villtarn, harilik lubikas, jäneskastik, värvmadar ja pisikannike ja tema hübriidid). Viimane neist on üleminekukooslus karstijärvikute soostunud niidu kooslustele.

Päideroo kooslus – Rohurinne on märjal aastal hõre, kuivemal aastal tihe: päideroog (*Phalaris arundinacea*), varsakabi (*Caltha palustris*), vinav tarinõges (*Teucrium scordium*), põldmünt (incl. männasmünt) (*Mentha arvensis*, *M. x verticillata*), soomadar (*Galium palustre*), roomav tulikas (*Ranunculus repens*), särjesilm (?*Ranunculus trichophyllos* / *R. aquatilis*), vesi-kirburohi (*Polygonum amphibium*), konnaosi (*Equisetum limosum*), vesikerss? (*Rorippa amphibia*), konnarohi? (*Alisma plantago-aquatica*), hein-penikeel? (*Potamogeton gramineum*). Samblarinne on vähene või puudub. Vahel esineb mändvetikaid (*Chara* sp.).

Karstunud nõo põhjas asuvad soostunud niidukooslused ja madal-sookooslused seevastu on seotud ilmselt teatava vettpidava kihiga aluspõhjakevimeite ja mulla vahel, sellistele aladele on enam läbikuivavates karstijärviku piirkondades väga iseloomulik sinihelmika domineerimisega liigivaesed kooslused, kus koosluse kasvualal puudub turvas (nt. Aavere Mängupealne, Alba karstijärvik, Koltsi järv), aga ka mitmesugused lõikheinalisterikkad (hirsstarn, eristarn, padutarn, villpead) kooslused (Alba karstijärvik) või ka ääristarna ning lubika-pääsusilma kooslused. Kuivõrd on karstijärvede-järvikute soostunud niitudel botaanilisi erinevusi tavalistest sarnaste liikidega soostunud niitudest,

pole selge. Sinihelmikakooslused on karstunud järvikutes liigivaesemad kui üleujutuseta aladel, kuid erinevalt kuivendatud sinihelmikaniitudest on nende mätlikkus väike, sarnaselt looduslikele üleujutuseta sinihelmikaniitudele.

Madalsooniidud on omased Lääne-Eesti karstunud nõgude sügavamatele osadele, mille põhja on ilmselt merest kerkimise eel settinud piisavalt paks vettpidav savi kiht. Nii võib ühes karstunud nõo sügavamas osas olla tüüpiline karstunud niit, selle kõrval teises aga madalsookooslus (nt niitja tarna, luhttarna kooslus). Sealjuures tuleb rõhutada, et need mõlemad paiknevad kevadise suurveega ühtse sügava (kuni 1 m või ka rohkem) järve põhjas (nt Alba karstijärv). Jalase Sõnajala Abru soosõnajala-pajustiku olemus pole selge.

Aruniidu sarnased kooslused on omased karstijärvede üleujutusala kõrgemale piirkonnale, kus vee all olemise aeg on lühike ja soostumiseks tingimused puuduvad. Esineda võivad madala mustjuure-kahja tarna kooslus, kõrveköömne-sinihelmika kooslus. Pole selge, kuivõrd on need erinevad üleujutamata, tüüpilistest niiskematest aruniitudest.

Looniitude fragmente esineb eelkõige lühema üleujutuse ajaga väga õhukese mullastikuga karstijärvedes, eriti väikestes loopealsete (klibuloo?) sulglohkudes (nt Üügu lookarjamaade sulglohud, tõenäoliselt üsna arvukalt on selliseid kooslusi Saaremaa lääneosas Lümända vallas Karala-Himmiste kandis). Sagedasemad on lubika-vesihalja tarna ja sinihelmika-lubika kooslus.

Karsti-lamminiitude taimkate on karstijärvikutes ilmselt seotud paksemate kobedamate setetega (kruus, saviliiv) ja esineb pugemetest kaugemal. Mulla- ja geoloogilisi uuringuid sellistes kohtades (nagu ka enamuses karstijärvikute tüüpilistes ja kaasnevates kooslusetüüpides) pole meile teadaolevalt Eestis tehtud. Lamminiitude sarnastest kooslustest esineb Pandiveres lisaks eelmainitud iseloomulikule päideroo kooslusele vähesel määral järvkaisla-pilliroo kooslust ja luht-kastevarrega kooslust.

„Karsti-lammimets“ võib ümbritseda karstijärviku niidukooslusi. Siiski sageli on üleujutatav metsakoosluse osa tühine ja eristamist ei vääri (nt Järtad, Abrud). Sügavat vett karstijärve ümbritseva metsa all esineb harva – nt Kadarpiku Alba karstijärve ümber ulatub metsa kasvuala kõrgema veeseisuga kuni kolmveerand meetrise vee sügavuseni. Sellele on omane üheaegne sooja üpris arumetsa või lammimetsa taimede esinemine (põldmari, metsvits, vähesel määral kollane võhumõõk). Üleujutusala üläpiiri märgistab sinilille kasvukohatüübi metsades sinilille kasvuala lõppemine – üleujutatavas piirkonnas on vaid üksikuid sinilille isendeid, vaatamata metsa peaaegu samale üldilmele. Omapärane soostunud tunnustega „karsti-lammimets“ on Turvalepa külast lõuna pool. Kahjuks on mõlemad mainitud metsaalad valdavalt puisniidu või niidu metsastumisel kujunenud. Täpsemad uuringud „karsti-lammimetsast“ puuduvad.

5.10.3. Taimestik karstijärvikute olemasolu ja omaduste indikaatorina

Teatud taimestiku tunnuste abil on võimalik karstijärvikuid ära tunda ka kuivfaasi ajal ehk siis, kui järvikus ei ole vett. Veerikkamate kevadete järel iseloomustab karstijärvikute taimestikku fenoloogia oluline mahajäämine võrreldes piirnevate alade mitte-üleujutatavate alade samade liikidega. Ajaline erinevus võib olla juulis-augustis isegi üle ühe kuu, kuid on aastati erinev ning sõltub otseselt üleujutusperioodi pikkusest. Heaks indikaatoriks on alade servadel kasvavate puude puhul sammalde täielik puudumine puude jalamil üleujutuse piirkonnas. Suuremate, karstijärvede puhul võib olla jälgitav suurvee piiri tähistav järveheite vallike taimejäänustest ja teokarpidest. Reeglina säilivad karstunud nõgudes asuvad ajutiselt üleujutatavad niidud pikemat aega avatuna ka ilma hoolduseta ning säilivad ümbritseva puistuga ala sees häiluna. Vee järkjärguline taandumine on tuvastatav ka taimestiku alusel karstunud nõos. On märgata seaduspära, et enamus liike, mis on uurimisaladel domineerivad, esinevad nii niisketes ja märgades kasvukohtades kui ka rannikuäärsetes kasvukohtades. See seostub hästi asjaoluga, et uurimisalad asuvad osa aastast vee all ja seal kasvavad taimed, mis on omased üleujutatavatele kooslustele.

Taimestiku alusel on tuvastatav ka üleujutuse olulisus ja kestuse erinevus karstunud nõo piires. Näiteks on võimalik osadel aladel eristada erinevaid kannikese liike erineva vee sügavusega karstunud nõo piirkonnas: kõrge kannike üleujutuse ülaservas, mülgaskannike kesksel alal ja pisikannike kõige kesksel, aga ka üksinda klibunõgudes ja puisniiduloikudes.

Samuti on taimestiku abil võimalik eristada ajutiste imballikaalade asukohti karstijärvikutes. Lääne-Eesti paepealsel pinnasel on väga laialdaselt levinud „keev maa“ – kõrge põhjaveetaseme perioodil väljaimmitseva veega kaua mittekandev maa, mis põhjaveetaseme langedes muutub aruniidu või soostunud niidu sarnaseks kuivaks koosluseks. Sellistel imballikate aladel kasvab enamasti soostunud niidu pruuni sepsika kooslus, ilma pruuni sepsikata (või üksikute taimedega) aladel ümbruskonnas imballikalisi ilminguid ei esine. Seega savirähksetel aladel võib pruuni sepsika soostunud niidu kooslust pidada imballikalise ala tunnuseks. Kui sellise koosluse laigud on karstijärviku põhjas, siis võib järeldada, et ka seal esineb kõrge põhjaveetaseme ajal imballikas.

Üheks karstijärvikute pikema üleujutusega alade tunnuseks on ka samblarinde väga vähene esinemine ja selle vähese samblarinde liigivaesus võrreldes analoogkooslustega mitteülejutatavatel aladel.

5.11. Karstijärvikute elustiku-uuringud Euroopas

Loodusdirektiivi elupaigatüübi 3180* karstijärved ja -järvikud ehk inglise keeles „turloughs“ kaitseks on Euroopa Liidus loodud loodusalasid vaid kuues riigis. Enam kui pooled karstijärvikute kaitseks loodud loodusaladest asuvad Iirimaa (45 ala), lisaks on 17 ala loodud Saksamaale, 9 Eestisse, 4 Sloveeniasse, 3 Horvaatiasse ja 2 Suurbritanniasse (EUNIS, 2019). Seetõttu on kõige pikem ja põhjalikum karstijärvikute uuringute kogemus just Iirimaa. Hiljuti viidi seal läbi 22 karstijärviku põhjalik inventuur (Waldren, 2015). Uuriti karstijärvikute hüdroloogiat, veekeemiat, fütoplanktonit ja vetikamatte moodustavaid vetikaid, muldi ja maakasutust, taimestikku ning selgrootuid. Kuna tegemist on eeskujuliku näitega, kuidas karstijärvikute uuringut läbi viia, saab selle põhimõtteid aluseks võtta ka karstijärvikute uuringute kavandamiseks Eestis. Seetõttu on järgnevalt antud lühike ülevaade Iirimaa inventuuri käigus uuritud elustikurühmadest ning olulisematest järeldustest.

Fütoplanktoni liigilist koosseisu ja biomassi määrati karstijärvikutest keemilise analüüsi teostamiseks kogutud proovidest. Fütoplanktoni puhul domineerisid neelvetikad ja sulgränivetikad. Statistiline analüüs karstijärvikute toitainesisaldusega näitas, et madalama üldfosfori sisaldusega karstijärvikutes esines rohkem neelvetikaid ja kõrge üldfosfori sisaldusega karstijärvikutes rohkem rohevetikaid. Kuna suurem osa rohevetikatest moodustasid niitjad rohevetikad, siis esines kõrgema üldfosfori sisaldusega järvikutes ka rohkem vetikamatte. Kõrgema üldfosfori sisaldusega järvikutes oli ka üldine fütoplanktoni liigirikkus suurem. Jõuti järeldusele, et karstijärvikute vetikakoosluseid moodustavad liigid on veekogudes tavalised, mistõttu neil olulist looduskaitselist väärtust ei ole. Vetikamatte moodustavate liikide ja osakaalu määramiseks koguti matte moodustavaid niitjaid vetikaid karstijärvikute servadest. Tuvastati liike üheksast perekonnast, kõige tavalisemad olid perekonnast *Cladophora*, *Mougeotia* ja *Spirogyra*. Väikeste vetikamattide moodustumine on karstijärvikutele loomulik, kuid ulatuslike kuivanud vetikamattide „vetikapaberi“, esinemine kuivanud karstijärvikute põhjas on märk inimtekkelisest toitainetekoormuse tõusust, kas põhjavee, pinnavee või aladel karjatavate kariloomade kaudu. Sellist laialdast vetikapaberi esines vaid karstijärvikutes, kus üldfosfori kontentratsioon oli üle 20 µg/l. Samal ajal ei näidanud vetikapaberi puudumine ilmtingimata järvi madalat fosforikontentratsiooni, kuna mõnedes järvikutes, kus üldfosforit oli üle 20 µg/l, kuivanud vetikamatte ei olnud. Lagunevad vetikamatid ise on aga toitainete allikaks karstijärvikute maismaalistele kooslustele.

Taimestiku uurimiseks käidi karstijärvikud läbi, et määratleda ja piiritleda esinevad koosluste tüübid. Igas registreeritud koosluste tüübis määrati vähemalt viies 1x1 m ruudus soontaimede

liigid ja katvus. Määrati ka sammalde katvus, kuid mitte liigilist koosseisu. Samuti märgiti üles taimeistiku keskmine kõrgus ning karjatamissurve ja trampimiskoormus subjektiivsel 3-astmelisel skaalal. Klasteranalüüsiga tuvastati 28 erinevat karstijärvikutes esinevat taimekooslust ning analüüsiti nende seotust erinevate hüdroloogiliste ja hüdrokeemiliste parameetritega, sh üleujutuse sagedus, kestus ja sügavus, üldfosfori, üldlämmastiku ja orgaanilise aine kogus mullas, pH, karedus, üldlämmastiku ja üldfosfori kogus vees. Selgus, et taimekoosluste mustreid mõjutab peamiselt karstijärvikute vee ja mitte niivõrd mulla toitainete (peamiselt fosfori) sisaldus. Uuringu põhjal tuletati indikaatorliigid ja -kooslused, mis näitavad üleujutuste kestust ja/või järviku vee üldfosfori sisaldust (Tabel 5.3).

Tabel 5.3. Karstijärvikute ökoloogilise seisundi potentsiaalsed indikaatorliigid ja -kooslused lirmaal (Waldren, 2015)

Liik/kooslus	Indikatiivsus
Sooalsi-sootulika kooslus (<i>Eleocharis palustris</i> - <i>Ranunculus flammula</i>) <i>Baldellia ranunculoides</i> – Eestis ei leidu Luhttarn (<i>Carex elata</i>) Silmjärvikas (<i>Littorella uniflora</i>) – Eestis väga haruldane Vinav tarinõges (<i>Teucrium scordium</i>) Üleujutatud paepõranda kooslus	Pikaajaline üleujutus, madal fosforisisaldus
Mustjas sepsikas (<i>Schoenus nigricans</i>) Harilik kastekaer (<i>Danthonia decumbens</i>) Harilik ädalalill (<i>Parnassia palustris</i>) Põõsasmaran (<i>Potentilla fruticosa</i>) Sinihelmika-hariliku tarna kooslus (<i>Molinia caerulea</i> - <i>Carex nigra</i>)	Lühiajaline üleujutus, madal fosforisisaldus
Ääristarn (<i>Carex hostiana</i>) Ojatarn (<i>Carex viridula</i>) Ohakas (<i>Cirsium dissectum</i>) – Eestis ei leidu Tarna-domineerimisega kooslused	Madal fosforisisaldus
Nõelalsi kooslus (<i>Eleocharis acicularis</i>) Vesi-kirburohu kooslus (<i>Polygonum amphibium</i>) Harilik vesiputk (<i>Oenanthe aquatica</i>) Vesikerss (<i>Rorippa amphibia</i>)	Pikaajaline üleujutus, keskmine kuni kõrge fosforisisaldus
Harilik kirikakar (<i>Bellis perennis</i>) Aas-jürilill (<i>Cardamine pratensis</i>) Karvane tarn (<i>Carex hirta</i>) Harilik angervaks (<i>Filipendula ulmaria</i>) Kärnoblikas (<i>Rumex crispus</i>) Valge ristik (<i>Trifolium repens</i>)	Lühiajaline kuni keskmine üleujutus, keskmine kuni kõrge fosforisisaldus
Sooalss (<i>Eleocharis palustris</i>) Konnaosi (<i>Equisetum fluvatile</i>) Harilik parthein (<i>Glyceria fluitans</i>)	Pikaajaline üleujutus
Raiheina-niidu kooslus (<i>Lolium</i>) Lubjarikka niidu kooslus Metsa ja põõsastiku kooslused	Lühiajaline üleujutus
Murunurmika-suure teehele kooslus (<i>Poa annua</i> - <i>Plantago major</i>)	Ülekarjatamine ja tallumine kariloomade poolt
Kõrgete rohttaimedega kooslus	Vähenenud karjatamiskoormus, keskmine fosforisisaldus

Selgrootute puhul pöörati peamine tähelepanu põhjaelustikule. Suurselgrootuid koguti järvikute litoraalsest tsoonist kaks korda aastas 1 mm silmasuuruse kahva või kast-proovikogujaga. Proove koguti kuu aega pärast järvikute üleujutamist ja ca kuu enne vee kadumist järvikutest. Zooplanktoni proove koguti samuti kaks korda aastast kaldalähedasest veesambast 60 µm silmasuuruse võrguga. Zooplanktonist määrati vaid vesikirbulisi. Maksimaalselt leiti ühest järvikust 36 liiki litoraali suurselgrootuid ning liigiline mitmekesisus muutus aasta jooksul oluliselt. Olulist seost litoraali suurselgrootute liigirikkuse ja järvikute vee troofuse vahel ei leitud. Vesikirbulisi leiti kokku 29 liiki. Tulemused näitasid, et suurselgrootute koosluste kujundamisel on oluline roll

karstijärvikute vee üldfosfori sisaldusel. Kõrgema toitainete sisalduse indikaatoriteks olid kahetiivalised (*Diptera*) ja karpvähilised (*Ostracoda*), samal ajal kui ämblikulised (*Araneae*), kiililised (*Odonata*) ja ehmesiivalised (*Trichoptera*) olid madalama toitainetesisalduse indikaatoriteks. Vesikirbuliste taksonirikkus vähenes toitainete kontsentratsiooni tõusuga, samal ajal kui biomass kasvas. Mitmetest järvikutest tuvastati haruldasi ja kaitsealuseid liike.

Kokkuvõtlikult jõuti järeldusele, et peamised lirimaa karstijärvikute ökoloogiat mõjutavad tegurid on üleujutuse kestus, üldfosfori kontsentratsioon järvikute vees ning karjatamine.

Uuritud 22 karstijärviku põhjal töötati välja hindamistabel järvikute seisundi hindamiseks Euroopa Liidu loodusdirektiivi järgi (Tabel 5.4). Lisaks bioota hindamisele kasutati elupaiga struktuuri ja funktsiooni säilimise hindamisel ühe näitajana ka järvikute üldfosfori sisaldust vastavalt järgmisele jaotusele:

- $\leq 10 \mu\text{g/l}$ – väga hea kvaliteet
- > 10 ja $\leq 20 \mu\text{g/l}$ – hea kvaliteet
- > 20 ja $\leq 50 \mu\text{g/l}$ – keskmine kvaliteet
- $> 50 \mu\text{g/l}$ – halb kvaliteet

Samu piirmäärasid soovitati kasutada karstijärvikute seisundihindamisel ka Vee Raamdirektiivist lähtuvalt. Karstijärvikud on aga ka põhjaveest sõltuvad ökosüsteemid ning põhjaveekogumite seisundi hindamisel tuleb hinnata kas põhjaveekogum võib avaldada sõltuvatele ökosüsteemidele negatiivset mõju koguse või kvaliteedi kaudu. **Seega soovitati lirimaa karstijärvikuid toitvatele põhjaveekogumitele kehtestada üldfosfori sisalduse piirmääraks $20 \mu\text{g/l}$.** Seega juhul, kui põhjaveekogumi vee üldfosfori sisaldus on üle $20 \mu\text{g/l}$, on reaalne oht, et põhjaveekogum võib sellest sõltuva(te)le karstijärvikutele avaldada negatiivset mõju. Osadele, eriti oligotroofseid karstijärvikuid toitvatele põhjaveekogumitele soovitati ka üldfosfori piirmääraks $10 \mu\text{g/l}$.

Elustikurühmade puhul välja toodud indikaatorliigid ja -kooslused näitavad küll karstijärviku seisundit ökosüsteemina, kuid ei anna otseselt infot selle kohta, kas elustiku seisund võib olla mõjutatud põhjaveest. Eutrofeerumise ilmingutega karstijärvede puhul tuleb karstijärvikute toiteala põhjavee kvaliteedi alusel jõuda otsusele, kas negatiivne mõju võib tuleneda põhjavee kaudu või näiteks läbi otsese toitainete lisandumise kariloomade või väetiste läbi.

Uuringu tulemuste põhjal anti soovitused karstijärvikute seireks. Seires soovitati hõlmata veetase, veekvaliteet, taimestik, veesalgrootud (suursalgrootud ja vesikirbulised) ning lisaks neile uuringus käsitletud valdkondadele veel ka jooksiklased ja linnud. Üldjoontes on seiresoovitused mõningate modifikatsioonidega ülekantavad ka Eesti karstijärvikutele. Erinevused tulenevad eelkõige sellest, et lirimaa karstijärvikud hakkavad veega täituma sügisel, nende kõrgeim veetase on talvel ning veetase hakkab alanema kevadel. Samuti sellest, et Eestis on olulisemate vee-elustiku rühmade seireks püsijärvedes välja töötatud ja aastakümneid rakendatud oma metoodeid. Seega on võrreldavate andmete kogumiseks otstarbekas kasutada karstijärvikute seires püsijärvede seirega analoogseid meetodeid.

Tabel 5.4. Hindamistabel Iirimaa karstijärvikute struktuuri ja funktsioneerimise hindamiseks vastavalt Euroopa Liidu loodusdirektiivile. E.K. – ei kasutata

Karstijärviku nimi			
Eelhindang A: mineraalsed mullad on olemas (=1)			
Eelhindang B: üleujutatud paepõranda kooslus on olemas (=1)			
Eelhindang B: paepõrand esineb järvikust 200 m raadiuses (=1)			
Eelhindang B: Põõsasmaran (Potentilla fruticosa) on olemas (=1)			
Eelhindang B: Paakspuu (Frangula alnus) on olemas (=1)			
Eelhindang B: Mustjas sepsikas (Schoenus nigricans) on olemas (=1)			
Eelhindang B näitajate summa			
Järviku tüüp [Mineraalne kui A=1; Oligotroofne kui A=0 ja B>1; Mesotroofne kui A=0 ja B=0]			
Indikaator	Oligotroofne järvik	Mesotroofne järvik	Mineraalse mullaga järvik
1. Hüdroloogiline funktsioneerimine			
Kuivenduse mõju (igasugune äravoolu suurendamine või vähendamine)	Puudub või mõjutab vaid erakordselt kõrge veetaseme korral:0; Mõjutab üleujutust nõo kõrgemas osas: 1; mõjutab üleujutust enamikus nõost 2		
Pidev või suurenev muutus üleujutuse sügavuses/kestuses/üleujutatud ala pindalas (kuueaastase LoD raporteerimisperioodi jooksul)	<5% muutust 0; 5–20% muutust: 1; >20% muutust: 2		
Maksimaalne punktisumma	Kasutatud indikaatorite maksimaalne punktisumma		
Hüdroloogilise funktsioneerimise punktisumma	Järviku punktisumma jagatud kvaliteedilemendi max punktisummaga (0–0,33: hea; >0,33–0,66: kesine; > 0,66–1: halb)		
2. Veekvaliteet	Oligotroofne järvik	Mesotroofne järvik	Mineraalse mullaga järvik
Järviku vee üldfosfori sisaldus	<10 µg/l: 0; 10–20 µg/l: 1; >20 µg/l:2	<20 µg/l: 0; 20–40 µg/l: 1; >40 µg/l: 2	
Järviku vee üldfosfori sisalduse tõus eelmise seirekorraga võrreldes	<10% tõus: 0; 10–20%: 1; >20% tõus: 2		
Chl a maksimaalne sisaldus	<10 µg/l: 0; >10 µg/l:1		
Vee värvus	>30 mg/l PtCo: 1		
Maksimaalne punktisumma	Kasutatud indikaatorite maksimaalne punktisumma		
Veekvaliteedi punktisumma	Järviku punktisumma jagatud maksimaalse punktisummaga (0–0,33: hea; >0,33–0,66: kesine; > 0,66–1: halb)		
3. Maismaaelustik	Oligotroofne järvik	Mesotroofne järvik	Mineraalse mullaga järvik
Valge kasteheina-hariliku partheina koosluse osakaal	<5% järviku pindalast: 0; 5–20%: 1; >20%: 2		
Kärnoblika, hapu oblika ja oblika Rumex conglomeratus osakaal üksi või ühiselt	<5% järviku pindalast või esineb <10% uuritud taimeruutudest: 0; >5% järviku pindalast või esineb>10% uuritud taimeruutudest: 1		
Raiheinaniidu osakaal	<10% järviku pindalast: 0; 10–20% järviku pindalast: 1; >20%: 2		
Heintaimede-rohundite domineerimisega koosluste osakaal	<33% järviku pindalast: 0; > 33% järviku pindalast 1		E.K.
Hariliku angervaksa-tedremarana-kannikese koosluse osakaal	<2% järviku pindalast: 0; 2–10% järviku pindalast: 1; >10%: 2	E.K.	E.K.
Murunurmika-suure teelehe koosluse osakaal	< 2% järviku pindalast: 0; 2–10% järviku pindalast: 1; >10%: 2		

Vesi-kirburohu koosluse osakaal	< 2% järviku pindalast: 0; 2–10% järviku pindalast: 1; >10%: 2	E.K.	E.K.
Nõelalsi kooslus	E.K.	E.K.	kooslus pole kadunud: 0; kooslus on kadunud: 1
Lubjarikka niidu, paepõranda või metsamaa koosluse osakaal	>10% järviku pindalast: 0; <10% of järviku pindalast: 1		
Sooalsi-sootulika koosluse osakaal	>10% järviku pindalast: 0; <10% järviku pindalast: 1		E.K.
Sooalsi-sootulika kooslus	koosluse pindala pole vähenenud: 0; koosluse pindala on vähenenud: 1		E.K.
Vesi-kirburohu kooslus	E.K.	koosluse pindala pole vähenenud: 0; koosluse pindala on vähenenud: 1	
Sinihelmika-hirsstarna koosluse osakaal	>2% järviku pindalast: 0; <2% järviku pindalast: 1		E.K.
Rohukamara kõrgus üle 40 cm (v a pillirookogumikud)	Näitab alakarjatamist: <40 cm: 0; >40 cm: 1		
Rohukamara kõrgus alla 8 cm	Näitab tugevat ülekarjatamist lammaste poolt: >8 cm: 0; <8 cm: 1		
Kaitsealused või haruldased liigid (sh. selgrootud)	liikide arv pole vähenenud: 0; liikide arv on vähenenud: 1		
Maksimaalne punktisumma	Kasutatud indikaatorite maksimaalne punktisumma		
Maismaaelustiku punktisumma	Järviku punktisumma jagatud maksimaalse punktisummaga (0–0,33: hea; >0,33–0,66: keskine; > 0,66–1: halb)		
4. Vee-elustik	Oligotroofne järvik	Mesotroofne järvik	Mineraalse mullaga järvik
Vetikapaberi katvus	< 2% järviku pindalast: 0; >2% järviku pindalast: 1		
Veetaimestiku olemasolu	Veetaimestiku liigid on olemas: 0, veetaimestiku liigid puuduvad 1		
Kaitsealused või haruldased liigid (sh. selgrootud)	liikide arv pole vähenenud: 0; liikide arv on vähenenud: 1		
Maksimaalne punktisumma	Kasutatud indikaatorite maksimaalne punktisumma		
Vee-elustiku punktisumma	Järviku punktisumma jagatud maksimaalse punktisummaga (0–0,33: hea; >0,33–0,66: keskine; > 0,66–1: halb)		
5. Muud näitajad	Oligotroofne järvik	Mesotroofne järvik	Mineraalse mullaga järvik
Järviku füüsiline kahjustus (maavarade kaevandamine, raadamine jne)	< 5% järviku pindalast: 0; 5–20%: 1; >20%: 2		
Kariloomade toitumisnõude olemasolu järvis	Toitumisnõusid ei ole: 0; toitumisnõud on olemas:1		
Väetamise märkide olemasolu (nt. graanulid)	Ei ole märke järviku väetamisest: 0; on märke järviku väetamisest: 1		
Maksimaalne punktisumma	Kasutatud indikaatorite maksimaalne punktisumma		
Muude näitajate punktisumma	Järviku punktisumma jagatud maksimaalse punktisummaga (0–0,33: hea; >0,33–0,66: keskine; > 0,66–1: halb)		
Kokkuvõte			
1. Hüdroloogilise funktsioneerimise punktisumma	Järviku punktisumma jagatud maksimaalse punktisummaga (0–0,33: hea; >0,33–0,66: keskine; > 0,66–1: halb)		
2. Veekvaliteedi punktisumma	Järviku punktisumma jagatud maksimaalse punktisummaga (0–0,33: hea; >0,33–0,66: keskine; > 0,66–1: halb)		
3. Maismaaelustiku punktisumma	Järviku punktisumma jagatud maksimaalse punktisummaga (0–0,33: hea; >0,33–0,66: keskine; > 0,66–1: halb)		
4. Vee-elustiku punktisumma	Järviku punktisumma jagatud maksimaalse punktisummaga (0–0,33: hea; >0,33–0,66: keskine; > 0,66–1: halb)		
5. Muude näitajate punktisumma	Järviku punktisumma jagatud maksimaalse punktisummaga (0–0,33: hea; >0,33–0,66: keskine; > 0,66–1: halb)		
Kombineeritud struktuuri ja funktsioneerimise indikaatorid	Hea: ükski kvaliteedielement pole halb ning mitte rohkem kui üks element on keskine; Halb: kaks kvaliteedielementi on halvad või üks kvaliteedielement on halb ning kaks või rohkem on kesised; Keskine: kõik ülejäänud kombinatsioonid		

5.12. Assamalla karstiluha uuringu- ja seirekava

Uuringu- ja seirekava koostati Assamalla karstiluhta silmas pidades, kuid seda on võimalik kasutada universaalselt ka teiste Eesti karstijärvikute uurimiseks ja seireks. Näiteks valiti Assamalla karstiluht, kuna selle lähiümbrusesse jäävad mitmed teised põhjaveekogumitest sõltuvad ökosüsteemid (sh Loobu jõgi, Valgejõgi, Vohmetu-Lemküla järvestik), millele karstiluht on tõenäoliselt toitealaks. Seega võib selle karstijärviku uurimine esimesena anda taustainfot ka nendele teistele ökosüsteemidele põhjavee kaudu avalduva mõju kohta.

Karstijärvikute uuringu- ja seirekava koostamisel on lähtutud Vee Raamdirektiivi Lisast 5 (2000/60/EÜ), Euroopa Komisjoni juhenddokumendist nr. 7 (European Communities, 2003), Loodusdirektiivi elupaigatüüpide seisundi hindamise juhiseist (DG Environment, 2017), Keskkonnaministri määrustest nr 25 (Nõuded vesikonna..., 2011) ja nr 30 (Proovivõtumeetodid, 2002), Eesti riikliku keskkonnaseire programmi pinnavee seire allprogrammist (Pinnavee seire..., 2019) ning lirimaa karstijärvede seirekavast (Waldren, 2015).

Hüdromorfoloogilistest näitajatest on karstijärvikute puhul oluline seirata järvikute ja seda toitva põhjaveekihi veetaset. Järvikute hüdromorfoloogilise seisundi määramisel võib kasutada alaliste järvede hüdromorfoloogilise seisundi määramise metoodikat (Ott, 2014). Ühekordselt on vajalik välja selgitada järvikute pindala ja kaldajoone kulgemine kõrgeima veetaseme korral ning sellele pindalale vastav ruumala. Hüdrokeemilisi näitajaid tuleb sarnaselt veetasemele seirata nii järvikus kui seda toitvas põhjaveekihis. Elustikurühmadest on karstijärvikutest põhjendatud seirata sarnaselt alalistele järvedele taimestikku, suurselgrootuid, zooplanktonit, fütoplanktonit ja fütobentost. Erinevalt alalistest järvedest ei ole karstijärvikutes oluline kalastiku seire, kuna kalu satub järvikutesse haruharva. Kui ülejäänud elustikurühmasid seiratakse järvikute nn veefaasis, siis taimestikku tuleb seirata järvikute kuivfaasis, kasutades maismaaelupaikade taimestiku seire metoodikat.

Veetase – Karstijärvikute ökosüsteemide funktsioneerimise olulisimaks teguriks on ajutine vee olemasolu järvikus. Üleujutuse kestus aga mõjutab olulisel määral järvikus kujunevat ökosüsteemi. Seega on eelkõige oluline jälgida üleujutatava perioodi pikkust, aga ka vee mahtu järvikus. Mõlemaid näitajaid saab tuletada järvikute veetaseme pidevandmerea põhjal. Järvikute veetaseme seireks tuleb järvikute kõige madalamasse punkti paigaldada automaatne rõhuandur (edaspidi veetaseme andur), mis registreerib veesamba rõhku 6 h intervalliga. Anduri paigaldamiseks on kõige sobilikum aeg siis, kui järvikus ei ole vett. Samuti on anduri andmete lugemiseks kõige sobilikum kuiv periood, soovitatavalt vahetult pärast järvikute kuivamist. See vähendab kogutud andmete kadumise ohtu andurit kuivaperioodil tabava tehnilise rikke või kuivaperioodil tõenäolisema füüsilise kahjustamise, mõõtekohast eemaldamise tõttu. Kuna järvikute kuivamise aeg sõltub konkreetse aasta hüdroloogilistest oludest, mistõttu anduri andmete lugemise võimalikkust ei ole võimalik ette prognoosida, on seiresse otstarbekas kaasata kohalikke kogukondi. See tähendab, et iga seiratava karstijärviku kohta peaks seire läbiviijal olema nõ. kohalik informaatore, kellelt on võimalik saada infot järvikute veeseisu kohta.

Andur tuleb varjestatult kinnitada mõne loodusliku või tehniliku raskuse külge. Veetaseme anduri kõrgus merepinnast tuleb fikseerida täpselt diferentsiaal-GPS seadmega. Kui anduri andmete lugemisega kaasneb ka anduri kõrguse muutus, siis tuleb pärast anduri tagasi asetamist fikseerida anduri uus kõrgus merepinnast.

Karstijärviku lähedale tuleb paigaldada õhurõhuandur. Õhurõhuanduri ja veetaseme anduri registreeritud rõhuandmete põhjal on võimalik arvutada veekihi paksus järvikute põhjas oleva anduri kohal. Õhurõhuanduri asukohana võib kasutada mõnda olemasolevat (puur)kaevu, jälgides õhurõhuanduri paigaldamise sügavuse puhul, et ka kõrge veetaseme korral jääks andur veest välja. Õhurõhuanduri logimissagedus peab kattuma veetaseme anduri(te) logimissagedusega.

Kui karstijärviku toiteala on varasemalt piiritletud vaid kontseptuaalse mudeli põhjal, siis tuleb esmalt kontrollida kontseptuaalse mudeli põhjal tuletatud järvi toiteala paikapidavust samaaegselt mõõdetud põhjaveetasemete kaudu. Selleks tuleb järvi veega täitunud oleku perioodil mõõta maapinnalähedase põhjaveekihi tase kõigis ligipääsetavates ja mõõdetavates kaevudes järvikust 1 km raadiuses.

Põhjaveetaseme mõõtmistulemuste ja karstijärviku kontseptuaalse mudeli põhjal tuleb välja valida ja põhjaveetaseme anduritega varustada vähemalt neli ümber karstijärviku erinevates ilmakaartes paiknevat kaevu, arvestusega, et üks kaev jääks järvi 1 km raadiuses mõõtmistulemuste ja kontseptuaalse mudeli põhjal kõrgeima põhjaveetaseme piirkonda ja üks kaev madalaima põhjaveetaseme piirkonda. Sobilik põhjaveetaseme logimisintervall on sama, mis karstijärviku veetaseme logeril ehk 6 h. Sobivate mõõtmispaikade puudumisel tuleb seirekaevud rajada. Selline esmane seire peab vältima vähemalt ühe täisaasta. Kui esimese seireaasta jooksul karstijärvik veega ei täitu, siis vähemalt niikaua, et mõõtmisperioodi sisse jääks üks karstijärviku veega täitumine ja veest tühjenemine. Kui põhjavee liikumissuund karstijärvikusse ja karstijärvikust välja on pidevmõõtmiste põhjal kinnitust leidnud, võib edasise seire puhul piirduda järvi toitealal vaid ühe põhjaveetaseme seirekaevuga.

Hüdro-morfoloogilised parameetrid – Järvete haldamise hõlbustamiseks on oluline teada, millise ulatuse need nii keskmiste kui maksimaalselt veerohkete aastate korral saavutavad. Olemasolevad Eesti karstijärvikute Natura-elupaiga ja Ürglooduse objektide polügoonide piirid on ebaselge päritoluga ning enamikel juhtudel ilmselt digiteeritud kaasaegsemal ajal mõne ortofoto pealt ja varasemal ajal joonistatud nä. „tunde järgi“. Järvikute tegelike ulatuste määratlemiseks tuleb järvikute maksimaalsele veetasemele (mitmeaastaste seireandmete kogunemisel keskmisele maksimaalsele veetasemele) vastavad polügoonid piiritleda mõõdistatud veetasemete ja Maa-ameti LiDAR-kõrgusandmete põhjal, leides kõrgusmodelilt maksimaalsetele veetasemetele vastavad isojooned. Leitud piirjoonte ja kõrgusmodelite põhjal on võimalik leida ka järvikute maksimaalne ruumala. Pikema seirerea kogunemisel on võimalik leida ka järvikute keskmise veetasemega aastale vastav ruumala. Enamike järvikute puhul selleks ilmselt eraldi batümeetrilisi mõõdistamisi vaja teha, sest käesoleva aruande koostamise hetkeks on Eesti ala kaetud kolmel aastal kogutud LiDAR andmetega ning suure tõenäosusega on vähemalt ühel mõõdistamiskorral olnud uuritavad karstijärvikud kuivad. Seetõttu on nende põhjatopograafia võimalik leida maapinna kõrguspunktidest. Antud tegevust tuleb läbi viia ühe korra kuue aasta jooksul. Esimesel korral on võimalik kasutada vaid ühe aasta veetaseme andmeid. Pikemaajalise seire tulemusena kogunevate mitme aasta maksimaalsete veetasemete andmete põhjal saab leida uued maksimaalsed ja keskmiste aastatele vastavad pindalad.

Veekvaliteet – Iirimaal soovitatakse karstijärvikutest võtta kolm veekvaliteedi proovi üleujutatud perioodi kohta, sest vesi püsib järvikutes sügisest kevadeni. Kuna Eesti karstijärvikute üleujutusperiood on lühem ning vett on järvikutes üldjuhul vaid kevadeti, märjematel aastatel ka suvel, siis igal aastal pole kolme proovi võtmine põhjendatud. Veekvaliteedi proovid tuleb võtta vahetult pärast järvi täitumise algust ja maksimaalse veetaseme ajal. Kui vesi püsib, siis tuleb kuu aega hiljem võtta ka kolmas proov. Kuna järvi täitumine ja maksimaalse veetaseme saavutamine toimub sõltuvalt aastast erineval ajal, siis rangelt fikseeritud hetke proovi võtmiseks ei saa kehtestada ning lähtuda tuleb tegelikest hüdroloogilistest oludest, mille kohta saab infot küsida veetaseme seire peatükis kirjeldatud kohalikult informatorilt.

Iirimaal soovitatakse proovivõtuks kasutada raskusega varustatud ja nõõriga ühendatud 5 l plastpudelit, mis visatakse kaldalt avavette. Kuna Eesti karstijärvikute veesügavus küünib väga harva üle 2 m (Heinsalu, 1979), siis on alternatiivina soovitatav minna veeproovi võtmiseks kahlamispuikstega vette ning võtta proov vähemalt meetrisügavusest veest 30 cm sügavuselt kopa või laiasuulise pudeliga, mis on kinnitatud sobiva pikkusega varre otsa. Kui järvi veetase on

madalam, siis otse pindmisest veekihist. Proov tuleb võtta avavee osast, vältides tihedama puistu ja põõsastikuga ala.

Veest tuleb määrata vähemalt üldlämmastik, nitraatlämmastik, nitritlämmastik, ammoniumlämmastik, üldfosfor, fosfaatfosfor, klorofüll a, kollane aine, aluselisus, orgaanilise aine üldsisaldus dikromaatse oksüdeeritavusena, ph, erielektrijuhtivus, lahustunud ainete sisaldus, temperatuur ja lahustunud hapniku sisaldus. Alaliste järve puhul on oluliseks määratavaks füüsikalise-keemiliseks parameetriks ka läbipaistvus, kuid karstijärvikute üldjuhul väga väikese sügavuse tõttu ei ole nende puhul selle määramisel olulist väärtust.

Järvikute veeproovidega samal ajal tuleb võtta veeproov(id) ka järvikute põhjavee toitealalt, hindamaks võimalikku toitainete koormust. Proovivõtuks on soovitatav kasutada samu kaeve, mida kasutatakse ka järvikute toiteala põhjavee seireks. Sarnaselt veetaseme seirega tuleb ka põhjavee veekvaliteedi seiret esimesel aastal teha vähemalt neljas karstijärvikut ümbritsevas kaevus. Seirekaevude valimisel tuleb jälgida, et eeldatavad põhjavee koormusallikad asuksid kõrge põhjaveetaseme korral seirekaevust ülesvoolu. Pärast esialgset põhjalikumalt seiret võib järvi põhjavee toitealal jätkata veekvaliteedi seiret ainult ühes kaevus. Kui järvi põhjavee toitealale jääb mitu seirekaevu, siis on soovitatav pikaajalise seire kaevuks valida see, milles keskmine toitainete sisaldus eelneva uuringuperioodi jooksul oli suurim. Põhjaveeproovidest tuleb määrata vähemalt üldlämmastik, nitraatlämmastik, nitritlämmastik, ammoniumlämmastik, üldfosfor, fosfaatfosfor, aluselisus, orgaanilise aine üldsisaldus dikromaatse oksüdeeritavusena, ph, erielektrijuhtivus, lahustunud ainete sisaldus, temperatuur ja lahustunud hapniku sisaldus.

Taimestik – Karstijärvikute taimestikku seiratakse kuivfaasi ajal. Kuna järvikutes algab maismaataimede vegetatsiooniperiood üleujutuse tõttu hiljem kui maismaalistes kooslustes, siis kõige sobilikum aeg taimestiku seireks on enamikel aastatel juulist augustini. Niidetaval alal tuleks seire teostada enne niitmist. Kui seire satub erakordselt veerikkale aastale järgnevale aastale, siis tuleks taimestiku seiret teostada kahel järjestikusel aastal. Kui seireaastal pole võimalik suvise üleujutuse tõttu seiret teostada, tehakse taimestiku seire kahel suvise üleujutusega aastale järgneval aastal.

Oluline on koguda infot nii erinevate taimekoosluste esinemise ja ulatuse kohta järvikutes kui ka koosluste liigilise koosseisu kohta. Esmalt tuleb kaardistada järvis esinevad taimekooslused. Iirimaal peab taimedega kaetud ala erineva kooslusena kaardistamiseks olema pindalaga vähemalt 400 m² või laiem kui 4 m. Eestis on sobilik rakendada samu kriteeriume, kuid kui alal esineb karstinähtusi eriti selgelt näitav kannikese-hanijala kooslus, siis see tuleb kaardistada alates 10 m² suurusest alal esinemisest. Igas tuvastatud taimekoosluses tuleb kirjeldada viis 1x1 m taimeruutu, kajastades nii soontaimede liigilist koosseisu kui ka katvust. Lisaks tuleb hinnata ka taimestiku kõrgust taimeruudus ja niitmise ning karjatamise survet ruudust 2 m raadiuses. Sellisel viisil tuleb taimestiku seiret karstijärvikutes korrata vähemalt iga kuue aasta tagant.

Suurselgrootud – Suurselgrootute proovikogumisel karstijärvikutest tuleb jälgida Eesti väikejärvede seirele analoogset metoodikat (Pinnavee seire..., 2019) ning lähtuda standardist „Water quality – Guidelines for the selection of sampling methods and devices for benthic macroinvertebrates in fresh waters (EVS-EN ISO 10870:2012) ja juhendist „Pinnavee ökoloogilise seisundi...” (Timm & Vilbaste, 2010). Proovid tuleb koguda üks kord aastas soovitatavalt mai esimeses pooles, varase kevade korral aprilli lõpus, enne suurema osa veeputukate väljalendu ja järvikute kuivamist, kuid pärast elutegevuse aktiveerumist järvikutes. Järvikute madalaveelistes osades (litoraalis) püütakse suurselgrootuid nelinurkse standardkahvaga (sõelaava läbimõõt 0,5 mm). Igast järvikust võetakse üks liitproov, mis koosneb viiest 10 m lõigule juhuslikult paigutatud jalaproovist ja kvalitatiivne proov. Jalaproov seisneb põhja jalaga segamises vertikaalselt asetatud kahva ees ning järgnevas järsus kahvatõmbes madalal segatud ala kohal. Kvalitatiivne proov võetakse võimalikult mitmekesine (tüüpilised elupaigad, muud elupaigad), kasutades vajaduse järgi nii jalaproove, kahvatõmbeid kui käsitsi noppimist (näiteks taimedelt, suurtelt okstelt või

kividelt). Jalaproovide sobivust karstijärvikute kamardunud põhjale tuleb täiendavate uuringutega selgitada ning vajadusel rakendada mõnda sobivat kvantitatiivse proovi kogumise meetodit.

Zooplankton – Püsijärvede seires kogutakse zooplanktoni proove juulis ja septembris, kuid karstijärvikute puhul pole sedavõrd hiline proovikogumine võimalik. Seega võib zooplanktoni proovide kogumise ühendada suurselgrootute proovide kogumisega mais või varase kevade korral aprilli lõpus. Kui vesi järvis püsib, siis võtta ka teine zooplanktoni proov samal ajal kolmanda veekvaliteedi prooviga. Proovide kogumisel tuleb järgida standardit „Water quality – Guidance standard for the sampling of zooplankton from standing waters“ (EVS-EN 15110:2006).

Proovide võtmisel on soovitatav kasutada Eesti väikejärvede seirele analoogset metoodikat, kurnates vähemalt 20 liitrit karstijärviku vett läbi 48 µm silmasuuruse planktonivõrgu ja fikseerides proovi Lugoli lahusega (joodi ja kaaliumjodiidi lahus). Karstijärvikute madala sügavuse tõttu võib proovikogumisel kasutada ka kaldalähedast vett, kuid proov tuleb võtta avaveealalt. Proovidest määratakse zooplanktoni liigiline koosseis, arvukus ja biomass. Lisaks leitakse arvukuses ja biomassis domineerivad taksonid ning suuremate rühmade (*Cladocera*, *Copepoda*, *Rotatoria*) protsentuaalne osakaal biomassist. Zooplanktoni liigilise koosseisu, arvukuse ja biomassi määramisel järgitakse rahvusvaheliselt tunnustatud meetodeid ja metoodikaid, mis tagavad teaduslikult kvaliteetsete ja võrreldavate andmete saamise.

Fütoplankton – Irimaal karstijärvikute seirekavas fütoplanktonit ei ole, kuigi inventuuri käigus neid määrati. Eesti väikejärvede seires on fütoplanktoni seire aga olemas (Pinnavee seire..., 2019), mistõttu on otstarbekas seda ka karstijärvikute seires rakendada. Püsijärvedest kogutakse fütoplanktoni proove mais, juulis, augustis ja septembris. Karstijärvikutest on neid sarnaselt zooplanktoni proovidele otstarbekas koguda aasta jooksul üks kuni kaks korda. Esimene proovivõtukord on sobilik ühendada suurselgrootute ja zooplanktoni proovivõtkorraga mais, varase kevade korral aprilli lõpus. Kui vesi järvis püsib, siis võtta ka teine fütoplanktoni proov samal ajal teise zooplanktoni ja kolmanda veekvaliteedi prooviga.

Koguda tuleb nii kvalitatiivseid kui kvantitatiivseid proove. Kvalitatiivsete proovide kogumiseks kurnatakse vähemalt 20 liitrit karstijärviku vett läbi 20 µm silmasuuruse planktonivõrgu. Kvantitatiivsed proovid kogutakse batomeetriga 30 cm sügavuselt või madalama veetaseme korral pindmisest veekihist. Proovid tuleb võtta avaveealalt. Proovid kogutakse suletavasse anumasse ja fikseeritakse Lugoli lahusega (joodi ja kaaliumjodiidi lahus). Proovidest määratakse vetikate liigiline koosseis ja biomass. Lisaks kogubiomassile leitakse ka tähtsamate vetikahõimkondade (sini-, räni-, rohe-, ikkes-, kold-, neel-, vaguvibur- ja silmviburvetikate ning rafidofüütide ja eriviburvetikate) biomassid. Fütoplanktoni liigilise koosseisu, arvukuse ja biomassi analüüsimisel tuleb järgida standardit „Water quality – Guidance standard on the enumeration of phytoplankton using inverted microscopy (Utermöhl technique)“ (EVS-EN 15204:2006) või muid riigisiseseid või rahvusvahelisi standardeid või valdkonnas üldtunnustatud meetodeid ja metoodikaid, mis tagavad samaväärse teadusliku kvaliteedi ja võrreldavusega andmete saamise.

Sarnaselt Irimaale on ka Eestis vajalik hinnata niitjate vetikate tekitatud vetikamattide ulatust järvikutes. Antud tegevuse muudab logistiliselt ebamugavaks asjaolu, et seda on kõige mugavam teha vahetult pärast järvi kuivamist ehk ajaperioodil, kui muid elustiku seiretöid ei toimu. Seetõttu on kuivanud vetikamattide kaardistamine sobilik ühendada järvi veetaseme anduri andmete lugemisega.

Fütobentos – Irimaa karstijärvikute uuringus bentilisi ränivetikaid ei kajastatud, kuid Eesti alaliste järvede seires sellele elustikurühmale tähelepanu pööratakse (Pinnavee seire..., 2019). Seega on põhjendatud uurida nende kooslusi sarnase metoodika alusel ka karstijärvikutes. Fütobentose proove on sarnaselt suurselgrootute proovile vajalik koguda üks kord aastas, aprilli lõpus või mais.

Fütobentose proovide kogumisel tuleb järgida standardit „Water quality – Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers and lakes“ (EVS-EN

13946:2014) ning juhendit „Pinnavee ökoloogilise seisundi...” (Timm & Vilbaste, 2010). Proovid kogutakse eelistatult väikestelt kividelt umbes 0,5 meetri sügavuselt veest. Üks proov kogutakse vähemalt viielt erinevalt kivil. Neilt eemaldatakse ränivetikad, hambaharjaga tugevalt hõõrudes. Kivide puudumisel kogutakse materjal suurtaimedelt (sh vees olevad puude ja põõsaste tüvede alaosad) või suurvetikatelt. Seda nii hambaharjaga pestes kui käte vahel pigistades. Saadud heljum fikseeritakse etanooli lahusega. Proovidest määratakse ränivetikate liigiline koosseis ja dominandid.

Kui kevadel jäävad karstijärvikud täitumata, aga suvel täituvad, siis tuleks veekvaliteedi, zooplanktoni, fütoplanktoni ja fütobentose proov võtta suvel, umbes 2 nädalat pärast maksimaalset veeseisu.

Kuni karstijärvikutest kogutud abiootiliste ja biootiliste andmete hulk on väike, ei ole nende põhjal võimalik anda kategoriseeritud seisundihinnanguid, kuna puuduvad erinevate seisundiklasside piirid. Veekvaliteedi, fütoplanktoni ja suurselgootute puhul võib saadud tulemusi võrrelda vastavatesse veetüüpidesse kuuluvate püsijärvede seisundiklasside piiridega, kuid nende piiride üks-ühele ülekandmine ei pruugi olla tegelikult adekvaatne. Taimestiku puhul aga pole püsijärvede seisundiklassidest aga üldse midagi üle võtta, kuna karstijärvestiku puhul domineerib maismaataimestik. Seega oleks asjade loogiline järgnevus selline, et sarnaselt Iirimaa, **tuleks ka Eestis kõigepealt koguda laiapõhjaline algandmestik erinevate karstijärvikute hüdroloogia, hüdrokeemia ja elustiku kohta ning nende andmete põhjal töötada välja karstijärvikute seisundi hindamise kriteeriumid vastavalt Euroopa Liidu loodusdirektiivile.** Kuna tegemist on põhjaveest sõltuvate ökosüsteemidega, siis sama algandmestiku põhjal oleks võimalik välja töötada ka piirväärtused järvikuid toitvatele põhjaveekogumitele, mis tagaksid, et põhjaveekogumi vee kvaliteet ei avaldaks järvikutele negatiivset mõju. Arvestada tuleb aga asjaoluga, et elustiku kriteeriumid karstijärvikute seisundi hindamiseks EL loodusdirektiivi järgi iseenesest ei hakka näitama põhjavee mõju järvikute seisundile. Kui näiteks selgub, et mõne karstijärviku elustik on kahjustunud liiga kõrge toitelisuse tõttu, siis see, kas toitelisuse suurenemise põhjuseks on põhjavesi, pinnavesi või aladel karjatavad kariloomad, tuleb välja selgitada eraldiseisva uuringuga.

Mõnede Eesti karstijärvikute, valdavalt eksperthinnangul põhinev klassifikatsioon ja eutrofeerumise ilmingute esinemine on esitatud Tabelis 5.5.

Tabel 5.5. Mõnede Eesti karstijärvikute jaotus pinnase kivimite ja veerežiimi alusel. Küsimärk tähistab pealiskaudse hinnangu põhjal klassifitseerimist (Ploompuu, avaldamiseks vastu võetud)

Geoloogia/ Veerežiim	Paas	Klibu	Savi ja savirähk	Liivakamad setted
Lühiajaline üleujutus		Üügu loo- karjamaade sulglohud	Laheva Tammiku-Õpsepa puisniidu lohud; Rannaküla Kangru järvik; Võnnu järvik? Turvalepa järvik?	Assamalla luht?; Assamalla lõunaosa.
Pikaajaline üleujutus	Jalase Sõnajala Abu; Märjamaa Järtad?	Koltsi järv?	Vedra Kingu järvik; Kirimäe-Alba järv; Märjamaa Järtad?; Aavere Mängu niit; Rannaküla Kangru järvik? Võnnu järvik?	Võhmetu-Lemmküla järved; Assamalla luht?; Järsi järv; Järsi alumine järvik.
Eutrofeerunud alad			Võnnu järvik	Järsi alumine järvik; Assamalla lõunaosa.

6. Ida-Viru seisuveekogude seire

Lähteülesanne: Teha konkreetseid ettepanekud, millistes Ida-Viru piirkonna põhjaveekogumitega seotud seisuveekogudes on vajalik teha veetasemete seiret ja milline peab olema selle seire metoodika. 2015. a uuringu peatükis 8.1 on tehtud ettepanek alustada põhjaveekogumitest sõltuvate seisuveekogude veetasemete seiret vähemalt Ida-Viru põhjaveekogumitega seotud järvedes.

6.1. Põhjaveekogumitest sõltuvad seisuveekogud Ida-Virumaal

Terasmaa et al. (2015) järgi on Ida-Viru piirkonnas seisuveekogudega seotud kolm põhjaveekogumit: Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogum (nr 6), Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogum (nr 7) ja Kvaternaari Vasavere põhjaveekogum (nr 27). Kokku on nende põhjaveekogumitega seotud oluliste seisuveekogusteemidena nimetatud Terasmaa et al. (2015) töös 45 järve, mis kuuluvad Kurtna järvestikku, Jõuga järvestikku ja Kõnnu järvestiku ning üksikjärvena Uljaste järv (Tabel 6.1).

Lisaks neile järvedele lisatakse käesolevas töös põhjaveekogumist sõltuvate oluliste seisuveekogude nimestikku ka Ratva järv (VEE2024200). Terasmaa et al. (2015) töös jäi see välja, kuna ei vastanud seal rakendatud oluliste seisuveekogude valikukriteeriumitele, mille seotust põhjaveekogumiga hinnati. Tegemist ei ole Ürglooduse raamatus nimetatud veekogu, veekogumi ega Kvaternaari põhjaveekogumil asuva kaitsealusesse järvestikku kuuluva Natura elupaigatüübi järvega. Eelkõige lähtuti nende kriteeriumite määramisel usust, et olulisimad aluspõhjalistest põhjaveekihtidest sõltuvad järved on hõlmatud selle põhimõtetest tulenevalt Ürglooduse raamatusse. Käesoleva töö koostamise käigus läbitöötatud materjalid, eelkõige Mäemets (1977) ja Ott (2009), annavad aga põhjust pidada Ratva järve vähemalt osaliselt aluspõhjalisest põhjaveest toituvaks veekoguks (vt ptk 3.1.4). Kuna tegemist on Natura järvega (elupaigatüüp 3140), mille kaitse on seotud üheks Muraka looduskaitseala kaitse-eesmärgiks (Muraka looduskaitseala..., 2007) ning mille veetasemele võib hakata negatiivset mõju avaldama Ojamaa ja Estonia põlevkivikaevanduste põhjaveetasel langetav tegevus (v. ptk 3.1.6 ja ptk 3.2), on põhjendatud Ratva järve lisamine oluliste põhjaveekogumist sõltuvate seisuveekogude nimestikku. Tulenevalt järve asukohast ja võimalike põhjavee kaudu avalduvate mõjude suunast, on alust lugeda järv seotuks Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogumi (nr 6) ja Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumitega (nr 7).

Tabel 6.1. Olulised Ida-Virumaa põhjaveekogumitest sõltuvad järved ja nende tunnused. Paksus kirjas on järved, millesse on veetasemete automaatseire võrk juba rajatud. Punases kirjas on järved, mille veetasemete automaatseire alustamise ettepanek tehakse käesolevas töös

Jrk. nr	KKR kood	Nimi	Olulisuse põhjus	Seotud põhjaveekogum	VRD tüüp	Natura elupaigatüüp	Pindala (ha)	On veekogum
1	VEE2014100	Uljaste järv	Ürglooduse objekt, Natura järv, veekogum	06. O Ida-Viru	5	3110	63,2	jah
2	VEE2035100	Liivjärv (Jõuga Liivjärv)	Ürglooduse objekt (Jõuga järvestik), Natura järv	07. O Põlevkivibasseini	5	3110	1,7	ei
3	VEE2034900	Linajärv (Jõuga Linajärv)	Ürglooduse objekt (Jõuga järvestik), Natura järv	07. O Põlevkivibasseini	5	3110	1,0	ei
4	VEE2035000	Pesujärv (Jõuga Pesujärv)	Ürglooduse objekt (Jõuga järvestik), Natura järv	07. O Põlevkivibasseini		3110	1,8	ei
5	VEE2034700	Pikkjärv (Kõnnu Pikkjärv)	Natura järv (Kõnnu järvestik)	07. O Põlevkivibasseini		3140	1,9	ei
6	VEE2034800	Ümmargune järv (Kõnnu Ümmargune järv)	Natura järv (Kõnnu järvestik)	07. O Põlevkivibasseini	1	3140	1,5	ei
7	VEE2026200	Ahnejärv (Kurtna Ahnejärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	5	3110	5,8	ei
8	VEE2027200	Ahvenjärv (Kurtna Ahvenjärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru			2,0	ei
9	VEE2025600	Aknajärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	5	3110	8,6	ei

Jrk. nr	KKR kood	Nimi	Olulisuse põhjus	Seotud põhjaveekogum	VRD tüüp	Natura elupaiga-tüüp	Pindala (ha)	On vee-kogum
10	VEE2025300	Allikjärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru			0,1	ei
11	VEE2026800	Haugjärv (Kurtna Haugjärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	2	3130	1,7	ei
12	VEE2026000	Jaala järv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	5		19,3	ei
13	VEE2014900	Kastjärv (Kurtna Kastjärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru		3140	2,5	ei
14	VEE2024800	Kihljärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru			2,0	ei
15	VEE2026500	Kirjakjärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	2		13,8	ei
16	VEE2024700	Konnajärv (Kurtna Konnajärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	4		2,2	ei
17	VEE2027900	Konsu järv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), veekogum, Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru		3140	138,6	jah
18	VEE2015200	Kulpjärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru			0,6	ei
19	VEE2025700	Kuradijärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	5	3110	1,5	ei
20	VEE2027800	Kurtna Linajärv (Suur Linajärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	5	3160	0,8	ei
21	VEE2027700	Kurtna Väike Linajärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru		3160	0,4	ei
22	VEE2015000	Liivjärv (Kurtna Liivjärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	5	3110	4,7	ei
23	VEE2015300	Lusikajärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru			0,3	ei
24	VEE2026100	Martiska järv (Kurtna Martiska järv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	5	3110	3,0	ei
25	VEE2026300	Must-Jaala järv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru			1,1	ei
26	VEE2027000	Mustjärv (Kurtna Mustjärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru		3140	5,5	ei
27	VEE2025000	Mätasjärv (Kurtna Mätasjärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	4		0,5	ei
28	VEE2026700	Niinsaare järv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	2	3140	6,2	ei
29	VEE2025200	Nootjärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	2		5,1	ei
30	VEE2027400	Nõmme järv (Kurtna Nõmme järv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	2	3130	12,9	ei
31	VEE2024900	Pannjärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	2	3140	1,9	ei
32	VEE2028000	Peenjärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	3	3140	8,2	ei
33	VEE2026900	Peen-Kirjakjärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	2		9,5	ei

Jrk. nr	KKR kood	Nimi	Olulisuse põhjus	Seotud põhjaveekogum	VRD tüüp	Natura elupaiga-tüüp	Pindala (ha)	On vee-kogum
34	VEE2025500	Piirakajärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru			1,3	ei
35	VEE2026810	Punane järv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru			0,1	ei
36	VEE2025100	Ratasjärv (Kurtna Ratasjärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	1		0,4	ei
37	VEE2015100	Rääkjärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	2		5,0	ei
38	VEE2027600	Räätsma järv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	3	3140	15,8	ei
39	VEE2027500	Saarejärv (Kurtna Saarejärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	5	3160	6,4	ei
40	VEE2027300	Sisalikujärv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru			0,3	ei
41	VEE2025800	Suurjärv (Kurtna Suurjärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	3	3140	33,9	ei
42	VEE2027100	Särgjärv (Kurtna Särgjärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	3		2,4	ei
43	VEE2025900	Valgejärv (Kurtna Valgejärv)	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik), vee kogum, Natura järv Q kogumil	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	5	3110	8,5	jah
44	VEE2025400	Virtsiku järv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru			2,1	ei
45	VEE2026600	Väike-Niinsaare järv	Ürglooduse objekt (Kurtna järvestik)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru			0,6	ei
46	VEE2024200	Ratva järv	Natura järv	7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	2	3140	25,1	ei

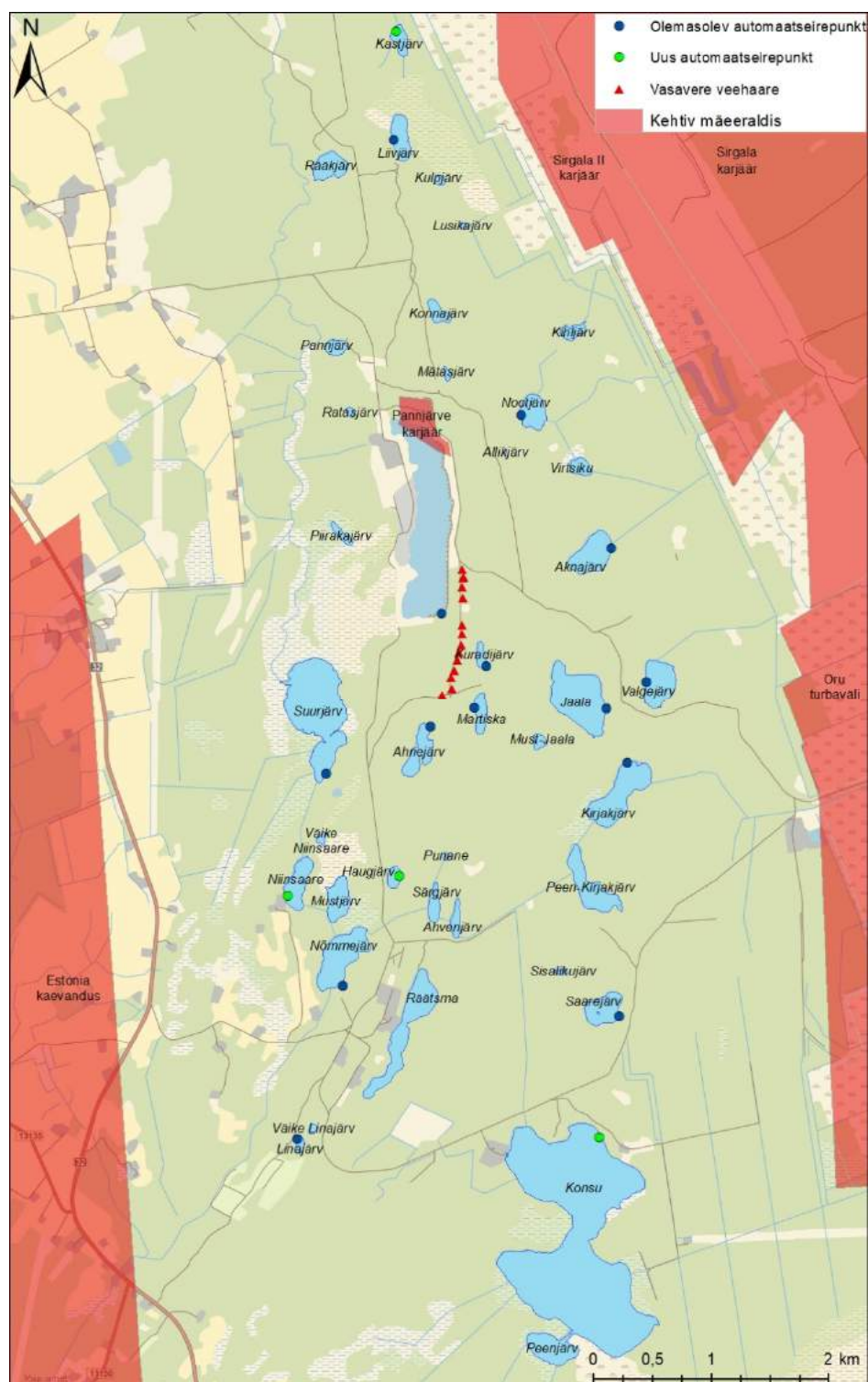
6.2. Kurtna järvestik

Kurtna järvestiku 13 järve ja Pannjärve karjääri (Tabel 6.1 ja Joonis 6.1) rajas Tartu ülikool 2015. aastal Keskkonnaameti tellimisel projekti “Järvede ja põhjaveekogumite veetasemete uuring Kurtna maastikukaitsealal” raames automaatanduritega varustatud seirevõrgu ning andis selle Keskkonnaametile üle (Kohv et al., 2015). Pidevseire algas 2015. aasta septembrist ning andurid registreerivad veetasemeid iga kolme tunni tagant.

Seirepunktide asukohavalikul oli eesmärgiks tagada piisava resolutsiooniga seirevõrk, mis oleks aluseks hüdrogeoloogilise uuringu läbiviimisel ja püsimudeli koostamisel, selgitamaks inimtegevuse mõju Kurtna maastikukaitseala (MKA) järvede veetasemetele ja hindamaks seda mõju konkreetsele järvele mõjutegurite kaupa. Konkreetsete järvede valikul lähtuti järgnevatest põhimõtetest:

- eeliskorras kasutatakse seireks umbjärv;
- valimis on MKA perimeetris ning keskosas paiknevate veekasutajate läheduses olevad järved, sest inimtegevuse avaldub neis veetaseme muutuse näol kõige kiiremini; seire on kõige tihedam eeldatavasti kõige tugevama kumulatiivse mõju piirkonnas – Suurjärve ja Valgejärve vahelisel transektil;
- valimis on esindatud järved, mille veetaseme muutused tulenevad valdavalt looduslikest mõjuritest (foonist);

d) seires olevad järved jagunevad suhteliselt ühtlaselt üle kogu MKA, mis võimaldab tulemusi paremini ekstrapoleerida ka valimisse mitte kuuluvatele, kuid MKA-le jäävatele järvedele. (Kohv et al., 2015)



Joonis 6.1. Kurtna järvestiku põhjaveekogumist sõltuvad järved, olemasolev veetasemete automatseirevõrk, järved, milles peaks alustama veetasemete automatseiret, kehtivate mäeeraldiste piirid ja Vasavere veehaarde puurkaevude paiknemine.

Lisaks automatseirevõrgule mõõdab AS Enefit Kaevandused vastavalt kinnitatud seirekavadele Kastjärve (alates 1997), Liivjärve (alates 1999), Saarejärve (alates 2017) ja Valgejärve (alates 2017) veetaset käsitsi kord kuus. Seega osaliselt toimub dubleeriv seire. Kolmetunnise intervalliga Keskkonnaameti hallatav seire on igal juhul informatiivsem ja olulisem kui AS Enefit Kaevanduste kuise intervalliga seire.

Järvestiku 39-st looduslikust järvest toimub seega veetasemete seire 14-s (13 automaatanduritega ja 1 käsitsi). Toimivat veetasemete automaatseiret tuleb kindlasti jätkata, et oleks võimalik operatiivselt registreerida võimalikke põhjaveekogumite veetaseme langustest tingitud järvede veetasemete languseid. Seirevõrku on haaratud nii Natura-elupaigatüüpi kuuluvaid kui mittekuuluvaid järvi, hõlmatud on üks kahest Kurtna järvestiku veekogumiks nimetatud järvest (Valgejärv) ning järvestiku ulatuses on seirepunktid jaotatud üsna ühtlaselt. Samas suuremas osas järvestiku järvedest praegu veetaset ei seirata. Järvestiku kõigi järvede veetaseme seireanduritega varustamine ei ole ka otstarbekas ja vajalik, kuna piisava katvusega seirevõrgu puhul saab järvestiku eri osadele avalduvaid võimalikke negatiivseid mõjusid adekvaatselt tuvastada ka lähedaste järvede veetasemete põhjal.

Kui lähtuda põhimõttest, et eelkõige ja kõige operatiivsemalt on oluline tuvastada võimalik põhjaveekogumi avaldatav negatiivne mõju veekogumiks või Natura elupaigaks nimetatud järvede puhul, siis on Kurtna järvestikus praegu üheksa neile kriteeriumitele vastavat järve, mille veetaset automaatanduritega ei seirata: Konsu järv (nii veekogum kui Natura järv), Peenjärv, Pannjärv, Kastjärv, Haugjärv, Niinsaare järv, Mustjärv, Räätsma järv ja Väike Linajärv. Järgnevalt on kaalutud veetasemete pidevseire vajadust iga järve puhul eraldi.

Konsu järv – nii veekogum kui Natura elupaigajärv (tüüp 3140). Kurtna järvestiku suurim järv, mis on muudetud sisuliselt reguleeritud veetasemega veehoidlaks, kuna sellesse suunatakse osa Estonia kaevandusest väljapumbatavast veest ning sellest pumbatakse Viru Keemia Grupp AS põlevkiviõli tehasese tehnoloogilist vett. Järv asub järvestiku lõunapiiril ning sellele võib hakata mõju avaldama Estonia kaevanduse liikumine ida poole ja Sirgala karjääri liikumine lõuna poole. Estonia kaevanduse mäeeraldise piir jääb järvest 3 km ja Sirgala karjääri mäeeraldise piir 1,5 km kaugusele. Olulisuse ja potentsiaalse mõjutatuse tõttu **on vajalik järves alustada veetasemete pidevseiret.**

Peenjärv – Natura elupaigatüüp 3140. Osades käsitlustes Konsu järve osa, kuna on Konsuga laia ja lühikese väina kaudu ühendatud. Kuna selle ühenduse tõttu on järve veetase Konsu järvega sama, siis **veetaseme seire järves ei ole vajalik.**

Pannjärv – Natura elupaigatüüp 3140. Väike, Kurtna järvestiku loodepiiril asuv järv, mis on ühendatud kraaviga Vasavere jõega. Sõltuvalt jõe ja järve veetasemetest võib vesi voolata jõest järve või vastupidi. Järv asub suletud Ahtme kaevandusest 1,3 km kaugusel, kuid kuna kaevandus on veega täitunud, siis põhjavee alandamise kaudu see järve jaoks enam survetegur ei ole. Järv jääb välja ka Vasavere veehaarde mõjupiirkonnast. Seega ei toimu praegu ega ole ka ette teada põhjaveekogumite koguselist seisu mõjutavaid tegevusi, mida võiks nimetada järve jaoks surveteguriteks. Üldisema veetaseme fooni seiramiseks sobib 700 m kaugusel asuv Pannjärve karjäär, millesse on seireandur paigaldatud. Seega **veetaseme seire Pannjärves ei ole hädavajalik.**

Kastjärv – Natura elupaigatüüp 3140. Kurtna järvestiku põhjapoolseim järv, omab nii pinnavee sisse- kui väljavoo. Asub 700 m kaugusel Sirgala karjääri mäeeraldise piirist. Seega on karjääri puhul tegemist põhjaveekogumi kaudu järvele mõju avaldava surveteguriga. Järves seirab kord kuus käsitsi veetaset AS Enefit Kaevandused. Kuna järv asub Sirgala karjääri lähedal ning karjääri veeärastus on võinud järve veetaset mõjutada, siis on järve veetaseme seiramise jätkamine järves oluline. Kogutud on 20 aasta pikkune andmerida ning kui kaevandamistööd Sirgala karjääri loodeosas lõpevad ja põhjaveetaset karjääris tõstetakse, siis on oluline jälgida, kas see hakkab avaldama mõju ka järve veetasemele. **Seega on veetaseme seire Kastjärves vajalik.** Järv tuleks lülitada teiste Kurtna järvestiku järvedega samasse automaatsesse veetasemete seirevõrku.

Haugjärv – Natura elupaigatüüp 3130. Umbjärv järvestiku edelaosas. Umbjärvena on eriti tundlik põhjaveetaseme muutustele. Potentsiaalselt võib järve veetaset ohustada lääne poolt lähenev Estonia kaevandus, kuigi Haugjärvest lääne poole jäävatele järvedele avaldub mõju pigem varem. Olulisem Haugjärvele põhjavee koguselise mõju kaudu avalduv survetegur on Vasavere veehaare,

mille alanduslehtri lõunapoolsele piirialale järv jääb (Pöder et al., 1996). Kuna tegemist on elupaigana väärtusliku järvega ning seda mõjutab Vasavere veehaare, siis **on veetaseme seire Haugjärves vajalik**.

Niinsaare järv – Natura elupaigatüüp 3140. Läbivooluga järv järvestiku edelaosas. Järve veetaset võib ohustada lääne poolt lähenev Estonia kaevandus. Estonia mäeeraldise piir jääb järvest 1,5 km kaugusele. Kuna tegemist on järvestiku edelaosas mäeeraldisele kõige lähemal asuva järvega, siis võimalik kaevanduse veeärastuse põhjaveetasel langetav mõju avaldub esimesena just Niinsaare järves. Elupaigaks olemise ja potentsiaalse mõju tõttu **on veetaseme seire Niinsaare järves vajalik**.

Mustjärv – Natura elupaigatüüp 3140. Läbivooluga järv järvestiku edelaosas Niinsaare järvest allavoolu ja Nõmmejärvest ülesvoolu. Järve veetaset võib ohustada lääne poolt lähenev Estonia kaevandus. Estonia mäeeraldise piir jääb järvest 1,9 km kaugusele. Kui veetaseme seirega alustatakse Niinsaare järves ning jätkatakse Nõmmejärves, **ei ole Mustjärves veetaseme seire hädavajalik**, kuna võimalik negatiivne mõju on tuvastatav Niinsaare ja/või Nõmmejärve veetasemete muutuste põhjal.

Räätsma järv – Natura elupaigatüüp 3140. Umbjärv järvestiku lõunaosas. Umbjärvena on eriti tundlik põhjaveetaseme muutustele. Tegemist on tõenäoliselt ainsa siderotroofse (rauatoitelise) järvega Eestis (Mäemets, 1977). Järve võib ohustada Estonia kaevanduse lähenemine lääne poolt. Mäeeraldise piir jääb järvest 2 km kaugusele. Hetkel on järve ja tulevase mäeeraldise piiri vahel kaevandusvett Nõmmejärve transportiv Raudi kanal. Kui kaevandusvee pumpamine kanalis peaks jätkuma ka kaevanduse jõudmisel oma idapiirini, siis võib kanal hakata toimima infiltratsioonikanalina ning hoida ida (sh. Räätsma järve) poole jäävat põhjaveetasel langemast. Kui jätkub veetasemete seire Linajärves ja Nõmmejärves ning algab Niinsaare järves, siis neis on lääne poolt avalduv võimalik mõju tuvastatav enne, kui see jõuab Räätsma järveni. Samas on nii Niinsaare kui Nõmmejärv läbivoolujärved, mille reageerimine põhjaveetaseme muutustele on pigem tagasihoidlikum. Linajärv on aga umbjärv ning asudes Räätsma järve lõunaotsast 600 m kaugusel, sobib ka Räätsma järvele avalduva võimaliku mõju tuvastamiseks. Seega **ei ole veetaseme seire Räätsma järves hädavajalik**.

Väike Linajärv – Natura elupaigatüüp 3160. Väike umbjärv järvestiku edelapiiril. Järve võib ohustada Estonia kaevanduse lähenemine lääne poolt. Mäeeraldise piir jääb järvest 1,5 km kaugusele. Kui jätkub veetaseme seire vaid 65 m edela pool asuvas Linajärves (samuti umbjärv) **ei ole Väike Linajärves veetaseme seire vajalik**.

Natura elupaigatüüpidesse mittekuuluvatest järvedest on põhjavett langetavatele surveteguritele kõige lähemal ning seetõttu neist ka kõige rohkem ohustatud **Kihljärv** järvestiku kirdeosas, vaid 500 m kaugusel Sirgala karjääri mäeeraldise ja juba reaalselt kaevandatud ala piirist. Seega oleks olnud vajalik ka Kihljärve veetaseme seire, kuid järv on juba jõudnud viimastel aastatel sisuliselt ära kuivada, mistõttu veetasel, mida seirata, enam ei ole (Joonised 6.2 ja 6.3).

Seega tuleks **Kurtna järvestikus veetasemete automaatset seiret alustada** lisaks olemasolevale 14 veekogule ka **Konsu, Kast-, Haug- ja Niinsaare järves** (Joonis 6.1).



Joonis 6.2. Kihljärv 2013. aasta kevadel (vasakul) ja 2016. aasta kevadel (paremal) Maa-ameti ortofotodel.



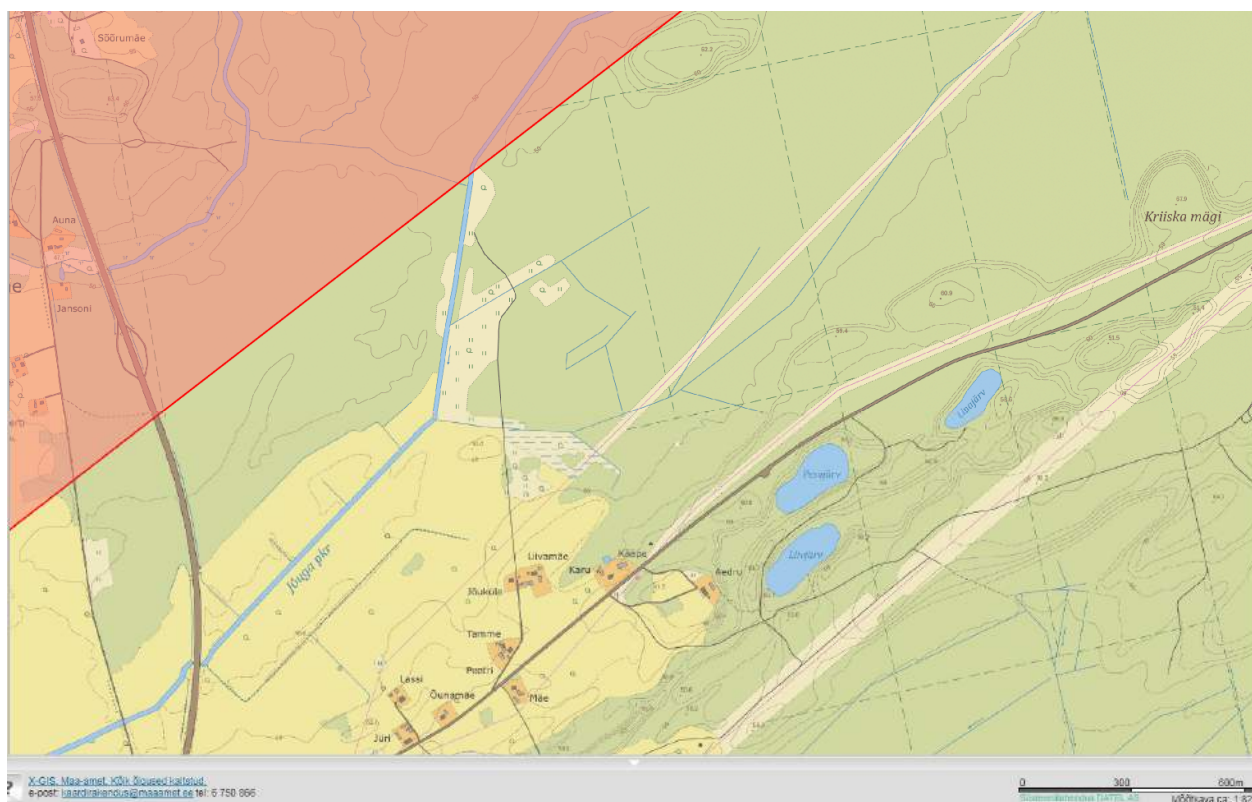
Joonis 6.3. Kihljärv 2018. aasta mais (Foto: Marko Vainu).

Ülejäänud neli Ida-Virumaa põhjaveekogumitega seotud järve/järvestikku on kõik põlevkivikaevandamisest tingitud põhjaveetaseme langusest potentsiaalselt ohustatud. Seega on vajalik alustada veetaseme seiret neis kõigis.

6.3. Jõuga järvestik

Jõuga järvestik koosneb kolmest üksteise lähedal (300 m raadiuses) paiknevast väikesest umbjärvest – Pesujärv (1,9 ha), Liivjärv (1,9 ha) ja Linajärv (1,1 ha) (Joonis 6.4). Kõik kolm järve on liigitatud väärtuslikku elupaigatüüpi 3110 ehk liiva-alade vähetoitelised järved ning nende veetüüp on pehme- ja heledaveeline (VRD tüüp V). Järved kuuluvad Alutaguse rahvusparki ja Jõuga loodusala territooriumile. Järvestikule põhjavee koguselise mõju kaudu avaldub surve seisneb Estonia kaevanduse lähenemises lääne suunalt. Mäeeraldise piir jääb sellele kõige lähemal asuvast järvest (Pesujärv) 1,1 km kaugusele (Joonis 6.4).

Otstarbekusest lähtuvalt piisab veetaseme seiramisest järvestiku ühes järves. Oluline põhjaveetaseme langusest tingitud veetaseme langus ühes, tooks kõigi eelduste kohaselt kaasa veetaseme langemise ka teistes. Kõige sobivamaks veetaseme seirejärveks on **Pesujärv**, kuna see asub Estonia kaevanduse mäeeraldisele kõige lähemal ning on ka järvedest suurim.



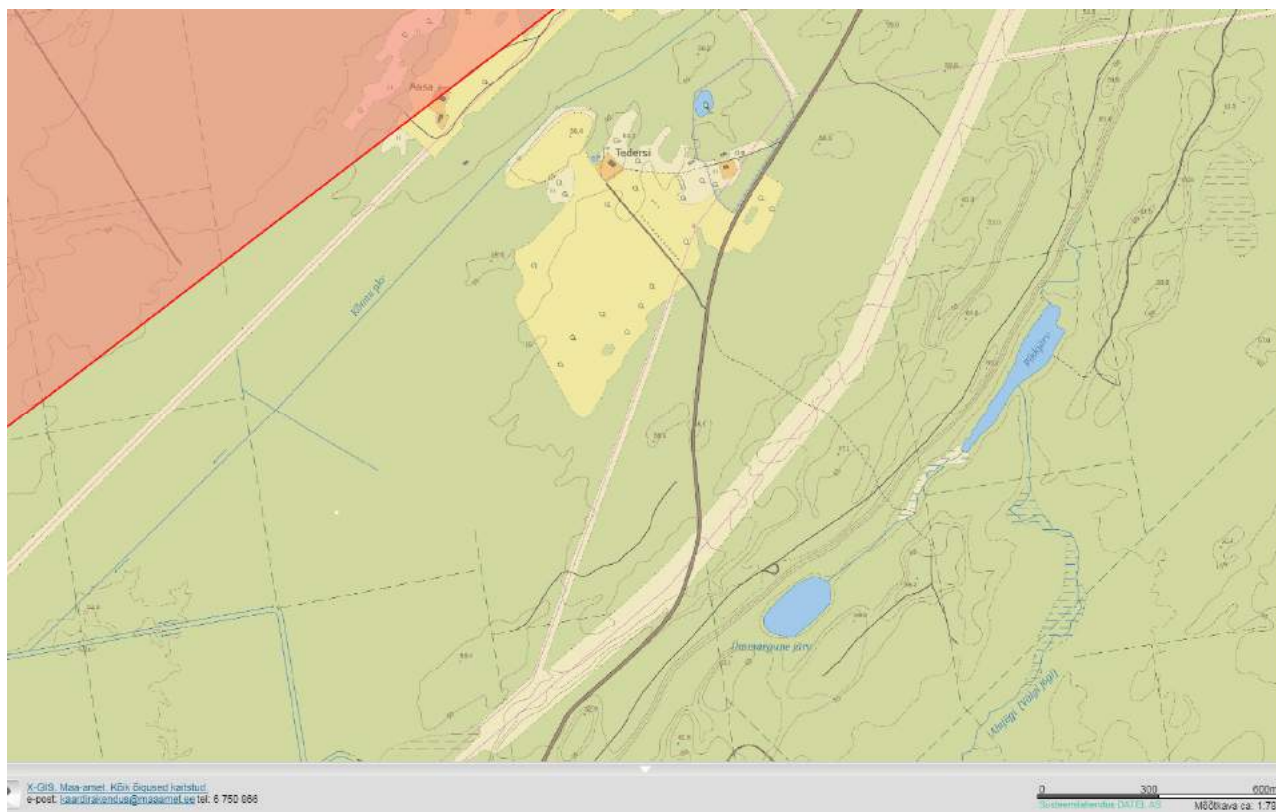
Joonis 6.4. Jõuga järvestik ja Estonia kaevanduse mäeeraldise piir (Maa-ameti kaardiserver, 2019).

6.4. Kõnnu järvestik

Kõnnu järvestik koosneb kahest üksteise lähedal paiknevast väikesest järvest – Pikkjärv (1,9 ha) ja Ümmargune järv (1,6 ha) (Joonis 6.5). Järvede vahemaa on 450 m. Ümmarguse järve puhul on tegemist lähtejärvega, millest voolab välja Pikkjärve suubuv oja. Pikkjärv järv on läbivoolujärv, see on lähteks Alajõe. Mõlemad järved on liigitatud Natura elupaigatüüpi 3140 kuuluvateks ning need asuvad Alutaguse rahvusparki ja Jõuga loodusala territooriumil. Kõnnu Ümmarguse järve veetüübiks on määratud kalgiveeline (VRD tüüp I), Pikkjärvele veetüüpi määratud ei ole (EELIS, 2019). Järvestikule põhjavee koguselise mõju kaudu avaldub surve seisneb Estonia kaevanduse lähenemises lääne suunalt. Mäeeraldise piir jääb järvedest 1,5 km kaugusele (Joonis 6.5).

Otstarbekusest lähtuvalt piisab veetaseme seiramisest järvestiku ühes järves. Oluline põhjaveetaseme langusest tingitud veetaseme langus ühes, tooks kõigi eelduste kohaselt kaasa

veetaseme langemise ka teises. Kõnnu järvestikus on veetaseme seireks sobivam **Ümmargune järv**, kuna see asub Pikkjärvest topograafiliselt kõrgemal, mistõttu võimalik põhjaveetaseme langus avaldaks esmalt mõju just sellele.

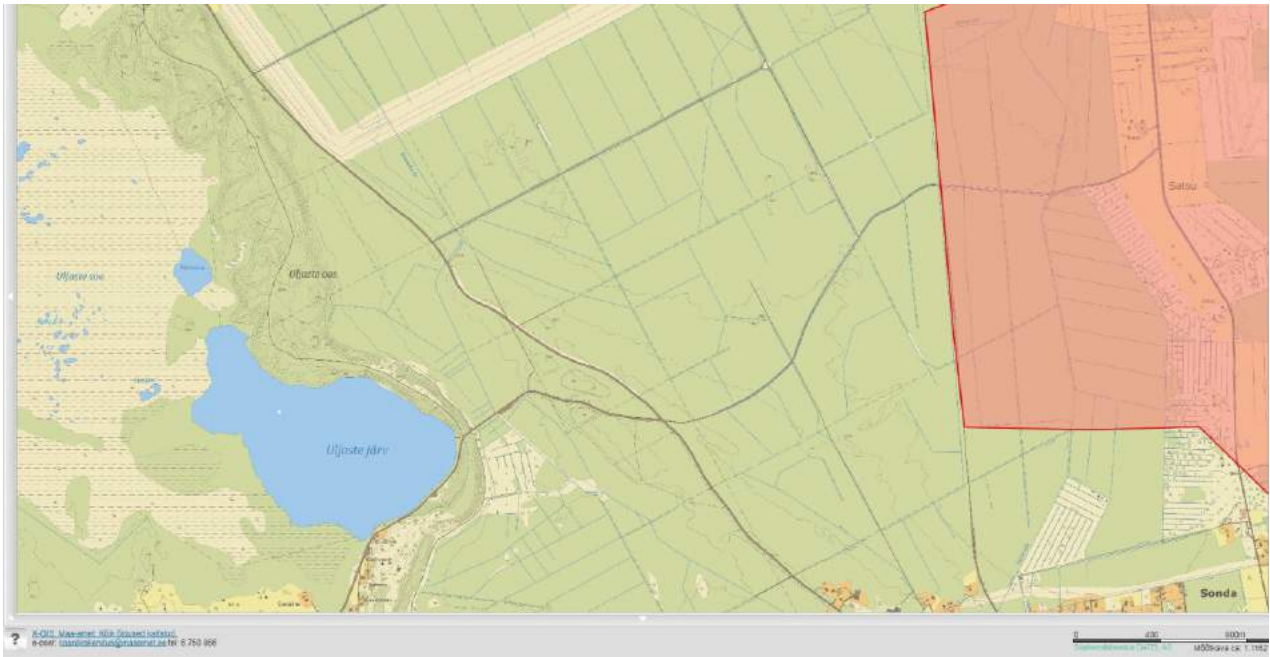


Joonis 6.5. Kõnnu järvestik ja Estonia kaevanduse mäeeraldise piir (Maa-ameti kaardiserver, 2019).

6.5. Uljaste järv

Uljaste järv (63 ha) kuulub väärtuslikku elupaigatüüpi 3110 ehk liiva-alade vähetoitelised järved ning on liigitatud ka veekogumiks. Järv on veetüübilt pehme- ja heledaveeline (VRD tüüp V) (EELIS, 2019). Järv asub Uljaste maastikukaitseala ja Uljaste loodusala territooriumil. Tegemist on umbjärvega, mistõttu on see põhjaveetaseme muutustele eriti tundlik. Järvele põhjavee koguselise mõju kaudu avalduv surve seisneb Põhja-Kiviõli II karjääri lähenemises ida suunalt. Mäeeraldise piir jääb järvest 2,3 km kaugusele (Joonis 6.6).

Põhja-Kiviõli II karjääris kaevandavale Kiviõli Keemiatööstuse OÜ-le on kaevandamisloaga KMIN-105 pandud kohustus kontrollida kord kvartalis Uljaste järve veetaset. Tegelikult toimub veetaseme seire alates 2016. aastast kord kuus ning seda viib läbi Keskkonnaagentuur. Põhjaveetaseme muutuste võimaliku mõju usaldusväärsemaks väljaselgitamiseks, et oleks võimalik tuvastada kas hüpoteetiliselt registreeritavad veetaseme muutused on tingitud ilmastikuoludest või karjääri põhjaveearastusega kaasnevast põhjaveetaseme langusest, on vajalik Uljaste järve veetaseme seire automatiseerida.

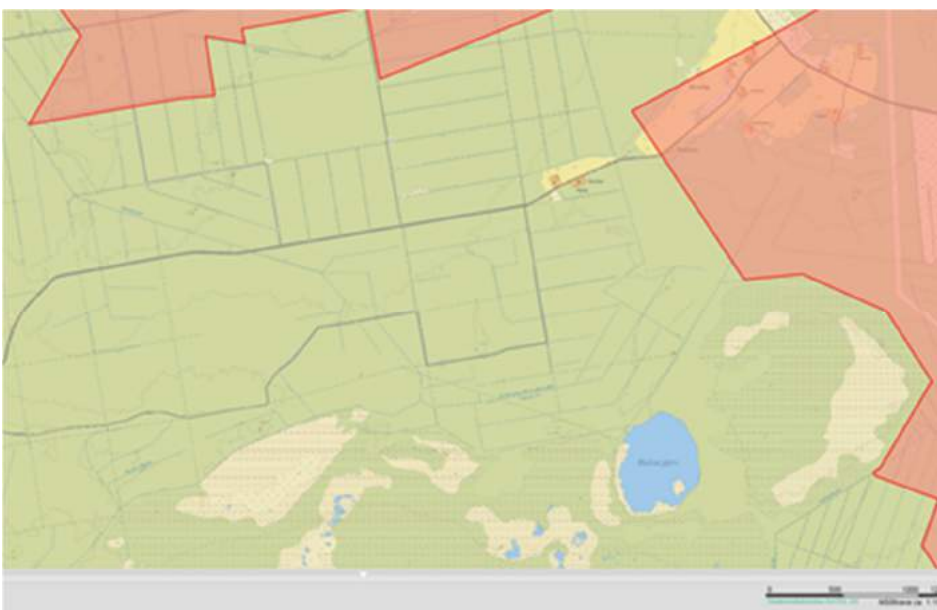


Joonis 6.6. Uljaste järv ja Põhja-Kiviõli II karjääri mäeeraldise piir (Maa-ameti kaardiserver, 2019).

6.6. Ratva järv

Ratva järv kuulub elupaigatüüpi 3140 ehk vähe- ja kesktoitelised kalgiveelised järved. Järv on veetüübilt keskmise karedusega kihistumata järv (VRD tüüp II) (EELIS, 2019) või pehme- ja tumedaveeline järv (VRD tüüp IV) (Ott, 2009b). Järv asub Muraka looduskaitseala ja Muraka loodusala territooriumil. Tegemist on umbjärvega, millele rajati 20. sajandi alguses väljavoolukraav. Tänapäeval on kraav paisuga suletud ning pinnavee väljavool järvest puudub. Järvele põhjavee koguselise mõju kaudu avaldub surve seisneb Estonia kaevanduse lähenemises ida suunalt ja Ojamaa kaevanduse lähenemises põhja suunalt. Mäeeraldiste piirid jäävad järvest vastavalt 1 ja 2,7 km kaugusele (Joonis 6.7).

Vastavalt Ojamaa kaevanduse pinnavee kontrollseirekavale teostab Tallinna Tehnikaülikool OÜ VKG Kaevandused tellimusel kord kvartalis Ratva järve veetaseme seiret. Põhjaveetaseme muutuste võimaliku mõju usaldusväärsemaks väljaselgitamiseks, on vajalik Ratva järve veetaseme seire automatiseerida.



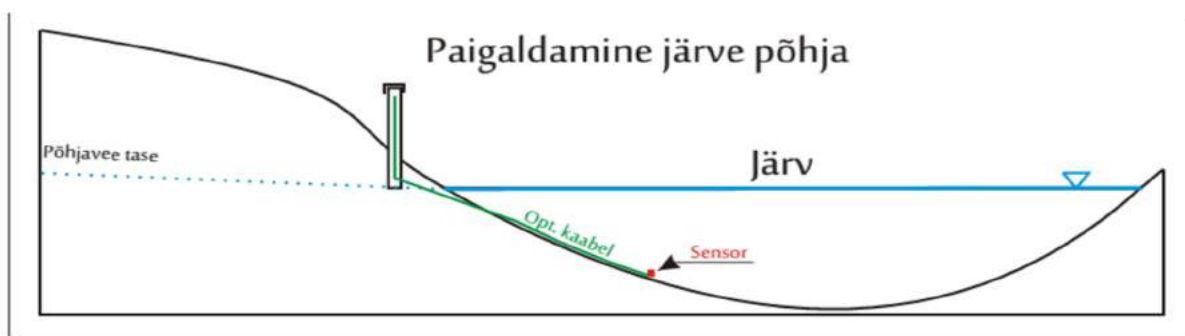
Joonis 6.7. Ratva järv ning Ojamaa ja Estonia mäeeraldise piirid (Maa-ameti kaardiserver).

6.7. Veetasemete seiremetoodika

Järvede veetasemete seiremetoodika puhul on soovitatav lähtuda aruandes “Järvede ja põhjaveekogumite veetasemete uuring Kurtna maastikukaitsealal” (Kohv et al., 2015) kirjeldatust. Seiramiseks installeeritakse seirepunktidesse automaatandurid, mis võimaldavad registreerida veesamba rõhku ja vee temperatuuri. Veerõhuandur koosneb rõhusensorist, temperatuurisensorist, akust ja salvestusseadmest. Korrektselt veetaseme arvutamiseks on vajalik veesamba rõhu andmestiku kompenseerimine õhurõhu suhtes. Õhurõhu muutused registreeritakse eraldi baroanduriga, mis paigaldatakse seirataivate järvede lähedusse või kasutatakse lähimas Riigi Ilmateenistuse meteoroloogiajaamas registreeritud andmeid. Baroanduriga registreeritud õhurõhuandmed on kasutatavad mitmekümne kilomeetri tsoonis ümber mõõtja (Kohv et al., 2015), mistõttu Kurtna, Jõuga ja Kõnnu järvestiku puhul on võimalik kasutada Jõhvi meteoroloogiajaama õhurõhuandmeid. Uljaste järve puhul tuleb aga paigaldada iseseisev baroandur. Mõõteseadmed ei vaja installeerimise järgselt hooldust, piisab andmete mahalaadimisest vastavalt vajadusele.

Automaatandurid paigaldatakse kas otse järve piisavale sügavusele (Joonis 6.8) või järve kaldale käsipuuriga rajatud filtriga varustatud mõõtepunkti. Järve paigaldatud andur peab olema järve põhjas fikseeritud raskuse külge/kohale nii, et oleks tagatud logeri paiknemine põhjasette kohal veesambas. Järve paigaldatud anduri sensor ühendatakse optilise kaabliga, mille ots ulatub kaldale. See võimaldab andmete mahalaadimist ning anduri seadistamist viimast veekogust füüsiliselt eemaldamata. Kaldavööndis (kuni 1 m sügavusel) tuleb kaabel viia pinnasesse, vältimaks anduri liikumist näiteks jää mõjul.

Võimalusel tuleks eelistada optilise kaabliga järve põhja viidud andureid kaldalähedast põhjaveetasest mõõtvate andurite asemel, kuna sel viisil on mõõdetud veetasemed üks-üheselt seostatavad järvede veetasemetega. Nagu selgus olemasoleva seirevõrgu rajamisel (Kohv et al., 2015), võib ka kaldale väga lähedale, kuid siiski põhjaveekihti rajatud seirekaevude puhul erineda veetase kaevus järve veetasemest mitmekümne sentimeetri võrra.



Joonis 6.8. Automaatanduri järve põhja paigaldamise põhimõtteline skeem (kooperitud joonis Kohv et al., 2015).

Hetkel on automaatanduritega varustatud Kurtna järvede veetasemete seireintervall 3 h. Sellise tihedusega seire on kahtlemata vajalik läbiviidava hüdrogeoloogilise uuringu jaoks lähteandmete kogumiseks, kuid veetasemete ülevaataseireks piisab ka pikemast intervallist. Eelkõige on pikema intervalli eeliseks seirevõrgu madalamad ülalpidamiskulud, kuna harvema logimissageduse juures kestavad automaatandurite akud kauem. Samuti on kogunev andmemassiiv väiksema mahu juures paremini hallatav. Seega on soovitatavaks **mõõtesageduseks neli korda ööpäevas ehk iga kuue tunni tagant**. Ööpäeva jooksul kogutavad neli veetaseme kõrgust võimaldavad leida usaldusväärsed ööpäeva keskmised veetasemed ka juhul, kui mõni mõõtmine osutub vigaseks või satub mõõtmishetkel anduri kohale näiteks lainehari. Kehtivate ettevõtete keskkonnalubadega sätestatud kord kuus või kord kvartalis mõõdetavate veetaseme andmete põhjal on keeruline eristada piisavalt suure usaldusväärsuse ja täpsusega juhuslikke veetaseme muutuseid kaevanduste/karjääride põhjustatud veetaseme muutustest.

7. Põhjaveekogumitest sõltuvate ökosüsteemide keskkonnaeesmärkide täitmine

Lähteülesanne: Loetleda, millised põhjaveekogumite veest sõltuvad ökosüsteemid Eestis ei saavuta tõenäoliselt aastaks 2027 keskkonnaeesmärke ja kirjeldada inimtekkelisi koormusi, mis takistavad keskkonnaeesmärkide saavutamist. Tellijaga täpsustati, et tegevusega ei eeldata uusi keskkonnaeesmärkide täitmise hinnanguid või koormusallikate analüüsimist, vaid kasutatakse olemasolevaid keskkonnaeesmärkide ja koormuste nimekirju.

Aastaks 2027 (ja 2021) on keskkonnaeesmärgid kehtestatud vaid veekogumitele. Maismaaökosüsteemidele, mille kaitset Euroopa Liidu tasandil reguleerib Loodusdirektiiv (92/43/EMÜ), sarnaseid tähtaegu kehtestatud ei ole ning nende puhul tuleb tagada elupaigatüüpide soodne seisund riigis pidevalt läbi toimiva kaitsealade võrgustiku. Seega hinnati keskkonnaeesmärkide täitmist vaid veekogumiteks nimetatud põhjaveest sõltuvate seis- ja vooluveekogude puhul, millele on keskkonnaeesmärgid veemajanduskavade kehtestatud. Analüüsi aluseks olid veemajanduskomisjonis kinnitatud veekogumite 2017. aasta seisundihinnangud (Andresson et al., 2018), perioodi 2015–2021 veemajanduskavad (Keskkonnaministeerium, 2016a), veemajanduskavade meetmeprogrammi lisa 1 koormusallikate kohta (Keskkonnaministeerium, 2016b) ning vooluveekogumite hüdro-morfoloogilise seisundi värskeimad kinnitatud hinnangud (Loigu et al. 2014; Andresson et al., 2018).

7.1. Põhjaveekogumitest sõltuvad vooluveekogud

Terasmaa et al. (2015) järgi on põhjaveekogumitest oluliselt sõltuvaid vooluveekogumeid Eestis 114. Neist 31 koondseisund oli 2017. aasta seisuga hea ja 83 seisund kesine või halb (Tabel 7.1). **Kogumitest, mille seisund oli kesine või halb, 22 puhul oli mitteheas seisundis element või näitaja, millele võib olla põhjavee kvaliteedil otsene mõju.** Need on füüsikalise-keemiline seisundielement (FYKE) ja selle näitajad N_{üd}, P_{üd} ning NH₄⁺; vesikonnaspetsiifiliste saasteainete seisundielement (SPETS) ja/või keemiline seisund (KESE). Tuleb juhtida tähelepanu, et kuigi saasteained võivad kanduda veekogusse ka põhjaveega, ei tähenda põhjaveekogumist sõltuva vooluveekogumi mitteheas seisundis olemine nende elementide põhjal, et ebasoovitavad ained on toonud kindlalt kaasa just põhjavesi. Ainete tegeliku päritolu väljaselgitamine nõuab asjakohaseid uuringuid.

Põhjaveekogumil võib olla negatiivne mõju ka vooluveekogu hüdro-morfoloogilisele seisundi veerežiimi elemendile. Analüüsitud vooluveekogumitest kahe puhul oli viimase hindamise ajal 2014. aastal hüdro-morfoloogilise seisundi veerežiimi element halvem kui hea, kuid ühel juhul (Sõtk_3) oli põhjuseks pais ja teisel juhul (Mustajõgi) kaevanduvee pumpamine jõkke, mis kumbki ei ole põhjaveekogumi kaudu avaldub mõju. Paljudel veekogumitel on aga hüdro-morfoloogiline seisund 2019. aasta alguse seisuga veel hindamata. Seega olemasolevate ametlike andmete põhjal ei ole põhjust kahtlustada põhjaveekogumi koguselise seisundi negatiivset mõju ühelegi Eesti vooluveekogumi seisundile.

Neist 22st põhjaveest sõltuvast vooluveekogumist, mille seisundit võib olla mõjutanud põhjavee kvaliteet, 11 juhul on hea seisundi saavutamise tähtaega perioodi 2015–2021 veemajanduskavades pikendatud 2027. aastani. Üheksal juhul loodetakse hea seisund saavutada 2021. aastaks. Kaks vooluveekogumit olid veemajanduskavade koostamise perioodil heas seisundis, mistõttu nende puhul pole hinnatud, kas hea seisund on võimalik saavutada uuesti 2021. või 2027. aastaks.

Need 11 põhjaveekogumist sõltuvat vooluveekogumit, mille seisund on halvem kui hea potentsiaalselt põhjavee poolt mõjutatud elemendi tõttu ning mille hea seisundi saavutamise tähtaega on pikendatud 2027. aastani, on järgmised:

- 1) Kavilda_1 – mittehea seisundi põhjused: FYKE, (FYBE, SUSE), põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatavad näitajad: $P_{\text{üld}}$, $N_{\text{üld}}$ ja NH_4^+ . Koormusallikatena on nimetatud hajukoormust haritavalt maalt ja hajukoormust põllumajandusmaalt kuivendussüsteemide kaudu.
- 2) Mõra oja – mittehea seisundi põhjused: FYKE, (SUSE), põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatav näitaja: $P_{\text{üld}}$. Koormusallikatena on nimetatud reoveepuhastit, hajukoormust haritavalt maalt, hajukoormust loomakasvatushoonetest tulenevatest leketest ning hajukoormust põllumajandusmaalt kuivendussüsteemide kaudu.
- 3) Piusa_2 – mitteheas seisundi põhjus: SPETS, põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatav näitaja: Ba. Koormusallikatena on nimetatud reoveepuhastit ja ebaselget koormust.
- 4) Purtse_3 – mittehea seisundi põhjused: KESE, (KALA), põhjavee poolt mõjutatav näitaja: diklorometaan. Koormusallikana on nimetatud hajukoormust endistest tööstusaladest või tööstusobjektidest.
- 5) Pärnu_3 – mittehea seisundi põhjused: SPETS, KESE, (KALA), põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatavad näitajad: Zn ja Hg elustikus. Koormusallikatena on nimetatud reoveepuhasteid ja ebaselget koormust.
- 6) Selja_1 – mittehea seisundi põhjus: SPETS, põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatav näitaja: 1-aluselised fenoolid. Koormusallikatena on nimetatud reoveepuhastit ja ebaselget koormust.
- 7) Sõmeru – mittehea seisundi põhjus: SPETS, (KALA), põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatav näitaja: 1-aluselised fenoolid. Koormusallikatena on nimetatud reoveepuhastit, muud suublasse juhivat heitvett ning ebaselget koormust.
- 8) Sõtke_1 – mittehea seisundi põhjused: SPETS, (FYKE, KALA), põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatav näitaja: Ba. Koormusallikaid veemajanduskavas nimetatud ei ole, kuna selle koostamise ajal ei olnud vesikonnaspetsiifiliste saasteallikatega probleeme.
- 9) Vasavere – mittehea seisundi põhjused: FYKE, (SUSE), põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatavad näitajad: $P_{\text{üld}}$ ja NH_4^+ . Koormusallikatena on nimetatud reoveepuhastit ja hajukoormust haritavalt maalt.
- 10) Võsu – mittehea seisundi põhjused: FYKE, (KALA), põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatav näitaja: $P_{\text{üld}}$. Koormusallikaid veemajanduskavas nimetatud ei ole.
- 11) Vääna_2 – mittehea seisundi põhjus: FYKE, põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatavad näitajad: $N_{\text{üld}}$ ja $P_{\text{üld}}$. Koormusallikatena on nimetatud reoveepuhastit, hajukoormust haritavalt maalt, hajukoormust loomakasvatushoonetest tulenevatest leketest, hajukoormust põllumajandusmaalt kuivendussüsteemide kaudu, muud hajukoormust ja ebaselget koormust.

Need kaks põhjaveekogumist sõltuvat vooluveekogumit, mille seisund on halvem kui hea potentsiaalselt põhjavee poolt mõjutatud elemendi tõttu ning mille uuesti hea seisundi saavutamise tähtaega pole seatud ega koormusallikaid kaardistatud, on järgmised:

- 1) Jägala_6 – mittehea seisundi põhjused: KESE, (SUSE, KALA), põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatav näitaja: naftasaadused.
- 2) Toolse_1 – mittehea seisundi põhjused; SPETS, (KALA), põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatav näitaja: Ba.

Tabel 7.1. Põhjaveest sõltuvad vooluveekogumid, nende seisundihinnangud, mittehea seisundi põhjused ja hea seisundi saavutamise eesmärgid. Veekogumite ÖSE ja KESE seisundid 2017. aasta seisuga Andresson et al. (2018), hea seisundi saavutamise eesmärgid Keskkonnaministeerium (2016a), koormuste põhjused Keskkonnaministeerium (2016b), HYMO seisundid 2014. aasta seisuga Loigu et al. (2014). Rohelise taustaga on heas seisundis vooluveekogumid; helehalli taustaga on mitteheas seisundis vooluveekogumid, mille seisund ei ole tingitud põhjavee poolt mõjutatavast kvaliteedielemendist ja mille hea seisundi saavutamise tähtaeg on 2021, tumehalli taustaga on eelmisele sarnased vooluveekogumid, mille hea seisundi saavutamise tähtaeg on 2027 või pole seda määratud; helekollase taustaga on mitteheas seisundis vooluveekogumid, mille seisund on tingitud põhjavee poolt mõjutatavast kvaliteedielemendist ja mille hea seisundi saavutamise tähtaeg on 2021, tumekollase taustaga on eelmisele sarnased vooluveekogumid, mille hea seisundi saavutamise tähtaeg on 2027 või pole seda määratud

Veekogumi kood	Veekogumi pikk nimi	Vee-kogumi lühinimi	Seotud põhjaveekogum I	Seotud põhjaveekogum II	Koond-seisund 2017	Mittehea ÖSE element	Mittehea FYKE või SPETS näitaja	Mittehea KESE	Mittehea KESE näitaja	Hea seisundi saavutamise tähtaeg	Koormuse põhjus ¹	Mittehea HYMO veerežiim	Mittehea veerežiimi põhjus
1047200_1	Ahja Hilba jõeni	Ahja_1	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas	37. Q Piigaste-Kanepi	kesine	KALA				2021			
1047200_2	Ahja Hilba jõest Kiidjärve paisjärveni	Ahja_2	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas	37. Q Piigaste-Kanepi	kesine	KALA				2027			
1047200_3	Ahja Kiidjärve paisjärve algusest Saesaare paisuni	Ahja_3	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas		kesine	KALA				2021			
1047200_4	Ahja Saesaare paisust suudmeni	Ahja_4	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas		hea								
1036500_1	Elva Kaarnaajani	Elva_1	36. Q Otepää		hea								
1036200_2	Elva Kaarnaajast suudmeni	Elva_2	36. Q Otepää	35. Q Elva	kesine	KALA, SPETS	Ba			2021			
1124100_1	Esna Pärnu Jõe Natura ala alguseni	Esna_1	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas	12. S-O Pärnu	kesine	KALA				2021			
1124100_2	Esna Pärnu Jõe Natura ala algusest suudmeni	Esna_2	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas	12. S-O Pärnu	kesine	KALA				2027			
1047600_1	Hilba	Hilba	37. Kvaternaari Piigaste-Kanepi		hea								
1005100_1	Iskna	Iskna	38. Kvaternaari Võru		hea								

Veekogumi kood	Veekogumi pikk nimi	Vee-kogumi lühinimi	Seotud põhjaveekogum I	Seotud põhjaveekogum II	Koond-seisund 2017	Mittehea ÖSE element	Mittehea FYKE või SPETS näitaja	Mittehea KESE	Mittehea KESE näitaja	Hea seisundi saavutamise tähtaeg	Koormuse põhjus ¹	Mittehea HYMO veerežiim	Mittehea veerežiimi põhjus
1087900_1	Jõelähtme Silmsi ojani	Jõelähtme_1	10. S-O Harju		hea								
1087900_2	Jõelähtme Silmsi oja karstini	Jõelähtme_2	10. S-O Harju		hea								
1087900_3	Jõelähtme karstist suudmeni	Jõelähtme_3	10. S-O Harju		halb	SUSE, KALA				2027			
1083500_1	Jägala Ambla jõeni	Jägala_1	10. S-O Harju	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas	kesine	KALA				2021			
1083500_2	Jägala Ambla jõest Aavojani	Jägala_2	10. S-O Harju	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas	kesine	KALA				2021			
1083500_3	Jägala Aavojast Soodla jõeni	Jägala_3	10. S-O Harju	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas	kesine	KALA				2021			
1083500_4	Jägala Soodla jõest Jägala joani	Jägala_4	10. S-O Harju	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas	kesine	KALA				2027			
1083500_5	Jägala Jägala joast Linnamäeni	Jägala_5	10. S-O Harju	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas	halb	KALA				2021			
1083500_6	Jägala Linnamäelt suudmeni	Jägala_6	10. S-O Harju	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas	halb	SUSE, KALA		KESE	nafta-saadused	VMK koostamise ajal oli heas seisundis	VMK koostamise ajal oli heas seisundis		
1036800_1	Kaarnaaja	Kaarnaaja	36. Q Otepää		kesine	FYKE, KALA	P _{üld} , NH ₄ ⁺			2021			
1027200_1	Kaave	Kaave	16. S-O Adavere-Põltsamaa		hea								
1107000_1	Kasari lähtest Vardi jõeni	Kasari_1	11. S-O Matsalu		kesine	KALA				2027			
1107000_2	Kasari Vardi jõest Vigala jõeni	Kasari_2	11. S-O Matsalu		kesine	SUSE, KALA				2027			
1036200_1	Kavilda Kentsi paisjärveni	Kavilda_1	35. Q Elva		halb	FYKE, FYBE, SUSE	P _{üld} , N _{üld} , O ₂ , NH ₄ ⁺			2027	Hajukoormus haritavalt maalt, hajukoormus põllumajandus-maalt kuivendus-süsteemide kaudu		

Veekogumi kood	Veekogumi pikk nimi	Vee-kogumi lühinimi	Seotud põhjaveekogum I	Seotud põhjaveekogum II	Koond-seisund 2017	Mittehea ÖSE element	Mittehea FYKE või SPETS näitaja	Mittehea KESE	Mittehea KESE näitaja	Hea seisundi saavutamise tähtaeg	Koormuse põhjus ¹	Mittehea HYMO veerežiim	Mittehea veerežiimi põhjus
1036200_2	Kavilda Kentsi paisjärvest suudmeni	Kavilda_2	35. Q Elva		kesine	KALA				2021			
1096100_1	Keila Atla jõeni	Keila_1	10. S-O Harju		kesine	KALA				2027			
1096100_2	Keila Atla jõest Keila joani	Keila_2	10. S-O Harju		kesine	KALA				2021			
1158400_1	Kolga	Kolga	39. Q Ruusmäe-Krabi		hea								
1052600_1	Kullavere Imukvere ojani	Kullavere_1	32. Q Sadala		hea								
1052600_2	Kullavere Imukvere oja suudmeni	Kullavere_2	32. Q Sadala		kesine	KALA				2027			
1072900_1	Kunda Ädara jõeni	Kunda_1	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas		kesine	FYKE, KALA	O ₂			2021			
1072900_2	Kunda Ädara jõest Kunda III paisuni	Kunda_2	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas		kesine	KALA				2021			
1072900_3	Kunda I ja III paisu vahel	Kunda_3	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas		kesine	KALA				2021			
1011100_1	Laatre Laatre paisuni	Laatre_1	36. Q Otepää		hea								
1039600_1	Laeva Loksu pkr-ni	Laeva_1	34. Q Saadjärve		kesine	KALA				-			
1047900_1	Leevi Järvemäe ojani	Leevi_1	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas		kesine	KALA				2027			
1082100_1	Loo	Loo	30. Q Kuusalu		hea								
1077900_1	Loobu Udriku ojani	Loobu_1	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas	kesine	KALA				2021			
1077900_2	Loobu Udriku oja suudmeni	Loobu_2	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas	13. S-O Ida-Eesti vesikonnas	kesine	KALA				2021			
1173500_1	Löve	Löve	9. S Saaremaa		kesine	KALA				2021			

Veekogumi kood	Veekogumi pikk nimi	Vee-kogumi lühinimi	Seotud põhjaveekogum I	Seotud põhjaveekogum II	Koond-seisund 2017	Mittehea ÖSE element	Mittehea FYKE või SPETS näitaja	Mittehea KESE	Mittehea KESE näitaja	Hea seisundi saavutamise tähtaeg	Koormuse põhjus ¹	Mittehea HYMO veerežiim	Mittehea veerežiimi põhjus
1008400_1	Marguse	Marguse oja	36. Q Otepää		hea								
1045700_1	Mõra	Mõra	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas		kesine	KALA				2027			
1025100_1	Mõra	Mõra oja	13. S-O Ida-Eesti vesikonnas	33. Q Laiuse	halb	FYKE, SUSE	P _{üld}			2027	Alla 2000 ie reoveepuhasti, hajukoormus haritavalt maalt, hajukoormus loomakasvatushoonetest tulenevatest leketest, hajukoormus põllumajandus-maalt kuivendus-süsteemide kaudu		
1063800_1	Mustajõgi	Mustajõgi	7. O Ida-Viru põlevkivibasseini	27. Q Vasavere	kesine	KALA				2021		halb	Kaevandus -vee sisse-juhtimine
1154800_1	Mustjõgi Antsla-Litsmetsa teeni	Mustjõgi_1	25. D2 Koiva vesikonnas		hea								
1164000_1	Nuutri	Nuutri	8. S-O Hiiumaa		kesine	FYKE, FYBE, KALA	P _{üld} , BHT, NH ₄ ⁺			2021			
1008700_1	Nüpli	Nüpli	36. Q Otepää		hea								
1001900_1	Obinitsa	Obinitsa	26. D3		halb	KALA				2021			
1071900_1	Pada Tüükri kr-ni	Pada_1	13. S-O Ida-Eesti vesikonnas		kesine	KALA				2021			
1071900_2	Pada Tüükri kr-st suudmeni	Pada_2	13. S-O Ida-Eesti vesikonnas		kesine	FYBE, SUSE				2021			
1023700_1	Pedja Karaski ojani	Pedja_1	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas	13. S-O Ida-Eesti vesikonnas	kesine	KALA				2021			
1023700_2	Pedja Karaski oja st Puurmani paisuni	Pedja_2	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas	13. S-O Ida-Eesti vesikonnas	kesine	KALA				2027			
1023700_3	Pedja Puurmani paisust suudmeni	Pedja_3	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas		kesine	SUSE				VMK koostamise ajal oli heas seisundis			

Veekogumi kood	Veekogumi pikk nimi	Vee-kogumi lühinimi	Seotud põhjaveekogum I	Seotud põhjaveekogum II	Koond-seisund 2017	Mittehea ÖSE element	Mittehea FYKE või SPETS näitaja	Mittehea KESE	Mittehea KESE näitaja	Hea seisundi saavutamise tähtaeg	Koormuse põhjus ¹	Mittehea HYMO veerežiim	Mittehea veerežiimi põhjus
1168900_1	Pidula	Pidula	9. S Saaremaa		kesine	KALA				2021			
1089200_3	Pirita Kuivajõest Vaskjalani	Pirita_3	10. S-O Harju		halb	KALA				2021			
1089200_4	Pirita Vaskjalalt suudmeni	Pirita_4	10. S-O Harju		halb			KESE	Hg ja selle ühendid	2021			
1000200_1	Piusa Kiviojani	Piusa_1	26. D3	38. Q Võru	hea								
1000200_2	Piusa Kiviojast suudmeni	Piusa_2	26. D3	38. Q Võru	kesine	SPETS	Ba			2027	Alla 2000 ie reoveepuhasti, ebaselge koormus		
1044400_1	Porijõgi Lalli paisuni	Porijõgi_1	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas		kesine	KALA				2021			
1125700_1	Prandi Neeva kanalini	Prandi_1	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas		hea								
1125700_2	Prandi Neeva kanalist suudmeni	Prandi_2	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas		hea								
1031500_2	Preedi Vahujõest suudmeni	Preedi_2	13. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas		hea								
1068200_3	Purtse Püssi paisust Viru HEJ paisuni	Purtse_3	7. O Ida-Viru põlevkivibasseini		halb	KALA		KESE	Diklorome taan	2027	Hajukoormus endistest tööstusala-dest või tööstusobjektidest		
1068200_4	Purtse Viru HEJ paisust suudmeni	Purtse_4	7. O Ida-Viru põlevkivibasseini		kesine	MAFY, KALA				2027			
1013100_1	Purtsi	Purtsi	36. Q Otepää		hea								
1030000_1	Põltsamaa Ilmandu jõeni	Põltsamaa_1	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas	13. S-O Ida-Eesti vesikonnas	kesine	FYKE, KALA, SUSE	N _{oid} , P _{üid}			2021			
1030000_2	Põltsamaa Ilmandu jõest Päinurme jõeni	Põltsamaa_2	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas	13. S-O Ida-Eesti vesikonnas	halb	KALA				2021			
1030000_3	Põltsamaa Päinurme jõest	Põltsamaa_3	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas	13. S-O Ida-Eesti vesikonnas	kesine	KALA				VMK koostamise ajal oli heas			

Veekogumi kood	Veekogumi pikk nimi	Vee-kogumi lühinimi	Seotud põhjaveekogum I	Seotud põhjaveekogum II	Koond-seisund 2017	Mittehea ÖSE element	Mittehea FYKE või SPETS näitaja	Mittehea KESE	Mittehea KESE näitaja	Hea seisundi saavutamise tähtaeg	Koormuse põhjus ¹	Mittehea HYMO veerežiim	Mittehea veerežiimi põhjus
	suudmeni									seisundis			
1165100_1	Pähkla	Pähkla	9. S Saaremaa		hea								
1155700_2	Pärlijõgi Saarlase paisust suudmeni	Pärlijõgi_2	26. D3	39. Q Ruusmäe-Krabi	kesine	FYBE				VMK koostamise ajal oli heas seisundis			
1123500_1	Pärnu Vodja jõeni	Pärnu_1	12. S-O Pärnu		kesine	KALA				2027			
1123500_3	Pärnu Kärü jõest Sindi paisuni	Pärnu_3	12. S-O Pärnu	21. Kesk-Alam-Devoni Lääne-Eesti vesikonnas	halb	SPETS, KALA	Zn	KESE	Hg elustikus	2027	Üle 2000 ie reoveepuhasti, alla 2000 ie reoveepuhasti, ebaselge koormus		
1095500_1	Pääsküla	Pääsküla	29. Q Männiku-Pelguranna		kesine	FYKE, FYBE, SUSE, KALA	P _{uld} , O ₂			2021			
1067000_1	Pühajõgi Rausvere jõeni	Pühajõgi_1	6. O Ida-Viru		kesine	KALA, SPETS	Ba			2021			
1067000_2	Pühajõgi Rausvere jõest suudmeni	Pühajõgi_2	6. O Ida-Viru	7-O Ida-Viru põlevkivibasseini	kesine	MAFY, KALA, SPETS	Ba			2021	VMK koostamise ajal ei olnud SPETS-ga probleeme		
1004100_1	Rõuge	Rõuge	26. D3	38. Q Võru	hea								
1104400_1	Salajõgi	Salajõgi	11. S-O Matsalu		hea								
1074600_1	Selja Veltsi ojani	Selja_1	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas		halb	SPETS	1-al. fenoolid			2027	Alla 2000 ie reoveepuhasti, ebaselge koormus		
1074600_2	Selja Veltsi oja Soolikaojani	Selja_2	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas		kesine	SUSE, KALA				2021			
1074600_3	Selja Soolikaojast Varangu mnt sillani	Selja_3	13. S-O Ida-Eesti vesikonnas		hea								
1074600_4	Selja Varangu mnt sillast suudmeni	Selja_4	13. S-O Ida-Eesti vesikonnas		hea								

Veekogumi kood	Veekogumi pikk nimi	Vee-kogumi lühinimi	Seotud põhjaveekogum I	Seotud põhjaveekogum II	Koond-seisund 2017	Mittehea ÖSE element	Mittehea FYKE või SPETS näitaja	Mittehea KESE	Mittehea KESE näitaja	Hea seisundi saavutamise tähtaeg	Koormuse põhjus ¹	Mittehea HYMO veerežiim	Mittehea veerežiimi põhjus
1139900_1	Sinialliku	Sinialliku	23. D2 Lääne-Eesti vesikonnas		kesine	KALA				2021			
1075600_1	Sõmeru	Sõmeru	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas		halb	KALA, SPETS	1-al. fenoolid			2027	Alla 2000 ie reoveepuhasti, muu suublasse juhitud heitvesi, ebaselge koormus		
1066500_1	Sõtke Sillamäe ülemise paisjärveni	Sõtke_1	27. Q Vasavere		halb	FYKE, KALA, SPETS	O ₂ , Ba			2027	VMK koostamise ajal ei olnud probleeme FYKE ja SPETS-iga		
1066500_2	Sõtke Sillamäe ülemisest paisjärvest Sillamäe I-se paisuni	Sõtke_2	27. Q Vasavere		kesine	KALA				2027			
1066500_3	Sõtke Sillamäe I-st paisust suudmeni	Sõtke_3	27. Q Vasavere		halb	MAFY, SUSE, KALA				2027		kesine	Pais
1053300_1	Tarakvere	Tarakvere	32. Q Sadala		hea								
1045500_1	Tatra	Tatra	24. Kesk-Devoni Ida-Eesti vesikonnas		hea								
1074100_1	Toolse Kunda karjääri sisselasuni	Toolse_1	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas		kesine	KALA, SPETS	Ba			VMK koostamise ajal oli heas seisundis	VMK koostamise ajal oli heas seisundis		
1091400_1	Tuhala	Tuhala	10. S-O Harju		kesine	KALA				2021			
1029200_1	Umbusi Kablaküka pkr-ni	Umbusi_1	16. S-O Adavere-Põltsamaa		hea								
1079200_1	Valgejõgi Moe paisuni	Valgejõgi_1	10. S-O Harju	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas	kesine	SUSE, KALA				2021			
1079200_2	Valgejõgi Moest Pikkojani	Valgejõgi_2	10. S-O Harju	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas	hea								
1079200_3	Valgejõgi Pikkojast Kotka paisuni	Valgejõgi_3	14. S-O Pandivere Lääne-Eesti vesikonnas		halb	KALA				2027			

Veekogumi kood	Veekogumi pikk nimi	Vee-kogumi lühinimi	Seotud põhjaveekogum I	Seotud põhjaveekogum II	Koond-seisund 2017	Mittehea ÖSE element	Mittehea FYKE või SPETS näitaja	Mittehea KESE	Mittehea KESE näitaja	Hea seisundi saavutamise tähtaeg	Koormuse põhjus ¹	Mittehea HYMO veerežiim	Mittehea veerežiimi põhjus
1095800_1	Vanamõisa pkr	Vanamõisa pkr	10. S-O Harju	11. S-O Matsalu	hea								
1116100_1	Vanamõisa	Vanamõisa	11. S-O Matsalu		hea								
1099200_1	Vasalemma Munalaskme ojani	Vasalemma_1	10. S-O Harju		kesine	KALA				2027			
1099200_2	Vasalemma Munalaskme oja suudmeni	Vasalemma_2	10. S-O Harju		kesine	KALA				2021			
1067700_1	Vasavere	Vasavere	27. Q Vasavere		halb	FYKE, SUSE	$P_{\text{uld}}, \text{NH}_4^+, \text{O}_2$			2027	Alla 2000 ie reoveepuhasti, hajukoormus haritavalt maalt		
1032500_1	Võllinge	Võllinge	13. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas		hea								
1073500_1	Voore	Voore	15. S-O Pandivere Ida-Eesti vesikonnas		kesine	KALA				2021			
1003000_1	Võhandu Sillaotsa jõeni	Võhandu_1	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas	37. Kvaternaari Piigaste-Kanepi	kesine	KALA				2027			
1003000_2	Võhandu Sillaotsa jõest Utita paisuni	Võhandu_2	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas	37. Kvaternaari Piigaste-Kanepi	kesine	KALA				2021			
1003000_3	Võhandu Utita paisust Vagula järveni	Võhandu_3	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas	37. Kvaternaari Piigaste-Kanepi	kesine	KALA				2021			
1003000_4	Võhandu Vagula järvest Paidra paisuni	Võhandu_4	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas		halb	SUSE, FYBE				2021			
1003000_5	Võhandu Paidra paisust Viluste ojani	Võhandu_5	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas		kesine	KALA, SUSE				2021			
1003000_6	Võhandu Viluste oja Räpina paisuni	Võhandu_6	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas		kesine	KALA, MAFY				2027			

Veekogumi kood	Veekogumi pikk nimi	Vee-kogumi lühinimi	Seotud põhjaveekogum I	Seotud põhjaveekogum II	Koond-seisund 2017	Mittehea ÖSE element	Mittehea FYKE või SPETS näitaja	Mittehea KESE	Mittehea KESE näitaja	Hea seisundi saavutamise tähtaeg	Koormuse põhjus ¹	Mittehea HYMO veerežiim	Mittehea veerežiimi põhjus
1003000_7	Võhandu Räpina paisust suudmeni	Võhandu_7	24. D2 Ida-Eesti vesikonnas		kesine	SUSE, KALA				VMK koostamise ajal oli heas seisundis			
1077100_1	Võsu	Võsu	13- S-O Ida-Eesti vesikonnas		kesine	FYKE, KALA	P _{üld}			2027	VMKs ei ole koormusallikaid nimetatud		
1008200_1	Väike-Emajõgi Restu paisuni	Väike Emajõgi_1	36. Q Otepää		kesine	KALA				2021			
1008200_2	Väike-Emajõgi Restu paisust Pedeli jõeni	Väike Emajõgi_2	36. Q Otepää		kesine	KALA				2027			
1008200_3	Väike-Emajõgi Pedeli jõest suudmeni	Väike Emajõgi_3	36. Q Otepää		kesine	SUSE				VMK koostamise ajal oli heas seisundis			
1094500_1	Vääna Pääsküla jõeni	Vääna_1	10. S-O Harju		kesine	FYKE, SUSE, KALA	P _{üld}			2021			
1094500_2	Vääna Pääsküla jõest suudmeni	Vääna_2	10. S-O Harju		kesine	FYKE	Nüld, P _{üld}			2027	Alla 2000 ie reoveepuhasti, hajukoormus haritavalt maalt, hajukoormus loomakasvatushoonetest tulenevatest leketest, hajukoormus põllumajandus-maalt kuivendus-süsteemide kaudu, muu hajukoormus ja ebaselge koormus		

¹ Esitatud on vaid otseselt FYKE, SPETS või KESE elementi puudutav koormuse põhjus veekogumitel, mille hea seisundi saavutamise tähtaeg on 2027.

7.2. Põhjaveekogumitest sõltuvad seisuveekogud

Terasmaa et al. (2015) järgi on olulisi põhjaveekogumitest sõltuvaid seisuveekogusid Eestis 197. Neist 41 on seisuveekogumite nimekirjas ning neile on veemajanduskavadega kehtestatud hea seisundi saavutamise tähtaeg. Käesoleva analüüsi tegemisel jäeti neist kõrvale Lavassaare järv ja Tānavjärv. Eelmises töös on Lavassaare järv hinnatud seotuks S-O Pärnu veekogumiga, kuna Kink (2006) andmetel on järves põhjaallikaid ja see on kantud Ürglooduse raamatusse, kuhu on kantud vaid põhjaveega seotud järved. Järve vee keemilised näitajad aga võimalikku olulist toitumist S-O põhjaveekogumist ei näita, kuna järve vee keskmine elektrijuhtivus 2012. aastal oli kõigest 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ning vesinikkarbonaatide sisaldus 0,6 mg-ekv/l (Ott, 2012). Samuti ei asu järv piirkonnas, kus võib alata suuremahuline aluspõhjaliste maavarade kaevandamine allpool põhjaveetasel. Seetõttu on vähetõenäoline ka, et järvele võiks avalduda põhjaveekogumi negatiivne kaas mõju läbi põhjaveekogumi veele toetuva Kvaternaari veekihi veetaseme languse. Tānavjärv on Terasmaa et al. (2015) töös hinnatud seotud S-O Harju põhjaveekogumiga, kuna Kink (2006) andmetel on järves põhjaallikaid ja see on kantud Ürglooduse raamatusse. Järve vee keemilised näitajad aga võimalikku toitumist S-O põhjaveekogumist ei näita, kuna järve vee keskmine elektrijuhtivus 2018. aastal oli KESE andmetel kõigest 33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja vesinikkarbonaatide sisaldus 0,5 mg-ekv/l. Ka põhjaveekogumi veetaseme languse kaasnev mõju on Tānavjärve ümbruses vähetõenäoline. Seega ei ole põhjust lugeda kumbagi järve seotuks S-O põhjaveekogumitega.

Analüüsitud 39 põhjaveekogumiga seotud seisuveekogumist 18 seisund oli 2017. aasta seisuga hea või väga hea ja 21 seisund kesine või halb (Tabel 7.2). **Kogumitest, mille seisund oli kesine või halb, 7 puhul oli mitteheas seisundis element või näitaja, millele võib olla põhjavee kvaliteedi otsene mõju.** Need on füüsikalise-keemiline seisundielement (FYKE) ja selle näitajad $N_{\text{üld}}$ ja $P_{\text{üld}}$; vesikonnaspetsiifiliste saasteainete seisundielement (SPETS) ja/või keemiline seisund (KESE). Nagu ka vooluveekogude puhul tuleb ka siinkohal juhtida tähelepanu, et kuigi saasteained võivad kanduda veekogusse ka põhjaveega, ei tähenda põhjaveekogumist sõltuva seisuveekogumi mitteheas seisundis olemine nende elementide põhjal, et ebasoovitavad ained on toonud kindlalt kaasa just põhjavesi. Ainete tegeliku päritolu väljaselgitamine nõuab asjakohaseid uuringuid.

Põhjaveekogumil võib olla negatiivne mõju ka seisuveekogu hüdro-morfoloogilise seisundi hüdroloogia elemendile. Samas on seisuveekogu veetaseme näitaja hüdro-morfoloogilise seisundi hindamisel hüdroloogia elemendis sedavõrd väikese osakaaluga, et ka erakordselt madala veetaseme korral võib järve seisund hüdroloogia elemendi kohaselt olla hea (Ott, 2014). Seetõttu veekogumite puhul olemasolevaid hüdro-morfoloogilise seisundi hinnanguid käesolevas analüüsis ei vaadeldud.

Neist seitsmest põhjaveest sõltuvast seisuveekogumist, mille seisundit võib olla mõjutanud põhjavee kvaliteet, kahel juhul on on hea seisundi saavutamise tähtaega perioodi 2015–2021 veemajanduskavades pikendatud 2027. aastani. Kahel juhul loodetakse hea seisund saavutada 2021. aastaks. Kolm seisuveekogumit olid veemajanduskavade koostamise perioodil heas seisundis, mistõttu nende puhul pole hinnatud, kas hea seisund on võimalik saavutada uuesti 2021. või 2027. aastaks.

Need kaks põhjaveekogumist sõltuvat seisuveekogumit, mille seisund on halvem kui hea potentsiaalselt põhjavee poolt mõjutatud elemendi tõttu ning mille hea seisundi saavutamise tähtaega on pikendatud 2027. aastani, on järgmised:

- 1) Harku järv – mitteheas seisundi põhjused: FYKE, (FYPLA, MAFY, SUSE), põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatav näitaja: $N_{\text{üld}}$. Koormusallikatena on nimetatud muud suublasse juhivat heitvett ja hajukoormust sademeveest.
- 2) Tamula järv – mitteheas seisundi põhjused: FYKE, (FYPLA, MAFY, SUSE), põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatav näitaja: $P_{\text{üld}}$. Koormusallikana on nimetatud hajukoormust sademeveest.

Need kolm põhjaveekogumist sõltuvat seisuveekogumit, mille seisund on halvem kui hea potentsiaalselt põhjavee poolt mõjutatud elemendi tõttu ning mille uuesti hea seisundi saavutamise tähtaega pole seatud ega koormusallikaid kaardistatud, on järgmised:

- 1) Endla järv – mittehea seisundi põhjused: FYKE, põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatav näitaja: N_{üld}.
- 2) Klooga järv – mittehea seisundi põhjused: FYKE, (SUSE), põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatav näitaja: N_{üld}.
- 3) Kuremaa järv – mittehea seisundi põhjused: FYKE, (SUSE), põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatavad näitajad: N_{üld}, P_{üld}.

Tabel 7.2. Põhjaveest sõltuvad seisuveekogumid, nende seisundihinnangud, mittehea seisundi põhjused ja hea seisundi saavutamise eesmärgid. Veekogumite ÖSE ja KESE seisundid 2017. aasta seisuga Andresson et al. (2018), hea seisundi saavutamise eesmärgid Keskkonnaministeerium (2016a), koormuste põhjused Keskkonnaministeerium (2016b). **Rohelise taustaga** on heas seisundis seisuveekogumid; **helehalli taustaga** on mitteheas seisundis seisuveekogumid, mille seisund ei ole tingitud põhjavee poolt mõjutatavast kvaliteedielemendist/-näitajast ja mille hea seisundi saavutamise tähtaeg on 2021, **tumehalli taustaga** on eelmisele sarnased seisuveekogumid, mille hea seisundi saavutamise tähtaeg on 2027 või pole seda määratud; **helekollase taustaga** on mitteheas seisundis seisuveekogumid, mille seisund on tingitud põhjavee poolt mõjutatavast kvaliteedielemendist/-näitajast ja mille hea seisundi saavutamise tähtaeg on 2021, **tumekollase taustaga** on eelmisele sarnased seisuveekogumid, mille hea seisundi saavutamise tähtaeg on 2027 või pole seda määratud

KKR kood	Nimi	Seotud põhjaveekogum	VRD tüüp	Koondseisund 2017	Mittehea ÖSE näitaja	Mittehea FYKE element	Hea seisundi saavutamise tähtaeg	Koormuse põhjus
VEE2065100	Elistvere järv	34. Q Saadjärve	2	kesine	MAFY		VMK koostamise ajal oli heas seisundis	
VEE2052800	Endla järv	13. S-O Ida-Eesti	2	kesine	FYKE	N _{üld}	VMK koostamise ajal oli heas seisundis	
VEE2001300	Harku järv	29. Q Männiku-Pelguranna	2	halb	FYKE, FYPLA, MAFY, SUSE	P _{üld} , N _{üld} , pH, SD	2027	Muu suublasle juhitud heitvesi, hajukoormus sademeveest
VEE2028600	Hindaste järv	10. S-O Harju	2	hea				
VEE2122400	Jõksi järv	37. Q Piigaste-Kanepi	3	hea				
VEE2071200	Järise järv	09. S Saare	2	kesine	MAFY, SUSE		VMK koostamise ajal oli heas seisundis	
VEE2001600	Kahala järv	10. S-O Harju	2	hea				
VEE2054000	Kaisma järv	11. S-O Matsalu	2	hea				
VEE2076800	Karujärv	09. S Saare	3	väga hea				
VEE2005500	Klooga järv	10. S-O Harju	2	kesine	FYKE, SUSE	N _{üld} , pH	VMK koostamise ajal oli heas seisundis	VMK koostamise ajal oli heas seisundis
VEE2071500	Koigi järv	09. S Saare	2	hea				
VEE2027900	Konsu järv	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	3	hea				
VEE2055400	Kuremaa järv	33. Q Laiuse	3	kesine	FYKE, SUSE	N _{üld} , P _{üld}	VMK koostamise ajal oli heas seisundis	VMK koostamise ajal oli heas seisundis
VEE2065600	Lahepera järv	24. D2 Ida-Eesti	2	kesine	FYKE, MAFY	pH	VMK koostamise ajal oli heas seisundis	
VEE2124100	Löödla järv	24. D2 Ida-Eesti	3	kesine	MAFY		VMK koostamise ajal oli heas seisundis	
VEE2005910	Maardu järv	10. S-O Harju	2	kesine	FYKE, MAFY, SUSE	pH	2021	
VEE2155900	Murati järv	39. Q Ruusmäe-Krabi	3	kesine	FYKE, SUSE	pH, SD	2021	
VEE2006020	Männiku järv	29. Q Männiku-Pelguranna	2	kesine	SUSE		VMK koostamise ajal oli heas seisundis	
VEE2101300	Nõuni järv	36. Q Otepää	3	hea				

VEE2003900	Pikkjärv (Viitna Pikkjärv)	13. S-O Ida-Eesti	5	hea				
VEE2121610	Punde järv	24. D2 Ida-Eesti		kesine	SUSE		VMK koostamise ajal oli heas seisundis	
VEE2105300	Pühajärv	36. Q Otepää	3	kesine	MAFY		VMK koostamise ajal oli heas seisundis	
VEE2065000	Raigastvere järv	34. Q Saadjärve	2	kesine	FYKE	N _{üld} , pH, SD	2021	Hajukoormus haritavalta maalt
VEE2006030	Raku järv	29. Q Männiku-Pelguranna	3	halb	SUSE		VMK koostamise ajal oli heas seisundis	
VEE2121620	Restu-Madissõ järv	24. D2 Ida-Eesti		kesine	SUSE		VMK koostamise ajal oli heas seisundis	
VEE2005520	Rummu Läänekarjäär	10. S-O Harju	3	halb	SUSE		VMK koostamise ajal oli heas seisundis	
VEE2065300	Saadjärv	34. Q Saadjärve	3	hea				
VEE2043600	Sinijärv (Äntu Sinijärv)	15. S-O Pandivere Ida-Eesti	1	hea				
VEE2065200	Soitsjärv	34. Q Saadjärve	2	kesine	MAFY		VMK koostamise ajal oli heas seisundis	
VEE2140300	Suurjärv (Rõuge Suurjärv)	26. D3	3	hea				
VEE2126200	Tamula järv	38. Q Võru	2	kesine	FYKE, FYPLA, MAFY, SUSE	P _{üld} , pH	2027	Hajukoormus sademeveest
VEE2051300	Tihu järv	08. S-O Hiiu	4	hea				
VEE2014100	Uljaste järv	06. O Ida-Viru	5	hea				
VEE2126100	Vagula järv	38. Q Võru	3	hea				
VEE2025900	Valgejärv(Kurtna Valgejärv)	27. Q Vasavere, 7. O Põlevkivibasseini, 6. O Ida-Viru	5	hea				
VEE2093200	Verevi järv	35. Q Elva	3	halb	FYKE, FYPLA	N _{üld} , P _{üld}	2021	VMKs pole koormusallikaid nimetatud.
VEE2082800	Viljandi järv	23. D2 Lääne-Eesti	3	hea				
VEE2089700	Õisu järv	23. D2 Lääne-Eesti	2	hea				
VEE2005900	Ülemiste järv	29. Q Männiku-Pelguranna, 10. S-O Harju	2	kesine	FYPLA, SUSE		2027	

Kokkuvõte

Töö käigus uuendati värskeimatele andmetele tuginedes Terasmaa et al. (2015) aruandes esitatud põhjaveekogumitega seotuse kontseptuaalsed mudelid Porkuni järve, Jõuga järvestiku, Kurtna järvestiku, Kurtna Suurjärve äärse soo ja Selisoo kohta. Lisaks anti soovitused nende seisundile põhjaveekogumite poolt avaldatava võimaliku mõju seiramiseks. Uued põhjaveekogumitega seotuse kontseptuaalsed mudelid koostati Ratva raba, Loobu_1 ja Sõmeru vooluveekogumite kohta. Loobu_1 ja Sõmeru vooluveekogumitele põhjaveekogumitega seotuse ja põhjaveekogumite poolt avaldatava mõju välja selgitamiseks töötati välja ka konkreetseid uuringukavad. Seitsmele karstijärvikute gruppide: Assamalla, Saksi, Savalduma, Einjärve ja Aniste, Jalgsema, Kuksema ja Tudre koostati kirjeldused ja kontseptuaalsed mudelid põhjaveekogumitega seotuse kohta. Anti ülevaade karstijärvikute elustiku senise uurituse kohta Euroopas ja Eestis ning töötati välja Assamalla karstiluha uuringu- ja seirekava, mis hõlmab ka karsti elustiku uurimise kava. See uuringu- ja seirekava on vajadusel rakendatav ka teiste karstijärvikute jaoks. Tehti ettepanekud veetaseme automaatseire alustamiseks kaheksas Ida-Viru piirkonna põhjaveekogumitega seotud seisuveekogus (Haugjärv, Kastjärv, Konsu järv, Niinsaare järv, Jõuga Pesujärv, Kõnnu Ümmargune järv, Uljaste järv, Ratva järv). Tuvastati 13 põhjaveekogumist sõltuvat vooluveekogumit ja viis seisuveekogumit, mille keskkonnanäesmärkide saavutamise tähtaeg on edasi lükatud 2027. aastasse ning mille heale mittevastava seisundi on tinginud mõni põhjavee poolt potentsiaalselt mõjutatav näitaja. Kirjeldati inimtekkelisi koormusi, mis nende keskkonnanäesmärkide saavutamist takistavad. Töös tehti ettepanekud Ratva järve lisamiseks oluliste põhjaveekogumist sõltuvate seisuveekogude nimekirja ja Saksi karstijärve lisamiseks oluliste põhjaveekogumist sõltuvate karstijärvikute nimekirja. Samuti tehti ettepanekud Lavassaare ja Tänavjärve väljaarvamiseks oluliste põhjaveekogumist sõltuvate seisuveekogude nimekirjast.

Summary

In this project conceptual models compiled by Terasmaa et al. (2015) for Lake Porkuni, Jõuga Lake District, Kurtna Lake District, mire near Lake Kurtna Suurjärv and Selisoo mire of their dependence on groundwater bodies were renewed based on contemporary data. Additionally, suggestions were given for monitoring the potential effect that groundwater bodies may have on their ecological status. New conceptual models of the dependence on groundwater bodies were compiled for Ratva bog and surface water bodies Loobu_1 and Sõmeru. Study plans were drawn up that enable to evaluate the dependence of surface water bodies Loobu_1 and Sõmeru on groundwater bodies and the effect that groundwater bodies may have on their ecological status. Descriptions and conceptual models on their dependency on groundwater bodies for seven karst lake systems were compiled: Assamalla, Saksi, Savalduma, Einjärve and Aniste, Jalgsema, Kuksema and Tudre. An overview of recent studies on the biota of karst lakes in Europe and present knowledge of the biota of Estonian karst lakes was given. Study and monitoring plan (incl. biota) for Assamalla karst lake was drawn up. The plan is applicable on other Estonian karst lakes as well. Suggestions for establishing automated water-level monitoring in eight lakes dependent on groundwater bodies in the Ida-Viru region were made. 13 flowing water bodies and five standing water bodies depending on groundwater bodies were identified that have the date of the fulfilment their environmental objectives postponed until 2027 and their current unfavorable status is caused by a parameter potentially affected by groundwater. Anthropogenic pressures that prevent these water bodies from reaching their environmental objectives were described. Suggestions were made to include Lake Ratva in the list of lakes depending on groundwater bodies and Lake Saksi in the list of karst lakes depending on groundwater bodies. Additionally suggestions were made to exclude Lakes Lavassaare and Tänavjärv from the list of lakes depending on groundwater bodies.

Kasutatud materjalid

Allese, E. 1969. Selja jõe lätted. *Eesti Loodus*, 2, lk 106–107.

Amon, L., Saarse, L., Vassiljev, J., Heinsalu, A., Veski, S. 2016. Timing of the deglaciation and the late-glacial vegetation development on the Pandivere Upland, North Estonia. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 88, lk 69–83.

Amos, T., 2015. *Muraka LKA ja Muraka loodusala püsielupaikade kaitsekorralduskava 2015–2017*. Keskkonnaamet.

Amos, T. 2016. *Selisoa looduskaitseala kaitsekorralduskava 2017–2026*. Keskkonnaamet.

Andresson, M., Truuma, I., Ojamäe, K. 2018. *Seletuskiri veemajanduskomisjonile Eesti pinnaveekogumite seisundi 2017. a ajakohastatud vahehindangu kohta*. Keskkonnagentuur, Tallinn.

Aruja, M., Eipre, T., Kink, H., Maastik, A. & Tšeban, E. 1976a. Pandivere piirkonna kaitseks 1. *Eesti Loodus*, 9, lk 548–555.

Aruja, M., Eipre, T., Kink, H., Maastik, A. & Tšeban, E. 1976b. Pandivere piirkonna kaitseks 2. *Eesti Loodus*, 10, 628–634.

AS Maves. 2002. *Karst ja allikad Pandiveres: 1994. a koostatud kataloogi "Pandivere Riikliku Veekaitseala karst ja allikad" täiendatud väljaanne*. AS Maves, Tallinn.

AS Maves. 2006. *Pandivere ja Adavere-Põltsamaa nitraaditundlik ala*. Keskkonnaministeerium, Tallinn.

Ausmeel, H. 2012. Võhmetu-Lemmküla ajutiste karstijärvede taimeistik. Bakalaureusetöö. Tallinna Ülikool, Tallinn. Käisikiri Tallinna Ülikoolis.

DG Environment. 2017. *Reporting under Article 17 of the Habitats Directive: Explanatory notes and guidelines for the period 2013–2018*. Brüssel.

Eipre, T. 1967. Pandivere karstijõed ja allikad. *Eesti Loodus*, 4, lk 548–553.

Eipre, T. 1987. Pandivere kõrgustiku veevarud ja nende kasutamise võimalusi. *Eesti Geograafia Seltsi Aastaraamat*, 20, lk 43–58.

Erg, K. 1987. Vasavere ürgoru hüdrogeoloogilised tingimused. Rmt *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng I* (Ilomets, M., toim). Valgus, Tallinn, lk 79–84.

EELIS. 2019. *Eesti Looduse Infosüsteem*. Keskkonnaagentuur.

EUNIS. 2019. *European Nature Information System*. Turloughs. <https://eunis.eea.europa.eu/habitats/10070#sites> (24.04.2019)

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv, 23. oktoober 2000, millega kehtestatakse ühenduse veepoliitika alane tegevusraamistik (Vee Raamdirektiiv) (2000/60/EÜ).

European Commission, 2009. *Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment, Guidance Document No 18. Technical Report*. European Communities, Luxembourg.

European Communities. 2003. *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance document no. 7. Monitoring under the Water Framework Directive*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Ford, D. & Williams, P. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.

Heinsalu, Ü. 1963. *Karst Pandivere kõrgustikul*. Geoloogia Instituut, Tallinn.

- Heinsalu, Ü. 1967. Karst Pandivere kõrgustikul. Rmt *Rakvere rajoonis. Koduüürivate seminar kokkutulek. Ettekannete lühikokkuvõtted*. Tallinn, lk 37–44.
- Heinsalu, Ü. 1977a. *Karst ja looduskeskkond Eesti NSV-s*. Valgus, Tallinn.
- Heinsalu, Ü. 1977b. Eesti allikad ja nende kaitse. *Eesti Loodus*, 7 & 8, lk 418–426 & lk 490–496.
- Heinsalu, Ü. 1979. Karstijärvikud Eestis. *Eesti Loodus*, 10, lk 657–662.
- Heinsalu, Ü. 1986a. Seal, kus Kalevipoja ratsu otsa sai. *Horisont*, 5, lk 30–31.
- Heinsalu, Ü. 1986b. Loobu jõe sünnipaigas. *Horisont*, 7, lk 28–29.
- Heinsalu, Ü. 1987. Assamalla karstiluht. *Eesti Loodus*, 5, lk 342.
- Heinsalu, Ü. 1988. Mõdriku-Paasvere oosid, allikad ja karstijärved. *Eesti Loodus*, 10, lk 674–678.
- Hindrikson, M. 2010. *Väikejärvede ja jõgede hüdrokeemilised uuringud 2010. Väikejõgede hüdrokeemiline seire*. Eesti Keskkonnauuringute Keskus, Tartu.
- Hindrikson, M. 2015. *Jõgede ülevaateseire hüdrokeemilised uuringud*. Eesti Keskkonnauuringute Keskus, Tartu.
- Hindrikson, M. & Laht, M. 2019. *Jõgede hüdrokeemiline seire ja ohtlikud ained 2018*. Eesti Keskkonnauuringute Keskus, Tartu.
- Hinsby, K., Schutten, J., Craig, M., Petitta, M. & Prchalova, H. 2015. *Technical Report on Groundwater Associated Aquatic Ecosystems. Technical Report No. 9*. European Union, Luxembourg.
- Howie, S.A., Whitfield, P.H., Hebda, R.J., Dakin, R.A., Jeglum, J.K. 2009. Can Analysis of Historic Lagg Forms Be of Use in the Restoration of Highly Altered Raised Bogs? Examples from Burns Bog, British Columbia. *Canadian Water Resources Journal*, 34, (4), lk 427–440.
- Howie, S.A. & van Meerveld, I.T. 2011. The Essential Role of the Lagg in Raised Bog Function and Restoration: A Review. *Wetlands*, 31, lk 613–622.
- Ilomets, M. (toim). 1987. Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng, I. Valgus, Tallinn.
- Ilomets, M. (toim). 1989. Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng, II. Valgus, Tallinn.
- Ilomets, M., Pajula, R., Sepp, K., Truus, L. 2011. *Selisoo taimkatte seiresüsteemi rajamine hüdrogeoloogilistel transektidel ja andmete analüüs*. Eesti Märjalade Ühing, Tallinn. Käsikiri Keskkonnaametis.
- Isokangas, E. 2018. *Quantifying the Groundwater Dependence of Boreal Ecosystems Using Environmental Tracers*. PhD thesis. University of Oulu.
- Joonuks, H. 1974. Ajutiste järvede maal. *Eesti Loodus*, 2, lk 115–119.
- Jõelet A. & Polikarpus M., 2018. *Hüdrogeoloogiline 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.
- Järvekülg, A. 2001. *Eesti jõed*. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu.
- Kalm, V. & Kohv, M. 2009. *Selisoo hüdrogeoloogilised uuringud kaevandamise mõju selgitamiseks*. Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Tartu.
- Kalm, V. & Kohv, M. 2012. *Ratva raba hüdrogeoloogilised uuringud ja Selisoo seiresüsteemi rajamine*. Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Tartu.
- Kask, I. 1994. Pandivere karstijärvede suvi. *Eesti Loodus*, 6, lk 186.

- Karukäpp, R. 1987a. Pandivere kõrgustik – palgejooned. *Eesti Loodus*, 5, lk 276–281.
- Karukäpp, R. 1987b. Mandrijää Kurtna maastike kujundajana. Rmt *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng I* (Ilomets, M., toim). Valgus, Tallinn, lk 21–24.
- Karukäpp, R. 2005. Eskers in the periphery of their distribution in North Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Geology*, 54, 1, lk 26–39.
- KESE. 2019. *Keskkonnaseire infosüsteem*. Keskkonnaagentuur. <https://kese.envir.ee/kese/welcome.action>
- Keskkonnaministeerium. 2016a. *Ida-Eesti vesikonna veemajanduskava*. Keskkonnaministeerium, Tallinn.
- Keskkonnaministeerium. 2016b. *Meetmeprogramm 2015–2021. Ida-Eesti vesikond, Lääne-Eesti vesikond, Koiva vesikond*. Keskkonnaministeerium, Tallinn.
- Kildema, K. & Valler, V. 1959. Karstinähtustest Savaldumas. *Eesti Loodus*, 4, lk 235–236.
- Kink, H. 1998. *Eesti soode hüdrogeoloogia*. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn.
- Kink, H. 2005. *Loodusmälestised. 15 osa. Lääne-Virumaa. Laekvere, Avanduse, Rakke, Väike-Maarja, Tamsalu*. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn.
- Kink, H. 2006. *Veeobjektid „Eesti Ürglooduse Raamatus“*. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn.
- Kohv, M., Jõelet, A. & Rooni, K. 2015. *Järvede ja põhjaveekogumite veetasemete uuring Kurtna maastikukaitsealal*. Tartu Ülikool, Tartu.
- Kohv, M. 2019. *Selisoa pinna- ja põhjavee seire ülevaade ja analüüs, periood 2011–2018*. Tartu Ülikooli geoloogia osakond, Tartu. Käsikiri Keskkonnaametis.
- Koit, O. & Vainu, M., 2017. Savalduma karstiaala, Tamsalu linna heitveelask, *Eesti Loodus*, 12, lk 22–27.
- Kont, A. & Arold, I. 1987. Kurtna mõhnastiku reljeefi põhijooni. Rmt *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng I* (Ilomets, M., toim). Valgus, Tallinn, lk 25–31.
- Kotter, R. & Namm, L. 2015. *Porkuni maastikukaitseala kaitsekorralduskava 2015–2024*. Keskkonnaamet, Viru regioon.
- Kutsar, R. 2017. *AS Enefit Kaevandused Estonia kaevanduse maavara kaevandamisloa KMIN-054 pikendamise taotluse keskkonnamõju hindamine*. Hendrikson & Ko, Tartu-Tallinn.
- Leisk, Ü. 2017. *Nitraaditundliku ala põhjavee seire 2016. a*. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Leisk Ü. & Rebane, R. 2018. *Taimekaitsevahendite jääkide sisalduse ja dünaamika uuring pinna- ja põhjavees*. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Lindret, K. 2015. *Sinihelmikakooslused karstijärvedes*. Bakalaureusetöö. Tallinna Ülikool, Tallinn. Käsikiri Tallinna Ülikoolis.
- Lode, E., Roosaare, J., Pensa, M. 2011. Typological Up-Scaling of Wooded Peatlands. In *Forest Management and the Water Cycle. An Ecosystem-Based Approach* (Bredmeier, M., Cohen, S., Godbold, D.L., Lode, E., Pichler, V. & Sleppi, P., eds). *Ecological Studies*, 212, lk 471–497.
- Lode, E., Tammik, H., Vainu, M., Ilomets, M., Pajula, R., Ratask, U., Rivas, R., Sepp, K., Truus, L., Endjärv, E. 2012. *Märgalade seisundi hindamine ja keskkonnamärgide määramine*. Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut, Tallinn.
- Lode, E., Küttim, M., Kiivit, I.-K. 2017. Indicative effects of climate change on groundwater levels in Estonian raised bogs over 50 years. *Mires and Peat*, 19, lk 1–21.

- Loigu, E., Pachel, K., Kaju, O., Elken, R., Raudsepp, K., Kuusik, A. & Sokk, O. 2014. *Oluliste looduslike ning inimtegevuse tulemusena rikutud (tugevasti muudetud või tehislike) vooluveekogude hüdro morfoloogilise seisundi uurimine ning hüdro morfoloogilise seisundi hindamise metoodika väljatöötamine*. Tehnikaülikooli Ehitusteaduskond Keskkonnatehnika Instituut, Tallinn.
- Loopmann, A. 1988. Muraka raba. Rmt *Eesti sood* (Valk, U., toim). Valgus, Tallinn, lk 236–241.
- Maa-ameti geoportaal. 2019. <http://geoportaal.maaamet.ee/est/>
- Marandi, A., Karro, E., Polikarpus, M., Jõe leht, A., Kohv, M., Hang, T., Hiimaa, H. 2013. Simulation of the hydrogeologic effects of oil-shale mining on the neighbouring wetland water balance: case study in north-eastern Estonia. *Hydrogeology Journal*, 21, 1581–1591.
- Mardim, T., Tšeban, E., Perens, H., Norman, A., 1977. *Aruanne põhjavee eeluuringust Tapa linna jaoks 1976. –1977. a.* Tallinn, EGF 3477.
- Metsur, M., Kaljuste, M., Tamm, I., Toomik, A., Kuk, R. 2015. *Eesti Energia Kaevandused AS kaevandamis lubade KMIN-073, KMIN-046, KMIN-074 ja KMIN-087 muutmisega kaasneva keskkonnamõju hindamise (KMH) aruanne*. AS Maves, OÜ Inseneribüroo Steiger, Tallinn.
- Miidel, A. & Vaher, R. 1997. Neotectonics and recent crustal movements. In *Geology and Mineral Resources of Estonia* (Raukas, A. & Teedumäe, A., eds). Estonian Academy Publishers, Tallinn, lk., 177–180.
- Mäe, A. & Raigna, R. 2009. Assamallas avati uudne põrsafarm. *Virumaa Teataja*, 26. august. <https://virumaateataja.postimees.ee/156103/assamallas-avati-uudne-porsafarm>
- Mäemets, A. 1968. *Eesti järved*. Valgus, Tallinn.
- Mäemets, A. 1969. Eesti karstijärvedel. *Eesti Loodus*, 11, lk 691–693.
- Mäemets, A. 1977. *Eesti NSV järved ja nende kaitse*. Valgus, Tallinn.
- Mäemets, A. 1988. Savalduma järv – reoveehoidla. *Eesti Loodus*, 8, lk 512.
- Mäemets, A., Mäemets, A., Laugaste, R., Lokk, S., Timm, M., Reisenbuk, E. 1989. Kurtna järvede hüdrobioloogilisest seisundist 1987. a. suviste uurimisandmete alusel. Rmt Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng I (Ilomets, M., toim). Valgus, Tallinn, lk 102–109.
- Mäemets, H. 2013. *Kaitsealuste Natura 2000 järve-elupaikade inventeerimise juhised*. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu.
- Muraka looduskaitseala kaitse-eeskiri. 2007. Vabariigi Valitsuse määrus nr. 135, 09.05.2007. *Riigi Teataja I*, 01.04.2010.
- Nõuded vesikonna veeseireprogrammide kohta. Keskkonnaministri määrus nr. 25, 06.04.2011. *Riigi Teataja I*, 01.07.2016, 4.
- Nõukogu Direktiiv 21. mai 1992, looduslike elupaikade ning loodusliku loomastiku ja taimestiku kaitse kohta (*Loodusdirektiiv*) (92/43/EMÜ).
- Orru, M. 1995. *Eesti turbasood*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Osjamets, M. 2010. *Nitraaditundliku ala põhjavee seire 2010. a.* OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskus, Tallinn.
- Ott, I., Laugaste, R., Mäemets, A., Mäemets, A., Kaup, E., Künnis, K., Heinsalu, A., Toom, A., Lokk, S. & Pöder, T. 1995. *Kurtna järvestiku limnoloogiline ekspertiis*. Käsikiri Tallinna Ülikoolis.
- Ott, I. 2001. *Eesti väikejärvede monitooring 2001. a.* EPMÜ Zooloogia ja Botaanika Instituut, Tartu.
- Ott, I. 2006. *Eesti väikejärvede seire 2006. a.* Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu.

- Ott, I. 2008. *Vetiku allikajärvede limnoloogilised uurimused*. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu.
- Ott, I. 2009a. *Neeruti maastikukaitseala, Porkuni maastikukaitseala, Äntu maastikukaitseala ja Põhja-Kõrvemaa looduskaitseala järvede uuringud*. Eesti Maaülikool, Põllumajandus- ja Keskkonnainstituudi Limnoloogiakeskus. Käsikiri Keskkonnaametis.
- Ott, I. 2009b. *Ratva järve limnoloogilised uuringud*. Eesti Maaülikooli Põllumajandus- ja Keskkonnainstituudi Limnoloogiakeskus, Rannu. Käsikiri Keskkonnaametis.
- Ott, I. 2010. *Eesti väikejärvede seire 2010*. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu.
- Ott, I. 2012. *Eesti väikejärvede seire 2012*. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu.
- Ott, I. 2013. *Eesti väikejärvede seire 2013*. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu.
- Ott, I. 2014. *Pinnavee ökoloogilise seisundi hindamine hüdro-morfoloogiliste kvaliteedielementide alusel*. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu.
- Paal, J. 2007. *Loodusdirektiivi elupaigatüüpide käsiraamat. Teine, parandatud ja täiendatud trükk*. Auratrükk, Tallinn.
- Pachel, K. & Roosalu, K. 2019. *Pinnavee kontrollseire Ojamaa põlevkivikaevanduse võimaliku mõju hindamiseks. 2018. aasta seire tulemused*. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn. Käsikiri Keskkonnaametis.
- Pall, P., Järvekülg, R., Käiro, K., Pihu, R., Timm, H., Vilbaste, S. 2015. *Jõgede hüdrobioloogiline seire ja uuringud 2014. a. aruanne*. Eesti Maaülikooli PKI Limnoloogiakeskus, Tartu.
- Pandivere piirkonna (Rakvere ja Paide rajoonide) melioratiiv-hüdrogeoloogiline ülevaade. Paide rajoon*. 1975. Geoloogia Instituut, Tallinn, EGF 3347.
- Pensa M., Kont, A., Liblik, V., Lode, E., Luud, A., Portsmouth, A., Ratas, U., Ravis, R., Rätsep, A., Sillasoo, Ü., Truus, L., Tõnisson, H. 2007–2012. *Häiringute mõju märgalaökosüsteemidele Eestis (SF0280009s07; 1.01.2007–31.12.2012)*", Tallinna Ülikool, Ökoloogia Instituut.
- Perens, R. & Eltermann, G. 1978. Karsti leviku ja karstivee keemilise koostise kujunemise iseärasusi Pandivere kõrgustiku lääneosas. Rmt *Põhjavee kasutamisest ja kaitsest Eesti NSV-s* (Heinsalu, Ü., toim). Eesti NSV Teaduste Akadeemia Looduskaitse Komisjon, Tallinn, lk 30–43.
- Perens, R. & Vallner, L. 1997. Water-bearing formation. In *Geology and mineral resources of Estonia* (Raukas, A. & Teedumäe, A., eds). Estonian Academy Publishers, Tallinn.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Truu, M., Häelm, M., Jaštšuk, S. 2010. *Eesti põlevkivimaardla põhjaveearule hinnangu andmine*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M. 2012. *Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine*. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Perens, R., Orru, M., Ramst, R. 2013. *Muraka soostiku ökosüsteemi seireprogramm ja metoodika*. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. Käsikiri Eesti Geoloogiateenistuses.
- Perens, R., Orru, M., Ramst, R. 2016. *Muraka soostiku ökosüsteemi seire läbiviimine aastatel 2015–2016*. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. Käsikiri Eesti Geoloogiateenistuses.

Pinnavee keskkonna kvaliteedi piirväärtused ja nende kohaldamise meetodid ning keskkonna kvaliteedi piirväärtused vee-elustikus. Keskkonnaministri määrus nr. 49. 09.09.2010. *Riigi Teataja I*, 04.08.2011, 4.

Pinnaveekogumite moodustamise kord ja nende pinnaveekogumite nimestik, mille seisundiklass tuleb määrata, pinnaveekogumite seisundiklassid ja seisundiklassidele vastavad kvaliteedinäitajate väärtused ning seisundiklasside määramise kord. Keskkonnaministri määrus nr. 44, 28.07.2009. *Riigi Teataja I*, 25.11.2010, 15.

Pinnavee seire allprogramm. 2019. *Riiklik Keskkonnaseire programm. Lisa 4*. Keskkonnaagentuur, Tallinn.

Ploompuu, T. 2013. Taebla karstijärved. *Eesti Loodus*, 6–7, lk 36–39.

Ploompuu, T., Esko, A., Ausmeel, H. Eesti karstijärvede ja järvikute taimkate. Natura elupaigatüüp 3180. *Eesti Looduseuurijate Seltsi aastaraamat*. (avaldamiseks vastu võetud)

PRIA. 2019. *Põllumajanduse Registrite ja Infosüsteemide Ameti Veebikaart*. PRIA. <https://kls.pria.ee/kaart/>

Prioriteetsete ainete ja prioriteetsete ohtlike ainete nimistu, prioriteetsete ainete, prioriteetsete ohtlike ainete ja teatavate muude saasteainete keskkonna kvaliteedi piirväärtused ning nende kohaldamise meetodid, vesikonnaspetsiifiliste saasteainete keskkonna kvaliteedi piirväärtused, ainete jälgimisnimekiri. Keskkonnaministri määrus nr. 77, 30.12.2015. *Riigi Teataja I*, 08.01.2016, 10.

Proovivõtumeetodid. Keskkonnaministri määrus nr. 30, 06.05.2002. *Riigi Teataja I*, 09.05.2017, 38.

Pöder, T., Riet, K., Savitski, L., Domanova, N., Metsur, M., Ideon, T., Krapiva, A., Ott, I., Laugaste, R., Mäemets, A., Mäemets, A., Toom, A., Lokk, S., Heinsalu, A., Kaup, E., Künnis, K. & Jagomägi, J. 1996. Mõjutatav keskkond. (Ideon, T. & Pöder, T., toim.) *Keskkonnaekspertiis. Kurtna piirkonna tootmisalade mõju järvestiku seisundile*. AS Ideon & Ko, Tallinn, lk 16–48. Asukoht TLÜ Ökoloogia Instituut.

Päivänen, J. & Hånell, B. 2012. *Peatland Ecology and Forestry – a Sound Approach*. Department of Forest Sciences, University of Helsinki, Helsinki.

Pärn, J., Tarros, S., Polikarpus, M., Osjamets, M., Raidla, V. 2019. *Ojamaa kaevevälja põhjaveeseire ja Muraka soostiku ökosüsteemi seire 2018. aastal*. Eesti Geoloogiateenistus, Tallinn. Käsikiri Keskkonnametis.

Raidma, R. 2015. *Porkuni järve seisund pärast 2006. aasta kuivamist*. Bakalaureusetöö. Tallinna Ülikool, Tallinn.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 4 Прибалтийский район. Впуск 1 Эстония. 1972. (Protasjeva, M. S. & Eipre, T., toim), Gidrometeoizdat, Leningrad.

Reinloo, A. 2005. *Karstinõgudes paiknevate ajutiselt üleujutatavate looniitude taimkate*. Bakalaureusetöö. Tallinna Ülikool, Tallinn. Käsikiri Tallinna Ülikoolis.

Richardson, S., Irvine, E., Froend, R., Boon, P., Barber, S. & Bonneville, B. 2011. *Australian groundwater-dependent ecosystem toolbox part 1: assessment framework*. National Water Commission, Canberra.

Rähni, E. 1973. Kalevipoja künnivaod Neerutis. *Eesti Loodus*, 2, lk 98–102.

Rähni, E. 1984. Kuidas tekkisid Eesti oosid? *Eesti Loodus*, 1, lk 28–35.

Salu, M., 2009. *Tamsalu linna heitvee juhtimisega Savalduma karstijärve ja Savalduma küla elanike nõuetekohase joogivee saamisega seonduvad keskkonnauuringud*. AS Maves, Tallinn.

- Savitski L. 2000. Hüdrokeoloogilised tingimused. Rmt Eesti põlevkivi: geoloogia, ressurss, kaevandamistingimused (Kattai V., Saadre T. & Savitski L., toim). Akadeemia Trükk, Tallinn, lk 93–104.
- Suuroja, K., Mardim, T., Morgen, E., Kaljuläte, K., Otsmaa, M., Shtokalenko, M. 2011. *Eesti geoloogilise baaskaardi Tapa (6431) leht. Seletuskiri*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Suuroja, K., Kaljuläte, K., Mardim, T., Morgen, E., Ploom, K., Shtokalenko, M., Vahtra, T. 2015. *Eesti geoloogilise baaskaardi Väike-Maarja (6432) leht. Seletuskiri*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Suuroja, K., Kaljuläte, K., Mardim, T., Morgen, E., Ploom, K., Karimova, M., Vahtra, T., Veski, A., Shtokalenko, M. 2017. *Eesti geoloogilise baaskaardi Järva-Jaani (6413) leht. Seletuskiri*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Tallinn, K. 1968. *Aruanne väikese Mg-sisaldusega lubjakivide otsimis- ja eelluuretoode tulemuste kohta Paide rajoonis Järva-Jaani alevi ümbruses 1965–1966.a.* EGF 2973
- Tallinn, K. 1974. *Aruanne lubja tootmiseks kõlblike lubjakivide detailsete uuringute tulemuste kohta Võhmuta, Metsla, Aavere ja Karinu maardlatel 1971–1973.a.* EGF 3294
- Tallinn, K. 1981. Tektooniliste rikete tähtsusest magneesiumivaeste lubjakivimaardlate otsingul Pandivere kõrgustiku edelaosas. Rmt *Settekivimid ja tektoonika* (Pirrus, E., toim). Eesti Looduseuurijate Selts Eesti NSV Teaduste Akadeemia juures, Tallinn, lk 126–132.
- Terasmaa, J., Vainu, M., Lode, E., Pajula, R. & Raukas, A. 2015. *Põhjaveekogumi veest sõltuvad ökosüsteemid, nende seisundi hindamise kriteeriumid ja seirevõrk*. Tallinna Ülikool, Tallinn.
- Timm, H. & Vilbaste, S. 2010. *Pinnavee ökoloogilise seisundi hindamise metoodika bioloogiliste kvaliteedielementide alusel. Bentiliste ränivetikate kooslus jões. Suurselgrootute põhjaloomade kooslus jões ja järves*. Eesti Maaülikool, Tartu.
- Türk, K. 2014. *Põhjaveekogumite seisundi hindamine. II etapp*. Hartal Projekt OÜ, Kuressaare.
- Vallner, L. 1996. Hydrogeological modelling of mine dewatering in the karstified Pandivere Upland, Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Geology*, 45 (2), lk 53–67.
- Vainu, M., Koit, O. & Terasmaa, J. 2016. *Savalduma karstiala kaitsekorra ekspertarvamus*. Tallinna Ülikooli ökoloogia keskus, Tallinn. Käsikiri Keskkonnaametis.
- Vainu, M. 2018. *Groundwater–Surface Water Interactions in Closed-Basin Lakes: Example From Kurtina Lake District*. PhD thesis. Tallinna Ülikool, Tallinn.
- Vainu, M. 2019. Kurtina järvestiku keskosa järvede veetaseme kõikumised ja nende põhjused. *Eesti Geograafia Seltsi aastaraamat*, 44, lk 47–71.
- Van der Schaaf, S. 2002. Bog hydrology. In *Conservation and Restoration of Raised bogs*. Geological, Hydrological and ecological Studies (Shouten, M.G.C., ed). Staatsbobeheer, Madalmaad, lk 54–110.
- Veber, K., 1961. *Soo- ja järvesetete stratigraafiast Pandivere kõrgustikul*. ENSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi Uurimused VII, lk 105–114.
- VEKA. 2019. *Veekasutuse andmebaas*. Keskkonnaamet, Keskkonnaagentuur. <https://veka.keskkonnainfo.ee/veka.aspx?type=artikkel&id=757660072>
- Waldren, S. (ed.) 2015. *Turlough Hydrology, Ecology and Conservation. Unpublished Report*. National Parks & Wildlife Services, Department of Arts, Heritage and the Gaeltacht, Dublin.
- Öpik, A., 1937. Porkuni-Tamsalu ümbruse geoloogiast. *Eesti Loodus* 1, lk 50–57.